

Calidad global de palta 'Hass': bases para responder a los desafíos en manejo de postcosecha

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 510



Calidad global de palta 'Hass': bases para responder a los desafíos en manejo de postcosecha

Editores:



Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

INIA La Platina



Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.

INIA La Platina

Calidad global de palta 'Hass': bases para responder a los desafíos en manejo de postcosecha

Editores:

Bruno Defilippi Bruzzone

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

Pablo Ulloa Fuentes

Ingeniero de Alimentos, Dr.

Boletín INIA / N° 510

INIA La Platina

Santiago, Chile, 2025

ISSN 0717 - 4829

Calidad global de palta 'Hass': bases para responder a los desafíos en manejo de postcosecha

Editores:

Bruno Defilippi B., Ingeniero Agrónomo, Ph.D., INIA La Platina
Pablo Ulloa F., Ingeniero de Alimentos, Dr., INIA La Platina

Autores:

Alejandro Antúnez B., Ingeniero Agrónomo, Ph.D., INIA La Platina
Ana L. Valencia D., Bióloga, Dra., Aroma Global
Bruno Defilippi B., Ingeniero Agrónomo, Ph.D., INIA La Platina
Camila Arancibia G., Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Cristina Vergara H., Ingeniera en Alimentos, Dra., INIA La Platina
Daniel Manríquez B., Ingeniero Agrónomo, Dr., RipeLocker
Daniela Olivares Z., Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra., INIA La Platina
Edgard Álvarez R., Ingeniero Agrónomo, M.Sc., INIA La Platina
Gerardo Nuñez-Lillo, Ingeniero en Biotecnología, Ph.D., Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Gonzalo Salinas G., Magíster Gestión Empresas Agroalimentarias, Rabobank
Pablo Ulloa F., Ingeniero de Alimentos, Dr., INIA La Platina
Raúl Ferreyra E., Ingeniero Agrónomo F y S, Agroingeniería Ltda
Reinaldo Campos-Vargas, Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Universidad de Chile
Romina Pedreschi P., Ingeniero en Alimentos, Ph.D., Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Comité Editor

Claudia Fuentealba C., Ingeniero en Alimentos, Dra., Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Daniel Manríquez B., Ingeniero Agrónomo, Dr., RipeLocker
Rodrigo Candia A., Ingeniero Agrónomo, M.Sc., INIA La Platina
Lida Fuentes V., Bioquímico, Dra. Centro Regional de Estudios en Alimentos y Salud (CREAS)
Soledad Sánchez T., Ingeniero Agrónomo, Dra. INIA La Platina
Iverly Romero M., Ingeniero Agrónomo, Mag., INIA Carillanca

Director Regional INIA La Platina

Bruno Defilippi B., Ingeniero Agrónomo Ph.D.

Boletín INIA N° 510

Cita Bibliográfica:

Defilippi, B. & Ulloa, P. (eds.) (2025). Calidad global de palta 'Hass': bases para responder a los desafíos en manejo de postcosecha. Santiago, Chile. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, N° 510. 200p.

© 2025. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación La Platina. Santa Rosa 11.610, La Pintana, Santiago, Chile.

ISSN 0717-4829

Número de Registro de Propiedad Intelectual: 2025-A-5539

Permitida la reproducción parcial o total citando la fuente y/o autores.

Diagramación: Jorge Berrios V., Diseñador Gráfico

Impresión: A-Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 400

Santiago, Chile, 2025

Índice

Agradecimientos	7
Prólogo	8
Capítulo 1	
Comercialización y proyecciones	9
1.1. Tendencias en el mercado mundial de paltas	9
1.2. Cambios en las exportaciones mundiales de palta en el siglo XXI	9
1.3. Aumento de la oferta y participantes en la década pasada	11
1.4. Comportamiento de los mercados y el freno en el consumo en la década actual	13
1.5. La década actual y tendencias para las próximas temporadas	18
1.6. Referencias	20
Capítulo 2	
Composición química, nutricional y calidad global	23
2.1. Introducción	23
2.2. Desarrollo, maduración y composición de la palta	24
2.2.1. Composición química-proximal de palta variedad 'Hass'	25
2.2.1.1. Lípidos y ácidos grasos	26
2.2.1.2. Carbohidratos	27
2.2.1.3. Minerales, vitaminas y compuestos bioactivos	28
2.2.1.4. Acidez y ácidos orgánicos	30
2.2.1.5. Compuestos aromáticos	32
2.3. Atributos que determinan la calidad y condición de palta 'Hass'	34
2.3.1. Materia seca	37
2.3.2. Firmeza de pulpa	37
2.3.3. Color de epidermis	38
2.3.4. Pardeamiento de pulpa	40
2.3.5. Tiempo a madurez de consumo	40
2.4. Comentarios finales	41
2.5. Referencias	41

Capítulo 3

Factores críticos de precosecha que determinan la calidad y condición	47
3.1. Introducción	47
3.2. Variabilidad en factores agroclimáticos y prácticas de manejo	49
3.2.1. Orientación y ubicación del fruto	51
3.2.2. Riego	52
3.2.3. Nutrición mineral	52
3.2.3.1. Nitrógeno (N)	53
3.2.3.2. Boro (B)	54
3.2.3.3. Calcio (Ca ²⁺)	54
3.2.3.3.1. Factores de calidad que se verán afectados por falta de Ca ²⁺	55
3.3. Pudriciones	63
3.4. Comentarios finales	63
3.5. Referencias	64

Capítulo 4

Estrés ambiental y su efecto en calidad	71
4.1. Introducción	71
4.2. Estrés hídrico	71
4.2.1. Estrés hídrico en climas mediterráneos y su relación con la calidad del fruto	73
4.2.2. Estrategias de manejo de riego y técnicas para reducir la demanda hídrica	74
4.2.3. Efectos del estrés hídrico en la postcosecha	80
4.3. Estrés térmico	83
4.3.1. Estrategias de manejo y técnicas para reducir el estrés térmico	84
4.3.2. Efectos del estrés térmico en la postcosecha	85
4.4. Comentarios finales	89
4.5. Agradecimientos	90
4.6. Referencias	90

Capítulo 5

Sanidad y control de patógenos en postcosecha	97
5.1. Introducción	97
5.2. Sanidad vegetal en palta	97
5.3. Principales enfermedades de postcosecha en palta	99

5.3.1. Antracnosis	100
5.3.2. Pudrición peduncular	102
5.4. Estudios para determinar factores de precosecha y de postcosecha en el desarrollo de pudriciones en Chile	104
5.5. Control de enfermedades de postcosecha en paltas	105
5.6. Comentarios finales	108
5.7. Referencias	108
Capítulo 6	
Desórdenes fisiológicos emergentes	115
6.1. Introducción	115
6.2. Desórdenes emergentes en palta cv. 'Hass'	116
6.2.1. Daño lenticelar	116
6.2.2. Mancha negra o "black spot"	119
6.2.3. Desincronización del color del exocarpio con la firmeza del mesocarpio	123
6.2.4. Daño por frío	128
6.3. Comentarios finales	130
6.4. Agradecimientos	130
6.5. Referencias	131
Capítulo 7	
Tecnología de atmósfera controlada	137
7.1. Introducción	137
7.2. Medición de gases en atmósfera controlada	138
7.3. Efectos sobre la tasa respiratoria y la maduración en postcosecha	139
7.4. La atmósfera controlada como complemento de la cadena de frío	142
7.5. Concentraciones de gases y sus efectos en el almacenamiento de paltas	143
7.6. Logística de cosecha y atraso en el establecimiento de la atmósfera controlada	145
7.7. Efecto de la AC sobre los desórdenes fisiológicos	148
7.8. Heterogeneidad de la materia prima y su importancia en la gestión de extensión de vida útil	149
7.9. Comentarios finales	152
7.10. Referencias	152

Capítulo 8

Etileno: importancia de su regulación en manejo de postcosecha	155
8.1. Introducción	155
8.2. Metabolismo respiratorio y etileno	156
8.3. Mecanismos de control del etileno en postcosecha	157
8.3.1. Uso de absorbedores para el control de etileno en el ambiente	158
8.3.2. Uso de inhibidores de la percepción o acción de etileno: 1-metilciclopropeno	160
8.3.3. Uso de inhibidores de la síntesis de etileno: aminoetoxivinilglicina	170
8.4. Uso de etileno en maduración forzada	172
8.5. Comentarios finales	177
8.6. Referencias	177

Capítulo 9

Tecnologías complementarias utilizadas en postcosecha	179
9.1. Introducción	179
9.2. Tecnologías complementarias utilizadas en paltas	180
9.2.1. Uso de nuevos materiales de embalaje y recubrimientos	181
9.2.2. Aceites esenciales	185
9.2.3. Atmósfera modificada	187
9.2.4. Tratamientos térmicos	189
9.2.5. Irradiación	190
9.2.6. Microorganismos antagonistas (MAs)	192
9.2.7. Almacenamiento en condiciones de baja presión	193
9.2.8. Uso de sanitizantes	194
9.3. Comentarios finales	195
9.4. Referencias	195

Agradecimientos

La información proporcionada en este boletín deriva de la investigación realizada por un grupo destacado de profesionales provenientes de distintas instituciones académicas y empresas. La generación de este conocimiento es posible gracias a la contribución de los autores involucrados en cada capítulo, junto a sus respectivos equipos de trabajo, así como del aporte de entidades públicas y privadas, permitiendo dar una continuidad a este esfuerzo.

Una parte importante de este boletín reúne la experiencia obtenida de la labor ejecutada en los proyectos del programa Fondecyt Regular 1170501, 1220484 y 1220223, financiados por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID).

Agradecemos el valioso apoyo de los productores y empresas exportadoras involucradas en los proyectos mencionados, así como en otras iniciativas coordinadas por los autores de cada capítulo. El objetivo de este documento es, precisamente, que el conocimiento generado en cada temática sea de utilidad para los distintos actores de la cadena de valor de palta 'Hass'.

Finalmente, destacamos que la información entregada en este boletín tiene como propósito actualizar y complementar el conocimiento generado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). En este contexto, es fundamental reconocer el gran aporte de Raúl Ferreyra Espada, quién fue investigador de INIA (Chile), sentando las bases para el trabajo colaborativo e interdisciplinario a nivel de academia e industria.

Prólogo

La producción y exportación de frutas, incluida la palta, es un sector dinámico que enfrenta desafíos cruciales para garantizar la disponibilidad de alimentos para los consumidores. Entre los principales se encuentran el cambio climático, con sus efectos económicos y sociales a nivel global, el significativo incremento en los costos de producción, tanto de mano de obra para labores básicas de manejo, así como el alza en los precios de insumos necesarios para optimizar rendimiento y calidad. Junto con las dificultades en la logística de transporte, el cual es un factor limitante para países proveedores que abastecen a grandes y lejanos mercados.

Desde los inicios del desarrollo frutícola de Chile, la colaboración mutua entre la academia y la industria ha sido clave para abordar estos desafíos, ya que se han sentado las bases para el crecimiento de la producción y exportación de palta 'Hass'. La investigación interdisciplinaria llevada a cabo entre universidades e institutos de investigación ha permitido generar el conocimiento necesario para el desarrollo de tecnologías que aseguren la entrega de una palta de calidad en los mercados de destino, tanto nacional como en mercados externos, tales como el asiático. Sin duda, los avances alcanzados en estas décadas no sólo han beneficiado la producción de palta en Chile, sino que han trascendido a mercados de Sudamérica y otros continentes, contribuyendo a su crecimiento y consolidación.

Al final de la cadena de valor de la producción de palta se encuentra el consumidor, quien exige un producto con calidad global, entendida como la maximización de atributos tales como apariencia, sabor, textura e inocuidad. Dado que un número significativo de consumidores se encuentra en mercados lejanos al lugar de producción, con tiempos de comercialización que superan los 40 días desde la cosecha, el desafío de mantener la calidad hasta su destino final sigue siendo demandante.

El objetivo de este boletín es actualizar el conocimiento en aspectos de fisiología y tecnologías para un óptimo manejo de la palta. Si bien los capítulos se focalizan en la etapa de postcosecha de la fruta, también se han integrado temas fundamentales relacionados con el clima y manejo productivo, factores determinantes en la calidad y condición final de la fruta.

Bruno Defilippi B.
Director Regional INIA La Platina

Capítulo 1

Comercialización y proyecciones

Gonzalo Salinas G.

Magíster Gestión Empresas Agroalimentarias
gesalinas@uc.cl

1.1. Tendencias en el mercado mundial de paltas

Las paltas, uno de los productos con mayor aumento en el consumo durante el presente siglo, han sido denominadas como el 'oro verde' del mercado global de la fruta fresca de exportación, con la variedad 'Hass' liderando las ventas. Tras un importante crecimiento en la década pasada, tanto a nivel de volumen como en el número de países productores, la actual década ha traído desafíos, especialmente para el mercado europeo, afectando la rentabilidad de los productores.

En la actualidad, luego de ajustes en los mercados, se ve un futuro positivo para los mercados de esta fruta, sustentado en la recuperación de la demanda en 2023, el valor de venta de esta fruta y las oportunidades no desarrolladas presentes en nuevos mercados para continuar la expansión en el consumo.

1.2. Cambios en las exportaciones mundiales de palta en el siglo XXI

En el presente siglo, las paltas se han consolidado como uno de los casos más exitosos en el mercado global de frutas frescas. Mientras que algunas frutas muestran estabilidad (manzanas) o disminución (duraznos) en sus exportaciones y consumo a nivel global, las paltas muestran un aumento de sus exportaciones del 771 % entre los años 2000 y 2023, con un crecimiento promedio interanual de 10 % en el mismo periodo (Figura 1.1).

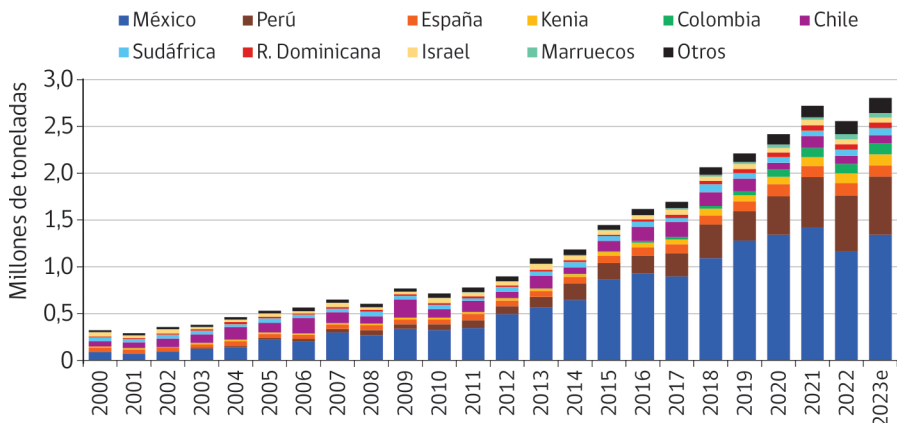


Figura 1.1. Evaluación de la exportación mundial de paltas frescas, 2000–2023e.

Superando las 500.000 toneladas en 2005, el millón de toneladas en 2013, los dos millones en 2018, y con una proyección de alcanzar los tres millones en las próximas tres temporadas.

Gran parte de este crecimiento en la oferta y las exportaciones se debe al aumento de la demanda en los dos principales mercados de destino, Estados Unidos y la Unión Europea, que lideran las importaciones, así como a los dos mayores proveedores de palta ‘Hass’ a nivel mundial, México y Perú, que han experimentado un notable incremento en su producción y exportación.

En primer lugar, las características de esta fruta, especialmente su versatilidad y sus beneficios nutricionales, contribuyeron a su creciente publicidad, lo que aumentó su conocimiento a nivel de los consumidores. En el mercado europeo, durante la década de 2010–2019, su consumo se asoció con una fruta de moda, popular entre las nuevas generaciones en busca de experiencias de consumo que también tuvieran un impacto positivo en su salud. Así, mientras en Europa las paltas eran vistas como la fruta de los ‘hipsters’, con el avocado toast como su emblema, en Estados Unidos se vivía una transformación relacionada con la población latina.

Si bien las paltas o aguacates tienen su origen en Centroamérica, la principal variedad consumida ‘Hass’, tiene su origen en Whittier California hace un poco más de 100 años (Avocado Variety Collection, 1974). Hasta la década de los 90, la oferta de paltas en el mercado estadounidense estaba limitada a una producción local y complementada con la oferta de Chile en los meses de otoño e invierno del hemisferio norte. Una vez que la oferta mexicana del estado

de Michoacán lograra la autorización para poder exportar a este mercado en 1994 (Economic Research Service, 2019), no hubo vuelta atrás. Con una tasa de crecimiento interanual de 21 % durante el presente siglo, las importaciones de paltas mexicanas desde Estados Unidos siguen aumentando gracias a un alto porcentaje de población latina, mayoritariamente con raíces mexicanas, principal consumidor mundial de paltas. Lo anterior, sumado a importantes esfuerzos en marketing, con notables campañas promocionales en las semanas anteriores y durante el Superbowl. Además de celebraciones por el cinco de mayo, han llevado a aumentar el consumo de paltas en Estados Unidos desde 1 (kg/persona) a principios de siglo a 4,2 (kg/persona) en el año 2023.

1.3. Aumento de la oferta y participantes en la década pasada

A partir del año 2010, se comienza a observar un crecimiento de la disponibilidad global de paltas, gracias al aumento en la producción, principalmente de México y Perú. En tanto, la alta demanda en los mercados de Estados Unidos y la Unión Europea permitió buenos precios de venta a nivel mayorista y minorista. Además de buenos retornos a los productores, que a su vez generaron nuevas inversiones con un crecimiento sostenible de la producción y de la industria a lo largo de la década anterior.

Esta bonaza observada en las paltas, tanto a nivel demanda como de rentabilidad, también generó el ingreso de nuevos actores en el escenario global de la producción de variedad 'Hass' para exportación. Principalmente en África, donde a los productores tradicionales como Sudáfrica y Kenia se sumaron países como Marruecos, Tanzania, Costa de Marfil, Mozambique, Zimbabue y Etiopía. Cabe destacar que, en el año 2010, Sudáfrica y Kenia representaban el 97 % de las exportaciones de palta de África, mientras que en 2023 esta cifra disminuyó al 65 %. De la misma manera, el crecimiento promedio interanual de los envíos de palta desde África entre 2010 y 2023 fue de 13 % (Figura 1.2).

En el caso de Sudamérica, durante la última década, Perú se consolidó como el principal productor y exportador de palta 'Hass' (Figura 1.3). En Chile, diversos factores, como la menor disponibilidad de agua debido a extensos periodos de sequía y la menor disponibilidad de zonas aptas para la producción, llevaron a que la producción nacional alcanzara estabilidad tras el techo alcanzado en 2009.

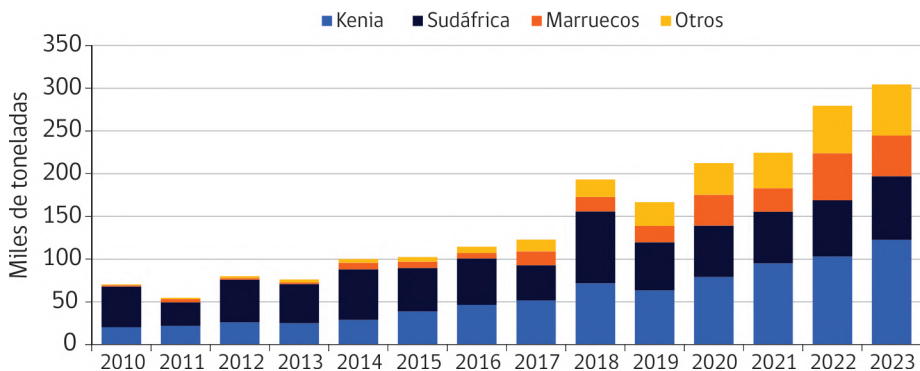


Figura 1.2. Exportaciones de palta fresca de África a diferentes mercados (2010-2023).

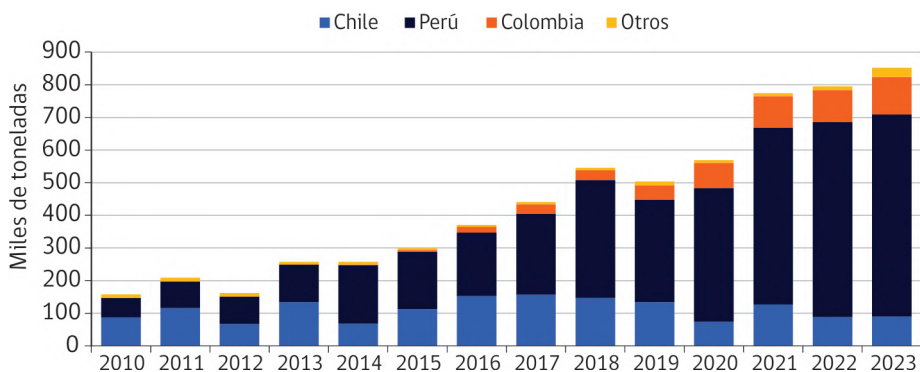


Figura 1.3. Exportación de paltas de Sudamérica a diferentes mercados.

En los últimos años, la producción se ha visto afectada por fenómenos climáticos puntuales, como heladas en 2020 y 2022, que le han impedido alcanzar el verdadero potencial. Esta estabilidad en la producción chilena fue aprovechada por Colombia, que desde 2013 comenzó a exportar palta 'Hass', posicionándose como el segundo proveedor más importante de la región.

La producción de paltas en Perú presenta diferencias puntuales con otras zonas como México, California o Chile. Concentrada en la zona de La Libertad, en el norte del país (Flores-Izquierdo & Espinoza-Villanueva, 2023), las altas temperaturas en promedio y menor variabilidad térmica, la ausencia de heladas y otros factores, ayudaron a lograr rendimientos más altos que otros países productores. A su vez, los buenos precios logrados a inicios y mediados de la década pasada,

provocaron un aumento de las plantaciones de palta 'Hass' por parte de pequeños productores, los cuales representan el 94 % de los participantes y el 40 % de la superficie plantada, con tamaños entre 0 y 5 hectáreas (Fresh Plaza, 2024). Esto, a diferencia de otras industrias exitosas en Perú como los arándanos y la uva de mesa de exportación, que presentan una mayor participación de actores de mediano y gran tamaño. Este factor también ha jugado en contra, con mayor intensidad en la década actual, respecto del menor control de la calidad de la oferta de Perú y también respecto de los precios más bajos recibidos en los últimos cuatro años, haciendo más delicada la situación financiera de los pequeños productores.

1.4. Comportamiento de los mercados y el freno en el consumo en la década actual

Durante 2010 y 2019, la exportación de paltas presentó un crecimiento promedio interanual del 13 %, más alto que la década anterior (10 %) y la actual (5 %).

Como se mencionó anteriormente, Estados Unidos y la Unión Europea lideran las importaciones de palta. Por otro lado, los mercados restantes, excepto Latinoamérica y Australia, presentan un consumo relativamente bajo, pero con diversas oportunidades de crecimiento. Sin embargo, existen diferencias significativas en el comportamiento de cada mercado, lo que requiere un análisis más detallado.

En primer lugar, el mercado de Estados Unidos ha mostrado un notable crecimiento de la demanda que todavía no muestra señales de madurez. El principal proveedor es México, con una clara ventaja en cuanto a ubicación, lo que implica un menor costo de transporte, ya que casi la totalidad de la oferta se envía de manera terrestre en camiones, permitiéndole llegar al mercado en un tiempo menor que sus competidores. Esto, además le permite un mayor control sobre la cantidad y calidad de la oferta enviada, lo que lleva a una mejor calidad de la fruta que se vende en el retail norteamericano. En este factor, hay que destacar que los arribos de palta en el mercado de Estados Unidos son mucho más estables que en el mercado de la Unión Europea, sin periodos extensos de sobreoferta que pudieran provocar presión en las ventas. Los arribos de palta en este mercado son liderados por México durante todo el año, pero con un periodo de menor oferta entre junio y agosto, que ha sido aprovechado en los últimos años por Perú y Colombia para posicionar su oferta (Figura 1.4).

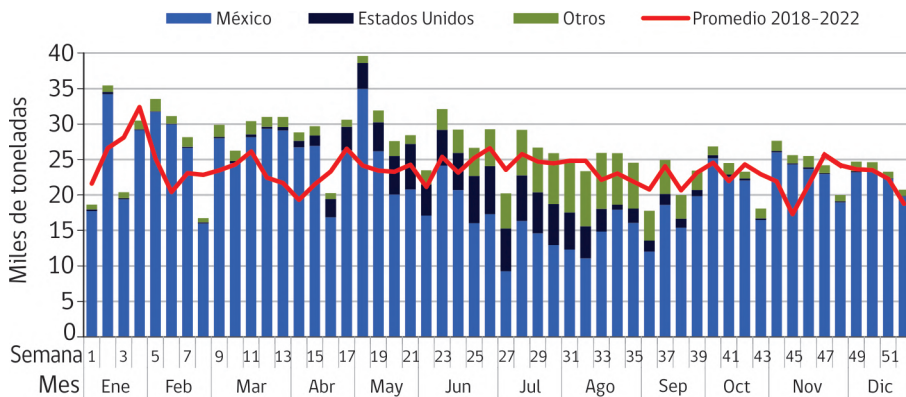


Figura 1.4. Dinámica semanal de los arribos de palta en Estados Unidos, año 2023.

En segundo lugar, en los últimos años el precio de venta para las paltas en el mercado de Estados Unidos, ha respondido frente a episodios puntuales de alteración de la oferta, como lo han sido las interrupciones de inspección fitosanitaria por parte del USDA en 2022 (Latimes, 2022) y 2024 (Nytimes, 2024) limitando puntualmente la exportación de paltas de México a Estados Unidos. Pese a estos inconvenientes, el precio de venta sigue ubicándose en un lugar rentable para productores mexicanos, que continúa fomentando nuevas plantaciones en distintas regiones (por ejemplo, estado de Michoacán). Sobre este punto, cabe destacar que en el año 2021 el estado de Jalisco logró la aprobación para poder exportar paltas a Estados Unidos, lo que generó, en primer lugar, un desvío de la exportación de paltas de este estado, desde la Unión Europea y otros destinos, hacia el mercado estadounidense.

Lo anterior consolidará aún más la posición de México como el principal proveedor de paltas en los Estados Unidos, sin lugar a una competencia real con paltas de otros orígenes. Además, el consumo de paltas en Estados Unidos, al ubicarse en 4,2 (kg/persona) en 2023, todavía tiene espacio para continuar creciendo y ponerse a tono con los líderes mundiales, tales como Australia, Chile y México, con consumos sobre los 4,5, 8 y 10 (kg/persona) respectivamente. Esto, sumado a la creciente participación de los latinos o hispanos en la composición de la población de la generación Z de los Estados Unidos, sustenta un aumento de la demanda en el mediano y largo plazo en este mercado. Principalmente, porque esta generación es la que está entrando a integrar el poder comprador, pero también porque muestran importantes diferencias con sus predecesoras, como una predilección por el consumo de productos más saludables y de experiencias, realizando una compra más informada.

El mercado de la Unión Europea es quizás el más familiar para la industria chilena de paltas de exportación. En las últimas 10 temporadas, este mercado ha representado el 67 % de los envíos. Esto se debe principalmente por dos factores: la ventana de mercado que cubre la oferta chilena y la excepcional calidad de sus paltas.

Respecto del primer punto, y a diferencia de lo que se ilustró en el caso del mercado de Estados Unidos, el mercado europeo presenta un número de actores mucho mayor. Durante las 52 semanas del año, este mercado recibe palta de alrededor de 15 países de norte, centro y Sudamérica, África e incluso Europa (Figura 1.5). Pese al alto número de participantes, de forma similar al mercado de Estados Unidos, el mercado europeo tiene un líder en términos de volumen, Perú. Este país concentra el 35 % de las importaciones de palta desde la Unión Europea, con una ventana de mercado que se extiende desde marzo hasta agosto o septiembre, dependiendo del tipo de temporada (adelantada o atrasada). Durante los últimos años, el peak de temporada de Perú ha presentado exceso de arribos, además de una alta concentración en los meses de mayo, junio y julio, durante los cuales el precio de venta en los mercados mayoristas de los Países Bajos disminuye fuertemente, incluso acercándose a 1 (€/kg) en las peores semanas de 2021, 2022 y 2023, de acuerdo a Rabobank (2024).

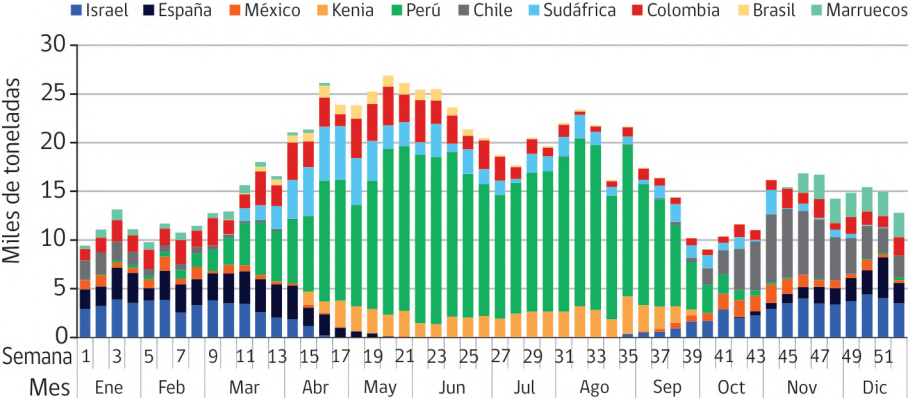


Figura 1.5. Dinámica semanal de arribos de palta en Europa, año 2023.

Sobre el segundo punto, hay que destacar que uno de los principales componentes que influyen en la calidad de la palta son los lípidos (Defilippi *et al.*, 2015), donde la acumulación en la pulpa es fuertemente dependiente de las temperaturas, siendo más lenta con el aumento de las temperaturas (Redagrícola, 2022). En

el caso de la palta chilena, al presentar una mayor diferencia de temperaturas en el periodo de crecimiento en árbol, logra una mayor cantidad de aceite al ser cosechada y mejor calidad en destino. En el caso de la palta peruana, tanto por condiciones de producción y características de esta fruta como por labores de manejo en destino, ha mostrado mayor susceptibilidad al desarrollo de problemas de postcosecha en los mercados de destino, destacando daños por frío, maduración rojiza y otros daños de origen microbiológico (Rodríguez, 2022).

Sobre ambos puntos hay que destacar que los principales factores asociados al precio de venta de las paltas en el mercado mayorista de los Países Bajos son precisamente el nivel de oferta presente en el mercado y la calidad. Se ha observado que, en los últimos cinco años, el precio de las paltas de Perú, cae por debajo de los 2 (€FOT/kg) cuando los arribos sobrepasan los 500 contenedores semanales. Mientras que a nivel de calidad se ha observado que las paltas de calibres 14, 16 y 18 son las que obtienen los mejores precios por sobre las paltas de mayor y menor tamaño, de acuerdo a Rabobank (2024). Dado lo limitado de la oferta de Chile en Europa (72.200 t en promedio en los últimos cinco años), comercializada principalmente entre los meses de septiembre y diciembre, junto con la alta calidad, ha llevado a que se logren los precios mayoristas más altos en igual periodo (Figura 1.6).

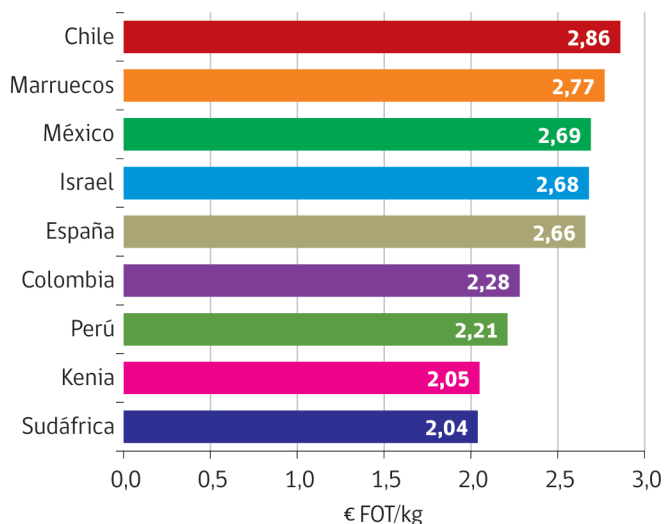


Figura 1.6. Precios promedio de paltas en el mercado mayorista de Rotterdam, 2019-2023.

En otros mercados de destino como Asia (con excepción de Japón) y Medio Oriente, las paltas continúan siendo un producto prácticamente desconocido, con consumos per cápita muy bajos. Diversos países exportadores de paltas han tanteado el mercado asiático, debido a la enorme oportunidad que presenta considerando su alta población y el crecimiento de la clase media. Además de la buena publicidad que ha logrado esta fruta en los mercados de Estados Unidos y Europa, en países como China, Vietnam y otros países del sudeste asiático. Se han realizado diversas campañas de marketing y sobre todo educación a los consumidores sobre la versatilidad de las paltas y sus distintas formas de consumo. Esto ha llevado a que las importaciones en este continente han aumentado un 254 % desde el año 2010 (a un 10 % anual), pero solo comandadas por tres países: Japón, China y Corea del Sur, que representan el 88 % del total (Figura 1.7).

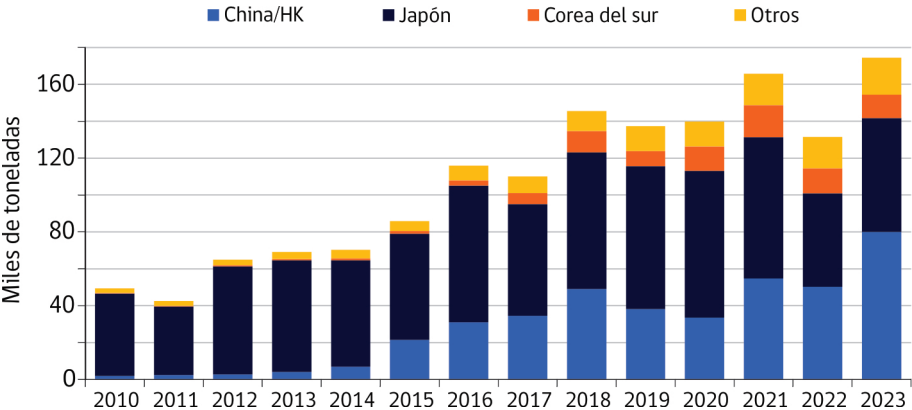


Figura 1.7. Importaciones de palta en Asia, 2010-2023.

Si bien, en comparación con Europa y Estados Unidos, las importaciones de paltas en Asia continúan siendo bajas, las oportunidades de desarrollar estos mercados son muy grandes, razón por la cual, en los próximos años, seguiremos viendo una mayor participación y entrada de nuevos actores, esforzados en aumentar sus envíos de palta a este mercado.

Finalmente, el mercado de Latinoamérica muestra una interesante dualidad entre alta producción y consumo, pero también con oportunidades a desarrollar. Tanto México como Chile presentan tasas de consumo de palta ‘Hass’ sobre los 8 (kg/persona), mientras que el país que les sigue, Argentina, presenta solamente 600 gramos. Cabe destacar que al considerar la producción total

de paltas (incluyendo variedades de piel verde o variedades locales) países como Perú, Brasil y Colombia presentarían una disponibilidad mayor, pero actualmente, la mayoría del comercio internacional de paltas está dominado por la variedad 'Hass'. Hecho el paréntesis, la baja disponibilidad per cápita de palta 'Hass' en los países de Latinoamérica, con excepción de Chile y México, presenta una gran oportunidad para desarrollar los mercados locales en países productores como Perú, Colombia o Ecuador, o seguir potenciando el consumo en otros como Argentina, un histórico importador de la oferta de Chile y Perú. Por su parte, Brasil se ha ubicado como un importante productor de paltas de piel verde, principalmente variedades locales como Breda y Margarida. Pero en los últimos años, la producción de palta 'Hass' para exportación ha aumentado, presentando en el año 2023 un crecimiento de 143 % en sus envíos, alcanzando las 26.165 toneladas. Este aumento en la producción de palta 'Hass' ha llevado a potenciar el consumo en el mercado interno, donde ha sido necesaria la educación a los consumidores locales debido al poco conocimiento y menor consumo de la variedad 'Hass', diferenciando en este mercado entre 'abacate manteiga' para referirse a las paltas locales de piel verde y menor contenido de grasa, y 'avocado' para referirse a las 'nuevas' paltas 'Hass' (PROCHILE, 2012).

1.5. La década actual y tendencias para las próximas temporadas

Durante la década actual, se han observado diferentes tendencias en los principales mercados. En el caso de Estados Unidos, la demanda de paltas continúa creciendo de manera constante, registrando en 2023 la cifra más alta de disponibilidad per cápita con 4,2 (kg/persona). Esta tendencia continuará al alza en las próximas temporadas, ya que México tiene ahora dos estados autorizados para exportar paltas a Estados Unidos (Michoacán y Jalisco), mientras que Perú y Colombia también planean aumentar su exportaciones, apoyados por las principales empresas exportadoras.

En el mercado europeo, aunque el inicio de la década fue más turbulento, el panorama comienza a mejorar a medida que avanza el tiempo. Entre 2020 y 2022, el crecimiento de las importaciones de palta en la Unión Europea disminuyó notablemente en comparación con la década anterior (2010-2019), tanto en valor (19 % frente al 5 %) como en volumen (11 % frente al 4 %).

Por un lado, la pandemia de Covid-19 comenzó a mostrar sus efectos en la economía de Europa, afectando las ventas del sector de fruta fresca en 2020 y 2021. En 2022, la guerra entre Rusia y Ucrania agregó más dificultades a un mercado que ya estaba afectado. Además, la disminución de la confiabilidad de los servicios de transporte marítimo agravó aún más la situación ese mismo año. Como resultado, en 2021, el valor unitario de importación de paltas en la Unión Europea disminuyó por segunda vez desde 2010 (Figura 1.8).

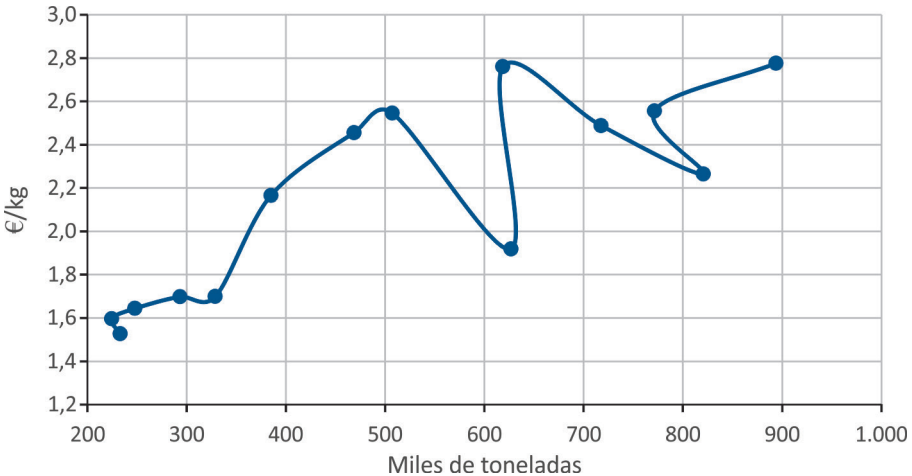


Figura 1.8. Relación entre arribos de palta (eje X) y valor unitario de importación (eje Y) en el mercado de la Unión Europea, 2010-2023.
Nota: Ejes no inician en cero para ilustrar mejor la variación de precios.

Adicionalmente, la creciente preocupación por el consumo de productos más sustentables con el medio ambiente, ha generado un mayor escrutinio por parte de la población europea sobre diversos productos importados. Las paltas no han sido la excepción, principalmente debido a su huella hídrica y la larga distancia de transporte entre los países productores en América del Norte y del Sur o África y el mercado de la Unión Europea, lo que repercute en su huella de carbono. Pese a ello, durante la campaña del verano europeo de 2023 y la última temporada de invierno del hemisferio norte 2023/24, comenzó a observarse una recuperación en la demanda, con incrementos en los precios tanto a nivel de importación como a nivel mayorista. Incluso en 2023 y temporada 2023/24, a pesar de presentar un mayor volumen de arribos, el valor unitario de importación aumentó, y se prevé que en 2024 alcance un nivel histórico cercano a los 3 (€/kg). Por lo tanto, la demanda de paltas comienza a mostrar signos de recuperación

en el mercado europeo. A esto se suma el mantenimiento de las positivas tendencias de aumento en la disponibilidad per cápita en Estados Unidos, junto con el alto potencial de desarrollo de los mercados en Asia y Latinoamérica. Todo esto sugiere un futuro prometedor para el mercado global de la palta,

Si bien se espera un aumento en la oferta, tanto en términos de número como de la cantidad exportada, esto también contribuirá a mejorar la calidad de la oferta en general y a aumentar la competencia en los mercados. Estos, a su vez, seguirán diversificando sus destinos y ampliando la base de consumidores.

1.6. Referencias

Avocado Variety Collection. UC Riverside. Avocado Society Yearbook (1974). A Short History of the Hass Avocado. <https://avocado.ucr.edu/short-history-hass-avocado/> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

Defilippi B., Bruno, Ferreyra E., Raúl, Rivera S., Sebastián (2015). Optimización de la calidad de Palta Hass: Herramientas para enfrentar nuevos desafíos [en línea]. La Cruz, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 307. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7839> (Consultado: 6 de diciembre de 2024)

Economic Research Service (2019). U.S. Department of Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chart-id=93750> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

Flores-Izquierdo, M.A., Espinoza-Villanueva, L.E. (2023). Situación actual y perspectivas de la producción de palta (Persea americana) peruana en el contexto del comercio internacional. Ing. Ind. 157-173. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6316>

Fresh Plaza (2024). El 40 % de la superficie plantada de palta Hass en Perú está en manos de pequeños productores. <https://www.freshplaza.es/article/9519670/el-40-de-la-superficie-plantada-de-palta-hass-en-peru-esta-en-manos-de-pequenos-productores/> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

Los Angeles Times. Mark Stevenson (2022). EEUU suspende importación de aguacate mexicano tras amenazas. <https://www.latimes.com/espanol/eeuu/articulo/2022-02-13/eeuu-suspende-importacion-de-aguacate-mexicano-tras-amenazas> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

PROCHILE (2012). Oficina Comercial de São Paulo. Estudio de Mercado Palta en Brasil

Rabobank Research (2024). Fresh Produce. <https://research.rabobank.com/far/en/sectors/fresh-produce/global-avocado-update-2024-trade-gradually-shifting-as-industry-expands.html> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

Fichet T. & Silva C. (2022). La temperatura y su relación con la acumulación de lípidos durante el desarrollo de la palta Hass en el árbol. <https://redagricola.com/la-temperatura-y-su-relacion-con-la-acumulacion-de-lipidos/> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

Rodríguez G. (2022). Postcosecha. Congreso Ecuatoriano del Aguacate 2022. Ibarra, Ecuador.

The New York Español. Emiliano Rodríguez Mega (2024). EE. UU. suspende inspecciones de aguacate en México por alertas de seguridad. <https://www.nytimes.com/es/2024/06/18/espanol/ee-uu-suspende-inspecciones-aguacate-mexico-seguridad.html#:~:text=En%202022%2C%20Estados%20Unidos%20decidi%C3%B3,para%20los%20inspectores%20del%20USDA.> (Consultado: 06 de diciembre de 2024)

Capítulo 2

Composición química, nutricional y calidad global

Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.
pablo.ulloa@inia.cl

Cristina Vergara H.

Ingeniera en Alimentos, Dra.

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

2.1. Introducción

La palta se caracteriza por ser una de las pocas frutas de consumo directo con alto contenido lipídico. Es reconocida por su aporte en ácidos grasos de buena calidad como el ácido oleico (sobre el 50 % de su contenido de lípidos) y sus efectos moduladores en el organismo.

Al ser una buena fuente de lípidos, la palta también aporta cantidades significativas de antioxidantes de naturaleza lipídica, como los tocoferoles (vitamina E) y los carotenoides (luteína), compuestos conocidos por sus propiedades antioxidantes en el organismo. Además, gracias a su alto contenido de potasio, se recomienda en dietas bajas en sodio (Lin & Li, 2024; Vivero *et al.*, 2019; Teng *et al.*, 2016; Pahuá-Ramos *et al.*, 2012).

La palta posee una alta aceptabilidad y palatabilidad debido a características sensoriales, como sabor y textura. Se reconocen sus propiedades saludables gracias a su composición en ácidos grasos de buena calidad, así como por su aporte de vitaminas y minerales. Es una fruta recomendada para el consumo humano, ya que puede contribuir a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, posee efectos antioxidantes, modula el perfil lipídico, disminuye la inflamación, reduce el estrés oxidativo y mejora la sensibilidad a la insulina, entre otras propiedades beneficiosas (Figura 2.1).

Nutrientes y compuestos activos:

- ✓ Ácido Oleico
- ✓ Minerales
- ✓ Tocoferoles
- ✓ Carotenoides
- ✓ Energía



Propiedades Saludables:

- Efecto positivo sobre salud cardiovascular
- Efecto antioxidante
- Reduce inflamación y estrés oxidativo
- Modula perfil lipídico
- Efecto benéfico sobre control de diabetes

Figura 2.1. Aporte de nutrientes y compuestos bioactivos claves de la palta y sus propiedades saludables.

2.2. Desarrollo, maduración y composición de la palta

La palta es una baya de piel verde oscura y de pulpa verde, con un peso de aproximadamente entre 150 a 400 g. Del total del fruto, la pulpa representa el 73 %, la piel el 11 % y la semilla el 16 % restante (Salazar-López *et al.*, 2020). El crecimiento de esta fruta en el árbol describe una curva sigmoidea, caracterizada por un periodo inicial de rápido crecimiento (Figura 2.2), durante el cual ocurre una rápida división celular que se extiende a lo largo del desarrollo hasta la cosecha (Van den Dool & Wolstenholme, 1983).

El proceso de maduración se gatilla solo después de la cosecha, con el inicio del ablandamiento y el cambio de color de la fruta. En frutas climatéricas, la tasa de maduración es muy rápida y se caracteriza por un aumento significativa de la tasa respiratoria y de producción de etileno (ver Capítulo 8). Durante la etapa de maduración

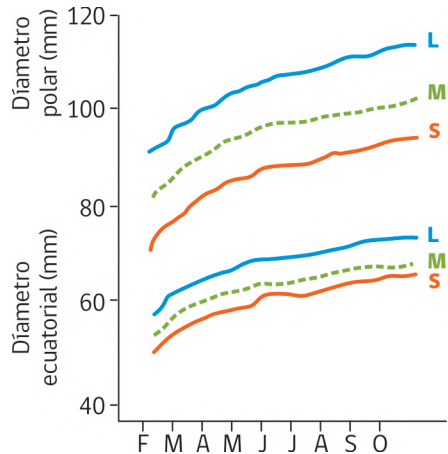


Figura 2.2. Curva de crecimiento del fruto (diámetro polar - diámetro ecuatorial) de frutos categorizados como: L (Large), M (Medium) y S (Small). Fuente: Van den Dool & Wolstenholme (1983).

se producen una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos, que determinan características conocidas como “criterios de calidad”, entre las cuales destacan la apariencia (tamaño, color, forma), los cambios en la textura, la composición nutricional y, en etapas más avanzadas, el desarrollo de defectos internos y externos, como el pardeamiento (Wills *et al.*, 2007).

2.2.1. Composición química-proximal de palta variedad ‘Hass’

La palta es un fruto cuya composición química proximal destaca por su alto contenido de lípidos o grasas, con un amplio rango en la variedad ‘Hass’, dependiendo de la época cosecha. Su composición general, así como su aporte en nutrientes y energía, se presenta en el Cuadro 2.1 (Araújo *et al.*, 2018; INTA, 2018; USDA, <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/2710824/nutrients>; Dreher & Davenport, 2013).

Cuadro 2.1. Composición química-proximal de palta ‘Hass’, expresada por 100 g y por porción comestible.

Componente	Valor en 100 g	1 fruta*
Energía (kcal)	160 - 167	227
Humedad (g)	72,3 - 73,2	98,4
Proteínas (g)	1,96 - 2,0	2,67
Carbohidratos (g)	1,8 - 2,0	11,8
Fibra dietaria total (g)	6,7 - 6,8	9,2
Lípidos totales (g)	14,7 - 15,4	21,0
Ác. grasos saturados (g)	2,13 - 2,6	
Ác. grasos monoinsaturados (g)	9,8 - 10,7	
Ác. grasos poliinsaturados (g)	1,8 - 2,0	
Cenizas (g)	1,6	

*Fruta madura, sin piel y sin semilla (-136 g).

Se estima que el contenido de ácidos grasos monoinsaturados de la palta puede alcanzar hasta 15 g por cada 100 g de fruta, siendo el mayoritario el ácido oleico representando aproximadamente el 58 % del contenido total de ácidos grasos (Pieterse *et al.*, 2003). La palta no sólo es una excelente fuente de ácido oleico, también contiene una importante cantidad de antioxidantes liposolubles y compuestos bioactivos.

Particularmente, la palta 'Hass' corresponde a la variedad de fruto más cultivada y comercializada en el mundo. Contiene una gran variedad de nutrientes, entre ellos potasio, magnesio, vitamina A, C, E, K, niacina, riboflavina, ácido pantoténico, folato, piridoxina y una alta cantidad de fibra dietaria y, debido a su particular composición, su ingesta puede contribuir a combatir los riesgos de enfermedades cardiovasculares y algunas enfermedades metabólicas (Araújo *et al.*, 2018; Salazar-López *et al.*, 2020).

Consumir 100 g de palta aporta un quinto de las necesidades diarias de vitaminas C, B6 y E (Dreher & Davenport, 2013) y cerca de un 10 % de las calorías de una dieta base de 2.000 cal. Con respecto al contenido de minerales, destaca su aporte de potasio (507 mg/100 g) y bajo contenido en sodio (8 mg/100 g) lo cual ayudaría a controlar la presión arterial y con ello el riesgo de la presencia de accidentes vasculares (Araújo *et al.*, 2018).

2.2.1.1. Lípidos y ácidos grasos

Los lípidos o grasas aportan energía, y los ácidos grasos esenciales (suministrados por la dieta) aportan a diversas funciones en el organismo, destacando como transporte de las vitaminas liposolubles (A, D, E y K). Los lípidos son compuestos que contienen uno o más ácidos grasos y es esta combinación la que determina las características físicas y nutricionales del lípido. Éstos son los componentes principales de la pulpa de la palta, representando entre el 60 % y el 80 % de la materia seca, siendo la cantidad y calidad de lípidos presentes los principales responsables del sabor, la textura y las cualidades nutricionales de la fruta (Yousef & Hassaneine, 2010).

Los lípidos se sintetizan únicamente durante el crecimiento del fruto en el árbol, y no durante la maduración ni el almacenamiento. Por ende, es en esta etapa de desarrollo cuando se determina la composición lipídica que tendrá el fruto al alcanzar la maduración (Requejo-Tapia *et al.*, 1999; Araújo *et al.*, 2018). El aumento de la concentración de aceite durante el almacenamiento y la maduración se ha relacionado con la deshidratación posterior a la cosecha, en cambio, el aumento de la concentración de aceite durante la maduración se atribuye a una mayor recuperación de lípidos debido a la ruptura parcial de la pared celular (Pedreschi *et al.*, 2016).

En el mesocarpio (pulpa) de la palta se pueden encontrar ácidos grasos de cadena larga, con 16 o más átomos de carbono. Los tipos de lípidos presentes en este

fruto incluyen triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos. En paltas maduras, aproximadamente el 85 % de estos lípidos son triglicéridos y están normalmente destinados como material de almacenamiento para proporcionar fuentes de carbono y energía. Respecto al contenido de ácidos grasos presentes en palta 'Hass', se caracteriza por tener un perfil en orden decreciente de ácidos grasos monoinsaturados, saturados y poliinsaturados (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Perfil de ácidos grasos de palta 'Hass'.

Tipo de ácido	Nombre/ nomenclatura	Contenido (g/100g)	1 fruta*
Ácidos Grasos Saturados (13 - 15 %)	Palmítico/C16:0	2,1	2,9
Ácidos Grasos Monoinsaturados (64 - 72 %)	Palmitoleico/C16:1	0,7	0,9
	Oleico/C18:1	9,1	12,3
Ácidos Grasos Polinsaturados (11 - 13 %)	Linoleico/C18:2	1,7	2,3
	α-Linolénico/C18:3	0,13	0,2

*Fruta madura, sin piel y sin semilla (~136 g).

Por consiguiente, debido a su bajo porcentaje de grasas saturadas y alto contenido de ácido oleico, el consumo de palta puede contribuir a prevenir enfermedades cardiovasculares, modular el colesterol y los triglicéridos (Pacheco *et al.*, 2022). El perfil de ácidos grasos, aunque varía según el tiempo de cosecha, no parece estar relacionado con el evento de maduración en sí (Meyer & Terry, 2010). Al estudiar la evolución del perfil de los ácidos grasos se puede observar que el mayor cambio ocurre durante el inicio y el final de la temporada de cosecha, en donde los ácidos oleico, linoleico y linolénico son los que más cambios presentan (Kaiser & Wolsstenholme, 1994; Requejo-Tapia *et al.*, 1999; Meyer & Terry, 2010).

2.2.1.2. Carbohidratos

En palta, los carbohidratos son una fuente esencial de energía para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento (Liu *et al.*, 1999a). Durante el desarrollo, la mayoría de las frutas (por ejemplo, kiwi, manzana, mango y plátano) utilizan el almidón como única fuente de almacenamiento de carbono (C) y, por ende, de energía. Por el contrario, la palta almacena carbohidratos tanto en forma de almidón como de lípidos. Tal vez debido a esta particularidad, no acumula tantos azúcares, y estos resultan menos relevantes que los lípidos para su metabolismo.

Los carbohidratos presentes en la palta alcanzan valores aproximados de 2 g por cada 100 g de fruta y se componen principalmente de fibra dietaria (alrededor del 80 %), de la cual el 70 % corresponde a fibra insoluble y el 30 % a fibra soluble, como celulosa, hemicelulosa y pectina (Dreher & Davenport, 2013). Se han identificado cinco azúcares principales, que constituyen cerca del 98 % de los azúcares solubles totales, tales como sacarosa (60 mg/100 g), fructosa (80 mg/100 g) y glucosa (80 mg/100 g), y dos azúcares poco comunes de 7 carbonos (C7), el azúcar reductor D-manoheptulosa (0 - 3,8 mg/100 g) y su forma reducida el perseitol (0 - 2,06 mg/100 g) (Liu *et al.*, 1999b; Pedreschi *et al.*, 2016; Araújo *et al.*, 2018).

A lo largo de la maduración, se observa una disminución significativa de los azúcares del fruto, llegando los azúcares C7 a casi desaparecer cuando el fruto está completamente maduro (Liu *et al.*, 1999b; Liu *et al.*, 2002). A medida que aumenta el contenido de aceites, disminuyen los azúcares, sugiriendo que estos azúcares desempeñan un papel importante en la respiración durante el proceso de maduración del fruto (Ford *et al.*, 2023).

Como se ha mencionado, la maduración de la palta no ocurre en el árbol y sucede una vez que el fruto es cosechado. Se cree que existiría un inhibidor de la maduración en el árbol de palta que impide que se inicie el proceso en el mismo y que podría funcionar como una sustancia aniónica que cambia su concentración a medida que la cosecha progresa (Werman & Neeman, 1987; Ford *et al.*, 2023). La D-manoheptulosa ha sido postulada como un posible inhibidor de la maduración del fruto, cumpliendo un papel multifuncional durante la precosecha y posteriormente en postcosecha siendo un importante factor en la mantención de la calidad del fruto y en la inhibición de la maduración (Liu *et al.*, 2002; Tesfay *et al.*, 2012).

A medida que el tiempo de permanencia en el árbol progresa, se produce una variación en la concentración de este azúcar. Los frutos de cosechas más tardías presentan niveles muy bajos de este compuesto (Meyer & Terry, 2010).

2.2.1.3. Minerales, vitaminas y compuestos bioactivos

El contenido mineral de la palta incluye una abundante cantidad de potasio (K), fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca) y sodio (Na), además de otros minerales como hierro (Fe) y zinc (Zn) (Cuadro 2.3). Estos materiales desempeñan un papel importante en la protección del sistema inmunitario frente a infecciones y procesos inflamatorios (Dreher & Davenport, 2013; Nasri *et al.*, 2023). El alto contenido de potasio y el bajo contenido de sodio hacen que su consumo sea beneficioso para personas que siguen dietas bajas en sodio, brindando protección contra enfermedades cardiovasculares (Araújo *et al.*, 2018).

Cuadro 2.3. Contenido de minerales, vitaminas y compuestos bioactivos en palta 'Hass'.

Componente	Valor en 100 g	1 fruta*
Minerales:		
Potasio (mg)	507,0	690,0
Fósforo (mg)	54,0	73,0
Magnesio (mg)	29,0	39,0
Calcio (mg)	13,0	18,0
Sodio (mg)	8,0	11,0
Boro (mg)	2,0	2,7
Zinc (mg)	0,7	0,9
Hierro (mg)	0,6	0,8
Vitaminas:		
Vitamina A (µg)	7,0	10,0
Vitamina B6 (mg)	0,29	0,4
Vitamina C, ácido ascórbico total (mg)	8,8	12,0
Vitamina K (filoquinona, µg)	21,0	28,6
Vitamina E (alfa-tocoferol) (mg)	2,0	2,7
Beta tocoferol (mg)	0,04	0,05
Gama tocoferol (mg)	0,32	0,44
Delta tocoferol (mg)	0,02	0,03
Tiamina (mg)	0,08	0,10
Riboflavina (mg)	0,14	0,2
Niacina (mg)	1,9	2,6
Folato DFE (µg)	89,0	121,0
Compuestos Bioactivos:		
Beta caroteno (µg)	63,0	86,0
Alfa caroteno (µg)	24,0	33,0
Beta criptoxantina (µg)	27,0	37,0
Luteína + zeaxantina (µg)	271,0	369,0
Contenido de Fenoles Totales (GAE; mg)	20,0	27,2
Epicatequin (mg)	0,48	0,7
Epigallocatequina (mg)	1,03	1,4
Cianidina (mg)	0,5	0,68
Nargenina (mg)	0,007	0,010
Quercitina (mg)	0,557	0,76

*Fruta madura, sin piel y sin semilla (~136 g). Fuente: Ford et al. (2023).

En cuanto al contenido de vitaminas, se ha identificado la presencia de la vitamina D en palta; sin embargo, no se han publicado valores específicos. No obstante, se ha informado que el contenido de vitamina D en la palta es superior al de la mantequilla y los huevos. Se reporta que las vitaminas C y E y la provitamina A (β -caroteno) funcionan como antioxidantes y protegen contra los daños causados por los radicales libres de oxígeno (ROS).

Se ha observado que la actividad antioxidante en frutos cosechados de forma temprana, después de 35 días de almacenamiento, es significativamente mayor en comparación con frutos cosechados de forma tardía y almacenados durante 21 días. Por lo tanto, la cosecha anticipada podría ser una estrategia viable para obtener beneficios económicos según la demanda del mercado, además de conservar el alto valor nutritivo del fruto para la salud humana (Ford *et al.*, 2023).

El contenido de carotenoides, como luteína, es destacable y se recomienda por sus beneficios para la salud visual. El contenido de fenoles totales en la palta oscila entre 1 y 26 mg por cada 100 g (Cuadro 2.3), un valor bajo en comparación con otros frutos. Sin embargo, la epigallocatequina es el compuesto fenólico predominante.

El ácido orgánico reportado en mayor contenido fue el ácido succínico (1.173 mg/100 g). El succinato es la base conjugada del ácido succínico, el cual es un intermediario metabólico en el ciclo de Krebs y una molécula de señalización metabólica en los procesos de inflamación. Además, se encuentran presentes otros numerosos fenoles y ácidos orgánicos.

Si bien los ácidos fenólicos no participan en el metabolismo primario de la palta, sí desempeñan un papel relevante en el metabolismo secundario, actuando como precursores de otros compuestos fenólicos y como componentes de la pared celular (Ford *et al.*, 2023).

2.2.1.4. Acidez y ácidos orgánicos

La acidez se asocia tanto con el dulzor como con el amargor de una fruta, y la forma más ampliamente utilizada para cuantificar este parámetro es mediante la acidez titulable (Lobit *et al.*, 2002). Sin embargo, la acidez de las frutas es un carácter aún más complejo y está dada en mayor medida por la acumulación/degradación de ácidos orgánicos durante el desarrollo y su maduración (Hernández-Muñoz *et al.*, 2006).

Los principales ácidos orgánicos presentes en la mayoría de los frutos son el cítrico, el málico y el tartárico. En general, el contenido de ácidos orgánicos en el fruto aumenta durante su desarrollo y disminuye mientras avanza la maduración, presumiblemente debido a su utilización de estos como sustratos en la respiración o a su conversión en azúcares (Cuadro 2.4). En el período de maduración hay un aumento en la actividad metabólica, y los ácidos orgánicos son por excelencia, una fuente de reserva de energía de la fruta a través del ciclo de Krebs.

En los últimos años, no se han publicado muchos trabajos sobre la evolución de los ácidos orgánicos, sin embargo, son conocidos durante el crecimiento, desarrollo y maduración de la palta, debido a su alto contenido en aceite, el cual contribuye significativamente a la calidad y sabor de la fruta, a diferencia de otras frutas donde los ácidos orgánicos como el malato, citrato y tartárico ejercen este efecto (Pedreschi *et al.*, 2019).

Cuadro 2.4. Ácidos orgánicos presentes en palta ‘Hass’.

Ácido orgánico	(mg/100 g)
Ác. Succínico	1,0
Ác. Fumárico	26,9
Ác. Quínico	20,6
Ác. Málico	119,2
Ác. Cítrico	216,0
Ác. Benzoico	0,11
Ác. Abscísico	0,267
Ác. Homovanílico	0,002

Fuente: Ford *et al.* (2023).

Ahmed *et al.* (2010) estudiaron los cambios durante la maduración de paltas var. ‘Fuerte’ en condiciones de almacenamiento por 2 semanas a 20 °C, encontrando que tanto la acidez titulable como los sólidos solubles mostraban una disminución levemente significativa. También destaca una leve disminución en el contenido de ácido ascórbico durante todo el período de maduración.

Por otro lado, para el caso de frutos de la var. ‘Hass’ producidos en la región sur de Portugal (Algarve), se observó que la semilla presentaba una mayor acidez que la piel o la pulpa. Sin embargo, se reporta que la acidez de la pulpa fue superior a la observada en paltas de var. ‘Hass’ de origen americano ($0,04 \pm 0,01$ % de ácido cítrico) (Arias *et al.*, 2012). En cualquier caso, frutas del cultivar ‘Hass’ se pueden considerar una fruta no ácida (Vinha *et al.*, 2013).

Estudios realizados por la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina analizaron el perfil de ácidos orgánicos durante la maduración de paltas var. ‘Hass’. Para esto, se evaluaron cambios en los patrones de los ácidos durante cosecha hasta 15 días en frutas almacenadas a 20 °C.

Los resultados indicaron que fue posible observar los perfiles de acumulación de cuatro ácidos: tartárico, málico, ascórbico y cítrico (Figura 2.3). Se observó una disminución de la cantidad de ácidos totales a medida que avanza la maduración, lo que es coincidente con la baja en la acidez titulable durante ese periodo. Esta disminución está dada esencialmente por el drástico descenso en el contenido en ácido málico (67 % reducción). Además, se pudo confirmar que el ácido predominante al momento de alcanzar la madurez de consumo es el ácido tartárico, el cual se observa casi sin variaciones desde un inicio (cosecha). La presencia de los otros dos ácidos, cítrico y ascórbico, es casi imperceptible y poco contribuirían a la acidez de la palta.

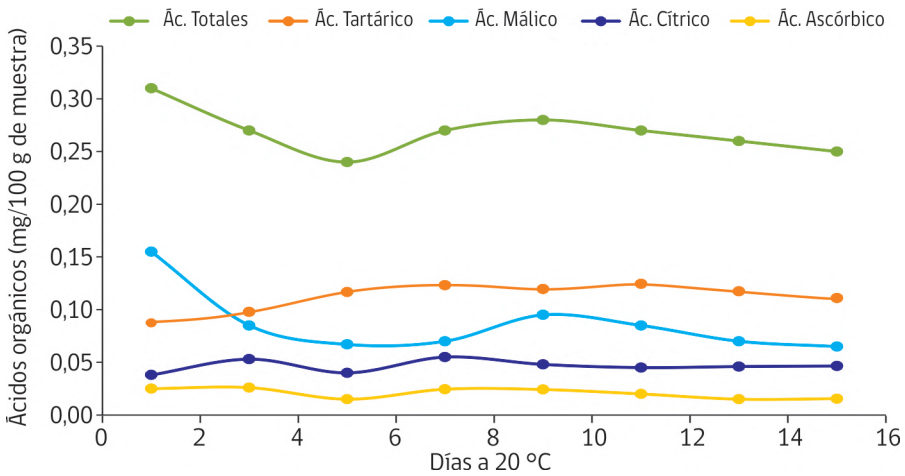


Figura 2.3. Perfil de ácidos orgánicos durante la maduración de palta var. 'Hass'. Cuantificación mediante HPLC de los principales ácidos orgánicos durante el almacenamiento a 20 °C (cosecha hasta alcanzar madurez de consumo).

2.2.1.5. Compuestos aromáticos

Otro componente crucial en la percepción del consumidor respecto a la calidad de la fruta son los compuestos volátiles aromáticos que determinan o generan el aroma característico. Estos compuestos se pueden clasificar en varias categorías químicas, incluyendo terpenos, ésteres, aldehídos, alcoholes y cetonas. Una fruta produce y emite su aroma típico durante su desarrollo y madurez. Estos compuestos aromáticos han sido reportados como un indicador de maduración, destacándose el hecho de que existen algunos elementos volátiles que se encuentran en frutas maduras y que no se encuentran en el fruto inmaduro o en tejidos vegetativos (Schwab *et al.*, 2008).

Es el caso de las manzanas; la máxima producción de volátiles coincide con la máxima tasa de respiración y de producción de etileno, donde la mayoría de estos compuestos están bajo el control de esta hormona (Defilippi *et al.*, 2005). Un fruto intacto produce principalmente ésteres y estos compuestos aromáticos de forma “autónoma”, pues no hay producción de aldehídos derivados de la ruta de la enzima lipoxigenasa (LOX) (Contreras & Beaudry, 2013).

Se ha reportado que mientras más aceite contenga la palta, la aceptabilidad del consumidor aumenta, lo cual es consistente con que el fruto sea más cremoso, menos “aguado”, con un sabor más intenso y menos verdoso (Obenland *et al.*, 2012). El aroma de la palta progresa durante la maduración, donde este cambio se puede relacionar directamente en relación a la cantidad de los volátiles presentes.

Existen diversas investigaciones en palta que tratan de identificar los compuestos volátiles característicos, sin embargo, hay algunas divergencias en el tipo de compuestos preponderantes, debido principalmente a los distintos métodos de extracción utilizados y a los estados de maduración que utilizaron en los estudios y principalmente al cultivar. Por ejemplo, Sinyinda & Gramshaw (1998) destacan a los hidrocarburos (sesquiterpenos, terpenos de C15) y los alcanos, como los principales constituyentes del aroma de esta fruta, siendo el 80 % del extracto, además, de volátiles derivados de lípidos como decenal (6,3 %) y heptanal (3,2 %), este último compuesto volátil es formado por la acción de la LOX sobre el ácido linoléico (Riley *et al.*, 1996).

Obenland *et al.* (2012) analizaron la variación de volátiles para palta cv. ‘Hass’ para ocho meses de maduración, identificando 25 volátiles en paltas maduras. Sin embargo, se logró apreciar que la concentración de los volátiles tales como hexanal, E-2-hexanal y el 2,4-hexadienal, está asociada a aromas herbales que disminuían considerablemente con la maduración. Esto fue cotejado tanto mediante cromatografía gaseosa (GC) como con un panel entrenado de jueces. Por el contrario, acetaldehídos, acetato de metilo, pentanal y mirceno se encontraban en concentraciones más altas en fruta madura.

La Unidad de Postcosecha de INIA La Platina ha observado que entre los compuestos volátiles más destacados se encuentran los alcoholes y aldehídos. La existencia de fragancias tales como: 2-heptanol (herbal, limón), pentanal (dulce), hexanal (aceitoso, palta), trans 2-hexanal (pasto), fenol (aceite), isoamil acetato (dulce, frutal), etil butirato (frutal), dimetil disulfido (vegetal, tomate) y dimetil trisulfido (espárrago) son los principales compuestos presentes en

frutos recién cosechados. Por otro lado, al realizar una comparación del perfil olfatorio de paltas cosechadas versus paltas maduras, se observan diferencias en el contenido de volátiles, corroborando que existe una evolución del contenido de volátiles durante su maduración. En ensayos realizados se observó que el hexanal presentaba una elevada concentración durante el desarrollo del fruto de 'Hass', el que se reduce considerablemente al acercarse el momento de la cosecha (Figura 2.4). Posteriormente, una vez que las paltas son cosechadas, la concentración de este compuesto continúa disminuyendo paulatinamente y en forma significativa a lo largo de la maduración. La disminución del compuesto hexanal se comienza a observar desde el desarrollo del fruto. Se ha visto que el compuesto hexanal está involucrado en la defensa de la planta, por lo cual, es más importante durante su desarrollo. De tal forma pareciese que el hexanal podría ser el principal componente del aroma de la palta.

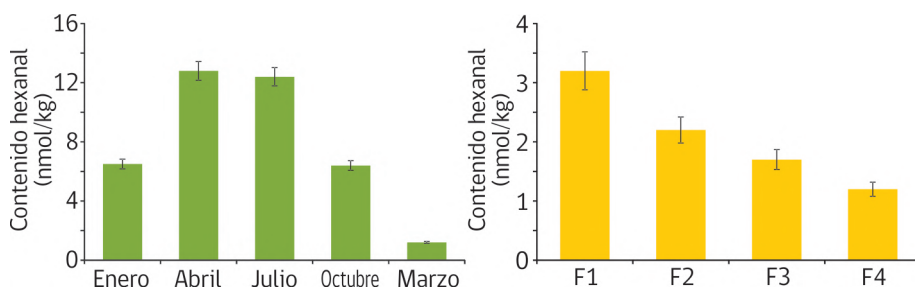


Figura 2.4. Contenido de hexanal durante precosecha en relación al estado de madurez representado con valores de firmeza. A) Precosecha de paltas var. 'Hass' comprendida entre enero 2012 a marzo 2013. B) Concentración de hexanal a lo largo de la maduración, representada en cuatro grupos de firmeza (F1-F4). Donde F1 corresponde a firmeza de cosecha y F4 madurez de consumo.

2.3. Atributos que determinan la calidad y condición de palta 'Hass'

El desarrollo comercial de la palta, tanto en el mercado interno como externo, debe cumplir con una serie de factores o atributos para satisfacer las expectativas de los consumidores. Para los países proveedores de palta a nivel mundial, es fundamental llegar a los mercados de destino con un producto que presente una calidad, aceptabilidad y homogeneidad satisfactorias. Cuando hablamos de la calidad de la palta 'Hass', se deben considerar estos atributos, siendo esencial asegurar una calidad global para el consumidor, con un producto superior en apariencia, textura, sabor

y aporte nutricional. Otro aspecto crucial a considerar es la consistencia que debe mantener un proveedor de fruta de calidad durante toda la temporada o campaña, de modo de ofrecer un producto homogéneo. A continuación, se describen los principales atributos de calidad de la palta 'Hass', los cuales serán analizados en detalle en cada uno de los capítulos de este boletín.

Como se mencionó en el Capítulo 1, la producción de palta está generalmente orientada a la venta en mercados de destino distantes, como Norteamérica, Europa y Asia. En general, la palta tiene una vida de postcosecha media (30 - 60 días), determinada por ciertas características de la fruta, como su alta tasa respiratoria y de producción de etileno (Capítulo 8), así como su alta susceptibilidad al daño por frío (4 - 6 °C), dependiendo de la zona de producción, entre otros factores.

Su heterogeneidad en términos de calidad y condición es uno de los principales factores que limitan la comercialización de la palta 'Hass' en los mercados de exportación desde Chile y otros países proveedores, como Perú y Colombia. Algunas manifestaciones de esta heterogeneidad se observan tanto externamente (el color de la epidermis) como en el proceso de maduración (el tiempo necesario para alcanzar la madurez de consumo).

Además, pueden presentarse problemas de condición durante el almacenamiento y transporte, como la deshidratación excesiva y el desarrollo de desórdenes fisiológicos, como el pardeamiento de la pulpa y de la superficie externa. Estos problemas pueden deberse al uso de bajas temperaturas o a la senescencia de la fruta, así como a cambios en el sabor y la presencia de pudriciones. Aunque estas situaciones suelen detectarse al momento de la recepción en el mercado de destino, tienen un gran impacto en el consumidor final, quien puede encontrarse con un producto de maduración no uniforme.

Como consecuencia, muchas veces se generan costos adicionales al recibir embarques con fruta no uniforme en sus características. Sin embargo, lo más relevante es el riesgo de llegar al consumidor final con fruta muy heterogénea, sin cumplir sus expectativas de calidad.

Las causas de esta heterogeneidad pueden incluir desde diferencias en la edad fisiológica de las paltas, debido al largo período de floración de la especie, hasta el efecto de factores de precosecha, como el clima, el suelo o el manejo cultural. Si bien la etapa de cosecha es fundamental para clasificar la fruta, durante las labores de embalaje solo es posible realizar una segregación automatizada basada en atributos externos de calidad, como el color y el tamaño (calibre). Sin embargo,

hasta la fecha no existe un instrumento, índice o metodología, ya sea en precosecha o postcosecha, que permita segregar de forma eficiente los lotes de fruta de acuerdo con su capacidad de almacenamiento (Figura 2.5).



Figura 2.5. Origen de la heterogeneidad a nivel de consumidor en paltas.

Debido a la importancia de entender y, potencialmente, manejar la heterogeneidad de la fruta, en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina se cuantificó, hace algunos años, la magnitud de la variabilidad en los distintos atributos de calidad y condición de la palta chilena. Con este propósito, se caracterizó durante tres años seguidos la vida de postcosecha de fruta proveniente de un gran número de huertos ($n= 42$), los cuales se diferenciaban en variables tales como clima, suelo y manejo cultural.

Una vez cosechada, la fruta fue almacenada durante 25, 35 y 45 días a temperaturas de 4 -5 °C, y para cada período se realizó una simulación de comercialización hasta que la fruta alcanzara la madurez de consumo. Las variables de calidad y condición evaluadas incluyeron el color de la epidermis, la firmeza de la pulpa, los días hasta alcanzar la madurez de consumo, la presencia de desórdenes fisiológicos, entre otros.

2.3.1. Materia seca

Uno de los atributos más apreciados por los consumidores es la calidad organoléptica de la fruta, la cual está relacionada directamente con el contenido de aceite que ésta contenga, siendo expresada a través del contenido de la materia seca (MS). En Chile se han realizado estudios evaluando el contenido de materia seca de huertos de la zona costera (menor temperatura y mayor humedad relativa) versus huertos de zonas media alta de los valles (mayor temperatura y menos humedad relativa).

Se puede concluir que aquellos huertos costeros alcanzan el 23 % de materia seca (9 % de aceite en Chile) requerido para cosechar la fruta, en aproximadamente 55 días más tarde respecto a los de la zona media alta de los valles. La diferencia en materia seca entre las zonas costeras e interiores se debe a las diferencias climáticas (radiación, temperatura, evapotranspiración potencial, amplitud térmica, entre otras) que están relacionadas con la altitud de la zona respecto al nivel del mar.

También es importante destacar que estas diferencias en el contenido de materia seca (relacionado con los días para alcanzar 23 %), está definida por las características climáticas de la zona de cultivo. Otras razones de esta diferencia pueden ser atribuidas a manejo (nutrición nitrogenada, poda, edad del huerto, densidad de plantación, entre otras). De acuerdo a lo esperado, nuevamente se observó una importante diferencia entre sitios, lo que nuevamente está condicionado a las características de cada huerto o situación.

2.3.2. Firmeza de pulpa

Si bien la medición de firmeza de pulpa a cosecha no es una variable ampliamente utilizada por la industria, podría ser considerada como un parámetro más que contribuye a establecer el potencial de almacenamiento de la fruta, especialmente en etapas post arribo a mercados.

En general se ha observado que al momento de cosecha existe una baja en la heterogeneidad entre los sitios y/o huertos, concentrándose principalmente en la categoría de fruta muy firme (> 50 lb_f; Figura 2.6). Sin embargo, a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento desde 25 a 45 días, esta homogeneidad

inicial va desapareciendo, dando lugar a una mayor heterogeneidad de la fruta entre sitios. Así, podemos encontrar fruta con rangos muy bajos de firmeza (< 10 lb_f) hasta la categoría firme (cerca a 40 lb_f) (Figura 2.6). En años de paltas con menor potencial de almacenamiento, puede existir una disminución en la heterogeneidad, pero concentrada en las categorías de fruta blanda, lo cual corresponde a una fruta de difícil manejo en destino.

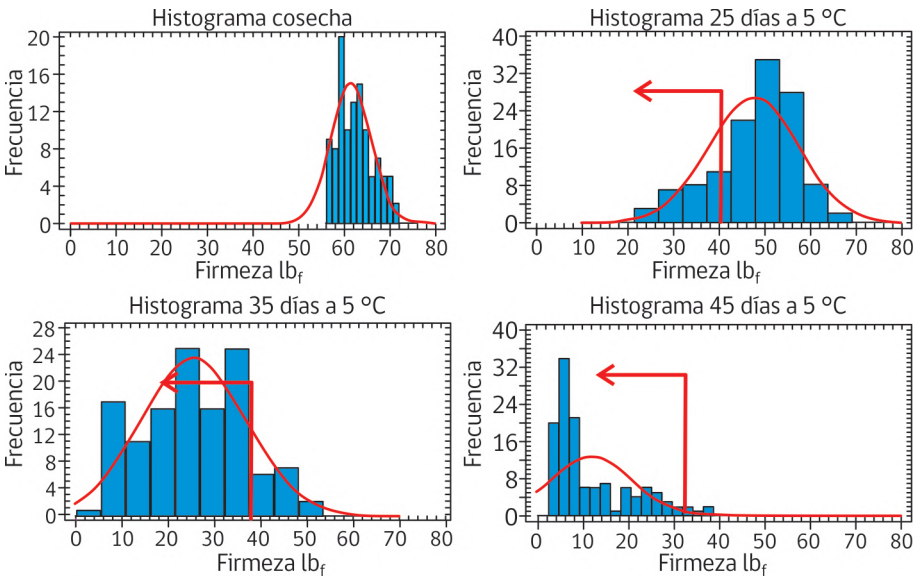


Figura 2.6. Distribución de firmezas en fruta proveniente de 42 huertos durante la temporada 2009 - 2010. Las paltas se almacenaron por 25, 35 y 45 días a 4 - 5 °C.

2.3.3. Color de epidermis

Otra de las preferencias del consumidor por palta 'Hass' es el cambio de color que sufre la fruta de verde a pardo/negro a medida que madura, siendo este un importante indicador del estado de madurez. Sin embargo, al momento de llegar la fruta a destino, quizás es este atributo el que más evidencia el nivel de heterogeneidad de la fruta en la caja, pallet o contenedor. La falta de homogeneidad en este atributo es conocida como "tablero de ajedrez" o "checkerboard" (término en inglés) y quizás es el más reconocido por la industria en toda la cadena de comercialización (Figura 2.7).



Figura 2.7. Fotografía representativa de “Tablero de ajedrez” o “checkerboard”.

En general, una palta a cosecha no presenta problemas en este atributo, ya que incluso es posible hacer una selección a nivel de “packing”. Por ejemplo, como se observa en la Figura 2.8, el 100 % de las paltas a cosecha se puede clasificar como verdes. Sin embargo, a medida que aumenta el período de almacenamiento o envío (25 días, Figura 2.8), comienza a manifestarse la heterogeneidad en el desarrollo de color del producto, con fruta prácticamente en distintos niveles de porcentaje de color verde. Esto es muy característico, ya que en la palta el color inicial de la fruta no es un indicador del nivel de madurez y menos del potencial de almacenamiento. Similar a lo observado para firmeza, un período de envío más extenso (35-45 días), o en fruta con menor potencial de almacenamiento, se puede presentar una menor heterogeneidad, pero con paltas en avanzado estado de color.

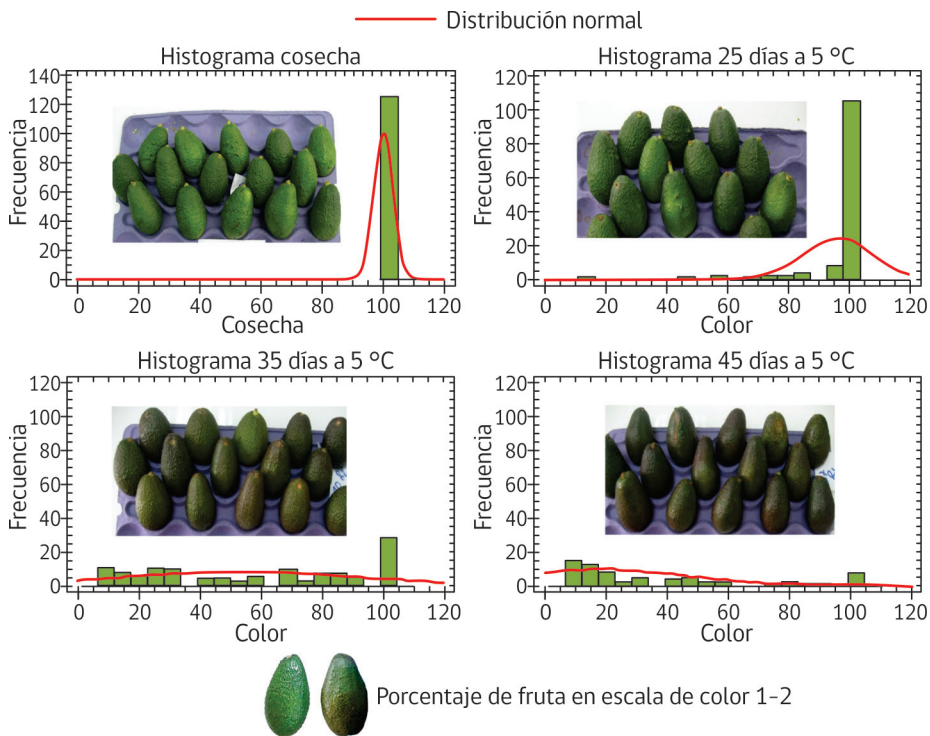


Figura 2.8. Histograma de frecuencia del porcentaje de paltas (escala de color 1 - 2) almacenadas en diferentes periodos (25, 35 y 45 días a 4 - 5 °C).

2.3.4. Pardeamiento de pulpa

De los desórdenes fisiológicos que es posible identificar en fruta almacenada, el pardeamiento de pulpa es quizás uno de los más importantes (Capítulo 6, para más detalles). A pesar de que en general la fruta no presenta grandes problemas por provenir de cosechas de inicio a media estación, es posible señalar que, de manera similar a lo observado en las variables previamente descritas, el aumento del período de almacenamiento o envío de la fruta se asocia a un incremento en la heterogeneidad en el desarrollo de desórdenes.

2.3.5. Tiempo a madurez de consumo

Un atributo de la fruta muy apreciado por el consumidor y no siempre considerado por el comercializador es el tiempo que demora en ablandarse y desarrollar las

características propias de una fruta lista para su consumo. En general, para gran parte de las frutas, incluyendo las patatas, a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento o envío, disminuye el tiempo en alcanzar la madurez de consumo.

2.4. Comentarios finales

La globalización ha propiciado una notable mejora en los intercambios comerciales, en particular aquellos relacionados con el sector hortofrutícola, lo que ha permitido abrir nuevos mercados y ofrecer productos que en el pasado hubiera sido impensable adquirir.

El consumo de patata está en continuo aumento, debido a un conjunto de factores relacionados con las etapas de pre cosecha, cosecha y postcosecha, que facilitan la disponibilidad del producto en diversos canales de venta, así como su versatilidad de uso y consumo. Destacan su sabor característico y apreciable, junto con todos los beneficios asociados a su consumo, derivados de la presencia de compuestos saludables y su valioso aporte energético.

2.5. Referencias

- Ahmed, D., Yousef, A., & Hassan, H. (2010). Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. *Agriculture And Biology Journal Of North America*, 1(5), 878-885. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.878.885>
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends In Food Science & Technology*, 80, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Arias, L.E.H., Gómez, J.H.P., Salazar, J.A. (2012). Application of the matrixes engineering on the development of minimally processed Hass avocado (Persea americana Mill) with additions of vitamin C and calcium. *Revista Lasallista Investigación*, 9(2): 44-54. <https://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/416>

- Contreras, C., & Beaudry, R. (2013). Lipoxygenase-associated apple volatiles and their relationship with aroma perception during ripening. *Postharvest Biology And Technology*, 82, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.006>
- Defilippi, B. G., Kader, A. A., & Dandekar, A. M. (2005). Apple aroma: alcohol acyltransferase, a rate limiting step for ester biosynthesis, is regulated by ethylene. *Plant Science*, 168(5), 1199–1210. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.12.018>
- Dreher, M. L., & Davenport, A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(7), 738–750. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>
- Ford, N. A., Spagnuolo, P., Kraft, J., & Bauer, E. (2023). Nutritional Composition of Hass Avocado Pulp. *Foods*, 12(13), 2516. <https://doi.org/10.3390/foods12132516>
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Ocio, M. J., & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology And Technology*, 39(3), 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.11.006>
- INTA. 2018. Tabla de composición química de alimentos. Chile.
- Kaiser, C., & Wolstenholme, B. N. (1994). Aspects of delayed harvest of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) fruit in a cool subtropical climate. I. Fruit lipid and fatty acid accumulation. *Journal Of Horticultural Science*, 69(3), 437–445. <https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516473>
- Lin, X., & Li, Z. (2024). Key components and multiple health functions of avocado oil: A review. *Journal Of Functional Foods*, 122, 106494. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106494>
- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. W., & Arpaia, M. L. (1999). 'Hass' Avocado Carbohydrate Fluctuations. I. Growth and Phenology. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 124(6), 671–675. <https://doi.org/10.21273/jashs.124.6.671>

- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. W., & Arpaia, M. L. (1999b). 'Hass' Avocado Carbohydrate Fluctuations. II. Fruit Growth and Ripening. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 124(6), 676–681. <https://doi.org/10.21273/jashs.124.6.676>
- Liu, X., Sievert, J., Arpaia, M. L., & Madore, M. A. (2002). Postulated Physiological Roles of the Seven-carbon Sugars, Mannoheptulose, and Perseitol in Avocado. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 127(1), 108–114. <https://doi.org/10.21273/jashs.127.1.108>
- Lobit, P., Soing, P., Genard, M. & Habib, R. (2002). Theoretical analysis of relationships between composition, pH, and titratable acidity of peach fruit. *Journal Of Plant Nutrition*, 25(12), 2775–2792. <https://doi.org/10.1081/pln-120015538>
- Meyer, M., & Terry, L. (2010). Fatty acid and sugar composition of avocado, cv. Hass, in response to treatment with an ethylene scavenger or 1-methylcyclopropene to extend storage life. *Food Chemistry*, 121(4), 1203–1210. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.005>
- Nasri, C., Halabi, Y., Hajib, A., Choukri, H., Harhar, H., Lee, L., Mani, V., Ming, L. C., Goh, K. W., Bouyahya, A., & Tabyaoui, M. (2023). Proximate composition, lipid and elemental profiling of eight varieties of avocado (*Persea americana*). *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50119-y>
- Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Negm, F., & Arpaia, M. L. (2012). Influence of maturity and ripening on aroma volatiles and flavor in 'Hass' avocado. *Postharvest Biology And Technology*, 71, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.03.006>
- Pacheco, L. S., Li, Y., Rimm, E. B., Manson, J. E., Sun, Q., Rexrode, K., Hu, F. B., & Guasch Ferré, M. (2022). Avocado Consumption and Risk of Cardiovascular Disease in US Adults. *Journal Of The American Heart Association*, 11(7). <https://doi.org/10.1161/jaha.121.024014>
- Pahua-Ramos, M. E., Ortiz-Moreno, A., Chamorro-Cevallos, G., Hernández-Navarro, M. D., Garduño-Siciliano, L., Necochea-Mondragón, H., & Hernández-Ortega, M. (2012). Hypolipidemic Effect of Avocado (*Persea americana* Mill) Seed in a Hypercholesterolemic Mouse Model. *Plant Foods For Human Nutrition*, 67(1), 10–16. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0280-6>

- Pedreschi, R., Uarrota, V., Fuentealba, C., Alvaro, J. E., Olmedo, P., Defilippi, B. G., Meneses, C., & Campos-Vargas, R. (2019). Primary Metabolism in Avocado Fruit. *Frontiers In Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>
- Pedreschi, R., Hollak, S., Harkema, H., Otma, E., Robledo, P., Westra, E., Somhorst, D., Ferreyra, R., & Defilippi, B. (2015). 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>
- Pieterse, Zeldá & Jerling, Johann & Stonehouse, Welma. (2003). Avocados (monounsaturated fatty acids), weight loss and serum lipids. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 26, 65-71
- Requejo-Tapia, L.C., Woolf, A.B., Roughan, G., Schroeder, R., Young, H. & White, A. (1999). Seasonal changes in lipid content and fatty acid composition of 'Hass' avocados. *Avocado Postharvest Research: (1998/99)*. pp 1-29.
- Riley, J. C., Willemot, C., & Thompson, J. E. (1996b). Lipoxygenase and hydroperoxide lyase activities in ripening tomato fruit. *Postharvest Biology And Technology*, 7(1-2), 97-107. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(95\)00032-1](https://doi.org/10.1016/0925-5214(95)00032-1)
- Salazar-López, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E., & González-Aguilar, G. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138, 109774. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- Schwab, W., Davidovich-Rikanati, R., & Lewinsohn, E. (2008). Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. *The Plant journal : for cell and molecular biology*, 54(4), 712-732. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113X.2008.03446.x>
- Sinyinda, S., & Gramshaw, J. (1998). Volatiles of avocado fruit. *Food Chemistry*, 62(4), 483-487. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(97\)00190-8](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(97)00190-8)
- Teng, S., Tung-Chuan, N. H., Shyr, J., & Wakana, A. (2016). Lipid Content and Fatty Acid Composition in Taiwan Avocados (*Persea americana* Mill). *Journal Of The Faculty Of Agriculture Kyushu University*, 61(1), 65-70. <https://doi.org/10.5109/1564084>

- Tesfay, S., Bertling, I., & Bower, J. (2011). D-mannoheptulose and perseitol in 'Hass' avocado: Metabolism in seed and mesocarp tissue. *South African Journal Of Botany*, 79, 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.10.006>
- Van Den Dool, B. & Wolstenholme, B. (1983). Further studies on avocado fruit growth and maturity in Inland Natal. *S. Afr. Avocado Grow Assn.* 6, 34-40
- Vinha, A. F., Moreira, J., & Barreira, S. V. P. (2013). Physicochemical Parameters, Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of the Algarvian Avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal Of Agricultural Science*, 5(12). <https://doi.org/10.5539/jas.v5n12p100>
- Vivero, A., Valenzuela, R., Valenzuela, A., & Morales, G. (2019). Palta: compuestos bioactivos y sus potenciales beneficios en salud. *Revista chilena de nutrición*, 46(4), 491-498.
- Werman, M. J., & Neeman, I. (1987b). Avocado oil production and chemical characteristics. *Journal Of The American Oil Chemists Society*, 64(2), 229-232. <https://doi.org/10.1007/bf02542007>
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D. (2007). Evaluation and management of quality. In: Will, R.B.H. (Ed.). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. University of New South Wales Press Ltd. Sydney, Australia. 227pp.
- Yousef, A.R., & Hassaneine, M.M. (2010). Influence of different harvest dates and ripening periods on fruit quality and oil characteristics of Fuerte avocados. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1, 1223-1230.

Capítulo 3

Factores críticos de precosecha que determinan la calidad y condición

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
bdefilip@inia.cl

Daniela Olivares Z.

Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.

Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.

Raúl Ferreyra E.

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

3.1. Introducción

La calidad de la palta a nivel de consumidor está influenciada por un gran número de factores, tanto a nivel productivo como durante su comercialización. Estos factores van desde la elección del sitio de plantación, hasta las innumerables labores de manejo productivo como riego, nutrición, control de plagas y enfermedades, poda, entre otras. Estas prácticas de manejo durante el crecimiento y desarrollo del fruto en el árbol tienen por objetivo producir un momento óptimo de cosecha, donde una palta tenga el potencial adecuado para desarrollar los diversos atributos de calidad requeridos por el consumidor, de los cuales se incluye apariencia, textura, sabor y su aporte nutritivo característico. Dentro de las variables de precosecha que determinan la calidad y potencial de su almacenamiento, existe una gran heterogeneidad, la que está dada por factores climáticos, de manejo y asociados a la fisiología del palto, como también a la interacción entre las variables que determinan el comportamiento de cada atributo. A modo de ejemplo, la firmeza de la pulpa es función de la interacción del contenido de calcio y nitrógeno, la disponibilidad de riego en periodos críticos durante el desarrollo, el estado de madurez a cosecha y los días entre cuaja y

cosecha, entre otros. El objetivo principal de este capítulo es analizar las principales variables agroclimáticas y factores de manejo agronómico que influyen en los atributos clave de calidad de la palta 'Hass', con énfasis en los cambios asociados al proceso de comercialización y venta en mercados distantes. La mayoría de los países productores de palta comercializan su fruta no solo en el mercado interno, sino también en mercados internacionales, donde la fruta debe ser transportada durante semanas hasta llegar a su destino. Esta situación es particularmente importante en la variedad 'Hass', donde importantes países productores, como Chile y Perú, comercializan su fruta incluso después de más de 40 días de haber sido cosechada y embalada. El gran desafío, por lo tanto, será conservar los atributos que determinan la calidad global de la fruta posterior a cosecha. Entre los atributos, la mantención de una adecuada firmeza se considera un indicador clave del comportamiento de postcosecha, y la apariencia externa (color de la piel) como un índice de madurez y aceptabilidad de palta 'Hass' en los centros de distribución y consumidor final (Cox *et al.*, 2004).

Por lo tanto, considerando que los consumidores pueden diferenciar fácilmente una fruta blanda y lista para el consumo de una fruta inmadura, el desafío para los comercializadores es proveer de un producto homogéneo en términos de calidad global y atributos de maduración. El potencial de vida útil de una palta, así como el de cualquier producto hortofrutícola, está influenciado por una serie de factores externos y otros propios de la fisiología del árbol o la fruta. Los principales atributos de calidad exigidos por el consumidor en la palta son el resultado de la interacción de diversos factores. Sin embargo, existe poca información sobre el efecto combinado de las numerosas variables que influyen en su comportamiento durante la postcosecha. Factores que afectan la heterogeneidad de la fruta.

Durante la cosecha, la fruta se separa de su fuente de suministro de agua y carbohidratos, que constituyen su principal fuente de energía (Ferreira *et al.*, 2016). Sin embargo, las células de la fruta necesitan estos componentes para mantenerse vivas el mayor tiempo posible durante el período de postcosecha. Para lograrlo, es esencial disponer de una cantidad adecuada de carbohidratos y agua, indispensables para las reacciones bioquímicas. Además, el período de almacenamiento en frío impone un estrés por bajas temperaturas, pérdida de agua y generación de radicales libres. Las células, especialmente las membranas, tienen que ser lo suficientemente robustas para soportar tal presión, y también son necesarios absorbentes de radicales libres, para minimizar el daño potencial de la tensión después de la cosecha (Teshfay *et al.*, 2010). Por lo tanto, el desarrollo de la fruta en precosecha es de gran importancia.

3.2. Variabilidad en factores agroclimáticos y prácticas de manejo

Como se mencionó, una de las principales limitantes para ofrecer un producto de calidad global en la palta es la significativa variabilidad presente dentro de una misma caja. Esta variabilidad, que inicialmente se manifiesta como diferencias en el color de la piel (tablero de ajedrez), también afecta atributos clave como el sabor, el patrón de maduración e incluso la respuesta a las tecnologías de postcosecha (Defilippi *et al.*, 2015a; Hernández *et al.*, 2016). Esta heterogeneidad proviene tanto del largo período de floración y polinización/cuaja, el cual origina la presencia de frutos de distinta edad al momento de cosecha, como también a la amplia gama de condiciones en las que se producen los paltos, especialmente con respecto a factores ambientales tales como la temperatura durante el periodo de crecimiento y desarrollo, y el nivel de exposición al sol (Arpaia, 1994; Sams, 1999; Woolf & Ferguson, 2000).

Con el objetivo de cuantificar la variabilidad de los factores de pre y postcosecha, se llevó a cabo un estudio en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, abarcando tres temporadas productivas. Se seleccionaron frutas de 42 productores ubicados en los principales valles de producción de palta en Chile (Rivera *et al.*, 2017). Este análisis descriptivo mostró una amplia variabilidad tanto en los parámetros de precosecha como en el comportamiento de variables de maduración en postcosecha, entre los 42 campos evaluados y en las tres épocas de cosecha estudiadas (Cuadro 3.1).

Entre las variables de precosecha con los coeficientes de variación más altos se incluyen la pendiente de plantación, índice de área foliar, contenido de zinc (Zn) foliar, relación calcio/potasio [Ca^{+2}/K], relación calcio/boro [Ca^{+2}/B], altitud sobre el nivel del mar, contenido de boro (B) en fruta y manejo del riego en la etapa de floración. Por el contrario, la radiación solar por día, la temperatura máxima promedio de cada temporada, la humedad relativa (HR) promedio y la temperatura mínima promedio de cada temporada presentaron coeficientes de variación menores.

En relación con los atributos o variables de postcosecha, el cambio de color de la piel mostró la mayor variación entre productores, lo que se traduce en términos comerciales en la gran heterogeneidad comúnmente observada en los mercados de destino en este atributo, y que se conoce como "tablero de ajedrez" (Figura 2.7, Capítulo 2).

Cuadro 3.1. Análisis descriptivo de variables de pre y postcosecha medidas durante tres temporadas en 42 campos experimentales de la variedad 'Hass' en Chile.

Variables	Promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Coef. var (%)
Agroclimáticas:				
Días grados acumulados por estación	984,0	91,3	2.318	45,7
T° máxima media por temporada	23,4	18,3	28,4	8,9
T° mínima media por temporada	7,9	5,5	13,0	17,9
HR media por temporada	72,5	62,0	85,0	8,9
Rad. solar media diaria por temporada	376,6	325,0	410,0	5,6
Nutrición en fruta:				
N (g/kg)	1,1	0,59	2,0	22,0
K (g/kg)	1,9	1,0	3,2	21,9
Ca (g/kg)	0,06	0,02	0,10	24,9
Mg (g/kg)	0,09	0,05	0,15	23,2
B (mg/kg)	70,2	12,7	185,3	55,8
Relación [N/Ca]	21,0	8,3	60,6	41,7
Relación [Ca/B]	$1,2 \times 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-3}$	65,7
Relación [Ca/K]	0,04	0,01	0,3	73,6
Relación [K/Mg]	23,8	7,4	43,7	43,7
Características de plantación:				
Altitud (m)	417,0	89,3	1.103,0	62,8
Pendiente plantación (%)	12,0	0,0	45,5	83,6
Contenido de macro-poros en suelo (%)	17,7	9,2	40,3	34,0
Plantas por hectárea	560,3	143,0	1.111,0	45,2
Manejo de riego:				
Riego a floración (%)	68,0	-	186	53,3
Riego durante desarrollo fruto (%)	108,0	-	256,0	38,2
Fisiología y producción:				
Índice de área foliar (m ² /m ²)	2,6	0,7	10,3	82,7
Diámetro del tronco (mm)	64,6	27,7	149,3	33,8
Peso promedio de fruta (g)	196,5	126,6	299,9	15,5
Calidad de fruta:				
Contenido de materia seca (%)	25,8	20,4	30,9	9,7
Firmeza de pulpa (N)	265,9	185,8	337,5	8,8
Comportamiento de postcosecha:				
Tasa de ablandamiento (N/día)	4,5	0,21	8,1	48,8
Cambio color de piel (%)	22,1	-	100,0	134,0
Días a maduración (día)	3,2	0,7	10,1	48,3

Fuente: Adaptado de Rivera et al. (2017).

En cuanto a firmeza de pulpa, a pesar de no observar grandes diferencias entre productores y temporadas al momento de cosecha, sí se observó una importante diferencia luego de un período de simulación de almacenamiento y tránsito a destino. Por otro lado, se logró observar que la tasa de ablandamiento varió entre 2,6 y 6,1 (N/día) entre temporadas, y con alta variabilidad entre productores. Este comportamiento también se presentó en los días que demora la palta en alcanzar la madurez de consumo en el mercado de destino.

Entre los factores macroclimáticos que afectan la fisiología del palto, y por lo tanto la calidad de la fruta, destacan la temperatura ambiente durante el periodo de crecimiento y desarrollo. Esta influye en el metabolismo de las plantas, afectando los componentes que definen la firmeza de las mismas (Sams, 1999). En la investigación de Rivera *et al.* (2017), se encontró que la temperatura mínima promedio y los grados día acumulados durante el crecimiento del fruto, afectan proporcionalmente la tasa de ablandamiento durante el almacenamiento. Además, se observó que la tasa de ablandamiento mostró una relación proporcional con la temperatura media mínima de la temporada.

En Nueva Zelanda, al comparar paltas que fueron expuestas a la luz solar de forma directa y aquellas que no durante la precosecha, se observaron diferencias en el patrón de maduración durante postcosecha, y estas diferencias podrían estar relacionadas con la temperatura alcanzada en cada nivel de exposición a la luz solar (Woolf *et al.*, 1999 y 2000).

3.2.1. Orientación y ubicación del fruto

De acuerdo a lo publicado por Hofman *et al.* (2000), se afirma que la orientación del lado desde donde se cosecha la fruta no tiene incidencia sobre el contenido de materia seca en las paltas, contrariamente a lo que ocurre en otras especies (por ejemplo, mango o litchi). Esto se debe a que en huertos “emboscados” no ocurre una distribución normal de la luz. Las hojas desarrolladas en la sombra producen menos fotosíntesis neta, pudiendo consumir la mitad de los carbohidratos sintetizados (Gil, 1999). En esta misma línea, Muñoz (2004) describió que la ubicación de los frutos respecto a la altura en el árbol influye en el grado de madurez, no existiendo diferencias en la ubicación geográfica, tanto para cv. ‘Hass’ como para cv. ‘Fuerte’. Esta diferencia de madurez causada por la ubicación de los frutos respecto a la altura, se debe a la mayor cantidad de horas de radiación que recibe diariamente la zona superior del árbol, en comparación a las zonas bajas (Salazar-García *et al.*, 2016).

3.2.2. Riego

El manejo de riego focalizado en las etapas de floración, y el contenido nutricional del fruto a cosecha han mostrado ser variables relevantes que afectan el comportamiento de maduración durante postcosecha (Rivera *et al.*, 2017). El período más sensible para el desarrollo del palto es durante la primavera e inicio de verano. Un exceso o déficit de agua durante este período, afecta el desarrollo radicular, lo cual produce muerte de raíces por asfixia, afecta la cuaja, reduce el tamaño de los frutos y aumenta los frutos con desórdenes internos. Durante este período se desarrolla el sistema radicular, crece la parte vegetativa, se producen los mayores requerimientos de zinc, boro y calcio, y se define el número de células en el fruto, del cual depende el calibre potencial a obtener.

Estos resultados indican la importancia de los manejos agronómicos durante las primeras etapas del desarrollo de la palta con el objetivo de lograr una alta calidad de la fruta durante postcosecha. Se ha observado que el nivel de estrés hídrico podría influir en los patrones de maduración debido a las diferencias en la concentración de ácido abscísico (ABA) entre frutos (Blakey *et al.*, 2009). Por otro lado, un manejo óptimo del riego durante la temporada de crecimiento muestra una relación positiva con el índice de área foliar (IAF) e influye inversamente en la tasa de ablandamiento durante almacenamiento. La relación entre el IAF/maduración se explica desde la influencia del IAF en el potencial de fotosíntesis. En relación a este tópico, en el Capítulo 4 de este boletín, se desarrollan en profundidad los efectos del estrés hídrico al que pueden ser sometidos los paltos.

3.2.3. Nutrición mineral

La nutrición mineral tiene un significativo efecto sobre la evolución de la fruta durante el almacenaje en frío y su postcosecha, ya que incide en la aparición de desórdenes fisiológicos y enfermedades durante este periodo. Thompson (2010), señala que la composición química de la fruta es afectada por el estatus nutricional del suelo donde se desarrollan, afectando su vida de almacenamiento. Así mismo, describe que la relación mineral de la fruta no es predecible para tal fin. Sin embargo, en algunos casos el estatus nutricional sí es usado para determinar su comportamiento en postcosecha.

El palto se caracteriza por presentar en general una baja demanda de nutrientes y la estrategia de fertilización del palto cv 'Hass' en Chile se basa en la aplicación de nitrógeno (N), boro (B) y zinc (Zn) directamente al suelo. La influencia de las

prácticas nutricionales sobre la calidad de la palta no ha sido esclarecida. Sin embargo, distintas investigaciones han demostrado que el estado nutricional del fruto puede ser afectado por su calidad durante postcosecha. Estudios realizados por Barrera *et al.* (2006) sugieren que la calidad de la palta parece estar afectada en primer lugar, por el Ca^{+2} y, en segundo lugar, por el N y el B (Arpaia *et al.*, 1995). Los efectos de la nutrición mineral son complejos, ya que hay muchas interacciones entre los elementos, así como efectos sobre el árbol como un todo, que a su vez afecta a la fruta de diversas maneras. También hay efectos directos sobre la fruta a través de la estructura celular, tanto micro como macroelementos de importancia. Sin embargo, hay ciertos elementos que destacan en términos de calidad final del fruto, siendo el calcio el elemento mineral más conocido que juega un papel en la calidad. A continuación, se describirán algunos minerales que tienen un efecto sobre la calidad del fruto.

3.2.3.1. Nitrógeno (N)

Un adecuado contenido de agua en el suelo para asegurar el movimiento de los minerales en el árbol, pero la relación entre el crecimiento vegetativo y la fruta es probablemente más importante. Por lo tanto, no es sorprendente que Van Rooyen & Bower (2005) encontraran que, de todos los elementos minerales relacionados a la decoloración del mesocarpio, el nitrógeno es el más importante debido a su efecto sobre el crecimiento vegetativo, y a través de éste, el movimiento de calcio a la fruta, así como posiblemente los factores relacionados con el movimiento de hidratos de carbono. Exportadores sudafricanos también utilizan el contenido de nitrógeno en fruta como una herramienta diagnóstica de calidad. Encontrando que un nivel de nitrógeno en el mesocarpio de $< 1\%$ en enero (aproximadamente 4 a 5 meses después de cuajado del fruto y de 4 a 5 meses antes de la cosecha) es un buen indicador del potencial de calidad de la fruta (Snijder *et al.*, 2002). En relación a la fertilización nitrogenada, Wang *et al.* (2012) observaron un ligero aumento de pardeamiento interno de pulpa, asociado a un tratamiento de fertilización con nitrato de amonio distribuido en dos dosis, en agosto y septiembre (febrero y marzo del Hemisferio Sur), aplicado en un año de alta producción. En relación con el contenido de nitrógeno, con niveles mayores de N foliar se observó una reducción significativa en el tiempo a maduración (Arpaia *et al.*, 1996; Dann *et al.*, 2016).

El nitrógeno, en particular afecta el vigor del árbol (Witney *et al.*, 1990), y por lo tanto también el suministro de hidratos de carbono a través de la fotosíntesis y la distribución o separación de los carbohidratos. Los carbohidratos son impor-

tantes en términos de calidad de la fruta, ya que se necesitan para la respiración y maduración normal (Tesfay, 2009).

Desde el punto de vista de la nutrición mineral, el nitrógeno es posiblemente el elemento más importante, ya que tiene la capacidad de controlar el crecimiento vegetativo, y por lo tanto afecta también a muchos otros factores, como la floración, fructificación y la relación brote/fruta y a través de esto, la absorción y distribución de calcio y suministro de hidratos de carbono y su partición (Willingham *et al.*, 2006).

3.2.3.2. Boro (B)

Elemento típicamente deficiente en los huertos de paltos. Es clave un cuidadoso control de las aplicaciones para aumentar la producción y mejorar la calidad de la fruta. La deficiencia también tiene un efecto en adelantar el ablandamiento de la fruta luego de cosechada. Debido a que el 95 % del boro total se encuentra en la pared celular, se le atribuye un rol en la preservación de la estructura de las paredes celulares (Bonilla *et al.*, 2012; Figura 3.1).



Figura 3.1. Fruta con alteraciones debido a la deficiencia de boro.

3.2.3.3. Calcio (Ca^{+2})

Calcio es el mineral más frecuentemente relacionado con la vida útil de la fruta y los desórdenes fisiológicos internos, existiendo diversas investigaciones donde se evidencia que una mejora en la nutrición de Ca^{+2} mejora el almacenaje de

esta fruta (Poovaiah *et al.*, 1988). Estudios realizados por Thorp *et al.* (1997) y Penter & Stassen (2000) permiten indicar que altas concentraciones de Ca^{+2} en la fruta están relacionadas con una menor incidencia de pardeamiento de pulpa y vascular. También un aumento de las concentraciones de Ca^{+2} , se ha correlacionado con retraso en la maduración. Chaplin & Scott (1980) describen que aplicaciones de Ca^{+2} en postcosecha reducen lesiones en la fruta ocasionadas por bajas temperaturas. Mientras que Cutting *et al.* (1992) reportan una disminución del contenido de Ca^{+2} en la fruta cuando avanza la madurez, con un incremento en la decoloración de la pulpa cuando se someten a bajas temperaturas de almacenajes.

Estudios realizados por Hofman *et al.* (2002) establecieron una relación indirecta entre la concentración de Ca^{+2} en paltos cv. 'Hass' y el color de la pulpa cuando ha madurado. Por lo tanto, existe un importante conjunto de pruebas que vinculan directamente las concentraciones de Ca^{+2} en la fruta con trastornos fisiológicos que pueden desarrollarse en las paltas durante el manejo de postcosecha.

La edad de la fruta también determina la condición interna; fruta de cosecha tardía es más susceptible a sufrir desórdenes en su almacenamiento debido a que su contenido de Ca^{+2} es más bajo, comparado con fruta cosechada más temprana (Penter & Stassen, 2000; Thorp *et al.*, 2007). Si bien la administración de Ca^{+2} para optimizar las concentraciones en la fruta parece deseable, es difícil de lograr su incorporación durante postcosecha, ya que el calcio se absorbe a través de las raíces y se distribuye al resto del árbol, principalmente a través del xilema. En las hojas, que pierden la mayor cantidad de agua, se acumula más calcio que en otros órganos. Así pues, los factores que afectan acumulación de Ca^{+2} en la fruta son las concentraciones de este mineral en el suelo, las concentraciones de otros cationes (debido a que compiten por la absorción de Ca^{+2} por las raíces), el vigor del árbol, el manejo del riego y probablemente los portainjertos (Witney *et al.*, 1990).

3.2.3.3.1. Factores de calidad que se verán afectados por falta de Ca^{+2}

Muchos de los desórdenes, como el pardeamiento de pulpa y el vascular, están relacionados con deficiencia de Ca^{+2} que inducen fallas en el sistema de membranas celulares.

Pardeamiento interno:

Este desorden es resultado de la oxidación de compuestos fenólicos, los cuales se encontraban almacenados en las vacuolas, y que luego de la pérdida de las

membranas son oxidados por polifenol oxidasa presente en el citoplasma (Bangerth, 1976). Estudios realizados por Hofman *et al.* (2002) reportaron que una menor incidencia en el pardeamiento de pulpa en paltas var. 'Hass' se produce cuanto mayor era el contenido de Ca^{+2} , magnesio (Mg), y mayor la relación $[(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K}]$. Por el contrario, una alta concentración de fósforo (P) y potasio (K) se correlacionó con una mayor incidencia.

Pardeamiento vascular:

Estudios han demostrado que en palta var. 'Fuerte', la combinación entre alto contenido de K en el suelo ($> 98 \text{ mg/kg}$) y alta concentración de P foliar ($> 1,4 \%$), se correlaciona con una menor incidencia del pardeamiento vascular después de almacenaje en frío (Du Plessis & Koen, 1988). Por su parte, Thorp *et al.* (1997) observaron el comportamiento de paltas var. 'Hass' en relación a la concentración de calcio, describiendo que Ca^{+2} es un mejor indicador sobre el posible nivel de pardeamiento vascular, respecto a contenidos entre magnesio y potasio de la fruta. Aquellos frutos con mayor contenido de Ca^{+2} presentaron un menor pardeamiento vascular (Figura 3.2). Por otro lado, un aumento del Mg en la fruta se correlaciona con una mayor incidencia del pardeamiento vascular, precisamente por una baja en la absorción de potasio. Además, mayor nitrógeno en la pulpa también aumenta la incidencia de este desorden (Du Plessis & Koen, 1988). En general, la susceptibilidad a desórdenes fisiológicos aumenta al retrasarse la cosecha, como lo señalan Carrillo (1991) y Barrientos (1993). El calcio se ha asociado con muchos trastornos o desórdenes en frutas (Bangerth, 1974), como el "bitter pit" en manzana, "soft nose" en mango y la decoloración del mesocarpio en palta. La tasa de maduración de la palta también es afectada por el contenido de calcio en la fruta, donde un mayor contenido resulta en una maduración más lenta (Cutting *et al.*, 1986).

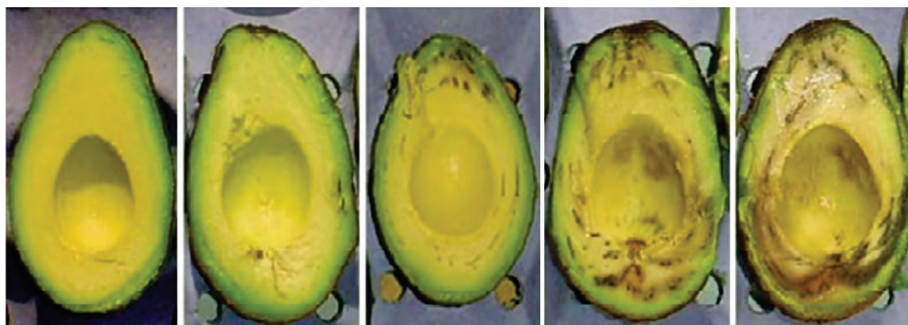


Figura 3.2. Imagen representativa de los distintos niveles de pardeamiento vascular en palta cv. 'Hass'.

El calcio actúa en el tejido de la fruta de numerosas maneras. Destacando como componente estructural presente en las paredes celulares, durante la maduración, las pectinas se solubilizan y actúan en la eliminación del Ca^{+2} estabilizador (Ferguson,1984; Defilippi *et al.*, 2018). Una mayor concentración de calcio genera un mayor tiempo en completar el proceso, y por lo tanto se necesitará más tiempo para su ablandamiento (Conway *et al.*, 1992). Otra de las funciones del Ca^{+2} es estabilizar las membranas, disminuyendo la posibilidad de daño durante el estrés, especialmente en postcosecha (Battey, 1990). Además, actúa como un regulador bioquímico, ayudando a controlar una serie de importantes reacciones celulares; entre ellas está la respiración, ya que mayores niveles de Ca^{+2} provocan una menor respiración, teniendo un efecto positivo en la vida de postcosecha de la fruta.

La concentración de Ca^{+2} en la fruta tiende a aumentar rápidamente durante la etapa principal de división celular, luego disminuye, a medida que baja la tasa de absorción y se diluye con el crecimiento del fruto (Figura 3.3). Por lo tanto, la absorción de calcio y distribución en el árbol es de particular importancia en el manejo de la fruta durante postcosecha (Bower, 1985a).

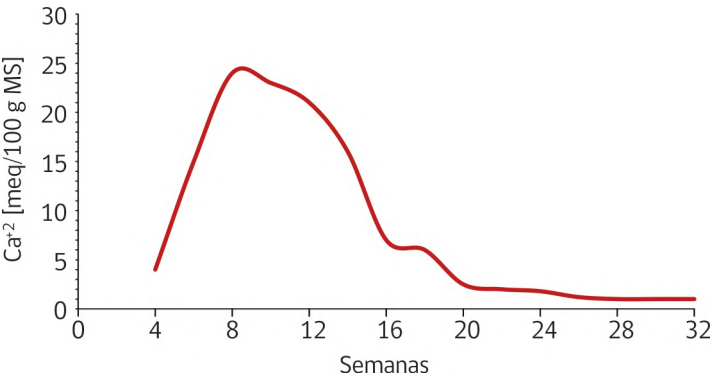


Figura 3.3. Variación de la concentración de Ca^{+2} durante el desarrollo del fruto (caída de pétalos).

Los exportadores sudafricanos utilizan la concentración de calcio en el fruto, como una herramienta para determinar la calidad. En Sudáfrica se ha encontrado que se requiere una concentración de Ca^{+2} de > 1000 (mg/kg) al final del período de mayor división celular (8 semanas después de la caída de pétalos) (Snijder, 2002). Se ha demostrado que la aplicación foliar de calcio para aumentar su absorción no ha presentado el éxito esperado y ha sido limitado (Penter *et al.*, 2001).

La presencia de Ca^{+2} generalmente está en niveles adecuados en el suelo, pero puede ser deficiente en la fruta, ya que su absorción y su distribución se ve afectada por numerosos factores. Trabajos publicados en tomate por Bangerth (1979) demostraron que el movimiento de calcio en la fruta, depende del movimiento de auxina fuera de la fruta. Cuanto mayor sea la tasa de división celular, más auxina se produce para el movimiento fuera de la fruta, lo que explicaría el patrón de cambio de calcio. Para corroborar este comportamiento, Cutting & Bower (1989) llevaron a cabo el experimento mostrado en la Figura 3.4, donde frutos pequeños fueron cosechados, y sus pedicelos colocados en un bloque de agar. El bloque de agar contenía Ca^{45} como un trazador radioactivo (Figura 3.4A). A un fruto se le aplicó el inhibidor del transporte de auxina TIBA. Después de varios días (Figura 3.4B) se encontró que en ausencia de TIBA, la auxina se movió dentro del bloque de agar, y el Ca^{45} se movió dentro de la fruta. Sin embargo, en presencia de TIBA, el calcio no se movió en la fruta, y la auxina tampoco se movió al bloque de agar. Esto demostró que en palta el calcio se mueve en las zonas que exportan auxina, que a su vez están relacionadas con la división celular. Así, mientras más rápida y extensa sea la división celular, más calcio se moverá a dicho órgano. Otro factor que afecta el movimiento del calcio es el agua.

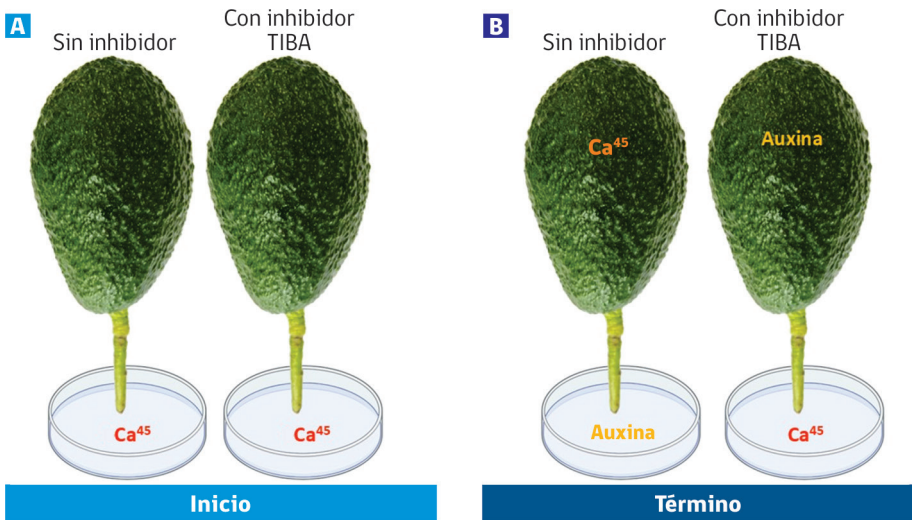


Figura 3.4. Transporte de auxina y su relación en la absorción de Ca^{+2} .

El calcio se mueve de las raíces hacia la fruta y las hojas por el xilema, y la tasa de movimiento se ve afectada por la velocidad de movimiento del agua, que a su vez depende de la transpiración (Witney *et al.*, 1990). La disponibilidad de agua afecta

a la transpiración, el estrés hídrico restringe el movimiento debido al cierre de los estomas. Además, las hojas, especialmente aquellas que rodean la fruta, tienen una tasa de transpiración mayor que la fruta y, por lo tanto, la relación hoja/fruta se vuelve importante. Mientras más hojas hay en relación a las frutas, más Ca^{+2} se dirigirá hacia ellas en lugar de hacia la fruta. La descarga final de Ca^{+2} en las células depende de la circulación de la auxina y, por ende, de la división celular. Cuanto mayor sea el crecimiento de las hojas nuevas en primavera, que coincide con el crecimiento del fruto, más será la competencia por este mineral. Mientras que el crecimiento vegetativo de primavera es necesario más tarde, para el desarrollo del fruto, la competencia con el crecimiento del fruto durante el período de división celular temprana afecta la carga de calcio a la fruta. Cuanto mayor sea el vigor vegetativo, menos calcio se moverá hacia la fruta (Van Rooyen, 2005). Por consiguiente, es necesario controlar el vigor vegetativo de la floración hasta el final del período principal de la división celular de la fruta, donde un fuerte impulsor del vigor es el nitrógeno.

Firmeza de pulpa:

El nivel de ablandamiento de pulpa durante almacenamiento tiene un impacto muy alto en la cadena de valor de la palta, y por lo tanto la tasa de pérdida de firmeza y el tiempo de maduración se consideran indicadores para alcanzar la madurez de consumo. Entre los nutrientes de la planta, Rivera *et al.* (2017) observaron que el contenido de Ca^{+2} y su relación con otros nutrientes como potasio y nitrógeno (K/N), afectaban la tasa de ablandamiento, por lo tanto, la firmeza de la fruta después de 35 días de almacenamiento a 5 °C. Asimismo, Hofman *et al.* (2002) observaron una correlación positiva entre el contenido de Ca^{+2} y los días necesarios para alcanzar madurez de consumo. Es decir, fruta que demoró más tiempo en madurar, presentó mayor contenido de Ca^{+2} (Witney *et al.*, 1990; Saucedo-Hernández *et al.*, 2005; Wills & Tirmazi, 1982). Esta importante relación se debe al efecto del Ca^{+2} en la estabilización de pectinas para el fortalecimiento de la pared celular de la planta (Sams, 1999). A su vez, Witney *et al.* (1990) demostraron una relación positiva y significativa entre la concentración de calcio en la pulpa y los días hasta su maduración. Por otro lado, tratamientos con infiltración de cloruro de calcio (CaCl_2) en palta durante postcosecha, han demostrado ser efectivos para retrasar el proceso de maduración en comparación con la fruta no tratada. Sin embargo, este efecto es variedad dependiente (Wills & Tirmazi, 1982; Yuen *et al.*, 1994). Como se había comentado, el movimiento de calcio hacia la fruta se realiza a través del xilema, donde la mayor absorción de calcio en palta 'Hass' ocurre durante las primeras 7 a 8 semanas de cuaja (Bower, 1985). Por lo tanto, el manejo del riego durante las primeras etapas del desarrollo del fruto tiene una influencia directa en el contenido de Ca^{+2} (Bower, 1985; Rivera *et al.*, 2017).

Desarrollo de color de epidermis:

Una de las características distintivas de la variedad 'Hass', dentro de la importante disponibilidad de genotipos, es el cambio de color de la piel de verde a negro a medida que la fruta avanza en su madurez, siendo el color junto a la firmeza los índices que definen el momento óptimo de consumo (Olivares *et al.*, 2020). Además, al momento de llegar la fruta a destino, este atributo es el que más evidencia el nivel de heterogeneidad de la fruta en la caja, pallet o contenedor. En general, una palta a cosecha no presenta problemas en este atributo, ya que incluso es posible hacer una selección a nivel de "packing" previo al embalaje. Al evaluar palta 'Hass' proveniente de 42 productores en Chile, independiente de la zona de origen o manejo agronómico, se observó que el 100 % de los frutos a cosecha pueden ser clasificados como verdes (Defilippi *et al.*, 2015a; 2015b). Sin embargo, a medida que se evaluó fruta con tiempos prolongados de almacenamiento, la heterogeneidad en el desarrollo de color se acentúa, obteniendo fruta con distintos niveles de porcentaje de viraje o cambio de color. Por lo tanto, el color inicial de la fruta no es un indicador importante del nivel de madurez de la fruta y menos del potencial de su almacenamiento.

Respecto a factores de precosecha que afectan el color, el cambio en color de la piel está fuertemente influenciado por las condiciones climáticas/ambientales. Por ejemplo, Rivera *et al.* (2017) observaron que la temperatura mínima de la temporada, así como la acumulación de días grados, fueron parámetros significativos para definir el cambio de color durante el almacenamiento de palta 'Hass'. Trabajos previos realizados por Cox *et al.* (2004) mostraron la influencia de la temperatura de crecimiento en el contenido de antocianina (cianidina-3-O-glucósido) y clorofila en la piel de la fruta.

Por otro lado, variables como índice de área foliar (IAF), manejo del riego y el contenido de nitrógeno de la fruta fueron influyentes en el cambio en el color de la piel durante el almacenamiento (Rivera *et al.*, 2017). Esto sugiere que podría existir una interacción de factores condicionando la evolución del importante grupo de pigmentos responsables del color en palta 'Hass' (Ashton *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 2017).

Estudios realizados por Olivares *et al.* (2024) evaluaron el efecto de las tecnologías de postcosecha (atmósfera controlada con retraso) en los cambios de color para paltas 'Hass', observando que fruta con tiempos de retraso para establecimiento de AC presentaron una mayor coloración relacionado con el incremento de la cianidina-3-O-glucósido.

Desórdenes fisiológicos:

Dentro de los desórdenes fisiológicos que se pueden encontrar en palta, el pardeamiento de pulpa y epidermis son los más relevantes a nivel comercial (Woolf *et al.*, 2005). Estos desórdenes se desarrollan tras periodos de conservación en frío durante postcosecha (Eaks, 1980). La incidencia y severidad de los desórdenes estará afectada por una serie de factores que incluyen aspectos tales como el manejo agronómico y climáticos, estado de madurez de cosecha, tiempo de tránsito o almacenamiento y temperatura utilizada en este proceso. El estado nutricional del huerto ha mostrado ser determinante en la expresión de pardeamientos en el fruto. Una adecuada nutrición junto con niveles en fruta sobre un umbral requerido, se ha relacionado con menor incidencia de desórdenes (Hofman *et al.*, 2002; Thorp *et al.*, 1997; Penter & Stassen, 2000). Dentro de las clasificaciones de pardeamientos y manchas se ha normalizado a nivel comercial el término “black spot” para expresar el conjunto de manchas negras en la piel del fruto. Usualmente, esta categorización no considera la lenticelosis y las enfermedades fungosas, ya que sus síntomas son más fáciles de identificar. De esta manera, el “black spot” se compone de pardeamientos externos causados principalmente por daños físicos y fisiológicos. Debido a la amplitud de los factores que pueden inducir daños fisiológicos en el fruto, como por ejemplo la nutrición mineral y variables medioambientales, son estos síntomas los más difíciles de diagnosticar. Consecuentemente, existe un alto porcentaje de pardeamientos o “black spot” con diagnóstico parcial, siendo sus posibles causas materia de futuros estudios. Sin embargo, muchos de estos desórdenes fisiológicos serán tratados en mayor detalle en el Capítulo 6 de este mismo boletín.

Si bien los síntomas de pardeamiento —internos y externos— se expresan mayoritariamente durante la postcosecha, su inducción puede venir desde el huerto (precosecha). Los factores que han sido identificados como posibles causantes de pardeamiento del fruto, pueden ser resumidos en:

- a) **Equilibrio vegetativo-reproductivo:** dentro del manejo productivo, el equilibrio del crecimiento vegetativo-reproductivo es determinante en el estado nutricional del fruto. Como se ha mencionado, una alta concentración de Ca^{+2} en el fruto otorgará una menor susceptibilidad al desarrollo de este tipo de pardeamientos. Por otra parte, el exceso de crecimiento vegetativo provocará que el poder sumidero de las hojas y ramas capturen la mayor cantidad de Ca^{+2} y nutrientes en desmedro del fruto. Consecuentemente, aumenta la probabilidad de pardeamiento en frutos producidos en condiciones de alto vigor. Por otro lado, también se necesita mantener una cantidad de hojas mínima

en los centros frutales del árbol, para favorecer el flujo transpiratorio hacia la fruta y de esta manera favorecer una mayor acumulación de nutrientes de escasa movilidad, como el calcio (Van Rooyen, 2015; Bower *et al.*, 2014).

- b) **Equilibrio nutricional:** para asegurar los aspectos de equilibrio vegetativo-reproductivo, es importante lograr una nutrición adecuada, que no genere excesos ni déficit de nutrientes. En concreto, a las consideraciones expuestas sobre nutrición cálcica, se debe agregar la fertilización nitrogenada, ya que los excesos de N favorecen el crecimiento vegetativo de la planta compitiendo con el fruto en cuanto a la demanda por calcio (Van Rooyen & Bower, 2005). Consecuentemente, en países como Sudáfrica, el nitrógeno en el fruto se ha utilizado como predictor de calidad, donde frutos con menos de 1 % de concentración de N en el mesocarpo tendrá mayores probabilidades de obtener una mejor calidad en postcosecha, con fruta más firme y menor susceptibilidad a desórdenes (Snijder *et al.*, 2002).
- c) **Sanidad de raíces:** aspecto importante en el suministro de Ca^{+2} es la capacidad de absorción por parte de la planta. En ocasiones, el déficit de calcio puede deberse a la incapacidad de la raíz para absorberlo, más que a la falta de este nutriente en el suelo. Mantener un adecuado crecimiento de raíces, evitar la presencia de patógenos o nemátodos y mantener un suelo adecuadamente regado y aireado son uno de los aspectos claves.
- d) **Eficiencia de riego:** la mantención de un riego adecuado es esencial para no detener el flujo transpiratorio de la planta. Bower (1985) muestra que un déficit de riego involucra una menor concentración de Ca^{+2} en el fruto, comparado con un riego ajustado a la necesidad evapo-transpirativa. Asimismo, Witney *et al.* (1990) describieron que en el movimiento xilemático del Ca^{+2} , la velocidad de movimiento del agua depende de la transpiración, la cual se ve afectada por el cierre estomático bajo situaciones de déficit hídrico. Ferreyra & Sellés (2006) determinaron que el exceso de riego, y el consecuente anegamiento, puede causar asfixia radical, reduciendo el funcionamiento de las raíces. Un deterioro severo del sistema radical eventualmente puede llevar inhibición del crecimiento de hojas y generar abscisión anticipada (Stolzy *et al.*, 1967; Schaffer *et al.*, 1992).
- e) **Equilibrio productivo:** la relación del equilibrio nutricional debe ir de la mano con la productividad. De esta manera, estudios realizados en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, mostraron que frutos con exceso de calibre (peso promedio ~ 320 g), tenían o contenían menos Ca^{+2} que frutos con menor

calibre (peso promedio ~ 230 g). A su vez, para una misma zona geográfica de producción, frutos con mayor calibre mostraron un porcentaje equivalente a un 16 % de frutos afectados con pardeamiento externo, mientras que aquellos frutos de menor calibre mostraron menor incidencia (< 3 %).

3.3. Pudriciones

Las pudriciones del fruto son resultados de infecciones que se inician mayoritariamente entre cuaja y cosecha, y las cuales permanecen latentes luego de iniciada la maduración postcosecha (Prusky *et al.*, 1991; Hopkirk *et al.*, 1994; Fischer *et al.*, 2019; Valencia *et al.*, 2019). Las fuentes de inóculo están presentes en la plantación. Para la pudrición lateral, ramillas muertas y hojas de palto y otras especies vegetales hospederas son las principales fuentes de inóculo (Ardi *et al.*, 1998; Everett *et al.* 2003, 2005; Fischer *et al.*, 2019).

En relación con variables ambientales predisponentes para pudriciones de post-cosecha, la temperatura y precipitaciones son influyentes en las etapas de la enfermedad, como en la dispersión, germinación e infección (Everett y Pak, 2002; Twizeyimana *et al.*, 2013; Everett *et al.*, 2007). En Nueva Zelanda, Pak *et al.* (2003) estimaron un modelo de predicción de incidencia de pudriciones laterales considerando la pluviometría dentro de las 24 h previas a cosecha, el daño superficial del fruto y la fecha de cosecha. Por otro lado, temperatura y precipitaciones no solo influyen directamente sobre el agente patógeno, también pueden influir en el proceso de transpiración y consecuentemente en la acumulación del Ca^{+2} del fruto. De esta manera, precipitaciones en estadios iniciales de formación del fruto podrían generar una influencia positiva (Everett *et al.*, 2007).

3.4. Comentarios finales

Este capítulo ha descrito factores críticos de precosecha que ejercen una influencia significativa en la calidad global y condición de la palta durante su postcosecha; destacando la complejidad de las interacciones entre las variables agroclimáticas (temperatura) y las prácticas de manejo agronómicas, y cómo estas afectan los atributos como la firmeza de la pulpa, color de la epidermis, sabor, el patrón de maduración y la respuesta a las tecnologías de postcosecha, lo que representa un desafío para la comercialización de la fruta.

La importancia de las prácticas de manejo agronómico, como el riego y la nutrición, en las primeras etapas del desarrollo de la palta, y cómo estas pueden influir en la calidad de la fruta durante la postcosecha. El manejo del riego, por ejemplo, puede afectar el desarrollo radicular, el tamaño de los frutos y la tasa de ablandamiento durante el almacenamiento. La nutrición mineral, en particular el calcio, el nitrógeno y el boro, también juega un papel crucial en la calidad de la fruta y su comportamiento durante la postcosecha.

Además, se han discutido otros factores de precosecha que pueden afectar la calidad de la palta, como la orientación y ubicación del fruto en el árbol, y las pudriciones. Estos factores pueden influir en la madurez, el color de la piel y la incidencia de desórdenes fisiológicos y enfermedades durante la postcosecha.

En resumen, este capítulo proporciona una visión general de los factores críticos de precosecha que determinan la calidad de palta 'Hass', destacando la importancia de comprender y manejarlos durante todo el proceso de producción.

3.5. Referencias

- Ardi, R., Kobilier, I., Jacoby, B., Keen, N., & Prusky, D. (1998). Involvement of epicatechin biosynthesis in the activation of the mechanism of resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Physiological And Molecular Plant Pathology*, 53(5-6), 269-285. <https://doi.org/10.1006/pmpp.1998.0181>
- Arpaia, M.L. (1994). Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. *HortScience*, 27(6), 568c-5568. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.6.568c>
- Arpaia, M.L.; Meyer, J.L.; Witney, G.W.; Bender, G.S.; Stottlemeyer, D.S. & Robinson, P.R. (1996). The chasin creek nitrogen fertilizer trial - what did we learn?. California Avocado Society, 1996 Yearbook 80: 85-98
- Ashton, O. B. O., Wong, M., McGhie, T. K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., Ramankutty, P., & Woolf, A. B. (2006). Pigments in Avocado Tissue and Oil. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 54(26), 10151-10158. <https://doi.org/10.1021/jf061809j>

- Bangerth, F. (1979). Calcium related physiological disorders of plants. *Annual Review of Phytopathology* 17, 97-122
- Blakey, R. J., Bower, J. P., & Bertling, I. (2009). Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the prediction of water content using Near Infrared Spectroscopy. *Postharvest Biology And Technology*, 53(1-2), 72-76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.03.004>
- Bonilla, N., Cazorla, F.M., Martínez-Alonso, M., Hermoso, J.M., González-Fernández, J.J., Gaju, N., Landa, B.B., de Vicente, A. (2012). Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity and biomass in avocado crop soils. *Plant Soil* 357, 215-226. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1155-1>
- Bower, J.P. (1985a). The calcium accumulation pattern in avocado fruit as influenced by long term irrigation regime. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 8, 97-99
- Bower, J.P. (1985b). Some aspects of water relations on avocado (*Persea americana* Mill.) tree and fruit physiology. PhD Thesis, University of Natal, South Africa.
- Chaplin, G.R., Scott, K.J. (1980) Association of calcium in chilling injury susceptibility of stored avocados. *HortScience* 15, 514-515.
- Connor, A.M., Luby, J.J., Hancock, J.F., Berkheimer, S., Hanson, E.J., (2002). Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 893-898. <http://dx.doi.org/10.1021/jf011212y>
- Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A., & Woolf, A. B. (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology And Technology*, 31(3), 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
- Cutting, J. G. M., J. P. Bower and B. N. Wolstenholme. (1986). Stress delayed harvest and fruit quality in Fuerte avocado fruit. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 2019, Volume 42. 9:39-42

- Dann, E., Coates, L., Pegg, K., Dean, J., Cooke, A., Smith, L., Shuey, L., Whiley, A., Hofman, P., Marques, R., & Stubbings, B. (2016). Rootstock selection, nitrogen and calcium influence postharvest disease in avocado. *Acta Horticulturae*, 1120, 391-398. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2016.1120.60>
- Defilippi, B.; Ferreyra, R. & Rivera, S. (2015a). Optimización de la calidad de palta Ca: Herramientas para enfrentar nuevos desafíos. *Boletín INIA N° 307*, 27-36.
- Defilippi, B.G.; Robledo, P.; Ferreyra, R; Soto, S. (2015b). Preharvest factors influencing "Hass" avocado quality during long term storage. *Acta Horticulturae*, 1071, 137-141. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.1071.13>
- Defilippi, B. G., Ejsmentewicz, T., Covarrubias, M. P., Gudenschwager, O., & Campos-Vargas, R. (2018). Changes in cell wall pectins and their relation to postharvest mesocarp softening of "Hass" avocados (*Persea americana* Mill.). *Plant Physiology And Biochemistry*, 128, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.018>
- Everett, K.R & Pak, H.A. (2002). Infection criteria for pathogens causing bodyrots in avocados. *NZ Avocado Growers Association Annual Research Report*, 2, 1-7.
- Everett, K. R. (2003). The effect of low temperatures on *Colletotrichum acutatum* and *Colletotrichum gloeosporioides* causing body rots of avocados in New Zealand. *Australasian Plant Pathology*, 32(4), 441. <https://doi.org/10.1071/ap03050>
- Everett, K., Owen, S., & Cutting, J. (2005). Testing efficacy of fungicides against postharvest pathogens of avocado (*Persea americana* cv Hass). *New Zealand Plant Protection*, 58, 89-95. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2005.58.4260>
- Everett, K. R., Boyd, L. M., Pak, H. A., & Cutting, J. G. M. (2007). Calcium, fungicide sprays and canopy density influence postharvest rots of avocado. *Australasian Plant Pathology*, 36(1), 22. <https://doi.org/10.1071/ap06076>
- Ferreyra, R.; Sellés, G.; Maldonado, P.; Celedón, A.; Barreras, C. & Gil, P. (2006). Seminario Internacional manejo del riego y suelo en el cultivo del palto. La Cruz, Chile.

- Ferreyra, R., Sellés, G., Saavedra, J., Ortiz, J., Zúñiga, C., Troncoso, C., Rivera, S., González-Agüero, M., & Defilippi, B. (2016). Identification of pre-harvest factors that affect fatty acid profiles of avocado fruit (*Persea americana* Mill) cv. 'Hass' at harvest. *South African Journal Of Botany*, 104, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.10.006>
- Fischer, I.H.; de Moraes, M.F.; Firmino, A.C. & Amorim, L. (2019). Detection and epidemiological progress of quiescent avocado diseases. *Ciencia Rural*, 49 (8), 1–10.
- Hernández, I.; Fuentealba, C.; Olaeta, J.A.; Lurie, S.; Defilippi, B.G.; Campos-Vargas, R. & Pedreschi, R. (2016). Factors associated with postharvest ripening heterogeneity of Hass avocados (*Persea americana* Mill). *Fruits*, 71, 259–268
- Hofman, P. J., Jobin-DéCor, M., & Giles, J. (2000). Percentage of Dry Matter and Oil Content Are Not Reliable Indicators of Fruit Maturity or Quality in Late-harvested 'Hass' Avocado. *HortScience*, 35(4), 694–695. <https://doi.org/10.21273/hortsci.35.4.694>
- Hofman, P. J., Vuthapanich, S., Whiley, A. W., Klieber, A., & Simons, D. H. (2002). Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 92(2), 113–123. [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(01\)00286-2](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(01)00286-2)
- Hofman P., Fuch Y., Milne D., Harvesting, packing, postharvest Food Agric. 87 (2007) 2880–2885. technology, transport and processing, in: Whiley A., Schaffer B. Wolstenholme B. (Eds), *The avocado: botany, production and [33] Requejo-Tapia L., International trends in fresh avocado and uses*, CABI Publishing, Wallingford, 2002, pp. 363–391.
- Hopkirk, G., White, A., Beever, D. J., & Forbes, S. K. (1994). Influence of postharvest temperatures and the rate of fruit ripening on internal postharvest rots and disorders of New Zealand 'Hass' avocado fruit. *New Zealand Journal Of Crop And Horticultural Science*, 22(3), 305–311. <https://doi.org/10.1080/01140671.1994.9513839>
- Muñoz, D. (2004). Desarrollo de una metodología de muestreo para la medición de aceite en palta (*Persea americana* Mill.) en dos cultivares. Taller de Licenciatura Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. 41p.

- Magwaza, L.S. (2015). A Review of Destructive and Non-destructive Methods for Determining Avocado Fruit Maturity. *Food Bioprocess Technol.* 8, 1995-2011. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1568-y>
- Olivares, D., Alvarez, E., Véliz, D., García-Rojas, M., Díaz, C., & Defilippi, B. G. (2020). 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>
- Pak H. A., Dixon J., Smith D. B., Elmsly T. A. & Cutting J. G. M. (2002). Impact of rain-fall prior to harvest on ripe fruit quality of 'Hass' avocados in New Zealand. New Zealand avocado growers' association annual research report, 2, 22-31.
- Penter, M.G., Stassen, P.J.C. (2000). The effect of pre- and postharvest calcium applications on the postharvest quality of Pinkerton avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 23:1-7
- Poovaiah, B.W., Glenn, G.M., Reddy, A.S.N., (1988). Calcium and fruit softening: physiology and biochemistry. *Horticultural Reviews*, Volume 10, 107-115
- Prusky, D., Plumbly, R. A., & Kobiler, I. (1991). The relationship between antifungal diene levels and fungal inhibition during quiescent infection of unripe avocado fruits by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathology*, 40(1), 45-52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1991.tb02291.x>
- Rivera, S. A., Ferreyra, R., Robledo, P., Selles, G., Arpaia, M. L., Saavedra, J., & Defilippi, B. G. (2017). Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long term storage. *Scientia Horticulturae*, 216, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.024>
- Salazar-García, Samuel, Medina-Carrillo, Raquel Enequina, & Álvarez-Bravo, Arturo. (2016). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe13), 2565-2575. Recuperado en 13 de marzo de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000902565&lng=es&tlng=es.
- Sams, C.E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 249-254.

- Saucedo-Hernandez, L.; Martínez-Damián, M.T.; Colinas-León, M.T.; Barrientos-Priego, A.F. & Aguilar-Melchor, J.J. (2005). Calcium nitrate foliar sprays in the ripening and chilling injury of 'Fuerte' avocado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11, 149-157.
- Schaffer, B; Andersen, P & Ploetz, R. (1992). Responses of fruit trees to fooding. *Horticultural Reviews*. 13, 257-313.
- Snijder, B., Penter, M.G., Mathumbu, J.M. & Kruger, K.F. (2002). Further refinement of 'Pinkerton' export parameters. *South African Avocado Growers Association Yearbook* 25, 50-53.
- Tesfay, S.Z. (2009). Special carbohydrates of avocado - their function as "sources of energy" and "antioxidants". PhD Thesis, University of KwaZulu-Natal, South Africa.
- Tesfay, S., Bertling, I., & Bower, J. (2010). Anti-oxidant levels in various tissues during the maturation of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *The Journal Of Horticultural Science And Biotechnology*, 85(2), 106-112. <https://doi.org/10.1080/14620316.2010.11512639>
- Thompson, A.K. (2010). Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. 2nd ed. CAB International, Wallingford, UK
- Thorp, T.G., Hutching, D., Lowe, T., Marsh, K.B. (1997). Survey of fruit mineral concentrations and postharvest quality of New Zealand-grown Hass avocado (*Persea americana* Mill.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 25, 251-260
- Twizeyimana, M., Förster, H., McDonald, V., Wang, D. H., Adaskaveg, J. E., & Eskalen, A. (2013). Identification and Pathogenicity of Fungal Pathogens Associated with Stem-End Rot of Avocado in California. *Plant Disease*, 97(12), 1580-1584. <https://doi.org/10.1094/pdis-03-13-0230-re>
- Valencia, A. L., Gil, P. M., Latorre, B. A., & Rosales, I. M. (2018). Characterization and Pathogenicity of Botryosphaeriaceae Species Obtained from Avocado Trees with Branch Canker and Dieback and from Avocado Fruit with Stem End Rot in Chile. *Plant Disease*, 103(5), 996-1005. <https://doi.org/10.1094/pdis-07-18-1131-re>

- Van Rooyen, Z. (2005). Factors affecting mesocarp discolouration severity in 'Pinkerton' avocados (*Persea americana* Mill.). PhD Thesis, University of Kwazulu-Natal, South Africa.
- Van Rooyen, Z., & Bower, J. (2005). The role of fruit mineral composition on fruit softness and mesocarp discolouration in 'Pinkerton' avocado (*Persea americana* Mill.). *The Journal Of Horticultural Science And Biotechnology*, 80(6), 793-799. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11512016>
- Wang, M., Zheng, Y., Khuong, T., Lovatt, C.J., (2012). Effect of harvest date on the nutritional quality and antioxidant capacity in "Hass" avocado during storage. *Food Chem.* 135, 694-698. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.022>
- Willingham, S. L., Pegg, K. G., Anderson, J. M., Cooke, A. W., Dean, J. R., Giblin, F. R., & Coates, L. M. (2006). Effects of rootstock and nitrogen fertiliser on postharvest anthracnose development in Hass avocado. *Australasian Plant Pathology*, 35(6), 619. <https://doi.org/10.1071/ap06062>
- Wills, R.B.H. & Tirmazi, D.I.H. (1982). Inhibition of ripening of avocados with calcium. *Scientia Horticulturae*, 16, 323-330.
- Witney, G.W., Hofman, P.J., Wolstenholme, B.N., (1990). Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. *Scientia Horticulturae*, 44, 269-278.
- Woolf, A.B.; Ferguson, I.B.; Requejo-Tapia, L.; Boyd, L.; Laing, W.A. & White, A. (1999). Impact of sun exposure on harvest quality of Hass avocado fruit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 353-358.
- Woolf A.B. & Ferguson, I.B. (2000). Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. *Spectroscopy. Postharvest Biology And Technology*, 21, 7-20.
- Woolf, A. B., Wexler, A., Prusky, D., Kobiler, E., & Lurie, S. (2000). Direct Sunlight Influences Postharvest Temperature Responses and Ripening of Five Avocado Cultivars. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 125(3), 370-376. <https://doi.org/10.21273/jashs.125.3.370>

Capítulo 4

Estrés ambiental y su efecto en calidad

Reinaldo Campos-Vargas

Ingeniero Agronomo, Ph.D.
reinaldocampos@uchile.cl

Daniela Olivares Z.

Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.

Alejandro Antúnez B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

4.1. Introducción

La calidad de la palta en postcosecha está muy relacionada con las condiciones climáticas y de manejo de los huertos en precosecha. Bajo el escenario actual de cambio climático, el sistema de producción de la palta es altamente vulnerable a fenómenos como sequías, incrementos en la temperatura, mayor frecuencia de inundaciones y reducción en el suministro de agua, afectando la productividad y calidad de los cultivos. Las variaciones en los parámetros ambientales afectan el funcionamiento celular y por lo tanto la fisiología de los cultivos, determinando la calidad de la fruta en términos de apariencia, sabor, y contenido de nutrientes (Singh *et al.*, 2015).

En este capítulo revisaremos los efectos de los fenómenos ambientales, incrementados producto del cambio climático, sobre los diferentes procesos fisiológicos del palto y cómo estos afectan los atributos de calidad y contenido nutricional del fruto.

4.2. Estrés hídrico

Dado su origen subtropical, el cultivo del palto es muy sensible a la falta o al exceso de agua en la zona radicular. El estrés hídrico puede reducir el crecimiento, disminuir el rendimiento, calidad y vida de postcosecha del fruto (Gil *et al.*, 2011).

En Chile, el palto se cultiva principalmente en la zona central del país con un clima mediterráneo tipo templado, limitando el riesgo de heladas. Sin embargo, los veranos son largos, calurosos y secos, por lo que se requiere de riego. Además, se debe considerar que los huertos de palto en nuestro país, se encuentran localizados en suelos con mal drenaje y poco oxigenados, limitando la producción y calidad de la palta (Gil *et al.*, 2009).

El palto presenta un sistema radicular superficial, el 80 % de sus raíces se distribuyen en los primeros 30 cm de suelo, es por esto que tiene una baja eficiencia en la extracción de agua de los horizontes profundos del suelo, generando una alta dependencia de un manejo adecuado de riego (Lemus *et al.*, 2005). Estrategias que logran mantener la humedad del suelo en un rango óptimo, han permitido no solo mejorar el rendimiento en la producción de frutos, sino también reducir la alternancia de producción, conocida como añerismo en los huertos (Silber *et al.*, 2012). No obstante, el manejo del agua debe ser balanceado, ya que el exceso de humedad también puede resultar perjudicial. El encharcamiento provoca asfisia radicular, generando problemas como la pudrición de raíces y la lixiviación de nutrientes esenciales (Atucha *et al.*, 2013; Reeksting *et al.*, 2014).

El estrés hídrico es uno de los factores más influyentes en la fisiología del palto, impactando en varias funciones esenciales, entre ellas la capacidad fotosintética, el crecimiento vegetativo y, por consiguiente, la productividad. Factores climáticos, como elevadas temperaturas o baja humedad relativa, intensifican la demanda evaporativa, determinada por el déficit de presión de vapor (DPV). En estas condiciones, el palto responde cerrando parcialmente sus estomas, reduciendo la transpiración. Este cierre estomático no solo disminuye el flujo de agua a través del árbol, sino que también la fotosíntesis, originando una reducción de la acumulación de carbohidratos, no sólo en el árbol y la carga frutal, sino también en la fruta, afectando su calidad y vida útil (Bertling & Bower, 2005). Con una menor DPV, el árbol mantiene tasas de transpiración más bajas, favoreciendo el balance hídrico de la planta (Whiley *et al.*, 1988; Scholefield *et al.*, 1980).

Los períodos críticos en los que la disponibilidad de agua es determinante, son la floración, el cuajado de frutos y el desarrollo de la semilla, etapas donde el déficit hídrico puede ser devastador (Wolstenholme *et al.*, 1990). A pesar de que el palto tiene el potencial fotosintético para producir más de 30 (t/ha) con un contenido de aceite de hasta el 17 % (Silber *et al.*, 2012), factores limitantes como el alto porcentaje de abscisión de flores y frutos, restringen el rendimiento promedio mundial a solo 10 (t/ha) (Garner & Lovatt, 2008).

4.2.1. Estrés hídrico en climas mediterráneos y su relación con la calidad del fruto

En climas mediterráneos, donde las altas temperaturas y la escasez de agua coinciden con los periodos críticos de desarrollo del palto como son la floración y cuajado del fruto, el estrés hídrico es un problema recurrente que agrava la abscisión de frutos (Figura 4.1). Este fenómeno ha sido observado especialmente en cultivares como 'Hass', los cuales son más susceptibles al estrés hídrico en comparación con otros cultivares como 'Fuerte' (Chartzoulakis *et al.*, 2002).



Figura 4.1. Etapas críticas del desarrollo del palto y el efecto de estrés hídrico. A) y B) Floración y cuaja en condiciones óptimas de riego. C) y D) Floración y cuaja en déficit hídrico.

El impacto del estrés hídrico se traduce en la reducción de parámetros como el crecimiento de brotes, la superficie foliar y el volumen de raíces finas, lo que a su vez afecta la capacidad del árbol para absorber nutrientes y agua de manera eficiente, afectando tanto el rendimiento como la condición del fruto (Ferreira & Selles, 2012). En esta última, se destacan las deformaciones del fruto características asociadas a una menor absorción de nutrientes, tales como el boro (Figura 4.2).



Figura 4.2. Deformaciones del fruto producto de un menor contenido nutricional por estrés hídrico. A) Fruto con óptimo contenido nutricional. B) Fruto con bajo contenido nutricional.

4.2.2. Estrategias de manejo de riego y técnicas para reducir la demanda hídrica

Para maximizar el rendimiento del palto, es fundamental mantener la humedad del suelo dentro de un rango adecuado. Riegos ligeros y frecuentes ayudan a mantener un sistema radicular más activo en las capas superiores del suelo, lo que facilita una mejor absorción de agua. Sin embargo, un manejo inadecuado, como la falta de agua, puede fomentar el crecimiento superficial del sistema radicular, lo que aumenta la vulnerabilidad del árbol ante la sequía y vientos fuertes (Silber *et al.*, 2012).

El riego deficitario (RD) ha surgido como una estrategia eficiente para reducir el uso de agua en el cultivo del palto, sobre todo en situaciones de escasez hídrica. Se ha comprobado que aplicar un riego deficitario entre el 40 % y 60 % de los requerimientos hídricos, puede reducir el rendimiento en un 30 % (Moreno *et al.*, 2019). Estudios en Israel demostraron que una reducción de 1.000 (m³/ha) en los requerimientos hídricos provocó pérdidas de hasta 2,2 (t/ha) en el cultivar ‘Hass’ (Lahav *et al.*, 1992). En Chile, Holzapfel *et al.* (2017) evaluaron diferentes niveles de riego, encontrando que rendimientos máximos de hasta 23 (t/ha) se lograron aplicando el 100 % de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), mientras que los rendimientos más bajos se obtuvieron con el 25 % de ET_o.

El manejo del agua también influye en la capacidad del palto para soportar el estrés hídrico sin afectar demasiado el tamaño del fruto. En situaciones de déficit hídrico, las hojas pueden extraer agua de los frutos, lo que provoca su marchitamiento e incluso aborto si no se recupera la turgencia (Liu *et al.*, 1999a, Liu *et al.*, 1999b). Las etapas más críticas, como la floración y el cuajado de frutos, requieren una alta disponibilidad de carbohidratos, que se movilizan desde las hojas hacia los frutos para garantizar su desarrollo. Un riego inadecuado durante estas etapas puede interrumpir este proceso, afectando tanto el tamaño como la calidad de los frutos. En la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina se ha evaluado el efecto del estrés hídrico en paltas ‘Hass’ en la Región de Valparaíso, provincia de Petorca. Esta zona se caracteriza por estar en una condición permanente de escasez hídrica, generando un gran desafío productivo para optimizar el uso de agua. Para evaluar el estrés hídrico, se aplicó RD entre un 40 a 60 % (ET_o) de las necesidades del huerto post cuaja para dos temporadas (2022-23 y 2023-24). En estos ensayos, se observó una disminución del tamaño de los frutos en los tratamientos con RD. Esta disminución es proporcional al porcentaje de reducción de riego, donde el tamaño de los frutos es un 18,7 % (40 % ET_o) y 6,7 % (60 % ET_o) en comparación al tratamiento de 100 % ET_o (Figura 4.3).

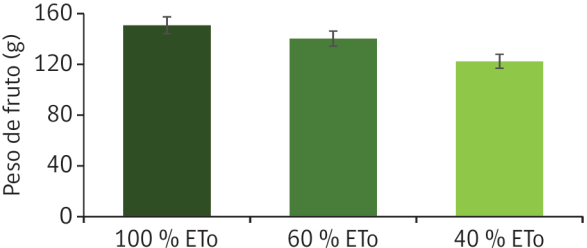


Figura 4.3. Reducción del tamaño del fruto en árboles sometidos a reducción del riego en un 40 - 60 % ET_o.

Con el fin de disminuir los requerimientos de agua, se evaluaron distintas herramientas que permitan enfrentar de mejor manera la escasez hídrica en la provincia de Petorca. El proyecto titulado “Estrategias para disminuir los requerimientos de agua de riego en paltos como herramienta para enfrentar la escasez hídrica en la provincia de Petorca” (financiamiento FIA PYT-2016-002 y FIA PYT-2017-0130), evaluó el impacto de diferentes técnicas para reducir la demanda hídrica de los huertos de paltos. Destaca, por sus efectos sobre el requerimiento de riego, el uso de cubierta plástica sobre el huerto (Figura 4.4) y la instalación de mulch plástico sobre el camellón (Figura 4.8).



Figura 4.4. Cubiertas plásticas sobre huerto como estrategia para disminuir los requerimientos de agua de riego en paltos.

Cubierta plástica sobre el cultivo: el ahorro de agua de evapotranspiración de cultivo (ETc) que consigue esta técnica se explica por la modificación de los parámetros meteorológicos al interior de la cubierta plástica que se resumen en:

- a) Aumento de la humedad relativa (1-2 %, registrado vía Hobo).
- b) Aumento de la temperatura máxima (2 %) y aumento de la temperatura mínima (2-3 %, vía Hobo).
- c) Reducción de la radiación solar (30 %, registrado por radiómetro).

d) Reducción de la velocidad del viento (~1 m/s, registrado por anemómetro).

Todo lo anterior, resulta en una reducción del DPV (déficit de presión de vapor) al interior de la cubierta de aproximadamente 6 %, comparado a la situación del huerto sin cubierta (Figura 4.5). La reducción de la ETc promedio obtenida con la cobertura plástica sobre el huerto medida en tres temporadas alcanzó una media de 20 %, fluctuando entre un mínimo de 17 % y un máximo de 22 % en el período de evaluación (Antúnez *et al.*, 2018).

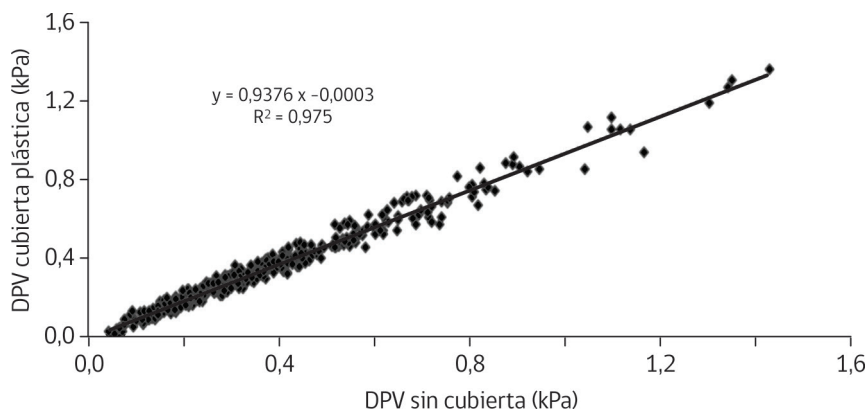


Figura 4.5. Comparación del déficit de presión de vapor (DPV) al interior de la canopia de los árboles, en el tratamiento bajo cubierta plástica versus sin cubierta.

A partir de los datos microclimáticos, se obtuvo mediante la Ecuación Penman-Monteith el valor de ETo (evapotranspiración de referencia) para ambos tratamientos (con y sin cubierta plástica), en el periodo descrito como temporada 2017-18 y 2018-19, la que fue corregida por el coeficiente de cultivo ($K_c = 0,72$), para obtener la evapotranspiración del huerto de paltos (ETc). En el Cuadro 4.1, se presenta el total de ETc (mm/temporada) para el huerto control (T0) y el huerto bajo cubierta plástica (T1).

Cuadro 4.1. Reducción cuantificada de la evapotranspiración de cultivo en estrategia cubierta plástica sobre cultivo para dos temporadas (T0 sin cubierta, T1 con cubierta).

Temporada	T0 (mm)	T1 (mm)	ETc reducida (mm)	ETc reducida (m ³ /ha)	ETc reducida (%)
2017-18	1.071	833	238	2.380	22,2
2018-19	1.042	867	175	1.754	16,8

Al comparar, el huerto control (T0) versus el huerto bajo cubierta plástica (T1) se verifica una reducción de hasta 20 % la ETc (Figura 4.6).

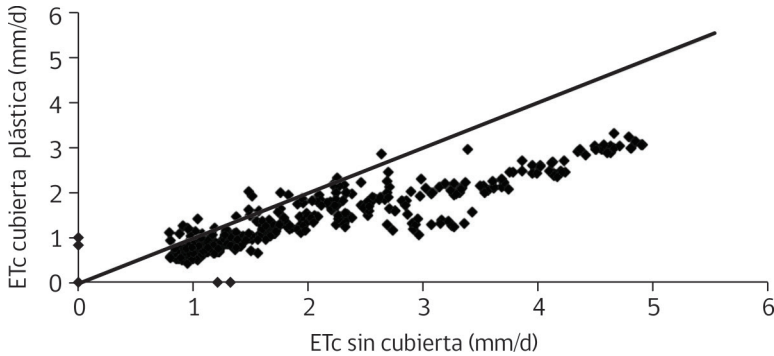


Figura 4.6. Comparación de la evapotranspiración del cultivo (ETc) en el tratamiento bajo cubierta plástica versus sin cubierta (control).

Como efecto colateral de la calidad de la fruta en estos ensayos, se encontró una diferencia contrastante en la presencia e intensidad de Russet presente. Esto se observó intensificado en los paltos sin cubierta plástica (47 % de incidencia) con respecto a los paltos en estudio bajo cubierta plástica (27 % de incidencia; Figura 4.7).



Figura 4.7. Presencia de Russet en paltos cosechados en ensayos de cubiertas plásticas sobre huertos. A) Sin cubierta plástica. B) Con cubierta plástica.

Mulch plástico sobre la hilera del huerto: el ahorro de agua de ETC que consigue esta técnica se explica por la reducción de la evaporación directa del suelo que impide la pérdida de agua desde la superficie húmeda del suelo. Se pudo determinar una reducción de la evapotranspiración del huerto en promedio de un 14 %, fluctuando entre un rango de 11 a 17 %. En otros términos, la técnica de mulch plástico sobre camellón reduciría la ET en 0,75 (mm/día), equivalentes a un ahorro de cerca del 14 % de la evapotranspiración potencial diaria respecto de una condición sin mulch (Figura 4.8).



Figura 4.8. Mulch plástico sobre el camellón como estrategias para disminuir los requerimientos de agua de riego en paltos.

Como indicador de eficiencia de la implementación de cubiertas plásticas sobre el huerto o mulch plástico sobre el camellón se utilizó la productividad del agua media, expresada en términos de rendimiento por volumen de agua utilizado (kg/m^3); para las dos temporadas de medición fue de 1,05 (kg de paltos/ m^3 de agua aplicado) para el tratamiento control. Un valor de 1,3 (kg/m^3) en el tratamiento con cubierta plástica y un equivalente a de 1,24 (kg/m^3) en el tratamiento con mulch plástico.

Con respecto a los efectos fisiológicos sobre los árboles, la cubierta plástica contribuye a mejorar el estatus hídrico del palto, ya sea en condiciones bien regadas (100 % ETc) o con un estrés hídrico ligero (80 % ETc). Además, la cubierta plástica no altera la saturación de los fotosistemas producida por la luminosidad (fluorescencia de la clorofila), no se evidenciaron efectos sobre la conductancia estomática ni el proceso de fotosíntesis.

4.2.3. Efectos del estrés hídrico en la postcosecha

El impacto del riego deficitario no solo se limita a las etapas de desarrollo del árbol, sino que también tiene repercusiones en la calidad del fruto durante la postcosecha. Estudios realizados por Bower (1985) han demostrado que el estrés hídrico previo a la cosecha afecta negativamente los niveles de polifenol oxidasa (POX) en paltas maduras almacenadas por 30 días a 5,5 °C, influyendo en su capacidad para soportar bajos niveles de O₂ y altos niveles de CO₂, durante almacenamiento prolongado. Además, los frutos provenientes de árboles sometidos a riego deficitario presentan mayores incidencias de desórdenes fisiológicos como pardeamiento de pulpa (pulpa gris) y manchas internas (Bower *et al.*, 1989). Estas alteraciones no solo reducen la calidad del fruto, sino también su vida útil en el mercado (Bertling & Bower, 2005).

Otro factor relacionado con la calidad del fruto es el contenido de calcio en la pulpa. Del estrés hídrico resulta el cierre de estomas que conduce a una disminución del flujo de agua a través del árbol y de la fotosíntesis, lo que afecta la absorción y distribución de calcio, y otros elementos minerales. Se ha observado que los árboles sometidos a estrés hídrico durante la fase de división celular temprana (floración y 7 - 8 semanas postcuaaja), muestran menores concentraciones de calcio en el fruto (Bower, 1985), comprometiendo su resistencia al almacenamiento y volviéndolo más susceptible a desórdenes fisiológicos. Este fenómeno se explica porque el calcio es transportado a través del flujo masal en la planta, implicando que, a mayor transpiración, mayor es la absorción de este mineral. A medida que se reduce la transpiración, se disminuye también la absorción de calcio. Este comportamiento ha sido evidenciado por la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, donde plantas con un RD (40 %) presentaban menor potencial hídrico xilemático y menor contenido de calcio en sus frutos (Figura 4.9). Esta deficiencia de calcio puede provocar desórdenes fisiológicos observados en otras especies. Un ejemplo de esto es la generación de "*blossom end rot*" en tomate, que se presenta con mayor incidencia los años de baja pluviometría, al igual que el "*bitter pit*" en manzanas. También, es de esperar que el nivel de calcio en los frutos será más alto en las zonas donde la evapotranspiración de referencia es mayor (Lahav & Kalmar, 1990).

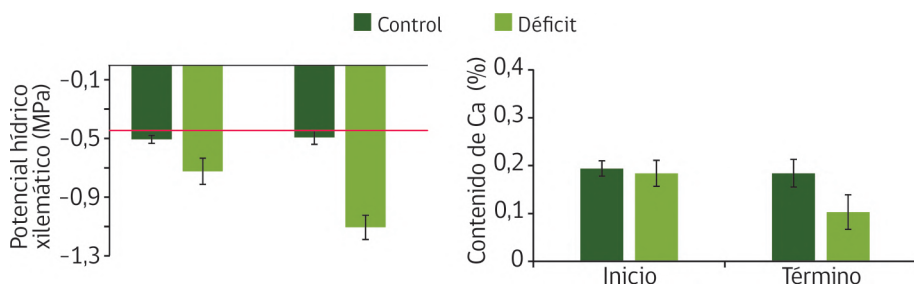


Figura 4.9. Efecto del estrés hídrico sobre el potencial hídrico xilemático medido en la hoja (izquierda) y el contenido de calcio en el fruto (derecha).

Después de la cosecha de la palta y especialmente durante las etapas iniciales de enfriamiento, la fruta pierde agua que va a la atmósfera circundante. Cuanto mayor es la pérdida de agua y menor la temperatura, mayores podrían ser los daños externos generados por frío (Bower & Magwaza, 2004). Probablemente hay un umbral de contenido de agua en el exocarpio, por debajo del cual se produce el estrés resultado en daños. Además, la fruta que está demasiado turgente al momento de la cosecha, puede dañarse en las lenticelas debido a la manipulación de la cosecha. El contenido de agua en la fruta a la cosecha y su pérdida en postcosecha también parece afectar la tasa de maduración de la fruta. Bower (1985) describió que la fruta de los árboles sometidos a un riego deficitario, presentaba un mayor contenido de ácido abscísico (ABA) comparado con frutas provenientes de árboles bien regados (Figura 4.10).

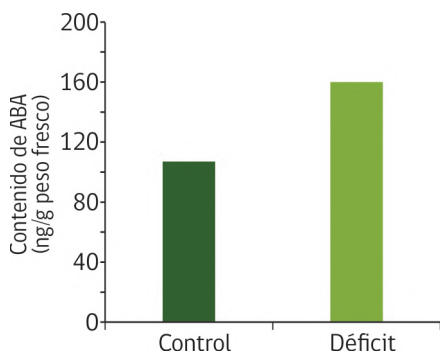


Figura 4.10. Efecto del estrés hídrico sobre el contenido de ácido abscísico (ABA).

Blakey *et al.* (2009) demostraron que tanto el agua como el ABA tienen un efecto sobre la maduración del fruto. Los frutos fueron tratados mediante la infusión de agua o ABA después de la cosecha, y la tasa de maduración se comparó con la de frutas control no tratadas. Aquellas frutas control llevaron un tiempo de maduración de 8 a 15 días, mientras que la fruta tratada con agua tomó de 10 a 12 días y los frutos tratados con ABA, de 8 a 12 días en su maduración (Figura 4.11).

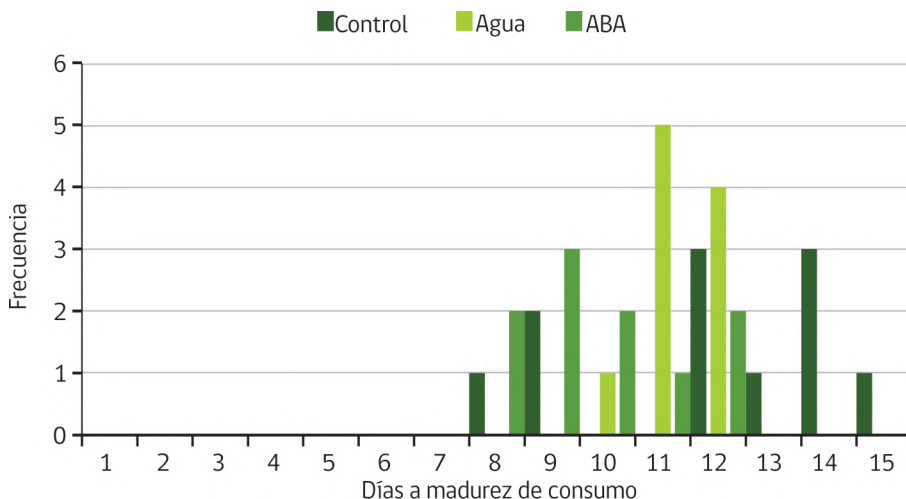


Figura 4.11. Efecto de la aplicación de ABA sobre la maduración.

Por otro lado, el mismo estudio utilizando espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS), permitió medir el contenido de agua en la fruta a la cosecha y predecir con éxito el número de días de maduración (Blakey *et al.*, 2009). A partir de este trabajo, se sugiere que el ABA estimula la maduración, donde el proceso ocurre más rápidamente que en los frutos control sin tratar. Basado en los datos, en la fruta cosechada se produce la pérdida de agua que no puede ser reemplazada. A cierto umbral de contenido de agua, la síntesis de ABA puede ser estimulada, lo que a su vez estimula la producción de etileno resultante en el inicio de la maduración. Además, el trabajo de Liu *et al.* (2002) indica que azúcares C-7 (D-manoheptulosa y perseitol) también pueden desempeñar un papel importante al actuar como inhibidores de la maduración, ya que ésta se inicia sólo después de que la concentración disminuye a un cierto umbral después de la cosecha. Por lo tanto, el nivel de azúcares en el fruto y el contenido de agua en el momento de la cosecha son críticos en la determinación de la maduración.

En conclusión, el manejo y programación del riego en el huerto de paltos es un factor crucial que determina el éxito en la producción y calidad del fruto. Implementar estrategias que mantengan la humedad del suelo en niveles óptimos (35 a 55 kPa), evitando tanto el exceso como el déficit hídrico, es esencial para maximizar el rendimiento y minimizar los desórdenes fisiológicos, tanto durante el crecimiento como en la postcosecha.

4.3. Estrés térmico

En los últimos años, los efectos del cambio climático han aumentado las temperaturas en aproximadamente 1 °C, llegando a máximas sobre los 39 °C en enero del 2024 (World Meteorological Organization, WMO y Dirección Meteorológica de Chile). Las altas temperaturas pueden generar una serie de cambios en las plantas, que se evidencian en un crecimiento limitado, modificaciones en la distribución de la biomasa y otros impactos a nivel fisiológico, particularmente en especies arbóreas (Teskey *et al.*, 2015). En el caso específico de los paltos, estudios recientes destacan su susceptibilidad a condiciones climáticas extremas, como las provocadas por el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). De acuerdo a Ramírez-Gil *et al.* (2020), estas condiciones pueden afectar significativamente el desarrollo y la productividad de los cultivos de palta, subrayando la importancia de seleccionar genotipos resistentes y adoptar prácticas agronómicas que minimicen los efectos adversos de la variabilidad climática.

El estrés térmico en los paltos puede desencadenar respuestas fisiológicas que se asemejan a las descritas anteriormente bajo condiciones de estrés hídrico. Esto se traduce en una reducción del crecimiento y un impacto negativo en el desarrollo general de la planta (Martínez-Ferri *et al.*, 2019). Estos efectos adversos pueden ser especialmente graves en regiones donde las olas de calor son frecuentes, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo que mitiguen el estrés térmico en los paltos.

En el caso del palto, este crece en un amplio rango de temperatura, siendo las condiciones térmicas ideales para una óptima fructificación 25 °C durante los meses calurosos y 15 °C en los meses fríos. Temperaturas superiores a 36 °C, podrían causar daños tanto en la fecundación y en el cuajado del fruto (Ramírez-Gil *et al.*, 2023, Lemus *et al.*, 2005). También es importante un periodo de frío en invierno para estimular la inducción floral. Se ha visto que, con temperaturas de 20 a 25 °C durante el día y 10 °C en la noche, presentan una buena fecundación y un buen cuajado del fruto (Lemus *et al.*, 2005). Temperaturas superiores a las descritas como óptimas, acortan los ciclos de desarrollo de los paltos. Por ejemplo, temperaturas superiores a los 33 °C afectan la floración, ya que acortan la apertura floral, reducen el número de flores que se abren, viabilidad de polen y, por lo tanto, la producción de frutos. En el periodo de cuaja, se induce aborto de los embriones y caída de frutos de un tamaño menor a 5 mm.

El palto es altamente sensible al estrés térmico debido a su origen subtropical, lo que puede generar efectos adversos significativos en su crecimiento y desarrollo a lo largo de su ciclo de vida. Esta sensibilidad al calor podría estar estrechamente vinculada a modificaciones en la distribución de asimilados fotosintéticos dentro de la planta, lo que a su vez podría alterar la asignación de recursos hacia diferentes órganos y tejidos, afectando de manera directa el desarrollo general de la planta (Backer *et al.*, 2015). Durante episodios de estrés térmico, los paltos activan un mecanismo fisiológico crucial; la apertura de sus estomas. Este proceso permite la transpiración, que ayuda a enfriar las hojas y mitigar los efectos negativos del calor. Sin embargo, en situaciones de sequía, la planta enfrenta un dilema fisiológico, ya que debe cerrar los estomas para conservar agua, lo que a su vez reduce la capacidad de enfriamiento por transpiración (Cohen *et al.*, 2021). Este comportamiento fisiológico ilustra la complejidad de las respuestas adaptativas de los paltos ante diferentes factores de estrés ambiental, como el calor extremo y la sequía. Dichos factores no solo afectan el crecimiento y el desarrollo de la planta, sino que también tienen repercusiones profundas en la calidad y la productividad del fruto, lo que subraya la necesidad de estrategias de manejo adecuadas para mitigar los efectos negativos del cambio climático en los cultivos de palto.

Investigaciones en plantas jóvenes de palto han demostrado que una combinación de altas temperaturas y baja intensidad de luz puede tener efectos perjudiciales significativos en su crecimiento, lo que a su vez repercute en el desarrollo general del huerto. Un estudio realizado por Shapira *et al.* (2021) reveló que las plantas jóvenes de palta 'Hass' presentan umbrales de daño por calor que oscilan entre los 49 °C y 51 °C, cuando se encuentran bajo condiciones de baja intensidad lumínica. Este rango de temperaturas extremas provoca daños severos en las hojas, manifestados en quemaduras y necrosis. Además, se observa una disminución significativa en la eficiencia fotosintética, lo que afecta de manera crítica la capacidad de la planta para asimilar dióxido de carbono (CO₂), un proceso esencial para su crecimiento y desarrollo. La gestión eficaz del estrés térmico no solo es crucial para asegurar la supervivencia de las plantas jóvenes, sino que también es vital para garantizar la sostenibilidad y productividad a largo plazo de los huertos.

4.3.1. Estrategias de manejo y técnicas para reducir el estrés térmico

Por otro lado, Lazare *et al.* (2022) documentaron que las olas de calor durante la primavera pueden provocar un aumento notable en la caída prematura de frutos, lo que conlleva una reducción significativa en los rendimientos de los huertos de palto.

Esta pérdida de producción es una preocupación importante, especialmente en el contexto de la intensificación de las condiciones climáticas extremas. En respuesta a este desafío, el uso de mallas de sombreado ha emergido como una estrategia eficaz para mitigar el impacto del estrés térmico en los huertos. Estas mallas no solo reducen la temperatura del dosel al disminuir la radiación solar directa sobre las hojas, sino que también mejoran el rendimiento fotosintético de las plantas durante eventos de calor extremo, como ya ha sido demostrado por Alon *et al.* (2022).

Además, la implementación de alternativas de riego, como el uso de aspersores para enfriar la canopia durante las olas de calor, ha mostrado ser una práctica beneficiosa para el manejo del estrés térmico. De acuerdo a Rodríguez *et al.* (2023), este método de riego ayuda a reducir significativamente la temperatura de las hojas, lo que a su vez disminuye el estrés hídrico y contribuye a un incremento en el rendimiento de la fruta de los huertos de palto.

Estas estrategias combinadas no solo permiten mantener la productividad en condiciones adversas, sino que también representan una adaptación crucial frente al cambio climático en la agricultura para este cultivo.

4.3.2. Efectos del estrés térmico en la postcosecha

Las altas temperaturas pueden ejercer una influencia considerable en la calidad final de la palta, una especie que, de manera óptima, se desarrolla en climas frescos y semiáridos, caracterizados por precipitaciones predominantemente invernales (Carr, 2013). Este tipo de clima permite un crecimiento controlado y uniforme, que es esencial para la obtención de frutos de alta calidad. Sin embargo, cuando las temperaturas superan los umbrales habituales, estas condiciones naturales de crecimiento pueden verse significativamente alteradas (Tzatzani *et al.*, 2023). Este estrés térmico no solo afecta la fisiología de la planta, sino que también puede comprometer la formación y maduración de los frutos, lo que potencialmente lleva a una disminución en la calidad organoléptica y comercial de los mismos (Álvarez *et al.*, 2017). En efecto, el aumento de la temperatura puede inducir modificaciones en el metabolismo del fruto, alterando la acumulación de compuestos esenciales como los azúcares y aceites, que son determinantes para el sabor y la textura, atributos principales de la calidad de la palta (Tzatzani *et al.*, 2023). Asimismo, este cambio en las condiciones ambientales puede afectar la resistencia del fruto a enfermedades y su vida en postcosecha, subrayando la importancia de un buen manejo agronómico en las zonas productoras de palto para asegurar la calidad superior de la fruta.

En lo que respecta a los frutos de palto, Tzatzani *et al.* (2023) observaron que las altas temperaturas durante los meses calurosos pueden tener un impacto considerable en su desarrollo, manifestándose en una disminución significativa en la concentración de materia seca. Este fenómeno es de particular relevancia, dado que la concentración de materia seca es un indicador clave de la calidad del fruto, influenciando tanto su textura como su sabor. Temperaturas elevadas no solo afectan la fisiología general del fruto, sino que también pueden alterar procesos metabólicos críticos, como la fotosíntesis, respiración y desarrollo reproductivo.

Liu *et al.* (2002) destacaron un aspecto fundamental en el proceso de maduración de los frutos de palto: el ablandamiento y la producción de etileno, dos eventos clave en la maduración, tienden a retrasarse hasta que los niveles de azúcares C-7 (D-mannoheptulosa y perseitol) descienden por debajo de aproximadamente 20 (mg/g peso fresco). Esto sugiere una relación estrecha entre la concentración de estos azúcares específicos y la regulación de procesos fisiológicos cruciales durante el desarrollo del fruto, especialmente bajo condiciones de estrés térmico. La acumulación de azúcares C-7 parece jugar un papel regulador en la capacidad del fruto para responder al calor, modulando tanto la tasa de ablandamiento como la síntesis de etileno, lo que a su vez influye en la calidad y en la vida útil del fruto en postcosecha. Estos hallazgos destacan la importancia de comprender y gestionar adecuadamente los efectos de las altas temperaturas en el cultivo de palto, asegurando la obtención de frutos de alta calidad, incluso en condiciones climáticas adversas.

La maduración del fruto de palto se caracteriza por el ablandamiento, un proceso influenciado por la producción de etileno y la tasa de respiración (Pesis *et al.*, 1978). Los frutos de palto experimentan una rápida pérdida de firmeza durante la maduración, atribuida a modificaciones en los polímeros de la pared celular provocadas por la acción de enzimas, como las celulasas (Huber & O'Donoghue, 1993). Esta pérdida de firmeza se asocia con un aumento en la conductividad eléctrica, lo que indica una disminución en la integridad de la membrana celular (Ahmed *et al.*, 2010). Este proceso, produce una pulpa blanda y comestible, desencadenado por la producción de etileno durante postcosecha (Kamiyoshihara *et al.*, 2018). Bennett *et al.* (1987) también vinculan la maduración de la palta con un aumento significativo en las tasas de respiración, un rasgo característico de los frutos climatéricos, que continúan madurando después de su cosecha (Kokawa *et al.*, 2020). Hernández *et al.* (2017) informaron que los paltos, especialmente el cultivar 'Hass', presentan una heterogeneidad en la maduración durante postcosecha debido a factores como períodos de floración prolongados y bajos porcentajes de cuajado. Por otro lado,

Woolf *et al.* (1999) determinaron que paltos ‘Hass’ expuestos a luz solar directa alcanzan temperaturas de hasta 43 °C en la pulpa, lo que influye en sus respuestas a postcosecha. Este estudio sugiere que la exposición al sol puede reducir el daño por frío en comparación con los frutos cultivados a la sombra, posiblemente debido a la expresión de proteínas de choque térmico, que contribuyen a la tolerancia al frío. Sin embargo, también se ha documentado que el estrés térmico puede causar pardeamiento externo y endurecimiento de la piel durante la maduración del fruto (Woolf & Laing, 1996).

Estudios realizados durante dos temporadas (2017-18 y 2018-19) por la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina identificaron el efecto de la exposición solar en paltas de la Región de Valparaíso, evaluando dos laderas de exposición en el interior del mismo huerto (norte y sur). La ladera de exposición norte fue caracterizada por una mayor incidencia de radiación solar, mientras que la ladera de exposición sur presenta menos horas de incidencia. En la Figura 4.12 se puede observar la radiación fotosintéticamente activa (PAR) de ambas laderas de exposición, donde durante los meses de invierno la radiación PAR medida en la ladera de exposición norte no supera los 500 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$), y el período de exposición sobre los 200 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) es de 7,5 horas por día. Durante la primavera-otoño,

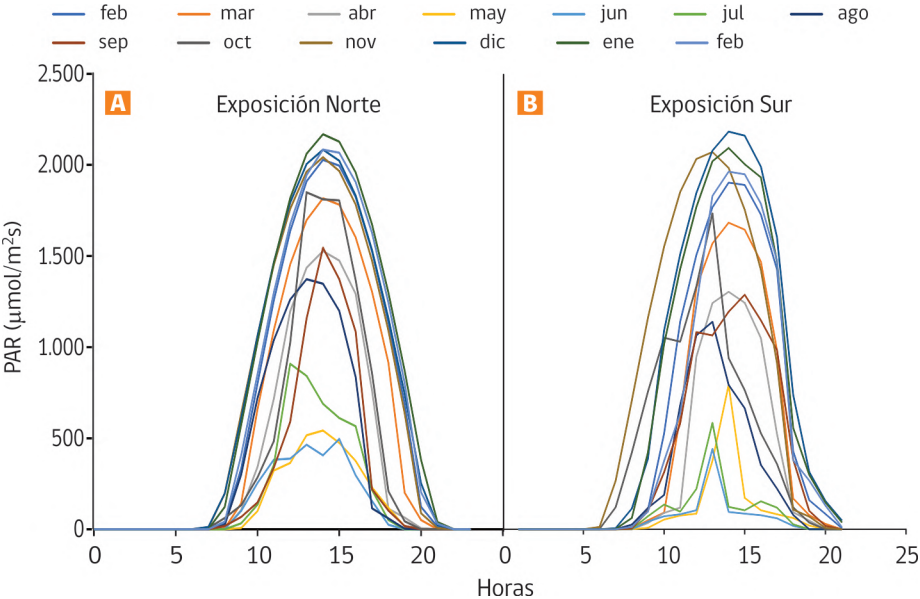


Figura 4.12. Perfil de exposición a la radiación solar fotosintéticamente activa diaria. A) Ladera de exposición norte. B) Ladera de exposición sur.

la radiación alcanza los 1.500 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$), y un promedio de horas expuesto a más de 200 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$) de 9,9 horas diarias. Durante el verano, la radiación tiene un máximo de 2.000 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$), alcanzado cerca de las 14 horas. Durante estos meses, la exposición a radiación mayor a 200 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$) es de 11 horas diarias. Por el contrario, la ladera de exposición sur el perfil es similar, pero el periodo de exposición a la radiación es menor, durante los meses de invierno recibe 3 horas de radiación solar mayor a 200 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$), con un máximo de radiación alcanzado el mes de enero.

Además, estas zonas presentan diferencias con respecto a las temperaturas durante el día; la ladera de exposición norte presentó temperaturas mínimas 4 °C menores a las observadas en la ladera de exposición sur. Incluso en esta zona hubo eventos de heladas que alcanzaron hasta los 1,2 °C en el mes de junio. En la ladera de exposición norte se registraron más días con temperaturas superiores a 25 °C y temperaturas menores a 4 °C. Estas diferencias en las condiciones agroclimáticas se manifiestan en el contenido de materia seca, aceite, peso y tamaño de la fruta. En el caso del contenido de materia seca en la ladera de exposición norte, se observa una acumulación de materia seca, relacionada al porcentaje de aceite, más temprana que en la ladera de exposición sur, reflejada en las fechas de cosecha. Donde la cosecha de ambos estados de madurez (23 % y > 27 %) del norte se realizó entre agosto y octubre, y para el sur entre octubre y diciembre (Figura 4.13).

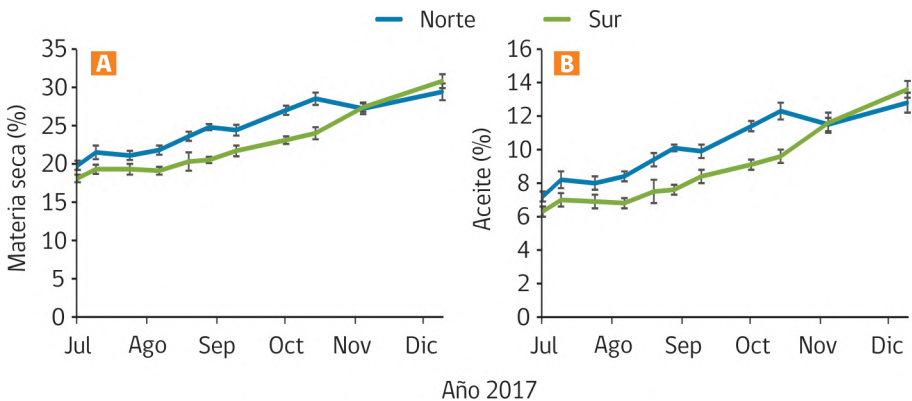


Figura 4.13. Evolución del contenido de materia seca (MS), y su equivalente en porcentaje de aceite, durante el desarrollo del fruto en la exposición norte y sur, temporada 2017-18. A) Materia seca (%). B) Aceite (%). La línea azul indica las cosechas correspondientes a la ladera exposición norte y las verdes a las realizadas en la ladera exposición sur.

En relación con el tamaño de los frutos, se observó que la cosecha en la exposición norte fue más pequeña que en la ladera sur, tanto a la cosecha como durante el desarrollo (Figura 4.14A y 4.14B). Con respecto al peso de la fruta proveniente del norte fue menor al de la fruta del sur (Figura 4.14C).

La susceptibilidad de la fruta de palta al estrés por calor puede mitigarse mediante la utilización de tratamientos no químicos durante su almacenamiento, mediante el uso de tecnologías como son atmósfera modificada, tratamientos térmicos físicos y productos naturales biodegradables con propiedades antimicrobianas. Estos enfoques no sólo mantienen la calidad de la fruta, sino que también ayudan a prolongar la vida útil de las paltas almacenadas a bajas temperaturas mediante la inducción de la síntesis de proteínas de estrés y el mantenimiento de la estabilidad de oxidación de los lípidos (Munhuweyi et al., 2020).

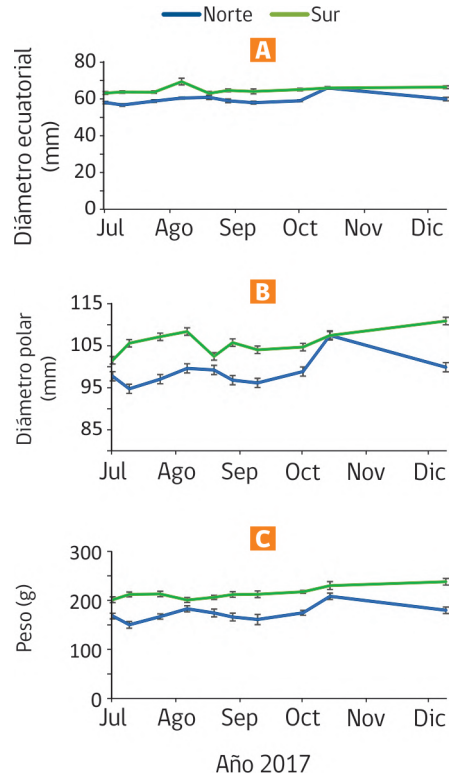


Figura 4.14. Evolución del tamaño y peso durante el desarrollo del fruto en la ladera exposición norte y sur. A) Diámetro ecuatorial. B) Diámetro polar. C) Peso.

4.4. Comentarios finales

El manejo del riego en el cultivo del palto es fundamental para garantizar una producción abundante y de alta calidad, además, mantener la humedad del suelo entre 35 y 55 kPa optimiza el crecimiento y desarrollo de los frutos, previniendo desórdenes fisiológicos. Para mitigar el estrés por calor en la fruta durante el almacenamiento, se recomienda el uso de tratamientos como atmósfera modificada o productos naturales biodegradables, tratamientos que prolongan la vida útil del fruto.

4.5. Agradecimientos

Los autores agradecen a ANID-FONDECYT por su apoyo en la ejecución de los proyectos N°1220484 y N°1170501 ejecutados en INIA La Platina. Como también queremos agradecer a FIA por el financiamiento de los proyectos PYT-2016-002 y PYT-2017-0130 ejecutados por INIA La Cruz.

4.6. Referencias

- Ahmed, D., Yousef, A., & Hassan, H. (2010b). Relationship between electrical conductivity, softening and color of Fuerte avocado fruits during ripening. *Agriculture And Biology Journal Of North America*, 1(5), 878-885. <https://doi.org/10.5251/abjna.2010.1.5.878.885>
- Alon, E., Shapira, O., Azoulay-Shemer, T., & Rubinovich, L. (2022). Shading Nets Reduce Canopy Temperature and Improve Photosynthetic Performance in 'Pinkerton' Avocado Trees during Extreme Heat Events. *Agronomy*, 12(6), 1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061360>
- Bravo, A. Á., García, S. S., Corral, J. A. R., & García, G. M. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4035-4048. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.671>
- Antúnez, A., Ferreyra, R., Rojas, V & García, R. (2018). Evaluación del uso de cubiertas plásticas sobre el cultivo del palto var. Hass como estrategia de optimización en el uso de agua de riego en condiciones de escasez hídrica en la Provincia de Petorca. LXIX Congreso Agronómico de Chile y XVI Congreso de la Sociedad Chilena de Fruticultura. *Agricultura En Zonas Críticas*. Libro de resúmenes. https://www.sach.cl/wp-content/uploads/2023/08/Punta_Arenas_2018.pdf
- Atucha, A., Merwin, I. A., Brown, M. G., Gardiazabal, F., Mena, F., Adriaola, C., & Lehmann, J. (2012). Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. *Plant And Soil*, 368(1-2), 393-406. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1520-0>

- Backer, R., Mahomed, W., Reeksting, B. J., Engelbrecht, J., Ibarra-Laclette, E., & Van Den Berg, N. (2015). Phylogenetic and expression analysis of the NPR1-like gene family from *Persea americana* (Mill.). *Frontiers In Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00300>
- Bennett, A. B., Smith, G. M., & Nichols, B. G. (1987). Regulation of Climacteric Respiration in Ripening Avocado Fruit. *Plant Physiology*, 83(4), 973-976. <https://doi.org/10.1104/pp.83.4.973>
- Bertling, I. & Bower, J.P. (2005). Sugars as energy sources - is there a link to avocado fruit quality?. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 28, 24-27
- Blakey, R. J., Bower, J. P., & Bertling, I. (2009b). Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the prediction of water content using Near Infrared Spectroscopy. *Postharvest Biology And Technology*, 53(1-2), 72-76. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.03.004>
- Bower, J.P., (1985). The calcium accumulation pattern in avocado fruit as influenced by long-term irrigation regime. *South African Avocado Growers' Association*. 8, 97-99.
- Bower, J.P. & Magwaza, L. (2004). Effect of coatings and packaging on external and internal quality with emphasis on "cold injury". *South African Avocado Growers' Association Yearbook*. 27, 35-39.
- Bower, J. P., Cutting, J. G., & Wolstenholme, B. N. (1989). Effect of pre- and post-harvest water stress on the potential for fruit quality defects in avocado (*Persea americana* Mill.). *South African Journal Of Plant And Soil*, 6(4), 219-222. <https://doi.org/10.1080/02571862.1989.10634516>
- Carr, M. K. V. (2013). The water relations and irrigation requirements of avocado (*Persea americana* Mill.): A REVIEW. *Experimental Agriculture*, 49(2), 256-278. <https://doi.org/10.1017/s0014479712001317>
- Chartzoulakis, K., Patakas, A., Kofidis, G., Bosabalidis, A., & Nastou, A. (2002). Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*, 95(1-2), 39-50. [https://doi.org/10.1016/s0304-4238\(02\)00016-x](https://doi.org/10.1016/s0304-4238(02)00016-x)

- Cohen, I., Zandalinas, S. I., Fritschi, F. B., Sengupta, S., Fichman, Y., Azad, R. K., & Mittler, R. (2020). The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology, and seed production of soybean. *Physiologia Plantarum*, 172(1), 41-52. <https://doi.org/10.1111/ppl.13269>
- Ferreira, R.; Sellés, G. (2012) Avocado. En Crop Yield Response to Water; FAO Irrigation and Drainage Paper 66, 442-447
- Garner, L. C., & Lovatt, C. J. (2008). The Relationship Between Flower and Fruit Abscission and Alternate Bearing of 'Hass' Avocado. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 133(1), 3-10. <https://doi.org/10.21273/jashs.133.1.3>
- Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J. A., Poblete-Echeverría, C., Defilippi, B. G., González-Agüero, M., Campos-Vargas, R., Lurie, S., & Pedreschi, R. (2017b). 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>
- Holzappel, E., De Souza, J. A., Jara, J., & Guerra, H. C. (2017). Responses of avocado production to variation in irrigation levels. *Irrigation Science*, 35(3), 205-215. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0533-0>
- Huber, D. J., & O'Donoghue, E. M. (1993). Polyuronides in Avocado (*Persea americana*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Fruits Exhibit Markedly Different Patterns of Molecular Weight Downshifts during Ripening. *Plant Physiology*, 102(2), 473-480. <https://doi.org/10.1104/pp.102.2.473>
- Kamiyoshihara, Y., Mizuno, S., Azuma, M., Miyohashi, F., Yoshida, M., Matsuno, J., Takahashi, S., Abe, S., Shiba, H., Watanabe, K., Inoue, H., & Tateishi, A. (2018). Opposite Accumulation Patterns of Two Glycoside Hydrolase Family 3 α -L-Arabinofuranosidase Proteins in Avocado Fruit during Ripening. *The Horticulture Journal*, 87(3), 430-435. <https://doi.org/10.2503/hortj.okd-142>
- Kokawa, M., Hashimoto, A., Li, X., Tsuta, M., & Kitamura, Y. (2020). Estimation of 'Hass' Avocado (*Persea americana* Mill.) Ripeness by Fluorescence Fingerprint Measurement. *Food Analytical Methods*, 13(4), 892-901. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01705-7>

- Lahav, E.; Steinhardt, R.; Kalmar, D. (1992) Water requirements and the effect of salinity in an avocado orchard on a clay soil. En Proceedings of the II World Avocado Congress. pp. 323–330. Available online: http://www.avocadosource.com/WAC2/WAC2_p323.pdf
- Lahav, E., Bar, Y., & Kalmar, D. (1990). Effect of nitrogenous fertilization on the annual variations in nutrients in avocado leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21, 1353–1365.
- Lazare, S., Vitoshkin, H., Alchanatis, V., Reshef, G., Ziv, D., Simenski, E., & Dag, A. (2022). Canopy-cooling systems applied on avocado trees to mitigate heatwaves damages. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16839-3>
- Lemus S., Gamalier, Ferreyra E., Raúl, Gil M., Pilar, Maldonado B., Patricio, Toledo G., Carlos & Barrera M., Cristian (2005). Cultivo del palto [en línea]. Quillota, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. N° 129. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7053>
- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. W., & Arpaia, M. L. (1999). 'Hass' Avocado Carbohydrate Fluctuations. I. Growth and Phenology. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(6), 671–675. Retrieved Mar 18, 2025, from <https://doi.org/10.21273/JASHS.124.6.671>
- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. W., & Arpaia, M. L. (1999c). 'Hass' Avocado Carbohydrate Fluctuations. II. Fruit Growth and Ripening. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 124(6), 676–681. <https://doi.org/10.21273/jashs.124.6.676>
- Liu, X., Sievert, J., Arpaia, M. L., & Madore, M. A. (2002c). Postulated Physiological Roles of the Seven-carbon Sugars, Mannoheptulose, and Perseitol in Avocado. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 127(1), 108–114. <https://doi.org/10.21273/jashs.127.1.108>
- Martínez-Ferri, E., Moreno-Ortega, G., Van Den Berg, N., & Pliego, C. (2019). Mild water stress-induced priming enhance tolerance to *Rosellinia necatrix* in susceptible avocado rootstocks. *BMC Plant Biology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2016-3>

- Moreno-Ortega, G., Pliego, C., Sarmiento, D., Barceló, A., & Martínez-Ferri, E. (2019b). Yield and fruit quality of avocado trees under different regimes of water supply in the subtropical coast of Spain. *Agricultural Water Management*, 221, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.001>
- Munhuweyi, K., Mpai, S., & Sivakumar, D. (2020). Extension of Avocado Fruit Postharvest Quality Using Non-Chemical Treatments. *Agronomy*, 10(2), 212. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020212>
- Pesis, E., Fuchs, Y., & Zauberman, G. (1978b). Cellulase Activity and Fruit Softening in Avocado. *Plant Physiology*, 61(3), 416–419. <https://doi.org/10.1104/pp.61.3.416>
- Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C., & Morales-Osorio, J. G. (2020). Mitigation of the Adverse Effects of the El Niño (El Niño, La Niña) Southern Oscillation (ENSO) Phenomenon and the Most Important Diseases in Avocado cv. Hass Crops. *Plants*, 9(6), 790. <https://doi.org/10.3390/plants9060790>
- Reeksting, B., Taylor, N., & Van Den Berg, N. (2014). Flooding and Phytophthora cinnamomi: Effects on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in shoots of non-grafted Persea americana (Mill.) rootstocks differing in tolerance to Phytophthora root rot. *South African Journal Of Botany*, 95, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.08.004>
- Rodríguez, B. C., Zuazo, V. H. D., Tarifa, D. F., Tavira, S. C., Sacristan, P. C., & García-Tejero, I. F. (2023). Irrigation Alternatives for Avocado (Persea americana Mill.) in the Mediterranean Subtropical Region in the Context of Climate Change: A Review. *Agriculture*, 13(5), 1049. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051049>
- Scholefield, P.B.; Walcott, J.J.; Kriedemann, P.E. & Ramadasan, A. (1980). Some environmental effects on photosynthesis and water relations of avocado leaves. *Calif. Avocado Soc. Yearb.*, 64, 93–105
- Shapira, O., Chernoiyanov, S., Neuberger, I., Levy, S., & Rubinovich, L. (2021). Physiological Characterization of Young 'Hass' Avocado Plant Leaves Following Exposure to High Temperatures and Low Light Intensity. *Plants*, 10(8), 1562. <https://doi.org/10.3390/plants10081562>

- Silber, A., Israeli, Y., Levi, M., Keinan, A., Shapira, O., Chudi, G., Golan, A., Noy, M., Levkovitch, I., & Assouline, S. (2011). Response of 'Hass' avocado trees to irrigation management and root constraint. *Agricultural Water Management*, 104, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.003>
- Singh AK, Dagar JC, Arunachalam A, Gopichandra R & Shelat KN, (Eds). (2015). Climate change modelling, planning and policy for agriculture. Springer, New Delhi, 245 pp. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2157-9>
- Teskey, R., Wertin, T., Bauweraerts, I., Ameye, M., Mcguire, M. A., & Steppe, K. (2014). Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. *Plant Cell & Environment*, 38(9), 1699-1712. <https://doi.org/10.1111/pce.12417>
- Tzatzani, T.-T., Morianou, G., Tül, S., Kourgialas, N.N., (2023). Air Temperature as a Key Indicator of Avocado (Cvs. Fuerte, Zutano, Hass) Maturation Time in Mediterranean Climate Areas: The Case of Western Crete in Greece. *Agriculture* 13, 1342. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071342>
- Whiley, A.W.; Saranah, J.B.; Cull, B.W. & Pegg, K.G. (1988). Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agricultural Journal* 1988, 114, 29-36.
- Wolstenholme, B., Whiley, A., & Saranah, J. (1990). Manipulating vegetative: Reproductive growth in avocado (*Persea americana* Mill.) with paclobutrazol foliar sprays. *Scientia Horticulturae*, 41(4), 315-327. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90112-r](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90112-r)
- Woolf, A. B., Bowen, J. H., & Ferguson, I. B. (1999b). Preharvest exposure to the sun influences postharvest responses of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology And Technology*, 15(2), 143-153. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(98\)00077-5](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(98)00077-5)
- Woolf, A. B., & Laing, W. A. (1996). Avocado Fruit Skin Fluorescence following Hot Water Treatments and Pretreatments. *Journal Of The American Society For Horticultural Science*, 121(1), 147-151. <https://doi.org/10.21273/jashs.121.1.147>

Capítulo 5

Sanidad y control de patógenos en postcosecha

Ana Luisa Valencia D.

Bióloga. Dra.

ana.valenciapucv@gmail.com

5.1. Introducción

La producción y exportación de paltas en Chile se caracteriza por ser una industria madura y dinámica, que exporta principalmente a Europa, Asia y Norteamérica, entre otros destinos distantes. Para ello, se requieren manejos adecuados de cosecha y el mantenimiento de la fruta en óptimas condiciones, desde el transporte y su almacenamiento prolongado, hasta el punto de venta. De esta manera, extendemos la vida de postcosecha, lo que permite ofrecer frutos de la calidad exigida por los consumidores. Sin embargo, los daños que causan algunos factores abióticos y técnicas de manejo de los cultivos utilizadas de forma errónea, como el excesivo anillado y podas que dejan profundas heridas, pueden causar estrés en los árboles, lo cual afecta su vigor y productividad. Esto aumenta su susceptibilidad a patógenos presentes en el huerto, causando infecciones en los frutos, mayoritariamente entre cuaja y cosecha, que permanecen como infecciones latentes y posteriormente generan pudriciones de postcosecha en los frutos maduros (Prusky *et al.*, 1991; Hopkirk *et al.*, 1994; Fischer *et al.*, 2019; Valencia *et al.*, 2019).

5.2. Sanidad vegetal en palta

En las infecciones latentes existe un equilibrio dinámico entre el hospedero, el patógeno y el ambiente, lo que determina la expresión de síntomas (Jarvis, 1994). Asimismo, en el proceso de maduración del fruto, ocurren cambios morfo-fisiológicos como el debilitamiento de la pared celular por disminución en la concentración de calcio, y una disminución de compuestos antifúngicos, como el dieno 1-acetoxy-2-hydroxy-4-oxo-heneicosa-12,15; en la piel

del fruto (Prusky & Keen, 1993; Hopkirk *et al.*, 1994; Ardi *et al.*, 1998), incrementando la susceptibilidad a pudriciones. Esto explica el por qué los frutos recién cosechados no expresan síntomas de pudriciones, y conforme avanza el proceso de maduración, pueden permanecer asintomáticos o resultar severamente afectados por pudriciones y desórdenes fisiológicos (White *et al.*, 2005; Valencia *et al.*, 2019).

Las variables ambientales predisponentes para que ocurra la infección de la fruta en el huerto, son la temperatura y las precipitaciones, ya que influyen directamente en etapas relevantes del ciclo de la enfermedad, como lo es la dispersión de esporas, la germinación y la infección (Everett & Pak, 2002; Everett *et al.*, 2007; Twizeyimana *et al.*, 2013). En Brasil, Fischer *et al.* (2019) observaron una mayor incidencia de pudriciones en una temporada productiva con mayores precipitaciones. En Nueva Zelanda, Pak *et al.* (2002) estimaron, a partir de un modelo de predicción de incidencia de antracnosis, en función de la pluviometría dentro de las 24 horas previas a la cosecha, donde el daño superficial del fruto y la fecha de cosecha son relevantes para el desarrollo de las pudriciones.

En función de algunas zonas de cultivo y en determinados años con condiciones favorables, la incidencia de enfermedades durante la postcosecha podría llegar a comprometer más del 40 % de la producción (Hopkirk *et al.*, 1994; Willingham *et al.*, 2006; Everett *et al.*, 2007; Soto, 2015; Fischer *et al.*, 2019). Si bien en Chile, la incidencia de pudriciones no ha sido un factor limitante en las exportaciones, sí reduce el volumen de fruta disponible, disminuyendo el precio final en el mercado de destino, y en algunos casos incluso se ha requerido realizar reembalajes, lo que implica costos adicionales. Estos problemas se acrecientan con la implementación de cámaras de maduración para la venta de fruta lista para el consumo, por tal motivo, se considera que estas patologías son un riesgo que persiste en cada temporada. En este sentido, es fundamental un manejo integral que permita mantener la sanidad de las plantas y así disminuir la presión de inóculo de los patógenos en la fruta desde precosecha hasta postcosecha, ya que es sabido que las pudriciones reducen significativamente la calidad de los frutos y acorta la vida de postcosecha (Johnson & Kotzé, 1994; Menge & Ploetz, 2003). Adicionalmente, es importante señalar que las pudriciones son consideradas una de las causas más influyentes en el consumidor al momento de comprar y también en la decisión de volver a adquirir el producto en ese lugar (Ramírez-Gil *et al.*, 2020; Perkins *et al.*, 2019).

5.3. Principales enfermedades de postcosecha en palta

La antracnosis y la pudrición peduncular son las principales enfermedades de postcosecha en palto a nivel mundial (Xu *et al.*, 2024). La antracnosis, conocida también como pudrición lateral o “body rot”, es ocasionada por hongos del género *Colletotrichum* (Dann *et al.*, 2013), mientras que la pudrición peduncular o “Stem End Rot”, es causada principalmente por especies de la familia *Botryosphaeriaceae* (Menge & Ploetz, 2003; Dann *et al.*, 2013; Twizeyimana *et al.*, 2013; Guarnaccia *et al.*, 2016; Valencia *et al.*, 2019), y en menor frecuencia por *Pestalotiopsis* spp. (Darvas & Kotzé, 1987; Valencia *et al.*, 2011), *Phomopsis* spp. (Twizeyimana *et al.*, 2013) y *Colletotrichum* spp. (Dann *et al.*, 2013).

En estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en huertos localizados en Melipilla, Región Metropolitana y en Santo Domingo, Región de Valparaíso, se realizaron muestreos de frutos con madurez comercial, durante dos temporadas, logrando aislar hongos pertenecientes a la familia *Botryosphaeriaceae*, *Colletotrichum* spp. y *Phomopsis* spp. (Soto *et al.*, 2020a).

Las esporas de estos hongos alcanzan la superficie del fruto, germinan, y entran por heridas o producen estructuras de penetración. En el caso de los hongos causantes de la pudrición peduncular, las conidias ingresan al fruto por la herida producida en el pedúnculo durante la cosecha, mientras que las conidias de *Colletotrichum* spp. son capaces de penetrar la superficie del fruto, en ambos casos las conidias permanecen latentes hasta que condiciones favorables permiten su activación, con lo cual se activan factores de patogenicidad que desencadenan el decaimiento progresivo de los frutos (Prusky, 1996).

En la temporada 2019–2020, INIA realizó estudios aero-biológicos para determinar las condiciones ambientales de precipitación y humedad relativa en las cuales ocurre la liberación de las conidias, por medio de trampas caza-esporas, desde julio 2019 a marzo 2020. Se observó que la mayor captura de conidias ocurre entre julio y septiembre, en los días con mayor humedad relativa (Soto *et al.*, 2020b). En base a esta información, se recomienda realizar análisis de frutos en diferentes sectores del huerto, durante la temporada, y en especial desde fruto cuajado hasta cosecha, para revisar la presión de inóculo que poseen los frutos y con tal información establecer planes de manejo, integrando estrategias culturales con algún control químico, y en cosecha segregar la fruta por sectores.

En cuanto a la incidencia y severidad que pueden alcanzar estas enfermedades de postcosecha a nivel mundial, la antracnosis ha demostrado ser más significativa que la pudrición peduncular (Prusky *et al.*, 1991; Fischer *et al.*, 2019). Sin embargo, la antracnosis es relevante sólo si existen condiciones de temperaturas cálidas (28 °C) y humedad relativa de 80 a 100 %, a diferencia de la pudrición peduncular que persiste en todas las temporadas (Torres, 2017; Latorre, 2018). Durante el año 2015, en INIA se realizó una prospección para determinar la incidencia de enfermedades de postcosecha en huertos de paltos productivos en Chile, mediante un muestreo de frutos que fueron posteriormente analizados en madurez de cosecha y en madurez de consumo. Se pudo visualizar síntomas externos de antracnosis y expresión de moho peduncular, para el caso de pudrición peduncular. Se seleccionaron 28 sitios de estudio, localizados en diferentes zonas agroclimáticas, en estos huertos se cosechó fruta de seis paltos variedad 'Hass' con 26 % de materia seca. Los frutos se almacenaron a 5 °C por 45 días y luego a 20 °C hasta alcanzar la madurez comercial, definido como un valor de firmeza de 2-3 lb_p y 7 días adicionales para alcanzar la madurez de consumo (< 1 lb_p). Posteriormente, se evaluaron parámetros de calidad y patologías. Sin embargo, no se observaron pudriciones tras el almacenamiento prolongado a 5 °C. En el caso de madurez comercial, sólo se evidenció una incidencia leve de antracnosis (menor a 6 %) y de pudrición peduncular (2,5 %). Sin embargo, en madurez de consumo la antracnosis alcanzó una incidencia menor a 10 %, mientras que la pudrición peduncular fue de 40 % (Soto, 2015).

5.3.1. Antracnosis

Existen reportes de esta enfermedad en todos los países productores de paltas (Dann *et al.*, 2013). En Chile se han reportado *C. gloeosporium* y *C. acutatum* como agentes causales de antracnosis en palto, pertenecientes al complejo fúngico de *Colletotrichum* spp (Soto, 2015; Latorre, 2018).

Estos hongos persisten en las ramas, desde donde infectará la fruta en desarrollo, a través del escurrimiento del agua libre al interior del árbol (por ejemplo, lluvias, neblinas, rocíos, y riego en zonas bajas del árbol). Estos hongos crecen en óptimas condiciones en climas templados y lluviosos o con alta humedad relativa y sus principales fuentes de inóculo son ramillas muertas, frutos momificados, hojas de palto y otras especies vegetales hospederas (Fischer *et al.*, 2019). Las conidias se diseminan por aire o por salpicaduras de agua, y se fijan a la superficie de los frutos, por medio de una capa mucilaginosa, posteriormente, germina y penetra el fruto por medio de un apresorio y se aloja en la región cuticular, donde genera lesiones de color marrón a negro, menores de 5 mm de diámetro alrededor de las lenticelas (Dann *et al.*, 2013).

Estas conidias permanecen latentes en esta zona hasta la maduración del fruto, produciendo pudriciones laterales en el mesocarpio (Figura 5.1), que pueden afectar completamente al fruto (Figura 5.2). Conforme aumenta la severidad, se puede observar la formación de acérvulos anaranjados en las lesiones del fruto, que son masas de micelio con desarrollo de conidias en su interior (Prusky *et al.*, 2000; Torres, 2017; Latorre, 2018). Es importante señalar que se producen lesiones mayores después que la fruta infectada es dañada por insectos o por daños mecánicos (roce) (Torres, 2017).



Figura 5.1. Síntomas de antracnosis denominados pudriciones laterales de pulpa (mesocarpio), en palta ‘Hass’ con madurez de consumo.



Figura 5.2. Pudriciones de frutos con antracnosis causando niveles de daño moderados y severos en palta ‘Hass’ con madurez de consumo.

En Nueva Zelanda, temperaturas cercanas a 20 °C fueron óptimas para la germinación de conidias y la formación del apresorio (Everett y Pak, 2002). Asimismo, Everett (2003) determinó que las bajas temperaturas (< 9,5 °C) fueron restrictivas para la germinación y sobrevivencia de conidias de *C. gloeosporioides*, a diferencia de *C. acutatum*, el cual fue más tolerante a menores temperaturas (< 3 °C). Por otro lado, se ha descrito que los cambios fisiológicos en el fruto permitirían la activación del patógeno (Freeman *et al.*, 1996; Beno & Prusky, 2000). Asimismo, diversos estudios han indicado que paltas con mayor concentración de N y menor composición de Ca⁺² y Mg, y por lo tanto mayor relación (N/Ca), se asocian con una alta incidencia y/o severidad de antracnosis (Willingham *et al.*, 2001a; Hofman *et al.*, 2002; Willingham *et al.*, 2006; Everett *et al.*, 2007; Dann *et al.*, 2016). Estudios realizados por Willingham *et al.* (2006), permitieron observar que la mayor incidencia de antracnosis fue en frutos tratados con altas dosis de N (una temporada). El efecto de un alto contenido de N podría estar atribuido a la inducción indirecta de insuficiencia de Ca⁺² en el fruto y el consecuente debilitamiento de la pared celular (Willingham *et al.*, 2001a; 2006). Otra variable correlacionada con antracnosis ha sido el rendimiento productivo, el cual también podría estar asociado a la concentración Ca⁺² del fruto (Hofman *et al.*, 2002; Dann *et al.*, 2016). Adicionalmente, Willingham *et al.* (2001a, 2006), observaron que frutos de 'Hass' producidas sobre patrón 'Velvick' presentaron aproximadamente 30 % menos incidencia de antracnosis que sobre patrón 'Duke 6'. La mayor concentración de antifúngicos dienos, la mayor relación [N/Ca] en hojas, y el mayor vigor de un palto 'Hass' injertado sobre patrón 'Velvik', puede ser la explicación a la menor susceptibilidad del fruto otorgada por este patrón (Willingham *et al.*, 2001a).

5.3.2. Pudrición peduncular

Los síntomas de esta enfermedad se inician con decoloración, ablandamiento y pudrición de la pulpa en el tejido próximo al pedúnculo, estas lesiones van incrementándose conforme avanza la maduración de la fruta (White *et al.*, 2005; Eskalen & McDonald, 2009).

De forma externa, se observa micelio o moho peduncular (Figura 5.3), pero en casos severos el micelio y las conidias pueden cubrir la fruta por completo. A nivel interno se observa daño en pulpa desde la zona de unión al pedúnculo que avanza hacia zona ecuatorial (Figura 5.4). En infecciones severas se forman depresiones que contienen micelio y conidias del hongo (Eskalen, 2009; Valencia *et al.*, 2019).



Figura 5.3. Síntomas de pudrición peduncular (moho peduncular) en palta 'Hass' de madurez de consumo.



Figura 5.4. Síntomas de pudrición peduncular en pulpa (mesocarpio) de palta 'Hass' con madurez de consumo.

Los agentes causales de pudrición peduncular reportados a nivel mundial incluyen principalmente especies de la familia *Botryosphaeriaceae*. Un estudio realizado durante 2015 a 2017, en 16 huertos localizados desde la Región de Coquimbo a la Región de O'Higgins, identificó la existencia de varias especies

de *Botryosphaeriaceae* afectando a paltas de exportación: *Diplodia mutila*, *D. seriata*, *Dothiorella Iberica*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Neofusicoccum australe*, y *N. parvum*. Asimismo, se demostró su patogenicidad y virulencia, siendo *L. theobromae*, *N. australe* y *N. parvum*, las más severas en pudriciones de postcosecha, lo cual es coincidente con lo reportado para estas especies en las principales zonas productivas a nivel mundial (Garibaldi *et al.*, 2012; Molina-Gayosso *et al.*, 2012; Twizeyimana *et al.*, 2013; Akgül *et al.*, 2016). Lo anterior enfatiza la importancia de una identificación más precisa de las especies patógenas que están presentes en los huertos. Este daño, se intensifica con períodos prolongados de almacenamiento en atmósfera regular, logrando además incrementar síntomas de desórdenes fisiológicos, tales como el pardeamiento de haces vasculares y de pulpa (Valencia *et al.*, 2019).

Los agentes causales de la pudrición peduncular, también han sido reportados como causantes de canchales y muerte regresiva en paltos, por lo cual los frutos podrían infectarse internamente desde madera enferma y generar pudrición peduncular (Twizeyimana *et al.*, 2013). En el estudio de Valencia *et al.* (2019) se obtuvieron aislados de *D. mutila*, *D. seriata*, *D. iberica*, y *N. parvum* en muestras de madera y fruta de un mismo huerto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las *Botryosphaeriaceae* requieren de heridas para ingresar al fruto, por lo que también pueden ocurrir infecciones durante la cosecha, si existe una alta carga de inóculo en el sector y una alta humedad relativa, tras lo cual se infectan los frutos desde el pedúnculo por conidias diseminadas por el aire o por conidias presentes en las tijeras de cosecha (Hartill & Everett, 2002; Dann *et al.*, 2013).

5.4. Estudios para determinar factores de precosecha y de postcosecha en el desarrollo de pudriciones en Chile

El estudio de factores predisponentes para el desarrollo de estas patologías a nivel de campo y en postcosecha permite avanzar en el diseño de estrategias preventivas para reducir la infección de los frutos. En Valencia *et al.* (2022), se realizó un análisis multivariado, que incluye 102 variables para determinar las condiciones edafoclimáticas, tipos de plantación y manejos agronómicos que influyen en la incidencia y severidad de enfermedades de la madera y pudrición peduncular. En relación a la pudrición peduncular, los resultados señalan que la incidencia y severidad dependen del contenido de calcio en los frutos, lo que

se ve aumentado en frutos cosechados con alto contenido de materia seca y en frutos que demoran más en alcanzar la madurez de consumo. Asimismo, los resultados demostraron que en Chile existen factores climáticos relacionados con el desarrollo de estas patologías desde el huerto, tales como radiación y precipitaciones de primavera (períodos de cosechas en Chile), humedad relativa en toda la temporada, temperatura mínima de primavera e invierno (palto es sensible al daño por heladas), temperatura promedio en invierno y la temperatura máxima en otoño, época en la cual se hacen más evidentes los síntomas de hongos de la madera en Chile (Valencia, 2019).

5.5. Control de enfermedades de postcosecha en paltas

Las enfermedades de postcosecha continúan siendo un problema tanto para la industria, como para las investigaciones a nivel mundial. Por lo tanto, es importante incorporar estrategias sostenibles y que permitan un manejo integrado de estas enfermedades, teniendo en cuenta los factores predisponentes para que se desarrolle el ciclo de estas enfermedades, y determinar los períodos críticos del ciclo fenológico del palto en cada temporada. En definitiva, se requiere incorporar técnicas culturales y tecnológicas, a nivel del huerto y en postcosecha para limitar la diseminación de estos hongos patógenos, y con ello reducir la incidencia y severidad de las pudriciones de postcosecha (Hartill & Everett, 2002; Menge & Ploetz, 2003; Dann *et al.*, 2013; Twizeyimana *et al.*, 2013).

El control cultural de antracnosis y la pudrición peduncular consiste en eliminar frutos y ramas secas que podrían ser fuentes de inóculo del patógeno, además esta medida permite favorecer la iluminación y ventilación al interior de la canopia (Johnson & Kotzē, 1994; Latorre, 2018). Para reducir la pudrición peduncular, se recomienda utilizar manejos en el huerto que permitan mantener un vigor adecuado, preferentemente en las plantas de mayor edad, para evitar el desarrollo de enfermedades de la madera (Valencia *et al.*, 2022). Bajo este concepto, es importante balancear la nutrición y riego para mantener los árboles sanos, vigorosos y minimizar el estrés biótico y/o abiótico. La utilización de bioestimulantes que favorezcan el desarrollo de raíces, mejorando la absorción de nutrientes y con ello la sanidad del huerto. Realizar monitoreo y sectorizar el huerto por calidad fitosanitaria para programar poda y el anillado. Posteriormente, se recomienda programar la cosecha desde sectores sanos y luego los

sectores con síntomas de enfermedades en la madera. Asimismo, realizar la cosecha preferentemente en días con menor humedad relativa, ya sea previo a una lluvia o previo al período de riego (en huertos con riego por aspersión), dejar un trozo de pedúnculo en el fruto al cosechar e incorporar un desinfectante en las tijeras, que puede ser alcohol (70 %) o povidona yodada. Evitar cosechar fruta en ramas que tengan contacto con el suelo o dejar fruta en el suelo. Vaciar el capacho con cuidado en los bins, sin ejercer presión, evitando los posibles daños mecánicos. El bins debe tener una cubierta que permita regular la temperatura y evitar exceso de radiación, para bajar gradualmente la temperatura de los frutos cosechados. Finalmente, transportar, procesar y almacenar la fruta en óptimas condiciones de temperatura (5 °C) y humedad relativa para prevenir el desarrollo de pudriciones. Segregar destino de la fruta si se tiene conocimiento de los sectores en el huerto con síntomas en la madera. Sobre todo, en fruta cosechada desde octubre a marzo.

En cuanto a estrategias de prevención y control químico, es importante utilizar preferentemente fungicidas autorizados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) para palto, siguiendo las instrucciones de la etiqueta y considerando que no tengan restricciones en los mercados de destino. Las estrategias preventivas para la reducción de la presión de inóculo en precosecha contemplan el uso de pastas de poda con fungicidas (Piraclostrobina, Tebuconazole, entre otros), tras remover al menos 10 cm por debajo del cancro o rama seca (Latorre, 2018). Adicionalmente, aplicaciones de fungicidas en base a cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{OH})_2$) y estrobirulinas como Azoxystrobin desde la brotación de yemas florales han demostrado ser controles efectivos en otros países (Willingham *et al.*, 2001b; Everett *et al.*, 2005; Fischer *et al.*, 2018). Las aplicaciones de fungicidas recomendadas son generalmente secuenciales (pudiendo incluir entre 4 y 8 aplicaciones por temporada), previamente agendadas considerando los estados fenológicos del fruto, aplicando durante el crecimiento del fruto, en especial, previo a precipitaciones o periodos de follaje mojado, y teniendo en cuenta la presión de inóculo (Torres, 2017).

El desarrollo de pudriciones de postcosecha está determinado por el nivel de infección que los frutos puedan presentar desde el campo. Aunque en postcosecha está autorizado el uso de algunos fungicidas, cuyos ingredientes activos son Prochloraz, Fludioxonilo y Tiabendazol, que han demostrado ser efectivos para el control de antracnosis y pudrición peduncular (Everett *et al.*, 2007; Obianom

& Sivakumar, 2018; Shimshoni *et al.*, 2020), frente a una alta presión de inóculo, igualmente puede haber una alta incidencia y severidad de estas enfermedades. Adicionalmente, es importante señalar que existe cada vez más exigencias de los consumidores por reducir el uso de fungicidas químicos en los alimentos, por seguridad alimentaria, razón por la cual en la industria están ingresando fuertemente los bioinsumos, como alternativas naturales de menor impacto al medio ambiente y al consumidor (Fischer *et al.*, 2018). En este sentido, se han estudiado compuestos bioactivos de origen botánico y microorganismos, para controlar pudriciones en paltas. Obianom & Sivakumar (2018) testearon componentes orgánicos volátiles de origen natural de plantas, tales como el citral, octanal, hexanal y el timol contra *L. theobromae*, testeados en ensayos *in vitro* y en frutos inoculados, para determinar su efecto en la pudrición peduncular. Los resultados determinaron que el citral reduce el desarrollo de la pudrición peduncular en paltas de la variedad 'Hass' y 'Fuerte'. Latorre (2018) señala que el control biológico podría ser una alternativa preventiva, ya que el uso de formulados en base a *Bacillus subtilis* podría prevenir el desarrollo de antracnosis en postcosecha, si la presión de inóculo es leve o moderada. Si bien no existen bioinsumos autorizados por el SAG para palta en postcosecha, se espera que en los próximos años se pueda recurrir a este tipo de productos de biocontrol.

Estudios de tecnología de postcosecha han señalado que el uso de temperatura fría (< 5,5 °C) para almacenaje prolongado puede ser efectivo para retrasar la expresión de pudriciones (Everett, 2003; Burdon *et al.*, 2017). Sin embargo, las temperaturas de almacenaje utilizadas a nivel comercial no son lo suficientemente bajas para suprimir completamente la enfermedad (Everett, 2003). En esta línea, Hopkirk *et al.* (1994) observaron una mayor incidencia en fruta almacenada a 0 y 2 °C en comparación a 4 y 6 °C. Este comportamiento puede ser explicado por la mayor susceptibilidad relacionada al daño por frío en paltas, inducido a bajas temperaturas (0-2 °C). Altos niveles de CO₂ también han mostrado ser influyentes en el desarrollo de antracnosis. La exposición por 24 horas a niveles altos de CO₂ (> 30 %) de fruta recién cosechada, aumentó los niveles del compuesto antifúngico dieno y del antioxidante epicatequina, retrasando el desarrollo de antracnosis (Ardi *et al.*, 1998). Sin embargo, los niveles de CO₂ usados en atmósfera controlada a nivel comercial (2-6 %, CO₂) han mostrado beneficios bajos o nulos en el control de enfermedades de postcosecha (Soto, 2015; Burdon *et al.*, 2017).

5.6. Comentarios finales

Un enfoque integral que considere los factores predisponentes para el desarrollo de antracnosis y pudrición peduncular en campo y postcosecha, junto con la implementación de estrategias preventivas basadas en investigación, acordes a cada zona agroclimática, es fundamental para enfrentar los retos que imponen las pudriciones en paltas de exportación. Esto permitirá asegurar una mayor competitividad y sostenibilidad del sector, lo cual es crucial para seguir impulsando la exportación de este fruto a mercados internacionales.

5.7. Referencias

- Akgül, D. S., Awan, Q. N., Güler, P. G., & Önelge, N. (2016). First Report of Anthracnose and Stem End Rot Diseases Caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and *Neofusicoccum australe* on Avocado Fruits in Turkey. *Plant Disease*, 100(8), 1792. <https://doi.org/10.1094/pdis-03-16-0279-pdn>
- Ardi, R., Kobiler, I., Jacoby, B., Keen, N., & Prusky, D. (1998). Involvement of epicatechin biosynthesis in the activation of the mechanism of resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Physiological And Molecular Plant Pathology*, 53(5-6), 269-285. <https://doi.org/10.1006/pmpp.1998.0181>
- Beno-Moualem, D., & Prusky, D. (2000). Early Events During Quiescent Infection Development by *Colletotrichum gloeosporioides* in Unripe Avocado Fruits. *Phytopathology*, 90(5), 553-559. <https://doi.org/10.1094/phyto.2000.90.5.553>
- Burdon, J., Billing, D., & Pidakala, P. (2017). Avoiding Chilling Damage in 'Hass' Avocado Fruit by Controlled Atmosphere Storage at Higher Temperature. *HortScience*, 52(8), 1107-1110. <https://doi.org/10.21273/hortsci12070-17>
- Dann, E. K., Ploetz, R. C., Coates, L. M., and Pegg, K. G. (2013). Foliar, fruit and soil-borne diseases. En: *The Avocado: Botany, Production and Uses*. B. Schaffer, B. N. Wolstenholme, and A. W. Whiley, eds. CABI International Press, Wallingford, U.K., pp. 380-422

- Dann, E.K., Coates, L.M., Pegg, K.G., Dean, J.R., Cooke, A.W., Smith, L.A., Shuey, L., Whiley, A.W., Hofman, P.J., Marques, R. and Stubbings, B. (2016). Rootstock selection, nitrogen and calcium influence postharvest disease in avocado. *Acta Hortic.* 1120, 391-398DOI: 10.17660
- Darvas, J. M., and Kotze, J. M. (1987). Fungi associated with pre-and postharvest diseases of avocado fruit at Westfalia Estate, South Africa. *Phytophylactica* 19, 83-85. https://hdl.handle.net/10520/AJA03701263_1074
- Díaz, A. L. V. (2019). Factors that predisposing to *persea americana* Mill. to infections of botryosphaeriaceae species in central zone of Chile. <https://doi.org/10.7764/tesisuc/agr/22496>
- Eskalen, A. (2009). Progress report project: Identification, biology, epidemiology and geographical distribution of fungal and bacterial pathogens associated with avocado in California. *Plant Pathology and Microbiology*, University of California
- Eskalen, A., y V. McDonald. (2009). Avocado Branch Canker (formerly *Dothiorella* canker). *California Avocado Society*. Yearbook 92, 75-84
- Everett, K.R; Pak, H.A. (2002). Infection criteria for pathogens causing body rots in avocados. *NZ Avocado Growers Association Annual Research Report*, 2, 1-7
- Everett, K. R. (2003). The effect of low temperatures on *Colletotrichum acutatum* and *Colletotrichum gloeosporioides* causing body rots of avocados in New Zealand. *Australasian Plant Pathology*, 32(4), 441. <https://doi.org/10.1071/ap03050>
- Everett, K. R., Boyd, L. M., Pak, H. A., & Cutting, J. G. M. (2007). Calcium, fungicide sprays and canopy density influence postharvest rots of avocado. *Australasian Plant Pathology*, 36(1), 22. <https://doi.org/10.1071/ap06076>
- Everett, K. R., Boyd, L. M., Pak, H. A., & Cutting, J. G. M. (2007). Calcium, fungicide sprays and canopy density influence postharvest rots of avocado. *Australasian Plant Pathology*, 36(1), 22. <https://doi.org/10.1071/ap06076>

- Fischer, I.H.; de Moraes, M.F.; de Arruda, M.C.; de Souza, M.; Sodario, J.C.; Firmino, A.C. (2018). Effect of conventional and alternative products on postharvest disease control in avocados. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40, 1-10. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018408>
- Fischer, I.H.; de Moraes, M.F.; Firmino, A.C.; Amorim, L. (2019). Detection and epidemiological progress of quiescent avocado diseases. *Ciencia Rural*, 49 (8), 1-10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180731>
- Freeman, S., Katan, T., & Shabi, E. (1996). Characterization of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from avocado and almond fruits with molecular and pathogenicity tests. *Applied And Environmental Microbiology*, 62(3), 1014-1020. <https://doi.org/10.1128/aem.62.3.1014-1020.1996>
- Garibaldi, A., Bertetti, D., Amatulli, M. T., Cardinale, J., & Gullino, M. L. (2012). First Report of Postharvest Fruit Rot in Avocado (*Persea americana*) Caused by *Lasiodiplodia theobromae* in Italy. *Plant Disease*, 96(3), 460. <https://doi.org/10.1094/pdis-10-11-0886>
- Guarnaccia, V., Vitale, A., Cirvilleri, G., Aiello, D., Susca, A., Epifani, F., Perrone, G., and Polizzi, G. (2016). Characterization and pathogenicity of fungal species associated with branch cankers and stem-end rot of avocado in Italy. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 146, Issue 4, pp. 963-976. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-016-0973-z>
- Hartill, W. F. T., & Everett, K. R. (2002). Inoculum sources and infection pathways of pathogens causing stem-end rots of 'Hass' avocado (*Persea Americana*). *New Zealand Journal Of Crop And Horticultural Science*, 30(4), 249-260. <https://doi.org/10.1080/01140671.2002.9514221>
- Hofman, P. J., Vuthapanich, S., Whiley, A. W., Klieber, A., & Simons, D. H. (2002). Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 92(2), 113-123. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00286-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00286-2)
- Hopkirk, G., White, A., Beever, D. J., & Forbes, S. K. (1994). Influence of postharvest temperatures and the rate of fruit ripening on internal postharvest rots and disorders of New Zealand 'Hass' avocado fruit. *New Zealand Journal Of Crop And Horticultural Science*, 22(3), 305-311. <https://doi.org/10.1080/01140671.1994.9513839>

- Jarvis, W. R. (1994). Latent Infections in the Pre- and Postharvest Environment. *HortScience*, 29(7), 749-751. <https://doi.org/10.21273/hortsci.29.7.749>
- Johnson, G. I., y Kotze, J. M. (1994). Avocado. En: Compendium of Tropical Fruit Diseases. R. C. Ploetz, G. A. Zentmyer, W. T. Nishijima, K. G. Rohrbach, and H. D. Ohr, eds. APS Press, St. Paul, MN., pp. 71-84
- Latorre, B. (2018). Compendio de las Enfermedades de las Plantas. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
- Menge, J., and Ploetz, R. C. (2003). Diseases of avocado. En: Diseases of Tropical Fruit Crops. R. C. Ploetz, ed. CABI Publishing, Cambridge, U.K., pp. 35-71
- Molina-Gayosso, E., Silva-Rojas, H. V., García-Morales, S., & Avila-Quezada, G. (2011). First Report of Black Spots on Avocado Fruit Caused by *Neofusicoccum parvum* in Mexico. *Plant Disease*, 96(2), 287. <https://doi.org/10.1094/pdis-08-11-0699>
- Obianom, C., & Sivakumar, D. (2017). Natural plant volatiles as an alternative approach to control stem-end rot in avocado cultivars. *Journal Of Phytopathology*, 166(1), 1-9. <https://doi.org/10.1111/jph.12653>
- Pak H. A.; Dixon J.; Smith D. B.; Elmsly T. A.; Cutting J. G. M. (2002). Impact of rainfall prior to harvest on ripe fruit quality of 'Hass' avocados in New Zealand. New Zealand avocado growers' association annual research report, 2, 22-31
- Perkins, M.L.; Joyce, D.C.; Coates, L.M. (2019). Possible contribution of impact injury at harvest to anthracnose expression in ripening avocado: A review. *Scientia Horticulturae*, 246, 785-790. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.012>
- Prusky, D., Plumbley, R. A., & Kobilier, I. (1991). The relationship between antifungal diene levels and fungal inhibition during quiescent infection of unripe avocado fruits by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathology*, 40(1), 45-52. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1991.tb02291.x>
- Prusky, D., and Keen, N. T. (1993). Involvement of preformed antifungal compounds in the resistance of subtropical fruits to fungal decay. *Plant Disease*, 77, 114-119
- Prusky, D. (1996). Pathogen quiescence in Postharvest diseases. *Annual Review of Phytopathology* 34, 413-34. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.34.1.413>

- Prusky, D., Freeman, S., and Dickman, M. (2000). *Colletotrichum*. Host specificity, pathology, and host-pathogen interaction. St. Paul: American Phytopathological Society Press
- Ramírez-Gil, J. G., López, J. H., & Henao-Rojas, J. C. (2019). Causes of Hass Avocado Fruit Rejection in Preharvest, Harvest, and Packinghouse: Economic Losses and Associated Variables. *Agronomy*, 10(1), 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010008>
- Shimshoni, J. A., Bommuraj, V., Chen, Y., Sperling, R., Barel, S., Feygenberg, O., Maurer, D., & Alkan, N. (2020). Postharvest Fungicide for Avocado Fruits: Antifungal Efficacy and Peel to Pulp Distribution Kinetics. *Foods*, 9(2), 124. <https://doi.org/10.3390/foods9020124>
- Soto A., Sylvana, Rabufel A., Patricia, Barcos M., Javiera (01/10/20). Identificación y caracterización de enfermedades de postcosecha de palta var. Hass [en línea]. Tierra Adentro. no. 113. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5485>
- Soto A., Sylvana, Rabufel A., Patricia, Barcos M., Javiera (01/10/20). Hongos fitopatógenos causantes de pudriciónpeduncular en tres zonas productoras de paltos var. Hass [en línea]. Tierra Adentro. no. 113. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/5486>
- Soto, S. (2015). Enfermedades de Postcosecha de Palta. En: Optimización de la Calidad de Palta 'Hass'. Herramientas para enfrentar nuevos desafíos. Eds. Defilippi B. G.; Raúl Ferreyra, R.; Riveras S.A. Boletín INIA, 307, pp. 69-75
- Torres, A. (2017). Principales Enfermedades del Cultivo Del Palto y Su Manejo. En: Manual del cultivo del Palto. Boletín INIA, 378, pp. 55-65
- Twizeyimana, M., Förster, H., McDonald, V., Wang, D. H., Adaskaveg, J. E., & Eskalen, A. (2013). Identification and Pathogenicity of Fungal Pathogens Associated with Stem-End Rot of Avocado in California. *Plant Disease*, 97(12), 1580-1584. <https://doi.org/10.1094/pdis-03-13-0230-re>
- Valencia, A. L., Torres, R., & Latorre, B. A. (2011). First Report of Pestalotiopsis clavispora and Pestalotiopsis spp. Causing Postharvest Stem End Rot of Avocado in Chile. *Plant Disease*, 95(4), 492. <https://doi.org/10.1094/pdis-11-10-0844>

- Valencia, A. L., Gil, P. M., Latorre, B. A., & Rosales, I. M. (2018). Characterization and Pathogenicity of Botryosphaeriaceae Species Obtained from Avocado Trees with Branch Canker and Dieback and from Avocado Fruit with Stem End Rot in Chile. *Plant Disease*, 103(5), 996-1005. <https://doi.org/10.1094/pdis-07-18-1131-re>
- Valencia, A. L., Saavedra-Torrico, J., Rosales, I. M., Mártiz, J., Retamales, A., Link, A., & Gil, P. M. (2022). Unveiling the Predisposing Factors for the Development of Branch Canker and Dieback in Avocado: A Case of Study in Chilean Orchards. *Horticulturae*, 8(12), 1121. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121121>
- White, A., Woolf, A. B., Hofman, P. J., and Arpaia, M. L. (2005). The International Avocado Quality Manual. Horticulture and Food Research Institute, Auckland, New Zealand.
- Willingham, S. L., Pegg, K. G., Anderson, J. M., Cooke, A. W., Dean, J. R., Giblin, F. R., & Coates, L. M. (2006). Effects of rootstock and nitrogen fertiliser on postharvest anthracnose development in Hass avocado. *Australasian Plant Pathology*, 35(6), 619. <https://doi.org/10.1071/ap06062>
- Willingham, S. L., Pegg, K. G., Cooke, A. W., Coates, L. M., Langdon, P. W. B., & Dean, J. R. (2001). Rootstock influences postharvest anthracnose development in «Hass» avocado. *Australian Journal Of Agricultural Research*, 52(10), 1017. <https://doi.org/10.1071/ar01015>
- Willingham, S.L.; Pegg, K.G.; Coates, L.M.; Cooke, A.W.; Dean, J.R.; Langdon, P.W.B.;-Beasley, D.R., (2001b). Field management of avocado postharvest diseases. *Acta Horti*, 435-438
- Xu, L., Lan, X., Chen, Y., He, R., Wang, M., Zhang, Y., Liang, X., & Yang, Y. (2024). Identity, pathogenicity and genetic diversity of *Lasiodiplodia* associated with stem-end rot of avocado in China. *Plant Disease*, 108(9), 2630-2644. <https://doi.org/10.1094/pdis-09-23-1939-sr>

Capítulo 6

Desórdenes fisiológicos emergentes

Romina Pedreschi P.

Ingeniero en Alimentos, Ph.D.

romina.pedreschi@pucv.cl

Camila Arancibia G.

Ingeniero Agrónomo, Mag. en Ciencias Ambientales

Gerardo Nuñez-Lillo

Ingeniero en Biotecnología, Ph.D.

6.1. Introducción

La palta (*Persea americana* Mill.) es considerada como una de las frutas subtropicales y tropicales más importantes económicamente en el mundo, destacando la variedad 'Hass' que representa más del 90 % de la palta comercializada a nivel mundial. América Latina desempeña un papel clave en la cadena de suministro mundial de palta, con México, Perú y Chile, como principales exportadores, representando un 82 % de las exportaciones en la temporada 2021/2022. El destino de estas exportaciones en más de un 80 % corresponde a Estados Unidos, Unión Europea y Reino Unido (Mundoagro, 2024). Si bien para México su principal mercado de exportación es EE.UU., para los países sudamericanos como Perú, Chile y Colombia, el mercado europeo es el más importante, además de la reciente apertura de mercados asiáticos (Mundoagro, 2024). Este escenario implica tiempos de transporte de hasta 55 días (por ejemplo, desde Chile), lo que plantea un desafío para llegar a estos mercados con la máxima calidad y mínimas pérdidas de fruta, especialmente en comparación con sus competidores.

A nivel mundial, los principales problemas de calidad corresponden a la heterogeneidad en los mercados de exportación (Landahl & Terry, 2009; Donetti & Terry, 2014; Mpaí & Sivakumar, 2020) en términos de firmeza, color, días para alcanzar la madurez de consumo, respuesta a los protocolos de maduración forzada, y desórdenes patológicos y fisiológicos, resultando en pérdidas de alimentos

entre el 10 % y el 30 % (Terry *et al.*, 2011; Landahl & Terry, 2020). Entre estos problemas, muchos de ellos sólo se manifiestan luego de un almacenamiento prolongado (por ejemplo, heterogeneidad en la maduración, daño por frío, daño lenticelar, mancha negra o “black spot”) o en madurez de consumo (por ejemplo, mancha negra, desincronización del color con la firmeza). Parámetros tales como el color, la firmeza y la ausencia de desórdenes externos de la fruta guían la compra de los consumidores, por ende, si el color no está sincronizado con la firmeza o se observan desórdenes o daños externos contribuyen a las pérdidas durante la comercialización (Donetti & Terry, 2012).

6.2. Desórdenes emergentes en palta cv. ‘Hass’

Los desórdenes patológicos y fisiológicos en la palta difieren en su origen (Ramírez-Gil *et al.*, 2021). Los desórdenes patológicos o enfermedades son causados por agentes bióticos, suelen manifestarse durante la postcosecha. Las principales enfermedades son la antracnosis y el moho peduncular, que siguen siendo los agentes más dañinos para los exportadores. Existen muy pocas herramientas químicas y biológicas para combatirlas (Obianom *et al.*, 2019). Por otro lado, los desórdenes fisiológicos, que se abordarán en este capítulo, son provocados por factores abióticos (clima, manejo de la temperatura y nutrición). Entre los que destacan problemas a nivel de mesocarpio o pulpa, como el pardeamiento de pulpa y vascular asociado a deficiencias nutricionales durante la precosecha (ver Capítulo 3), y a nivel del exocarpio o piel, como es el daño lenticelar, el daño por frío (también puede afectar a la pulpa o mesocarpio), mancha negra o “black spot” y la desincronización del color del exocarpio con la firmeza del mesocarpio a madurez de consumo. Estos dos últimos se han manifestado fuertemente en las últimas temporadas y estarían asociados a las condiciones climáticas cambiantes a las que nos enfrentamos actualmente (Uarrota *et al.*, 2020; Arancibia-Guerra *et al.*, 2022).

6.2.1. Daño lenticelar

La etiología del daño lenticelar en palta es desconocida, sin embargo, este desorden que se manifiesta en el exocarpio o piel del fruto se caracteriza por presentarse después de la cosecha y en el empaque mediante manchas oscuras pequeñas de aproximadamente 1 a 5 mm de diámetro (Everett *et al.*, 2008). Dependiendo del grado de severidad (Figura 6.1), este desorden no sólo presenta un problema estético, sino que puede tener consecuencias como el rechazo de

la fruta en destino. Por ejemplo, Colombia ha reportado incidencias de daño lenticelar entre un 2,4 a 6 %, y casi un 5 % de rechazos asociado a este desorden (Ramírez-Gil *et al.*, 2020; Ramírez-Gil *et al.*, 2021).



Figura 6.1. Daño lenticelar moderado (izquierda) y severo (derecha) en palta cv. 'Hass', luego de 30 días de almacenamiento a 5° C según escala de Lindh *et al.* (2021).

Los factores asociados a la aparición y desarrollo del desorden son el daño mecánico y la absorción de agua (Everett *et al.*, 2008; Lindh *et al.*, 2021). Las paltas son más susceptibles al daño en las lenticelas después de absorber agua, ya que las células asociadas con las lenticelas se vuelven turgentes y llenan los espacios intercelulares. Esta turgencia aumentada hace que estas células sean más propensas a dañarse, debido a que se encuentran más distendidas que otras células, especialmente las del mesocarpio.

En consecuencia, estas células hinchadas se vuelven marrones más rápidamente que otras debido a su mayor susceptibilidad al estrés físico (Everett *et al.*, 2008). El daño mecánico provocado durante la cosecha del fruto, sumado a las condiciones de la cosecha (alta o baja humedad relativa), el transporte y la manipulación del fruto pueden incrementar significativamente la incidencia del daño. Lindh *et al.* (2021) evaluaron el impacto del tipo de cosecha: cuidadosa y convencional, como también el momento de la cosecha (9 am y 2 pm) sobre el porcentaje y severidad del daño lenticelar en palta cv. 'Hass' de cosecha temprana (23 - 26 % materia seca) y media (> 26 - 30 % materia seca). Además de evaluar los efectos del daño lenticelar en la pérdida de peso después del almacenamiento prolongado (Figuras 6.2 y 6.3).



Figura 6.2. Evaluación de dos tipos de cosecha (cuidadosa y convencional) sobre la severidad del daño lenticelar.

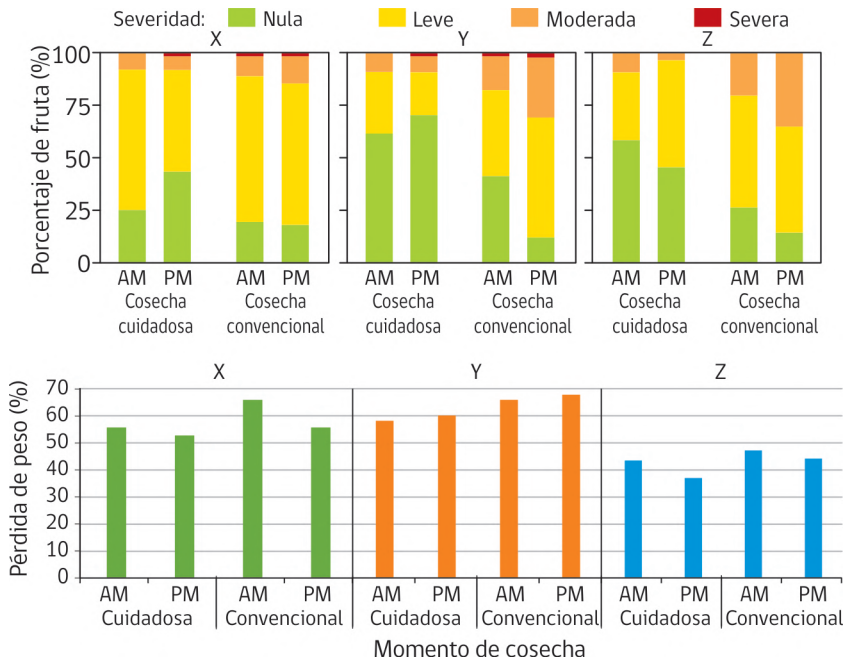


Figura 6.3. Efecto del tipo de cosecha: convencional y cuidadosa sobre la severidad del daño lenticelar y la pérdida de peso después del almacenamiento prolongado por 40 días en aire regular a 5 °C. Datos de Lindh *et al.* (2021).

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron un mayor daño lenticelar en los frutos cosechados de manera convencional independiente de la hora de cosecha (am o pm). Además, este mayor daño provocó una mayor deshidratación o pérdida de peso del fruto durante el almacenamiento prolongado en frío (40 días a 5 °C). Por ende, prevenir el daño mecánico (en la cosecha, transporte, packing, etc.) es fundamental para detener el desarrollo del daño lenticelar que

se exacerba durante el almacenamiento prolongado en frío (Lindh *et al.*, 2021). Otros trabajos realizados a nivel de postcosecha como el de Mendieta *et al.* (2016) reportaron que el daño lenticelar puede ser significativamente reducido al combinar tratamientos con cloruro de calcio y ceras en palta cv. 'Hass'.

6.2.2. Mancha negra o "black spot"

La mancha negra o "black spot" es un desorden emergente que fue reportado por primera vez por Everett *et al.* (2015) en palta cv. 'Hass' peruana, donde estas manchas negras en la superficie del exocarpio del fruto fueron asociadas a daño por frío, daño lenticelar y/o daño fúngico. Lindh *et al.* (2021) no encontraron ninguna correlación entre el daño lenticelar y el desarrollo del "black spot". El "black spot" se caracteriza por manchas marrones a negras, de 2 a 3 cm de diámetro, en el exocarpio del fruto, sin afectar el mesocarpio (Figura 6.4).



Figura 6.4. Palta cv. 'Hass' con desarrollo de "black spot" o mancha negra en el exocarpio después de almacenamiento (40 días a 5 °C).

Estos síntomas se hacen visibles después de un almacenamiento prolongado, particularmente en condiciones de frío y en menor grado en atmósfera controlada (Uarrotta *et al.*, 2020). Recientemente, este desorden se ha evidenciado en exportaciones chilenas, provocando pérdidas significativas de frutos. Esta mancha negra a menudo se confunde con daños mecánicos, ataques de patógenos (como

la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides*), o una combinación de daños mecánicos y condiciones ambientales que favorecen el daño lenticelar. La causa subyacente es probablemente fisiológica, con un metabolismo alterado del fruto que genera especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que puede llevar al estrés oxidativo y a la formación subsiguiente de manchas negras cuando hay un desequilibrio con el sistema de defensa antioxidante (Uarrotta *et al.*, 2022; Fuentealba *et al.*, 2022).

En Chile, se ha realizado un esfuerzo colaborativo entre el Comité de Palta, la empresa Gama Ltda., la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina y la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) desarrollando un proyecto para estudiar los factores involucrados tanto a nivel de precosecha, cosecha como manejo postcosecha en el desarrollo de este desorden. Este estudio realizó un seguimiento del historial del desorden durante tres temporadas completas (2017-18; 2018-19 y 2019-20) en huertos provenientes de tres zonas agroclimáticas (costera, intermedia e interior), dos estados de madurez (temprana 23 - 26 % y media > 26 - 30 % materia seca) luego de un almacenamiento en condiciones de aire regular (40 días a 5 °C; Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1. Historial de incidencia de “black spot” o mancha negra en huertos de diferentes zonas agroclimáticas y estados de madurez a cosecha en Chile.

Zona agroclimática	Huerto	2017-18		2018-19		2019-20	
		T	M	T	M	T	M
Costera	A	10,0	0,0	0,0	50,0	79,0	20,2
	B	54,0	8,0	44,0	58,0	42,6	44,0
Intermedia	C	18,0	4,0	0,0	30,0	0,0	0,0
	D	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Interior	E	22,0	24,0	44,0	80,0	54,7	13,3
	F	0,0	12,0	0,0	45,0	0,0	0,0

*La temporada de cosecha temprana (T) corresponde a > 23-26% materia seca y la cosecha media (M) corresponde a > 26 - 30 % materia seca.

Se pudo observar que el desarrollo de este desorden no mostró un patrón claro en cuanto a zona agroclimática ni estado de madurez; más bien se presenta en huertos que recurrentemente presentan este desorden.

La piel o exocarpio es la barrera física del fruto con el ambiente, por ende, cumple un rol clave de defensa ante estrés biótico y abiótico. El sistema antioxidante del exocarpio está compuesto por el sistema de defensa enzimático donde participan

enzimas claves como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT), la peroxidasa (POD) y otras como la polifenol oxidasa (PPO). Además, actúa en conjunto el sistema de defensa no enzimático donde los compuestos fenólicos del exocarpio (ácido clorogénico, epicatequina y derivados, etc.) cumplen un rol clave. Estudios previos han establecido correlaciones entre variables climáticas durante el crecimiento y desarrollo del fruto, el estado de madurez, la firmeza y otras características de calidad con el sistema de defensa enzimático y no enzimático al momento de la cosecha, y su influencia en la incidencia del desarrollo de manchas tras un almacenamiento prolongado (40 días en aire regular a 5 °C). Esta investigación incluyó datos de tres temporadas completas (2017-18; 2018-19 y 2019-20). Se determinó qué variables importantes de precosecha (temperaturas mínimas absolutas) y cosecha (calibre) se correlacionaron positivamente con la mancha negra. Asimismo, se correlacionaron negativamente con el desorden, variables tales como la radiación promedio y radiación máxima, temperatura máxima promedio, los compuestos fenólicos y un menor contenido de materia seca en el exocarpio (Figura 6.5).

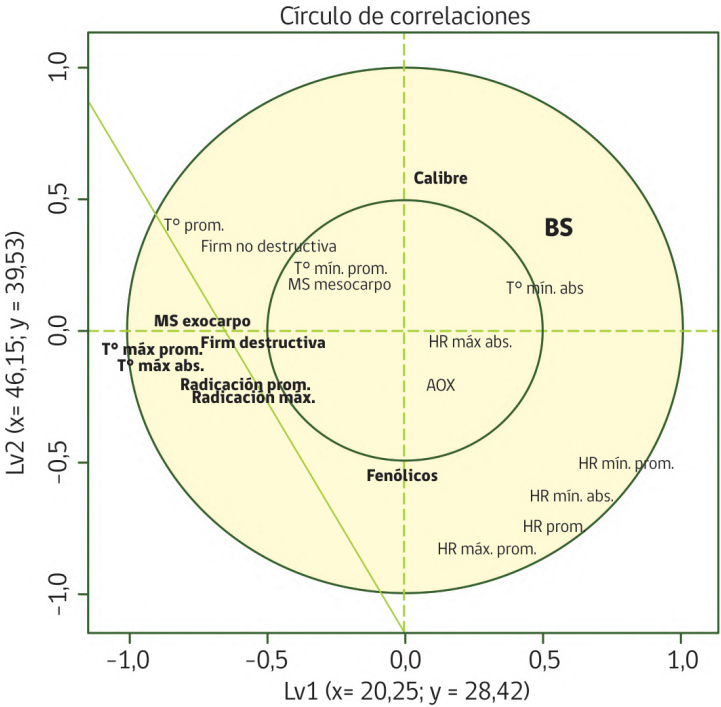


Figura 6.5. Análisis de mínimos cuadrados parciales para determinar variables (climáticas, calidad y sistema de defensa de la piel a cosecha) correlacionadas tempranamente con el desarrollo de “black spot” (BS) durante almacenamiento (40 días en aire regular a 5 °C).

El sistema de defensa del exocarpio cumple un rol clave en el desarrollo del desorden. Por ello, se evaluaron diferentes tratamientos de postcosecha, como la aplicación de atmósfera controlada (AC, 40 días a 5 °C) inmediatamente después de la cosecha sobre el desarrollo de "black spot". Los resultados mostraron que la aplicación inmediata de AC redujo significativamente la incidencia de "black spot" (Figura 6.6). Sin embargo, en términos prácticos, la consolidación de los contenedores con atmósfera controlada puede tardar hasta 10 días o más.

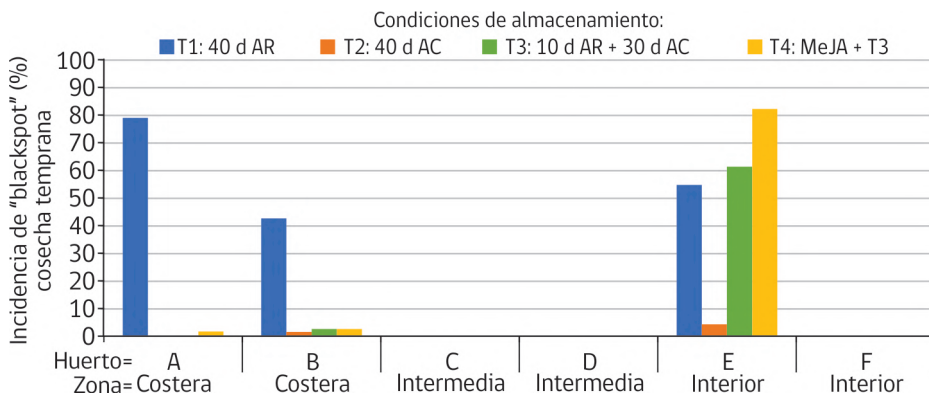


Figura 6.6. Evaluación de diferentes tratamientos y condiciones de almacenamiento de postcosecha sobre el control de la incidencia de "black spot" en palta cv. 'Hass'. T1: 40 días a 5 °C (AR); T2: 40 días a 5 °C (AC; 4 % O₂ y 6 % CO₂), T3: 10 días AR + 30 días AC y T4: 2.5 μM metil jasmonato (MeJA) + 10 días AR + 30 días AC.

En este contexto, se evaluaron tratamientos con metil jasmonato previo al almacenamiento en aire regular y la posterior aplicación de la AC. Los resultados demostraron la gran efectividad de AC en comparación con los otros tratamientos sobre el control de la mancha negra (Figura 6.6). Bajo las condiciones de AC, el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) en la piel se mantuvo más alto en comparación con los otros tratamientos. No se encontró una asociación clara entre TPC y la capacidad antioxidante con la incidencia de manchas negras, aunque los frutos de cosechas tempranas mostraron contenidos medios más altos de fenólicos y AC que los de cosechas medias (Fuentealba *et al.*, 2022). Sin embargo, en este mismo estudio no se observó un papel claro de las enzimas antioxidantes: catalasa (CAT), polifenol oxidasa (PPO), superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD) y fenilalanina amoníaco liasa (PAL) en el control de las manchas negras. Sin embargo, se notó que las actividades de SOD y PPO aumentaron ligeramente durante el almacenamiento. Un estudio reciente de Nuñez-Lillo *et al.* (2024) focalizado en entender los mecanismos moleculares

involucrados en el desarrollo de la mancha negra, mostró una sobreexpresión de genes relacionados con la biosíntesis de lignina y la vía de los fenilpropanoides en el exocarpio negro de los frutos afectados por la mancha negra. En contraste, la vía de los flavonoides (que produce antocianinas) fue reprimida en las muestras que mostraron mancha negra.

6.2.3. Desincronización del color del exocarpio con la firmeza del mesocarpio

La desincronización del color del exocarpio junto con el ablandamiento de la pulpa o mesocarpio en palta cv. 'Hass' es de los desórdenes reportados desde el año 2015 por los sudafricanos (Mathaba *et al.*, 2015) y sólo a partir del año 2022 registrados en Chile y otros países productores. Su etiología también es desconocida y se atribuye a factores climáticos durante la precosecha. Este desorden complica al consumidor, ya que la madurez de consumo de la fruta en la variedad 'Hass' se asocia no sólo al ablandamiento sino al cambio de color de la piel a negro. En la Figura 6.7, se aprecia una escala hedónica del desarrollo de color, donde los valores 1 al 3 se consideran como fruta verde o que no desarrolla el color esperado, a pesar de presentar la firmeza esperada a madurez de consumo (valores de firmeza 4 - 14 N), mientras que los valores 4 y 5 corresponden a fruta con la firmeza adecuada y el desarrollo del color de la piel esperado en la variedad.



Figura 6.7. Palta cv. 'Hass' con una madurez de consumo, la cual ha alcanzado una firmeza del mesocarpio de 4-14 N, pero ha mostrado desincronización del color (escala 1 a 3) con la firmeza. Las paltas en la escala 4 y 5 corresponden a fruta sincronizada (color exocarpio y firmeza del mesocarpio).

La maduración de palta cv. 'Hass' implica cambios de color y firmeza a nivel del exocarpio (piel) y mesocarpio (pulpa). A cosecha en madurez fisiológica, la fruta presenta un color de exocarpio verde y una gran firmeza (valores > 100 N) y a medida que alcanza la madurez de consumo, el color de la piel vira a tonalidades violáceas/

negras, junto con la firmeza que decrece drásticamente a valores de 4 - 14 N. Estos cambios son gatillados principalmente por la hormona etileno, ya que se trata de un fruto climatérico y están acompañados por una alta tasa respiratoria.

Los principales pigmentos en el exocarpio de palta cv. 'Hass' y por ende involucrados en los cambios de color durante el proceso de maduración corresponden a clorofilas, carotenoides y antocianinas (Cox *et al.*, 2004). Los pigmentos que generan esta transición de color son las clorofilas, que aportan los tonos verdes y disminuyen conforme la fruta madura, y las antocianinas, que generan los tonos púrpuras/negro acumulándose durante la maduración (Cox *et al.*, 2004; Ashton *et al.*, 2006). Ambos autores han señalado que tanto las clorofilas como los carotenoides presentes en la piel disminuyen conforme la fruta madura y las antocianinas en el exocarpio se incrementan significativamente a medida que se produce el ablandamiento del mesocarpio. Así, el primer estudio más completo sobre los pigmentos de la pulpa y la piel de palta 'Hass' durante la maduración a 20 °C fue realizado por Ashton *et al.* (2006), con fruta de temporada tardía (35,2 % de materia seca) y que se caracteriza en general por no presentar problemas de desincronización del color con la firmeza. En este estudio, las antocianinas totales aumentaron significativamente en la piel/cáscara, de 0 a 235 (µg/g peso fresco), durante la maduración. Se destaca la cianidina-3-*O*-glucósido responsable de casi el 95 % de todas las antocianinas presentes.

Este desorden fisiológico fue reportado por primera vez por Mathaba *et al.* (2015) en Sudáfrica, asociando factores de precosecha, cosecha y postcosecha. Así, fruta de temporada temprana (baja materia seca) y de la parte baja de la pendiente del huerto (zonas más frías) mostraron problemas significativamente mayores de desincronización de coloración con el ablandamiento, asociando este problema con un mayor daño externo por frío.

En cuanto a los factores de postcosecha, el mismo autor demostró que temperaturas de maduración más altas (25 °C) mejoraron el desarrollo del color en comparación con 16 °C y 21 °C, pero, en la práctica, temperaturas de maduración > 20 °C pueden resultar en una mayor incidencia de podredumbre y no se recomiendan para maximizar la calidad postcosecha (Arpaia *et al.*, 2018). Estudios posteriores Mathaba *et al.* (2016) evaluaron el efecto de 1-MCP, la región de producción, el momento de cosecha, la pendiente del huerto y la posición del fruto en la canopia, todos estos factores sobre el desarrollo del color a madurez de consumo. Sus resultados reportaron que el 1-MCP, un inhibidor de la acción del etileno, no tuvo efecto en el cambio de color independientemente del momento de la cosecha, pero la

aparición de esta desincronización del color de la piel y el ablandamiento fue más pronunciada en frutos de temporada temprana, independientemente de los otros factores estudiados. Por otro lado, Mathe *et al.* (2018) simularon las condiciones de exportación de palto sudafricanos (28 días a 5,5 °C), donde fueron evaluados lotes de palta 'Hass' de cosecha temprana, media y tardía tratados con 300 ppm de 1-MCP, previamente a ser almacenados en frío prolongado en términos de desincronización del desarrollo del color con el ablandamiento. Los autores informaron que la aplicación de 1-MCP mejoró el desarrollo del color en frutos de cosecha temprana y media en comparación con los frutos no tratados, pero fue acentuada la maduración desigual. Además, los frutos de cosecha tardía (materia seca > 30 %) siempre lograron cambiar de color independientemente de la aplicación de 1-MCP.

En Chile, la problemática del desarrollo del color negro en palta 'Hass' a madurez de consumo fue evaluado durante las temporadas 2017-18; 2018-19; 2019-20; 2020-21 (Cuadro 6.2). Se evaluó la incidencia del desorden de lotes de fruta procedentes de huertos de diferentes zonas agroclimáticas (costera, intermedia e interior) y diferentes estados de madurez (temprana: 23 - 26 % y media: > 26 - 30 % materia seca) almacenados por 40 días a 5 °C. En general se observó gran incidencia del desorden en las temporadas evaluadas independiente de la zona agroclimática y estado de madurez.

Cuadro 6.2. Porcentaje de fruta con escala de color verde (1, 2 o 3) en la fase madurez de consumo después de 40 días en almacenamiento en aire regular a 5 °C.

Zona agroclimática	Huerto	2017-18		2018-19		2019-20		2020-21	
		T	M	T	M	T	M	T	M
Costera	A	27,3	9,9	33,3	80,0	98,0	44,0	16,7	10,0
	B	16,1	0,0	18,9	94,4	28,0	67,0	58,4	35,0
	C	2,2	5,6	31,9	20,0	***	***	***	***
	D	0,0	6,7	2,2	0,0	***	***	***	***
Intermedia	E	15,1	0,0	1,1	26,2	72,0	73,0	***	***
	F	0,0	55,7	24,4	70,8	26,0	7,0	***	***
	G	6,0	33,3	17,8	18,2	***	***	23,3	14,0
Interior	H	11,2	29,1	100,0	13,3	1,0	97,0	33,3	20,0
	I	4,4	27,9	43,3	72,2	54,0	41,0	25,0	15,0
	J	0,0	2,2	31,7	67,2	***	***	***	***

*** = Huertos no realizaron análisis de dicha temporada y cosecha. La temporada de cosecha temprana (T) corresponde a > 23 % - 26 % materia seca y la cosecha media (M) corresponde a > 26 - 30 % materia seca. *Valores expresados en %.

En un estudio reciente de Arancibia-Guerra *et al.* (2022) se evaluó cinco huertos de diferentes zonas agroclimáticas de Chile (costera, intermedia e interior), dos estados de madurez (temprana: 23 - 26 % y media: > 26 - 30 % materia seca) y dos condiciones de almacenamiento (aire regular a 5 °C por 40 días) y atmósfera controlada (4 % O₂ y 6 % CO₂ por 40 días a 5 °C) durante la temporada 2020-21 sobre la desincronización del color del exocarpo con la firmeza del fruto a madurez de consumo revelando interesantes resultados. Se destaca que la desincronización del color fue más evidente en la condición de aire regular (AR) y en la cosecha temprana en todos los huertos. El almacenamiento prolongado en atmósfera controlada (AC) sincronizó el desarrollo del color en todos los huertos analizados. El contenido de clorofilas y carotenoides no disminuyeron a medida que la fruta alcanzaba la etapa de madurez para consumo, sino que se mantuvieron estables, mientras que las antocianinas totales aumentaron en todos los huertos evaluados y los valores de antocianinas totales fueron mayores en la fruta de temporada media de los huertos seleccionados. Los resultados de este trabajo demostraron que un mayor desarrollo de color negro del exocarpo a madurez de consumo estaba positivamente correlacionado no sólo con un mayor contenido de antocianinas totales, sino con el ácido abscísico (ABA), genes involucrados en la biosíntesis de antocianinas (*PamPAL*, *PamF3H* y *PamCHS*) y genes involucrados en la biosíntesis y acción de etileno (*PamACS*, *PamETR*). Por otro lado, Nuñez-Lillo *et al.* (2023) demostraron que la condición de almacenamiento en AC, además de contribuir a la sincronización del color a madurez de consumo, evidenció una correlación positiva con genes relacionados con auxinas, etileno, citoquininas y brasinoesteroides, mientras que la fruta almacenada en aire regular se caracterizó por el enriquecimiento de genes asociados con la remodelación de la pared celular y el contenido de ácido abscísico. En la condición con madurez de consumo, la fruta con sincronización de color y ablandamiento mostró mayores contenidos de flavonoides, ácido abscísico y brasinoesteroides. En contraste, los frutos desincronizados revelaron aumentos en los niveles de ácido jasmónico, ácido salicílico y auxinas. Un estudio reciente de Olmedo *et al.* (2024) evaluó la sincronización del color del exocarpo con el ablandamiento en dos cultivares de palta contrastantes ('Hass' y 'Fuerte') evidenciando la interacción entre hormonas (ABA) y metabolitos primarios (sacarosa) los cuales juegan un papel importante en el desarrollo del color en el exocarpo y el ablandamiento del mesocarpo de palta 'Hass'.

Los países del hemisferio sur (Chile, Perú, Colombia) realizan las exportaciones de palta cv. 'Hass' en condiciones de atmósfera controlada con tiempos de viajes que dependen de la distancia a sus mercados de destino, pudiendo tardar hasta 55 días en estas condiciones. Si bien, trabajos previos han demostrado la eficiencia

de esta tecnología (AC) para ayudar a la sincronización del color, en la práctica la consolidación de los contenedores puede tardar varios días en condiciones de aire regular (1 - 10 días a 5 °C para 'Hass'). Olivares *et al.* (2024) evaluaron el efecto del retraso de la aplicación de AC sobre el desarrollo del color a madurez de consumo en palta cv. 'Hass' de temporada tardía (> 30 % materia seca). Se observó un mayor desarrollo del color en fruta almacenada bajo condiciones de atmósfera controlada. La fruta que se encontraba con madurez de consumo, presentó que el contenido de antocianinas aumentó, y en comparación con las frutas almacenadas sólo en aire regular, la fruta bajo AC presentó un contenido cinco veces mayor. Por ende, el uso de AC contribuye a aminorar este desorden, sin embargo, su retraso no debe ser muy extenso, de lo contrario tiene efectos negativos en el ablandamiento y viraje de color durante el transporte, lo cual es indeseable en términos de exportación y transporte a mercados distantes.

En el grupo de investigación de Fisiología y Tecnología de Postcosecha de la PUCV, evaluaron diferentes tratamientos con hormonas aplicadas exógenamente (metil jasmonato/MeJA, ácido abscísico y melatonina) para sincronizar el desarrollo del color del exocarpo de palta cv. 'Hass' en conjunto con el ablandamiento. En general, la efectividad del metil jasmonato (MeJA) aplicado antes del almacenamiento en AR por 10 días, seguido por la AC por 30 días fue sólo efectivo en algunos casos en comparación con la aplicación inmediata de la atmósfera controlada solamente (Figura 6.8). Shikwanbana *et al.* (2021) demostraron que palta cv. 'Hass' de temporada temprana (21 % de materia seca, propensa a no desarrollar el color negro) tratada con MeJA (10 µmol/L y 100 µmol/L, 15 min inmersión seguido de 28 días a 5,5 °C) presentó un menor contenido total de clorofila y una mayor concentración total de antocianinas durante la maduración en comparación con fruta no tratada (28 días a 5,5 °C). Recientemente, Muñoz *et al.* (2024, datos no publicados) evaluaron diferentes aplicaciones exógenas de ABA, MeJA y melatonina, las cuales influyeron en el desarrollo del color en la palta cv. 'Hass' de diferentes maneras, dependiendo del huerto y del porcentaje de contenido de materia seca en la cosecha. Sin embargo, MeJA (2,5 µM + 30 días a 5 °C) y melatonina (2,5 µM + 30 días a 5 °C) fueron capaces de mejorar la sincronización entre la firmeza y el desarrollo del color en comparación al control (30 días a 5 °C). Estos resultados sugieren que aplicaciones exógenas de algunas hormonas (melatonina, MeJA) podrían ayudar al desarrollo del color violáceo/negro en palta cv. 'Hass' a madurez de consumo; sin embargo, los estudios antes mencionados no han sido totalmente concluyentes y se requieren estudios que evalúen diferentes concentraciones, momentos y modos de aplicación; así como existe espacio para probar la efectividad de otras hormonas no evaluadas con este fin.

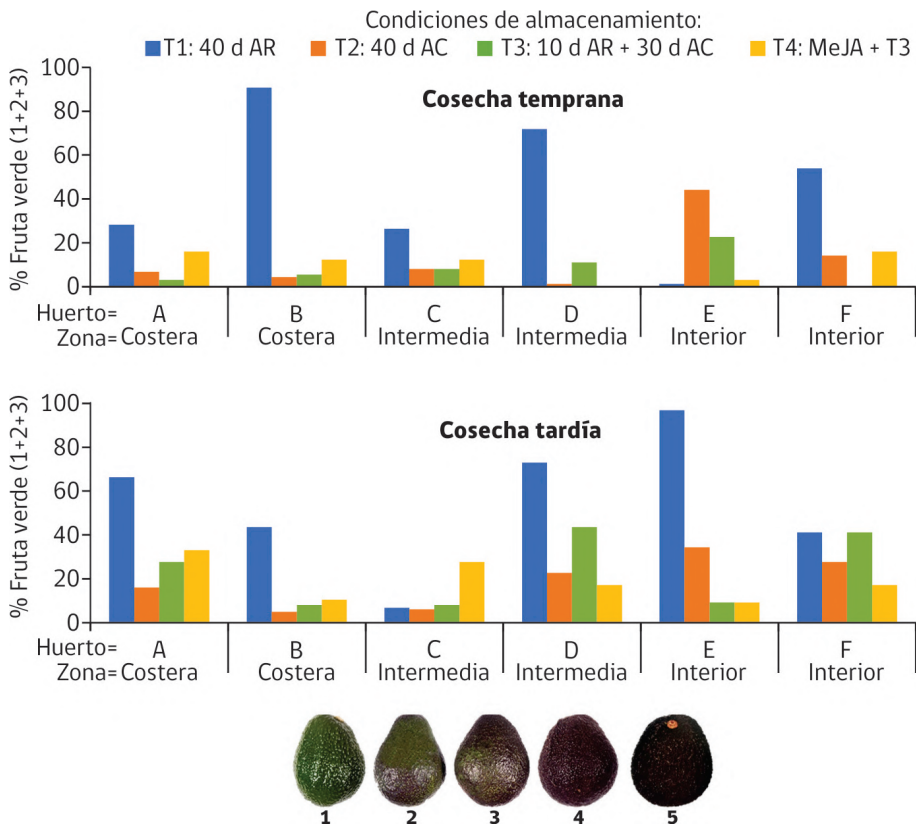


Figura 6.8. Porcentaje de palta cv. 'Hass' desincronizada (verde 1+2+3) de dos momentos de cosecha: temprana (23-27 % materia seca) y tardía (> 27 - 30 % materia seca) sometida a tratamientos de almacenamiento postcosecha: T1 (40 días en aire regular a 5 °C - AR); T2: (40 días a 5 °C, AC 4 % O₂ - 6 % CO₂); T3: 10 días AR + 30 días AC y T4: 2,5 μM metil jasmonato (MeJA) aplicado por inmersión 1 min + 10 días AR + 30 días AC.

6.2.4. Daño por frío

El daño por frío en paltas, también conocido como "chilling injury" en inglés, es un desorden fisiológico que ocurre cuando las frutas tropicales y subtropicales, como las paltas, son expuestas a temperaturas de almacenamiento bajas, generalmente entre 2 °C y 5 °C, que están por debajo de su umbral crítico de tolerancia. Este daño se manifiesta principalmente en la pulpa (mesocarpio) y la piel (exocarpio) de la palta, y puede incluir síntomas como pardeamiento del



Figura 6.9. Palta cv. 'Hass' de origen peruano almacenada por 30 días a 5 °C + *Shelf life* a 20 °C con síntomas internos de daño por frío.

mesocarpio, decoloración, ablandamiento anormal de la fruta, y la formación de manchas oscuras en la piel (Pesis *et al.*, 2002; Vincent *et al.*, 2023) (Figura 6.9).

La temperatura de almacenamiento es un factor clave involucrado en el daño por frío en paltas. La exposición prolongada a temperaturas bajas, pero no lo suficientemente bajas como para congelar, provoca daños en la estructura celular debido a la disfunción de las membranas celulares y la acumulación de especies reactivas de oxígeno (Shikwambana *et al.*, 2023). La integridad de la membrana celular se ve comprometida, lo que lleva a la pérdida de compartimentación celular y a un aumento en la permeabilidad, facilitando así la aparición de síntomas de chilling injury. Asimismo, la duración del almacenamiento influye en la severidad del daño por frío, la cual aumenta con el tiempo de exposición. Almacenamientos prolongados a temperaturas subóptimas amplifican la degradación de las paredes celulares y la actividad enzimática, lo que resulta en un ablandamiento excesivo y una mayor manifestación de síntomas de daño por frío durante la maduración.

Es importante mencionar que las condiciones ambientales durante el crecimiento y desarrollo del fruto condicionan la temperatura crítica de almacenamiento (T°

mínima a la cual se puede almacenar la fruta sin evidenciar síntomas del daño por frío). Palta de diferentes zonas geográficas (Chile, Perú, España, etc.) pueden por ende presentar diferencias en la temperatura crítica de almacenamiento/transporte a emplear. El estado de madurez (% de materia seca o aceite) a cosecha también contribuye a conferir mayor resistencia al daño por frío. En general, las paltas de temporada temprana (con bajo contenido de materia seca, < 26 %) suelen ser más susceptibles a presentar síntomas de daño por frío que las de temporada tardía (Burdon *et al.*, 2017). Por ende, la optimización de la temperatura de almacenamiento/transporte es crítica. Estudios previos han señalado que la presencia de etileno durante el almacenamiento en frío puede incrementar el pardeamiento del mesocarpio o el daño por frío acelerar la degradación de la fruta (Pesis *et al.*, 2002).

Tratamientos de postcosecha como los “heat shock” o choques térmicos; el enfriamiento escalonado y/o acondicionamiento a bajas temperaturas, además de almacenamiento refrigerado con atmósfera controlada e incluso la combinación de una serie de tecnologías como el acondicionamiento a bajas temperaturas, atmósfera modificada y aplicación de MeJA durante postcosecha han sido efectivas para controlar el daño por frío e incrementar la tolerancia a temperaturas por debajo del valor crítico en diferentes variedades de palta (Burdon *et al.*, 2017; Sivankalyani *et al.*, 2015).

6.3. Comentarios finales

Los resultados de este capítulo destacan la importancia de integrar prácticas de manejo pre y postcosecha para mitigar desórdenes fisiológicos emergentes en la palta cv. ‘Hass’. El daño lenticelar, la mancha negra y la desincronización del color en el exocarpio y en el mesocarpio reflejan el impacto de factores climáticos, fisiológicos y tecnológicos. Soluciones como el uso de atmósferas controladas y tratamientos hormonales ofrecen herramientas prometedoras para enfrentar estos desafíos, mejorando la calidad y competitividad de este cultivo esencial en mercados internacionales.

6.4. Agradecimientos

Los autores agradecen a ANID-FONDECYT (N° 1220223), al Programa de Iniciativa Científica Milenio de ANID (ICN2021_044) y al ANID-FOVI240006 por su apoyo.

6.5. Referencias

- Arancibia-Guerra, C., Núñez-Lillo, G., Cáceres-Mella, A., Carrera, E., Meneses, C., Kuhn, N., Pedreschi, R. (2022). Color desynchronization with softening of 'Hass' avocado: Targeted pigment, hormone and gene expression analysis. *Postharvest Biology and Technology*, Volume 194, 112067. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112067>.
- Arpaia, M. L., Collin, S., Sievelt, J., Obenland, D. (2018). 'Hass' avocado quality as influenced by temperature and ethylene prior to and during final ripening. *Postharvest Biology and Technology* 140, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.015>
- Ashton, O. B. O., Wong, M., McGhie, T. K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., Ramankutty, P., & Woolf, A. B. (2006). Pigments in Avocado Tissue and Oil. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 54(26), 10151-10158. <https://doi.org/10.1021/jf061809j>
- Burdon, J., Billing, D., & Pidakala, P. (2017b). Avoiding Chilling Damage in 'Hass' Avocado Fruit by Controlled Atmosphere Storage at Higher Temperature. *HortScience*, 52(8), 1107-1110. <https://doi.org/10.21273/hortsci12070-17>
- Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A., Woolf, A. B., (2004). Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology* 31(3), 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.09.008>
- Donetti, M., Terry, L. (2012). Investigation of skin colour changes as non-destructive parameter of fruit ripeness of imported 'Hass' avocado fruit. *Acta Hort.* 945, 189-196. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.945.25>
- Donetti, M., Terry, L. (2014). Biochemical markers defining growing area and ripening state of imported avocado fruit cv. Hass. *Journal of Food Composition and Analysis* 34 (1), 90-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.011>
- Everett, K. R., Hallett, I. C., Rees-George, J., Chynoweth, R. W., Pak, H. A. (2008). Avocado lenticel damage: The cause and the effect on fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* 48(3), 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.008>

- Everett, K.R., Pushparajah, I.P.S., Woolf, A.B., Burdon, J.N., Escobedo, V. & Vasquez, K. (2015). Investigation of the cause of 'Black spot' disorder of avocado fruit in Peru. En *Proceedings VIII World Avocado Congress 2015*. https://www.avocadosource.com/WAC8/Section_05/EverettKerri2015b.pdf
- 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>
- Landahl, S., Meyer, M. D., & 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(15), 7039-7047. <https://doi.org/10.1021/jf803669x>
- Landahl, S., Terry, L. (2020). Non-destructive discrimination of avocado fruit ripeness using lase Doppler vibrometry. *Biosystems Engineering* 194, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.04.001>
- Lindh, V., Uarrota, V., Zulueta, C., Alvaro, J. E., Valdenegro, M., Cuneo, I. F., Mery, D., Pedreschi, R. (2021). Image Analysis Reveals That Lenticel Damage Does Not Result in Black Spot Development but Enhances Dehydration in Persea americana Mill. cv. Hass during Prolonged Storage. *Agronomy*, 11(9), 1699. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091699>
- Mathaba, N., Mafeo, T.P., Kruger, F. J. (2015). The skin colouring problem of 'Hass' avocado fruit during ripening. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 38, 53-57
- Mathaba, N., Mathe, S., Tesfay, S. Z., Mafeo, T. P., Blakey, R. (2016). Effect of 1-MCP, production region, harvest time, orchard slope and fruit canopy position on 'Hass' avocado colour development during ripening. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 39, 51-57
- Mathe, S., Tesfay, S. Z., Mathaba, N., Blakey, R. J. (2018). Ripple effect of 1-methylcyclopropene on 'Hass' avocado colour development at different harvest times. *Acta Hort.* 1201, 91-97. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1201.13>
- Mendieta, B., Olaeta, J. A., Pedreschi, R., Undurraga, P. (2016). Reduction of cold damage during cold storage of Hass avocado by a combined use of pre-conditioning and waxing. *Scientia Horticulturae* 200, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.012>

- Mpai, S., Sivakumar, D. (2020). Influence of growing seasons on metabolic composition, fruit quality of avocado cultivars at ready-to-eat stage. *Scientia Horticulturae* 265, 109159. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109159>
- Mundoagro, (2024). Aumentan las exportaciones mundiales de paltas en los últimos años. Disponible en: <https://mundoagro.cl/aumentan-las-exportaciones-mundiales-de-paltas-en-los-ultimos-anos/>. Consultado: 24 de junio de 2024.
- Muñoz, C. (2024). Firmness-color uncoupling in avocado cv. Hass (Persea americana Mill.): exogenous applications of phytohormones for synchronization [Magister en Ciencias Agronomicas y Ambientales]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- Núñez-Lillo, G., Hernández, I., Olmedo, P., Ponce, E., Arancibia-Guerra, C., Sepúlveda, L., Carrasco-Pancorbo, A., Beiro-Valenzuela, M. G., Carrera, E., Baños, J., Campos, D., Meneses, C., Pedreschi, R. (2024). Deciphering the behind blackspot exocarp disorder in avocado cv. Hass through a hormonal, transcriptional and metabolic integration approach. *Postharvest Biology and Technology* 218, 113163. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113163>
- Núñez-Lillo, G., Ponce, E., Arancibia-Guerra, C., Carpentier, S., Carrasco-Pancorbo, A., Olmo-García, L., Chirinos, R., Campos, D., Campos-Vargas, R., Meneses, C., Pedreschi, R. (2023). A multiomics integrative analysis of color desynchronization with softening of 'Hass' avocado fruit: A first insight into a complex physiological disorder. *Food Chemistry* 408, 135215. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135215>
- Obianom, C., Romanazzi, G., & Sivakumar, D. (2018). Effects of chitosan treatment on avocado postharvest diseases and expression of phenylalanine ammonia-lyase, chitinase and lipoxygenase genes. *Postharvest Biology And Technology*, 147, 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.004>
- 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>

- Olmedo, P., Núñez-Lillo, G., Ponce, E., Alvaro, J. E., Baños, J., Carrera, E., González-Fernández, J. J., Hormaza, J. I., Campos, D., Chirinos, R., Campos-Vargas, R., Defilippi, B. G., Aguayo, E., & Pedreschi, R. (2024). Metabolite profiling and hormone analysis of the synchronized exocarp-mesocarp development during ripening of cv. 'Fuerte' and 'Hass' avocado fruits. *Food Bioscience*, *60*, 104454. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104454>
- 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)
- Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C., & Morales-Osorio, J. G. (2021). Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon*, *7*(1), e05905. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05905>
- Ramírez-Gil, J. G., López, J. H., & Henao-Rojas, J. C. (2020). Causes of Hass Avocado Fruit Rejection in Preharvest, Harvest, and Packinghouse: Economic Losses and Associated Variables. *Agronomy*, *10*(1), 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010008>
- Shikwambana, K., Mafeo, T. P., & Mathaba, N. (2021). Effect of Postharvest Methyl Jasmonate Treatment on Early-Matured "Hass" Avocado Fruit Exocarp Colour Development during Ripening. *Agricultural Sciences*, *12*(08), 875-887. <https://doi.org/10.4236/as.2021.128056>
- Shikwambana, K. , Mathaba, N. and Mafeo, T. Paulus (2023). The physiological effect of fruit maturity and 1-methylcyclopropene on 'Hass' avocado fruit exocarp colour and chilling injury during ripening. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, *6*(Issue 1), 55-76. doi: 10.22077/jhpr.2022.5538.1287
- Sivankalyani, V., Feygenberg, O., Maorer, D., Zaaroor, M., Fallik, E., & Alkan, N. (2015). Combined Treatments Reduce Chilling Injury and Maintain Fruit Quality in Avocado Fruit during Cold Quarantine. *PLoS ONE*, *10*(10), e0140522. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140522>
- Terry, L., Mena, C., Williams, A., Jenney, N., Whitehead, P. (2011). WRAP (Waste and sources action programme). Fruit and vegetable resource maps (RSC-008).

- Uarrota, V. G., Hernandez, I., Guequen, E. P., Cruz, J. V., Fuentealba, C., Defilippi, B. G., Lindh, V., Zulueta, C., Chirinos, R., Campos, D., & Pedreschi, R. (2020). Unravelling factors associated with 'blackspot' disorder in stored Hass avocado (*Persea americana* Mill) fruit. *The Journal Of Horticultural Science And Biotechnology*, *95*(6), 804–815. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1763860>
- Uarrota, V. G., Hernández, I., Ponce, E., Bauer, C. M., Maraschin, M., & Pedreschi, R. (2022). Metabolic profiling and biochemical analysis of stored Hass avocado fruit by GC-MS and UHPLC-UV-VIS revealed oxidative stress as the main driver of 'blackspot' physiological disorder. *International Journal Of Food Science & Technology*, *57*(12), 7896–7916. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16145>
- Vincent, C., Mirabent, C., & Munné-Bosch, S. (2022). Lipid peroxidation and lipid-soluble antioxidants as quality control markers in cold-stored fruit for establishing commercial acceptability in Bacon avocados. *Food Control*, *143*, 109312. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109312>

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.

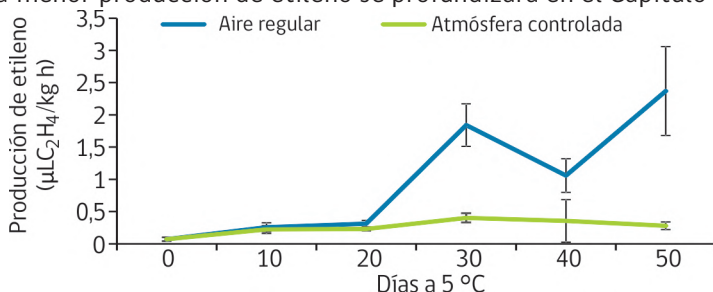


Figura 7.1. Efecto de atmósfera controlada en la tasa de producción de etileno en palta 'Hass'.

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).

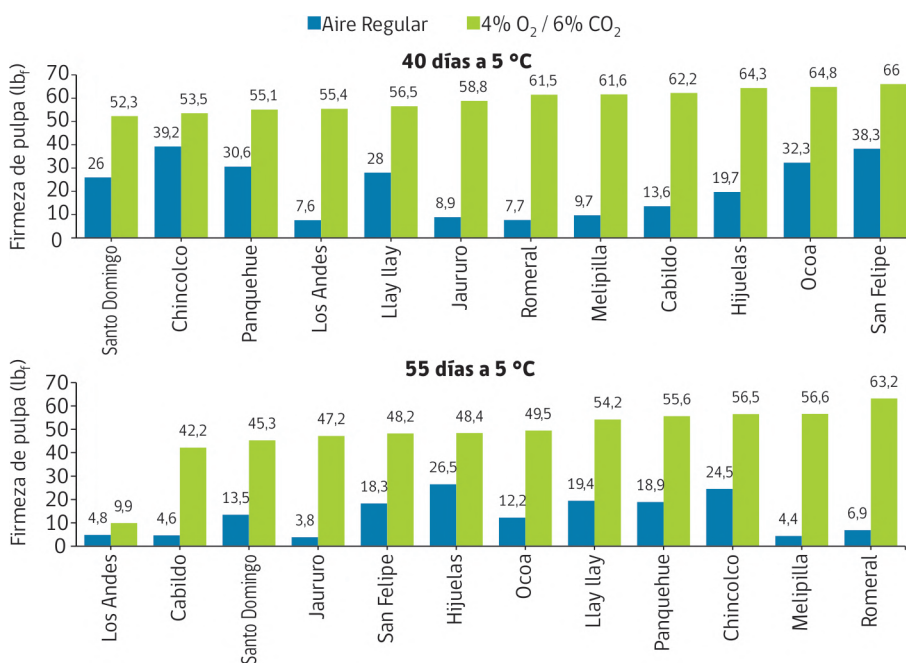


Figura 7.2. Valores promedio de firmeza (lb_f) tras almacenaje en frío de muestras de paltas provenientes de huertos de las regiones Metropolitana y de Valparaíso, con y sin uso de AC tras dos periodos de almacenaje. (Adaptado de Defilippi *et al.*, 2015).

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.

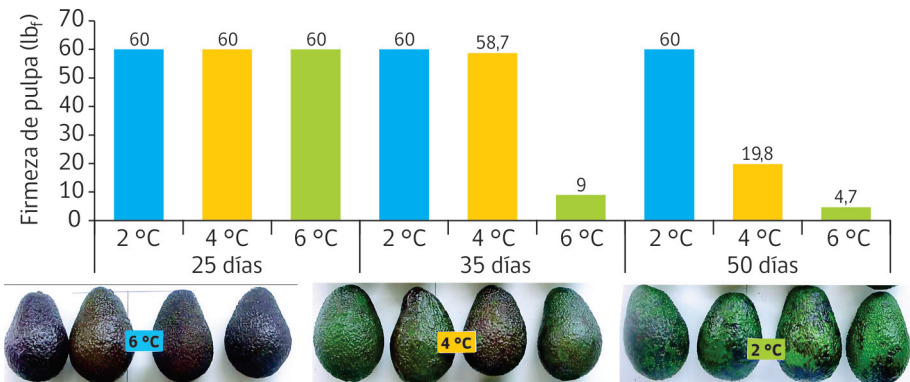


Figura 7.4. Evolución de la firmeza de pulpa al momento de salida de frío en paltas almacenadas a distintas temperaturas (2, 4 y 6° C) durante 3 periodos de postcosecha, y el efecto de las temperaturas sobre la epidermis de los frutos (Adaptado de INIA, 2003).

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.

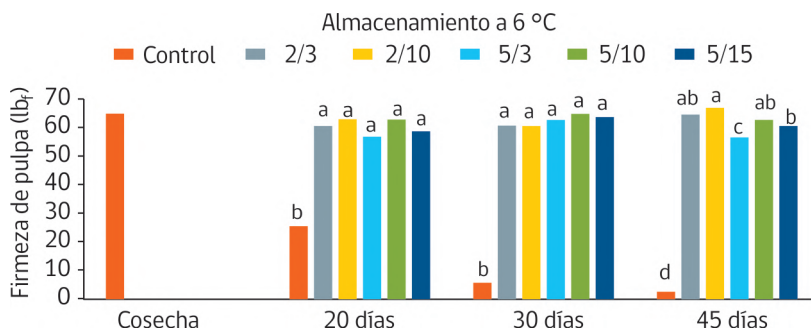


Figura 7.5. Efecto en firmeza de palta 'Hass' almacenada a 6 °C bajo distinta composición en concentración (%) O₂ y CO₂ en AC. Control (AR), la relación establece la concentración de O₂/CO₂ en atmósfera controlada.

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.

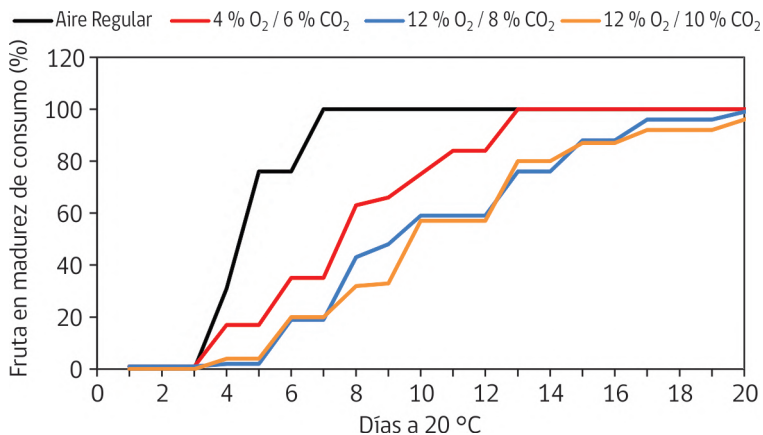


Figura 7.6. Frecuencia acumulada en la maduración de paltas variedad 'Hass' almacenada en 'Shelf Life' o vida de estantería (20 °C). Se consideró como fruta madura aquella con una firmeza de pulpa de 2 lb_f.

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.

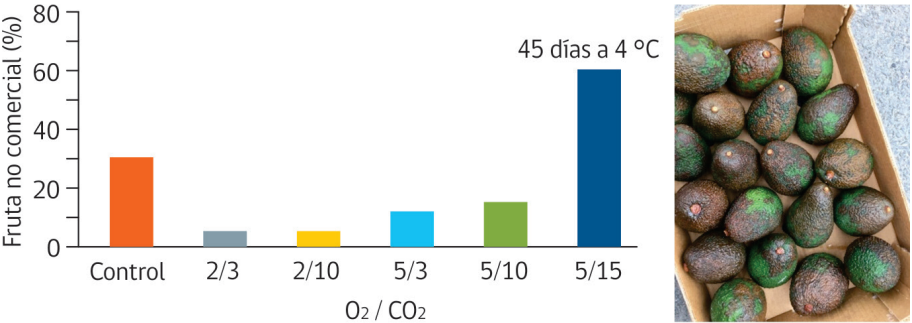


Figura 7.7. Presencia de daño por CO_2 en palta ‘Hass’ en fruta almacenada por 45 días.

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.

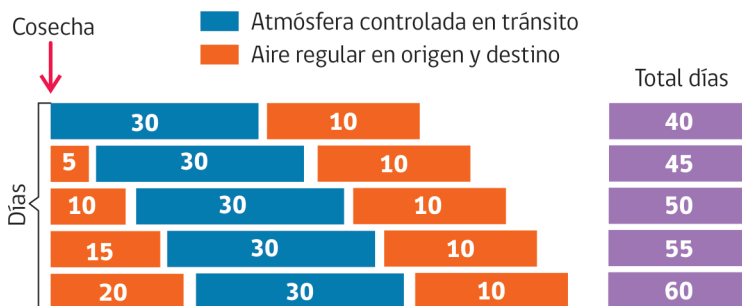


Figura 7.8. Días totales desde la cosecha hasta la venta de acuerdo a distintos periodos en los que la fruta permanece en origen (aire regular), contenedor (atmósfera controlada) y destino (aire regular). Fuente: Defilippi *et al.* (2015).

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).

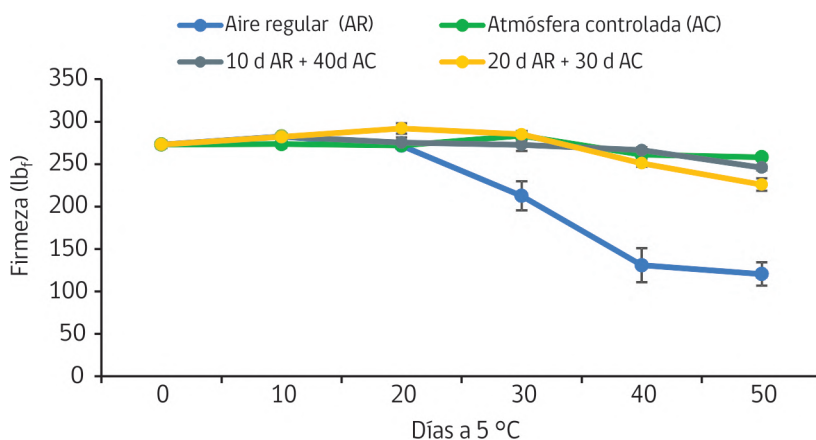


Figura 7.9. Efecto de los días de retraso de consolidación (10 y 20 días) en la firmeza de palta 'Hass' durante simulación de tránsito a destino en atmósfera controlada. Se utilizó un tratamiento testigo en aire regular durante todo el periodo de evaluación.

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

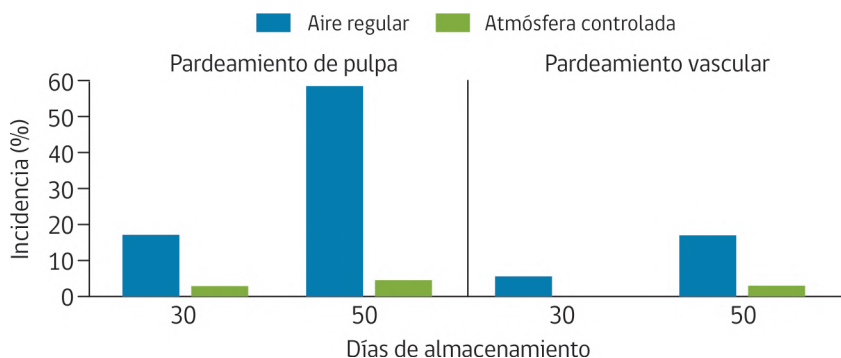


Figura 7.10. Incidencia (%) de pardeamiento de pulpa y vascular en palta 'Hass' almacenada por 30 y 50 días a 5 °C en aire regular (AR) y atmósfera controlada (AC).

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).

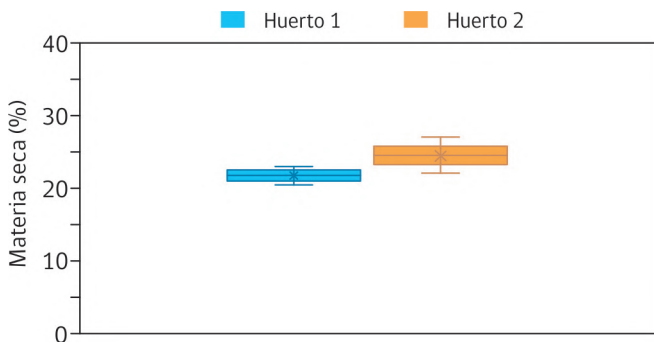


Figura 7.11. Distribución de porcentaje de materia seca en dos huertos de la Región de Valparaíso..

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).

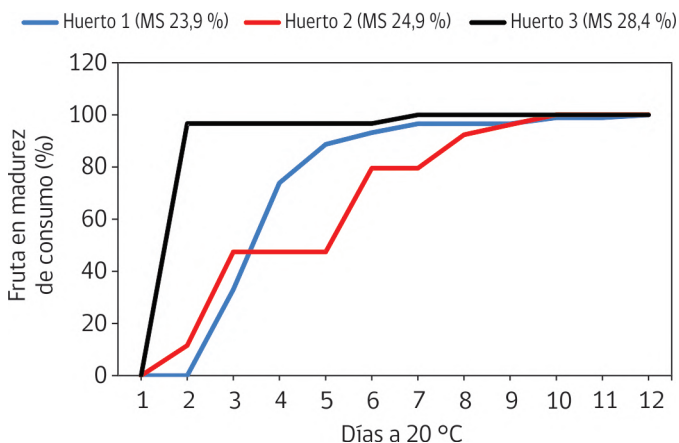


Figura 7.12. Distribución de porcentaje de frutos a madurez de consumo durante el periodo de vida de estantería a 20 °C, según el porcentaje de materia seca promedio medido al momento de cosecha.

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).

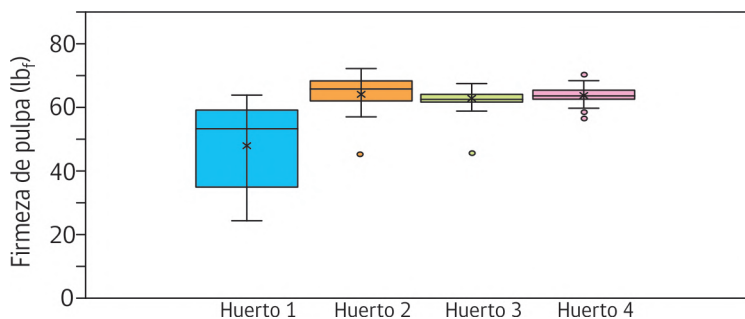


Figura 7.13. Distribución de firmeza en paltas al momento de salida de almacenaje en AC a 5 °C, en 4 huertos de la Región de Valparaíso.

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>

Capítulo 8

Etileno: importancia de su regulación en manejo de postcosecha

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
bdefilip@inia.cl

Daniel Manríquez B.

Ingeniero Agrónomo, Dr.

Daniela Olivares Z.

Ingeniera en Biotecnología Molecular, Dra.

8.1. Introducción

La hormona vegetal etileno juega un rol fundamental en la coordinación de una serie de procesos asociados a la maduración en paltas. Estos incluyen el aumento en la tasa de producción de etileno y de respiración, cambio de color de la piel en las variedades de color negro, ablandamiento de la pulpa y el desarrollo de pardeamientos asociados a la senescencia. Por ello, es crucial controlar el etileno durante la postcosecha para entregar al consumidor una fruta en buenas condiciones, reduciendo las pérdidas por sobremadurez o deterioro.

En el caso de la palta 'Hass', el proceso de maduración en postcosecha requiere un control preciso. La fruta debe mantener un nivel de madurez adecuado al llegar a los mercados de destino (pulpa firme y epidermis verde). Durante la comercialización y, especialmente, en manos del consumidor, la fruta debe alcanzar la firmeza y el color característico de esta variedad en un período razonable. En este contexto, el manejo del etileno juega un papel crucial.

En este capítulo se analiza el metabolismo del etileno y el metabolismo respiratorio. Además de herramientas y estrategias para su control en las distintas etapas de la cadena de distribución y comercialización, enfocándose principalmente en la variedad 'Hass'. También se aborda el uso de etileno en procesos de pre-maduración antes de la comercialización.

8.2. Metabolismo respiratorio y etileno

Para comprender e implementar estrategias de control del etileno en la palta, es crucial entender su ruta de síntesis y modo de acción.

En cuanto a la síntesis de etileno, existen dos enzimas clave en su producción:

- A. La primera es la ACC sintasa (ACS) que toma el aminoácido metionina (MET) para producir un compuesto intermedio llamado ácido 1-amino-ciclopropano carboxílico (ACC). La enzima ACS necesita de un cofactor llamado piridoxal fosfato para su actividad, una característica importante a considerar cuando hablemos del uso de algunos productos comerciales disponibles para la reducción de la síntesis de etileno.
- B. La segunda enzima es la ACC oxidasa (ACO), que transforma el ACC en etileno y que, como su nombre lo indica, necesita de oxígeno (O_2) para producir etileno, una característica que también es relevante para el control del etileno durante almacenamiento o tránsito.

En cuanto al modo de acción, las moléculas de etileno, ya sean producidas por la fruta o presentes en el ambiente (provenientes de fuentes externas), se unen a proteínas que existen en las células vegetales y que tienen como función ser "receptores" del etileno. Estos receptores son los encargados de transmitir una señal al núcleo de la célula para coordinar la expresión de genes regulados por el etileno, y que codifican para enzimas, otras proteínas, involucradas en procesos de maduración y senescencia en el caso de las paltas, como el ablandamiento y el cambio de color de la fruta.

La palta es un fruto climatérico, caracterizado por un aumento en la tasa de respiración y producción de etileno durante la maduración (Figura 8.1). Este etileno, a su vez, estimula su propia síntesis en un proceso auto catalítico, coordinando procesos claves como el ablandamiento de la pulpa y el desarrollo de pardeamientos.

Procesos claves para definir la calidad y condición de la fruta, como el ablandamiento de la pulpa y el desarrollo de pardeamientos asociados a la senescencia de la misma, también son regulados por el etileno.

En frutas, el etileno desencadena una serie de procesos a una determinada concentración, conocido como umbral de actividad fisiológica. En el caso de kiwis,

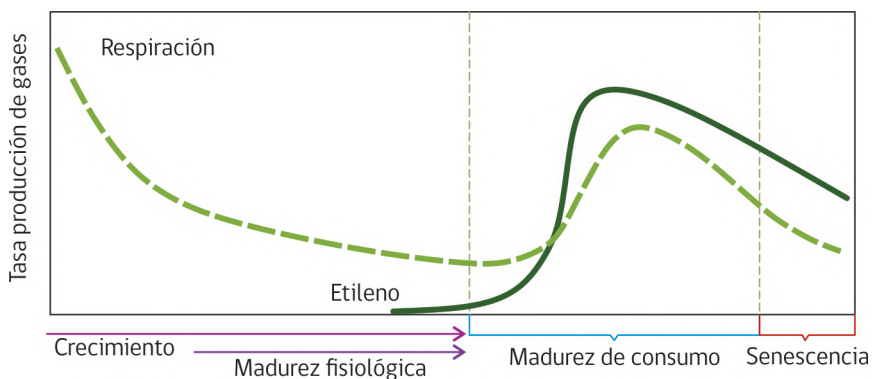


Figura 8.1. Tasa de respiración y producción de etileno a lo largo del desarrollo de paltas. Adaptado de Blakey, 2011.

una especie muy sensible al etileno, una concentración de 10 ppm, o menos, de esta hormona en el aire es suficiente para estimular el proceso de ablandamiento de la pulpa (Retamales *et al.*, 1998).

Para paltas, investigaciones han demostrado que concentraciones de 10 ppm producen el ablandamiento de la pulpa (Gazit & Blumenfeld, 1970). Sin embargo, dependiendo del estado de desarrollo del fruto, concentraciones tan bajas como 1 ppm pueden ser perjudiciales al gatillar procesos de senescencia, incluso bajo almacenamiento en atmósfera controlada y largos períodos de almacenamiento y transporte (Faubion *et al.*, 1992).

8.3. Mecanismos de control del etileno en postcosecha

Existen diversas estrategias para controlar el etileno en postcosecha, ya sea reduciendo su síntesis, bloqueando su percepción o eliminándolo del ambiente. La elección de la estrategia a implementar dependerá de factores como el estado de madurez de la fruta, las condiciones de transporte (tiempos y temperatura) y las expectativas de los mercados de destino. Es así como en algunos casos, se pueden usar herramientas de manera independiente o combinadas para lograr los objetivos deseados a lo largo de toda la cadena de valor.

En cuanto a las herramientas disponibles para el control del etileno en paltas, podríamos clasificar las mismas en:

- I. Aquellas para el control del etileno en el aire/ambiente que rodea a las frutas: uso de permanganato de potasio (KMnO_4).
- II. Reducir de manera directa la síntesis de etileno: uso de aminoetoxivinilglicina (AVG).
- III. Control a nivel de la percepción o acción de esta hormona (actuando sobre los receptores): uso de 1-metilciclopropeno (1-MCP).

8.3.1. Uso de absorbedores para el control de etileno en el ambiente

El etileno es una hormona que se encuentra y actúa en estado gaseoso, lo que hace que sea necesario removerlo del ambiente que rodea la fruta. De esta manera, se evita que sus concentraciones alcancen niveles que desencadenen procesos de maduración no deseados, como son el cambio de color de la piel y el ablandamiento.

El KMnO_4 es una de las herramientas más antiguas utilizadas para la remoción del etileno desde el ambiente que rodea a productos frescos, como son las paltas. Al entrar en contacto una molécula de permanganato de potasio con una molécula de etileno se produce una reacción química en la que el etileno es transformado en dióxido carbónico (CO_2) y agua (H_2O), eliminando el etileno desde el entorno.

Como producto comercial, el permanganato de potasio se encuentra impregnado en matrices inertes, lo que aumenta su superficie de contacto y permite un control eficiente del etileno. Estas matrices impregnadas son colocadas en filtros que pueden ser dispuestos en cámaras o contenedores refrigerados, o en "sachets" colocados al interior de las cajas de embalaje. Es esencial que el flujo de aire pase a través del filtro o sachet para que la actividad sea efectiva.

En cuanto a los efectos observados con el uso de KMnO_4 durante tránsito de paltas en contenedores, destacan la conservación del color verde de la piel y la firmeza de la pulpa. Estudios realizados en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, con paltas variedad 'Hass', muestran los resultados del uso de permanganato de potasio en contenedores de atmósfera controlada (AC), sobre la mantención de color y firmeza de pulpa (Cuadro 8.1).

Cuadro 8.1. Efecto del uso de permanganato de potasio en la conservación del color verde de la piel y firmeza de la pulpa en paltas 'Hass'. Permanganato fue utilizado durante simulación de tránsito a destino, tras de 50 días a 5 °C.

Tecnología durante tránsito			Firmeza de pulpa (lb _f)	Color de piel (1 a 5)
Atmósfera controlada		KMnO ₄		
% O ₂	% CO ₂			
4	6	NO	30	4
12	8	NO	24	3
4	6	SI	45	3
12	8	SI	50	2

Obs: Paltas cosechadas con un 30 % de MS y 60 lb_f de firmeza, provenientes de la localidad de Cabildo, Chile. La fruta evaluada luego de 50 días a 5 °C, con un régimen de 10 días en aire regular (AR), 30 días en atmósfera controlada (AC) y 10 días adicionales en AR. La evaluación del color de la piel se realizó en una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a verde y 5 a negro/púrpura.

Aunque las principales tecnologías que reducen la tasa de ablandamiento y el cambio de color son la baja temperatura y el uso de gases en AC, la adición de permanganato complementa el efecto benéfico de ambas, sobre todo, al exponerse a paltas con menor potencial de vida útil y largos periodos de tránsito a destino, situación cada vez más común debido a dificultades en la logística o envíos de mercados distantes, entre otras causas.

Para lograr los objetivos esperados en la extensión de la vida de postcosecha de las paltas, es crucial tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Forma y tamaño de las matrices impregnadas con permanganato de potasio.** Mientras mayor sea la superficie expuesta mayor es su eficacia, ya que existirán más moléculas de permanganato disponibles para reaccionar con las moléculas de etileno del ambiente.
- **Flujo de aire adecuado.** Como se mencionó previamente, es necesario que el flujo de aire facilite el contacto entre las moléculas de etileno y el permanganato. Por esta razón, los filtros deben colocarse en las zonas de mayor circulación de aire dentro de las cámaras o contenedores refrigerados.
- **Capacidad limitada de remoción de etileno.** La capacidad de remoción de etileno por parte del permanganato es limitada, ya que está dada por la cantidad de moléculas de permanganato disponibles para reaccionar con moléculas de etileno. Por lo que, dependiendo de las concentraciones de etileno en el ambiente, tanto filtros como "sachets" pueden perder su nivel de control en un período corto de tiempo, sobre todo en condiciones de una alta tasa de producción de etileno.

- **Efectividad en el control del etileno.** El control de etileno se ejerce solo sobre las moléculas que existen en el ambiente que rodea a la fruta, y no afecta a las moléculas de etileno que existen en el interior de los espacios intercelulares de la fruta y que están ejerciendo su acción a nivel celular.

Es importante destacar que el efecto del permanganato de potasio, por sí solo, no es suficiente para mantener la calidad y condición de las paltas durante el tránsito y llegar al mercado final de destino con una condición óptima en un tránsito en contenedores de aire regular (AR). Sin embargo, como se ha demostrado, es una herramienta válida y muy utilizada cuando se combina con el uso de contenedores de atmósfera controlada (AC) con las diferentes concentraciones de CO₂ y O₂. El uso de contenedores con AC para la mantención de calidad de paltas durante el tránsito a diferentes mercados de destino, será abordado en profundidad en el Capítulo 7 de este boletín.

Existen otros productos en el mercado que tienen un objetivo similar a permanganato de potasio. Es crucial evaluar su efectividad bajo las condiciones específicas requeridas para la exportación de paltas, como es el manejo de frutas que producen altos niveles de etileno y requieren de largos períodos de tránsito.

8.3.2. Uso de inhibidores de la percepción o acción de etileno: 1-metilciclopropano

El uso de 1-metilciclopropano (1-MCP) para el control de la acción del etileno ha sido ampliamente difundido a nivel comercial en diferentes frutas climatéricas como manzanas, peras, kiwis, ciruelas, paltas, entre otras. 1-MCP es un ciclopropano sintético que es usado para inhibir la acción del etileno a nivel de los receptores que existen en las células vegetales. Su estructura molecular es muy similar al etileno, lo que permite "imitar" al etileno y unirse a sus receptores bloqueando de esta manera su acción a nivel celular.

En el caso de las paltas, diversos estudios han demostrado la efectividad de 1-MCP en el retraso de la maduración en diferentes variedades (Feng *et al.*, 2000; Jeong *et al.*, 2003; Olivares *et al.*, 2020). Entre los efectos observados en la maduración de palta 'Hass' se incluyen la reducción en la tasa de producción de etileno y respiración, la conservación de color verde de la piel, una reducción en la pérdida de firmeza y la disminución en pardeamientos internos de la pulpa asociados a la senescencia (Woolf *et al.*, 2005).

Existen varias estrategias de manejo de postcosecha de paltas en las que se podría utilizar la aplicación de 1-MCP como una herramienta para controlar la acción del etileno, y así retrasar el proceso de maduración, adaptándose a las necesidades y objetivos específicos. Una de ellas es como un reemplazo al uso de contenedores de atmósfera controlada (AC) y así realizar el envío de paltas a diferentes mercados en contenedores de aire regular (AR). Otra alternativa es el uso de 1-MCP en combinación con las diferentes alternativas de AC para el envío a mercados distantes, donde es necesaria la combinación de ambas estrategias para asegurar la llegada de frutas con una buena condición, sobre todo en paltas con un alto contenido de materia seca (MS) al final de la temporada o campaña.

En la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina se ha investigado el uso de 1-MCP como alternativa al uso de AC para la exportación de paltas en diferentes estados de madurez y condiciones de envío. Es así que fruta de la variedad 'Hass' fue cosechada en dos estados de madurez: a) primera cosecha (Cosecha 1) correspondió a la parte inicial de la temporada con frutas que tenían un contenido de materia seca en torno a un 23 % (9 % de aceite para Chile). b) segunda cosecha (Cosecha 2) consistió en frutas con un estado de madurez más avanzado con un contenido de materia seca cercano al 26 % (11 % aceite para Chile).

En ambos casos, las paltas fueron divididas en tres grupos para dar origen a tres tratamientos a evaluar: (i) el primer grupo se aplicó con 1-MCP por 12 h a 5 °C, y luego se almacenó en condiciones de aire convencional o regular (AR); (ii) el segundo grupo se almacenó en condiciones de atmósfera controlada (4 % O₂ y 6 % CO₂); (iii) mientras que el tercer grupo se utilizó como testigo, sin aplicación, y fue almacenado en condiciones de AR. Las paltas de todos los tratamientos fueron almacenadas por un período de 30 días a 5 °C, simulando una condición de exportación. Además de un período de *shelf life* a 20 °C hasta alcanzar una madurez de consumo. Para ambas cosechas, los tratamientos con la aplicación de 1-MCP y el uso de AC retrasaron significativamente la pérdida de firmeza de la pulpa y el cambio de color de la piel durante el período de almacenamiento a 5 °C, en comparación con el tratamiento testigo en AR (Figura 8.2).

Del mismo modo, y luego de un período de *shelf life* a 20 °C hasta alcanzar madurez de consumo, se observó una reducción significativa en la incidencia de los desórdenes internos del fruto para aquellos tratamientos con la aplicación de 1-MCP y el uso de AC, en comparación con los frutos testigo (Figura 8.3).

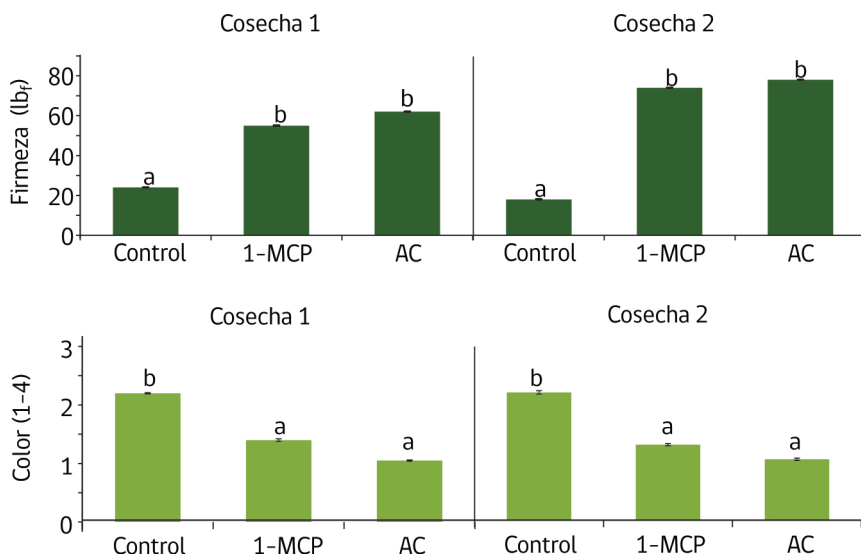


Figura 8.2. Efecto de aplicación de 1-MCP y el uso de AC (4 % O₂ y 6 % CO₂) sobre la firmeza de pulpa (lb_f), y color de la piel (1-4) tras un período de simulación de tránsito de 30 días a 5 °C. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos por prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

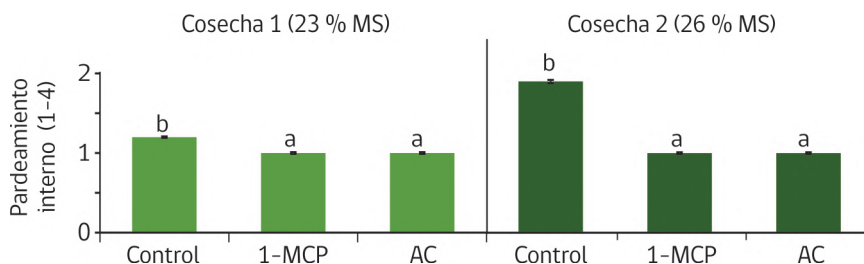


Figura 8.3. Efecto de la aplicación de 1-MCP y el uso AC (4 % O₂ y 6 % CO₂) en la incidencia de pardeamiento interno (1-4) luego de un período de simulación de tránsito de 30 días a 5 °C y un período de *shelf life* a 20 °C hasta alcanzar una madurez de consumo. Las letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos por prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Sin embargo, es importante mencionar que el patrón de maduración hasta alcanzar madurez de consumo de los frutos aplicados con 1-MCP en *shelf life*, fue diferente para ambos estados de madurez. Las paltas de la primera cosecha, que fueron aplicadas con 1-MCP, tomaron más tiempo en alcanzar madurez de consumo. Además de mostrar un patrón de maduración más irregular que aquellos

de los tratamientos en que se usó AC y el tratamiento testigo almacenados en AR. Aquellos frutos aplicados con 1-MCP se demoraron entre 2 y 12 días a 20 °C en alcanzar madurez de consumo con un patrón irregular de maduración. Mientras que los del tratamiento en que se usó AC consiguieron llegar a madurez de consumo entre 3 y 6 días; y los del tratamiento testigo lo hicieron en los primeros 3 días a temperatura ambiente. Como resultado, se pudo observar que estos dos últimos tratamientos poseían un patrón de maduración bastante homogéneo (Figura 8.4). Por otro lado, en los frutos de la segunda cosecha se observó una situación muy diferente, ya que los frutos del tratamiento en que se aplicó 1-MCP mostraron un patrón similar de maduración a aquellos en que se utilizó AC, llegando a madurez de consumo en un período de 3 a 5 días. En contraste con los frutos del tratamiento testigo, donde lo hicieron en un periodo de 1 y 2 días a 20 °C (Figura 8.4).

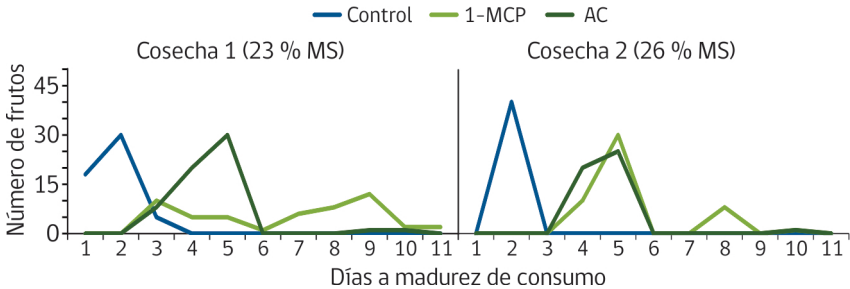


Figura 8.4. Patrón de maduración de los frutos para alcanzar madurez de consumo durante *shelf life* luego de un período de simulación de tránsito de 30 días a 5 °C.

Otra alternativa para la aplicación de 1-MCP en la postcosecha de paltas es su uso en combinación con AC para el envío de frutas a mercados distantes, sobre todo con altos niveles de materia seca (final de la temporada de cosecha). En este sentido, la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina realizó un estudio con dos productores y con paltas de distinto contenido de materia seca, comparando el uso de AR, AC (12 % O₂ + 8 % CO₂), 1-MCP + AR y 1-MCP + AC. En todos los casos se simuló un tiempo de tránsito en contenedor de 45, 55 y 65 días a 5 °C. Para ambos productores, los frutos del tratamiento en que se combinó la aplicación de 1-MCP y el uso de AC, mostraron la mayor retención de firmeza y de color verde de piel. Este efecto fue particularmente notorio en los frutos del Productor 1, que tenían a cosecha un menor contenido de materia seca. Sin embargo, y considerando los requerimientos de los mercados de destino, sólo los frutos del Productor 2, en que se usó la combinación de 1-MCP + AC, lograron llegar con una buena firmeza de pulpa y color verde para los tres tiempos de tránsito (Figuras 8.5 y 8.6).

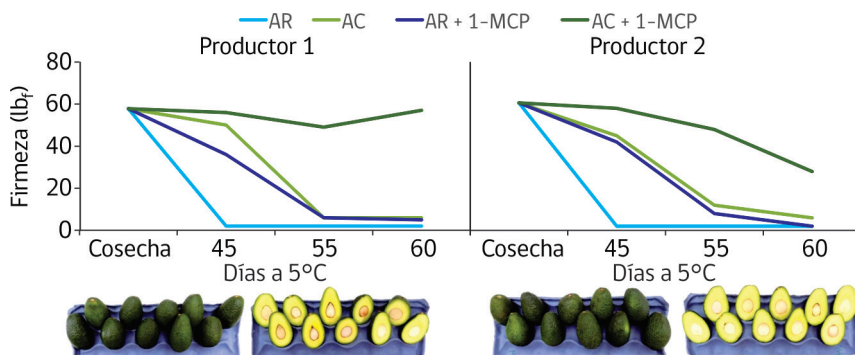


Figura 8.5. Evolución de la firmeza de la pulpa (lb_f) durante la simulación de diferentes periodos de tránsito a 5 °C con el uso de distintas tecnologías de postcosecha.

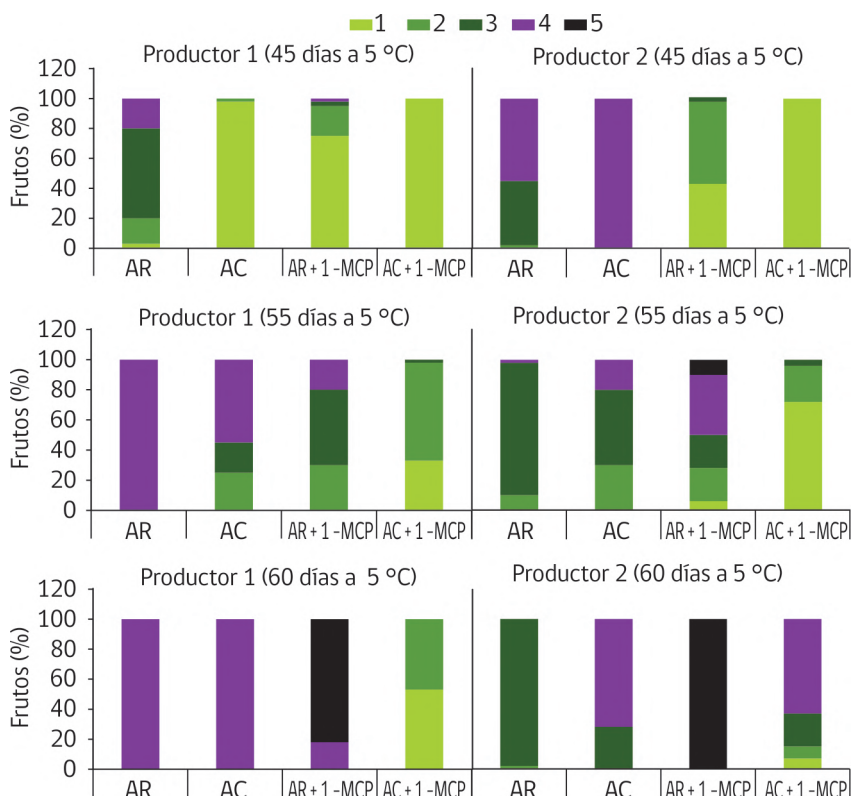


Figura 8.6. Evaluación del color de la piel luego de la simulación de diferentes periodos de tránsito a 5 °C, utilizando diversas tecnologías de postcosecha.

Como se mencionó previamente, un factor a considerar para el uso de 1-MCP es su posible impacto en el proceso de maduración a temperatura ambiente (*shelf life*) posterior al tránsito, ya que podría extenderlo en exceso y/o generar una maduración heterogénea. En este estudio, las paltas provenientes del Productor 2, que presentaban un mayor contenido de materia seca al momento de la cosecha, fueron tratadas con 1-MCP y luego se simularon 45 días de tránsito en condiciones de AC a 5 °C. Si bien estas paltas mostraron un retraso en alcanzar la madurez de consumo en comparación con los otros tratamientos, presentaron un patrón de maduración mucho más homogéneo (Figura 8.7).

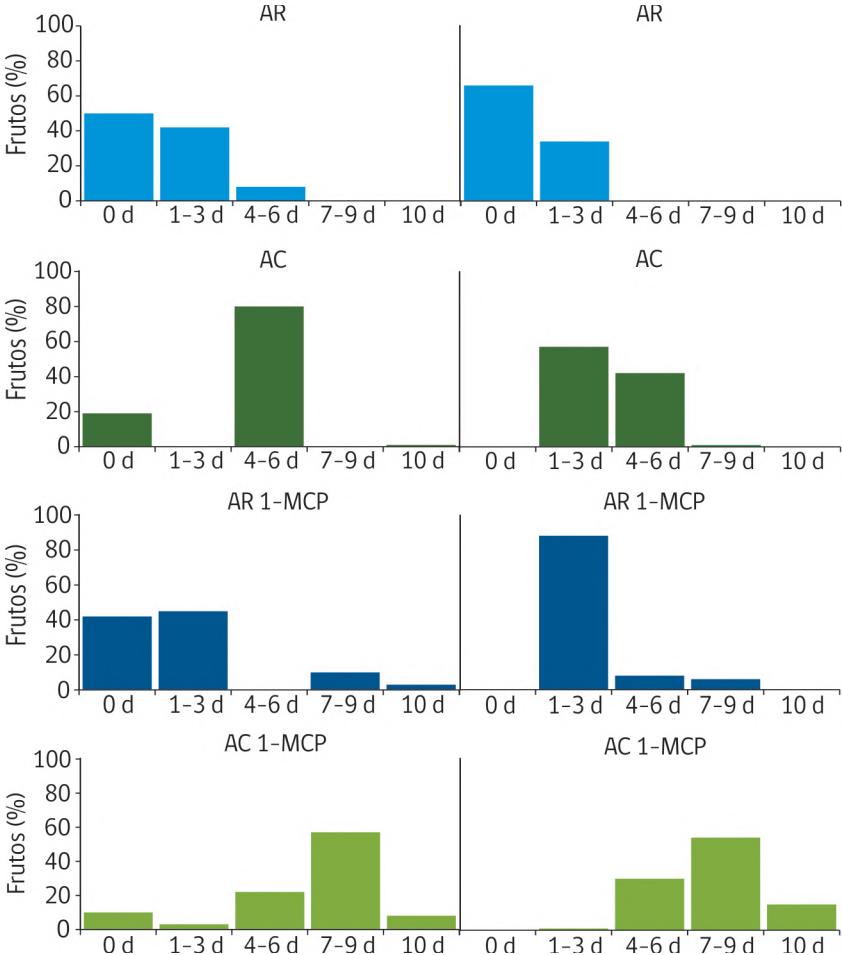


Figura 8.7. Evolución de la madurez durante almacenamiento a temperatura ambiente (*shelf life*) hasta alcanzar madurez de consumo, luego de 45 días a 5 °C.

Un hallazgo interesante en este estudio fue la reducción en la incidencia de moho peduncular observada con los tratamientos de AC. Este efecto se pudo evidenciar tanto solo con AC, como en combinación con 1-MCP en ambos productores a 45 y 55 días de simulación en tránsito. Siendo más evidente luego de 45 días de simulación de tránsito a 5 °C, lo cual se puede atribuir a una mejor condición de madurez de los frutos, haciendo más difícil la colonización del tejido por parte de los patógenos responsables del desarrollo de este tipo de pudrición (Figura 8.8).

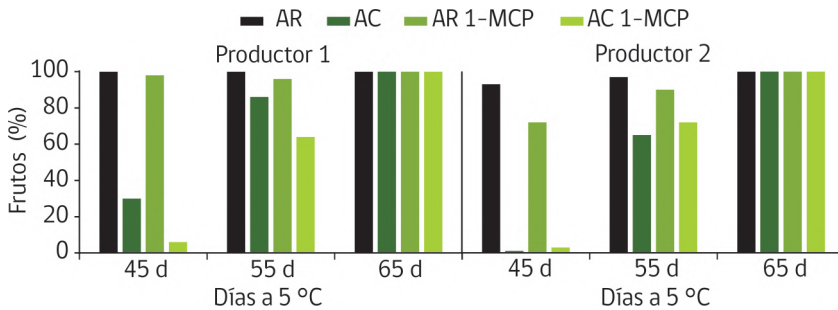


Figura 8.8. Prevalencia del moho peduncular luego de la simulación de diferentes periodos de tránsito a 5 °C con el uso de distintas tecnologías de postcosecha.

En cuanto al desarrollo de pardeamientos internos asociados con la senescencia, y como se ha observado en otros estudios en los que se aplicó 1-MCP, frutos tratados mostraron una menor incidencia de este problema, especialmente cuando 1-MCP se combinó con el uso de AC. En estudios posteriores, en paltas de alto contenido de MS, se pudo observar un impacto positivo de la combinación 1-MCP + AC en la extensión de la vida de postcosecha, en una simulación de tránsito de 30 días a 5 °C, y durante el período de *shelf life* posterior a un proceso de pre-madurado utilizando etileno y temperatura. Este ensayo, en contraste con otros, determinó el contenido de materia seca a cosecha, para poder definir el rango de los frutos, expresados en porcentaje. Con esto se pudo obtener una mejor idea de la heterogeneidad u homogeneidad en términos de madurez de la población. Como se puede observar en la Figura 8.9, la población de frutos de la Cosecha 1 mostró una alta heterogeneidad, mientras que, para la Cosecha 2, más de un 60 % de los frutos mostraron valores de materia seca > 30 %, indicando que es una población de frutos más homogénea en términos de madurez. Sobre esta base, se decidió trabajar con los frutos de la Cosecha 2. Este punto es relevante para el uso de tecnologías como 1-MCP, sobre todo si se combina con otras tecnologías de postcosecha como AC. Debido a que, en poblaciones muy heterogéneas en términos de madurez, el uso de 1-MCP podría aumentar aún más esta heterogeneidad, sobre todo durante *shelf life*.

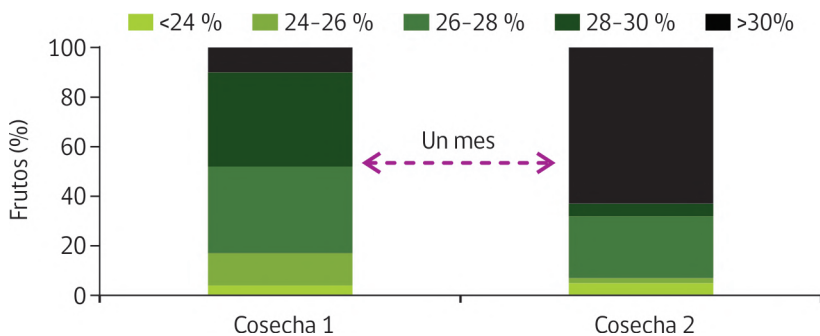


Figura 8.9. Contenido de materia seca (MS) en la población de frutos de dos momentos de cosecha.

Tras un período de simulación de tránsito de 30 días a 5 °C, los frutos tratados con 1-MCP y almacenados en condiciones de atmósfera controlada mostraron una mayor firmeza de pulpa, en comparación con los otros tratamientos. Se observó que el 100 % de la fruta presentó una firmeza > 60 lb_r, similar a la firmeza registrada al momento de cosecha (Figura 8.10b).

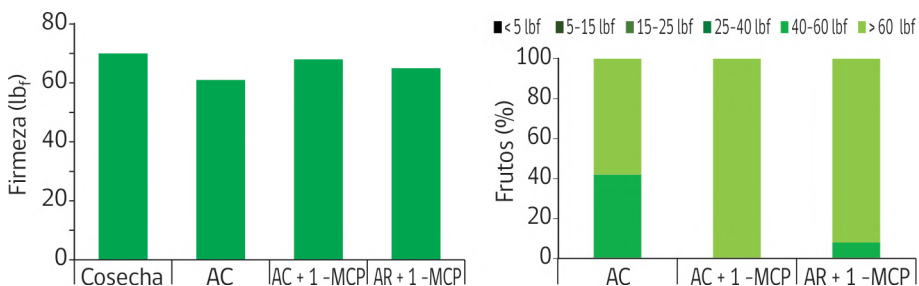


Figura 8.10. Firmeza de pulpa (lb_r), luego de un período de simulación de tránsito de 30 días a 5 °C con el uso de diferentes tecnologías de postcosecha.

En cuanto al desarrollo del color de la piel, aquellos frutos tratados con 1-MCP mostraron un alto porcentaje con color verde en su piel, sin observar la variación de color ocurrida en los frutos tratados sólo con AC (Figura 8.11).

Inmediatamente después de la simulación de tránsito, los frutos fueron sometidos a un proceso de pre-maduración, aplicando 100 ppm de etileno por 24 h a 20 °C. Luego de este proceso, los frutos fueron colocados a temperatura ambiente hasta alcanzar madurez de consumo. Observando una extensión de la vida de postcosecha en las paltas aplicadas con 1-MCP en combinación con el uso de AC, en comparación

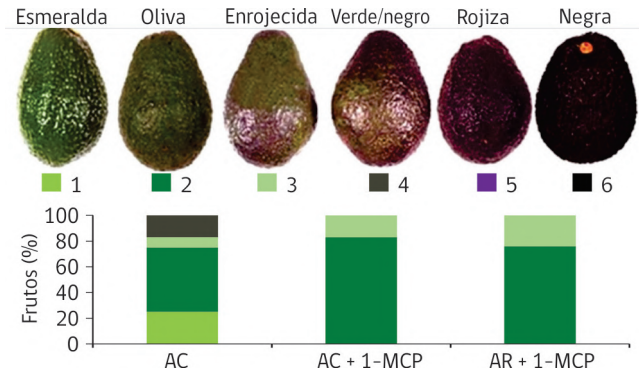


Figura 8.11. Color de la piel (escala 1-6) después de un período de simulación de tránsito de 30 días a 5 °C, utilizando diferentes tecnologías de postcosecha.

con los frutos de otros tratamientos. La fruta tratada en combinación de 1-MCP + AC tardó 3 días más en alcanzar el 70 % de madurez de consumo, en comparación con los frutos tratados solo con AC. Además, al observar el patrón de maduración a temperatura ambiente, se evidenció un retraso en el proceso de maduración de aquellos tratados con 1-MCP + AC, los cuales mostraron un patrón bastante homogéneo de maduración (Figura 8.12).

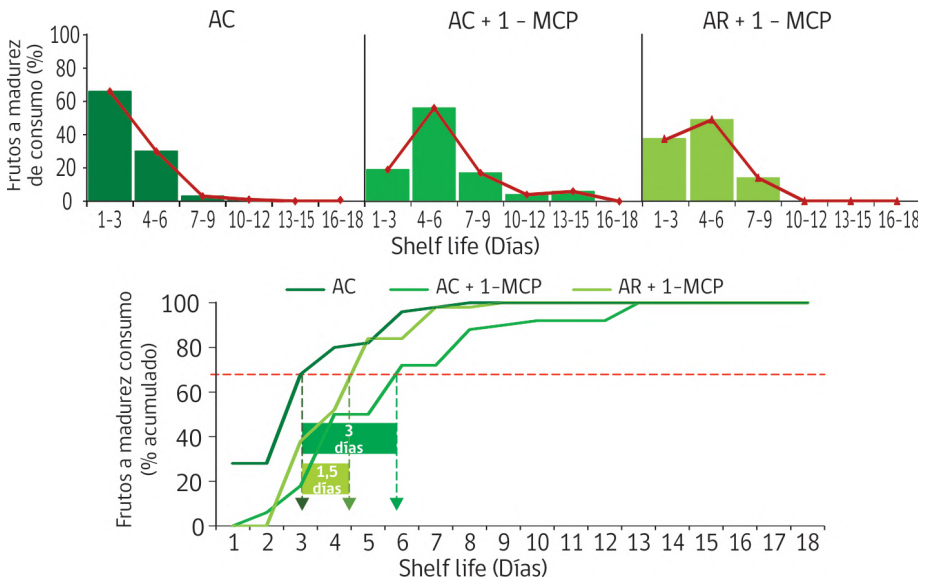


Figura 8.12. Patrón de maduración de los frutos durante el período de *shelf life* posterior al proceso de pre-maduración hasta alcanzar madurez de consumo.

Otra aplicación de esta tecnología es la extensión de la vida de postcosecha de otras variedades de palta, con una vida de postcosecha más corta debido a su mayor tasa de producción de etileno y respiración, ablandamiento y desarrollo de pardeamientos tanto en la piel como internamente. Esto fue evidenciado en trabajos realizados por la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, observando el comportamiento en variedades 'Fuerte' y 'Edranol', donde la aplicación de 1-MCP en combinación con condiciones de AR redujo la tasa de producción de etileno y de respiración, así como la mantención de la firmeza de pulpa. Además de una menor incidencia de una serie de desórdenes fisiológicos tales como pardeamientos externos, de pulpa y vasculares (Olivares *et al.*, 2020). Siendo estos resultados similares a los observados con el uso de atmósfera controlada.

Si bien el uso de 1-MCP se presenta como una herramienta valiosa para la extensión de la vida de postcosecha de paltas, es fundamental considerar ciertos aspectos para su aplicación. De esta manera, se puede lograr el objetivo de retrasar el proceso de maduración y senescencia durante el transporte hacia los mercados de destino, y posteriormente, asegurar que la fruta responda adecuadamente al proceso de maduración con etileno, de modo que llegue al consumidor final en su punto óptimo de madurez. Por lo tanto, para tomar decisiones sobre cómo y cuándo utilizar esta herramienta, se deben considerar las siguientes pautas:

- La alta variabilidad en términos de estados de madurez que por la naturaleza del cultivo se observa en algunos lotes de frutas al momento de la cosecha. Situación que se da sobre todo en frutas de huertos o fincas que presentan condiciones heterogéneas de producción y de cosechas tempranas. En situaciones como la antes descrita, la aplicación de 1-MCP puede aumentar la variabilidad en la maduración a lo largo de toda la cadena de distribución y comercialización, llegando incluso al consumidor final.
- Dado lo anterior, es imprescindible conocer la variabilidad de la materia prima a aplicar en términos de contenido de materia seca. Esto generaría estrategias distintas de aplicación del producto de acuerdo al país de origen.
- Estado de madurez a la cosecha (materia seca). En frutas con un bajo contenido de materia seca sobre todo de la primera parte de la ventana de cosecha, la aplicación de 1-MCP puede bloquear de manera muy fuerte el proceso de maduración, haciendo que los frutos no reaccionen de buena forma al proceso de maduración con etileno. Por lo tanto, se retrasa significativamente la llegada a una madurez de consumo. Observándose, además en algunos casos, una alta heterogeneidad en el proceso de maduración en *shelf life*.

- Tiempo de tránsito al mercado de destino. Es durante el tránsito a los mercados de destino, donde las frutas aplicadas con 1-MCP logran sintetizar nuevos receptores de etileno y recuperar su capacidad de madurar de buena forma, y poder reaccionar a los tratamientos de pre-madurado y llegar a madurez de consumo de buena forma. Es así como el uso de 1-MCP se recomienda para tiempos de tránsitos de al menos 30 días.
- Combinación con otras tecnologías de postcosecha. 1-MCP, dependiendo del estado de madurez de la fruta y el tiempo de tránsito al mercado de destino, puede ser combinado con otras tecnologías de postcosecha como el uso AC. La combinación de 1-MCP y AC, es particularmente eficiente en la extensión de la vida de postcosecha en tránsitos mayores a 45 días, sobre todo para frutas con un alto contenido de materia seca a la cosecha.
- El uso de protocolos de pre-maduración en los mercados de destino. En muchos de los mercados de destino, los frutos son pre-madurados para llegar al consumidor final en una madurez de consumo. Todas las consideraciones antes mencionadas se deben tomar en cuenta para que los frutos tratados con 1-MCP reaccionen de buena forma al proceso de pre-madurado.
- En la actualidad existen diferentes formulaciones y sistemas de liberación de 1-MCP, como son polvo mojable, pastillas, "sachets", "stickers" e incluso impregnado en materiales de embalaje. Al momento de seleccionar una formulación o sistema de liberación, se debe considerar la concentración de 1-MCP que liberan, ya que para el caso de las paltas y para no obstaculizar su proceso de maduración, es muy importante trabajar con bajas concentraciones del orden de 300 ppm. Además, se deben tomar en consideración todas las variables antes mencionadas para poder llegar al mercado de destino con una fruta con condiciones de firmeza de pulpa, color de la piel e incidencia de desórdenes fisiológicos. Junto con la capacidad de madurar, reaccionando a tratamientos de pre-madurado usados en muchos de los mercados de destino, y llegar así a madurez de consumo con un patrón homogéneo y en un tiempo razonable.

8.3.3. Uso de inhibidores de la síntesis de etileno: aminoetoxivinilglicina

Aminoetoxivinilglicina (AVG), un inhibidor de la síntesis de etileno, es ampliamente utilizado en la precosecha de manzanas para retrasar el proceso de

maduración y de esta manera poder gestionar la cosecha de mejor manera. Además, durante aproximadamente 20 años se ha empleado en nogales para reducir la caída de frutos por el aborto de la flor pistilada.

AVG reduce la actividad de la enzima ACS, que es clave en la ruta de síntesis de producción de etileno, compitiendo con ella por el piridoxal fosfato que es un cofactor de dicha enzima. Si bien este producto no está registrado para su uso en postcosecha, ha sido usado a nivel experimental siendo aplicado en diferentes frutas como kiwis y damascos. Observándose un efecto de reducción en la producción de etileno y, por ende, una extensión en la vida de postcosecha de estos frutos (Manríquez *et al.*, 1999, Valdés *et al.*, 2009).

En el caso de las paltas, se han realizado una serie de estudios en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, aplicando AVG por inmersión en paltas de la variedad 'Hass' una vez realizada la cosecha. En general, se ha observado un beneficio parcial en el uso de AVG en reducir la tasa de ablandamiento del fruto; efecto que estaría condicionado por el tiempo de almacenamiento y las características de la materia prima a cosecha (Figura 8.13). Sin observarse un efecto consistente y, por lo tanto, no recomendable para uso comercial. Este efecto parcial en el bloqueo de la maduración se debe a que AVG está inhibiendo una parte de la síntesis de etileno, y no la acción como lo hace 1-MCP.

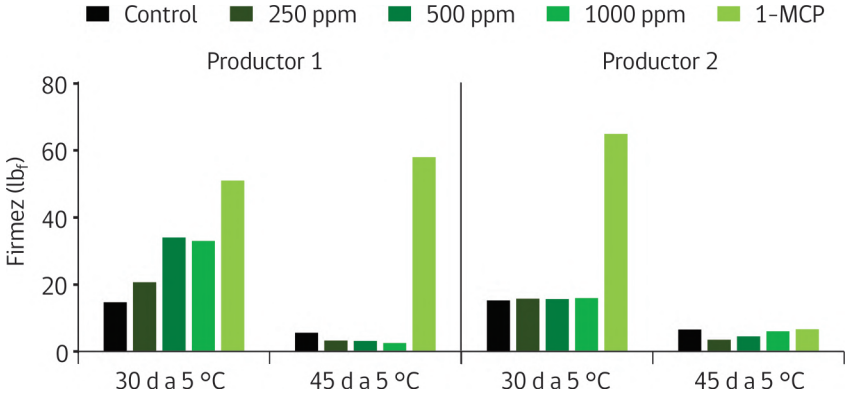


Figura 8.13. Efecto de la aplicación por inmersión de AVG en la postcosecha de paltas variedad 'Hass'.

8.4. Uso de etileno en maduración forzada

En este capítulo se han revisado las estrategias para controlar etileno en postcosecha con el objetivo de extender la vida útil de paltas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, la aplicación exógena de etileno es beneficiosa para estimular la maduración y facilitar su comercialización. Por ejemplo, paltas expuestas a una temperatura de 20 °C inmediatamente después de cosecha, normalmente demoran entre 7 a 12 días en alcanzar madurez de consumo y el proceso de maduración no es uniforme para un mismo lote de fruta. El uso de etileno exógeno, puede acortar el período de maduración entre 3 a 5 días y mejorar la uniformidad de maduración de los frutos de un lote dado.

La respuesta del fruto al etileno es dependiente de varios factores, entre los que se incluyen la madurez fisiológica del fruto, el tiempo transcurrido desde cosecha y la temperatura. En la Cuadro 8.2 se describen los resultados obtenidos por Eaks (1978), en relación al efecto de la fecha de cosecha (madurez) sobre la respuesta al tratamiento de etileno.

Cuadro 8.2. Efecto de la fecha de cosecha sobre el tiempo a madurez de consumo en fruta tratada y sin tratar (control) con etileno. (Adaptado Eaks, 1978).

Fecha de cosecha (hemisferio norte)	Días a madurez de consumo	
	Control	Etileno*
8 de diciembre	13,9	10,8
6 de febrero	12,8	8,8
10 de abril	10,1	7,1
5 de junio	8,2	5,1

* El tratamiento de etileno se realizó con 1.000 ppm de propileno (análogo de etileno).

El tiempo de postcosecha en frío puede influenciar la tasa de maduración natural del fruto. Por ejemplo, fruta que se almacena por 2 a 3 semanas a 5 °C y luego es expuesta a maduración a 20 °C, requiere la mitad del tiempo para alcanzar madurez de consumo en comparación con fruta expuesta a 20 °C inmediatamente luego de cosecha, incluso sin tratamiento con etileno. En este sentido, el uso de etileno luego de almacenaje refrigerado, debería ser una ventaja, ya que acorta el tiempo a madurez de consumo y asegura la uniformidad de maduración de la fruta.

En la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, usando paltas ‘Hass’ en dos estados de madurez (cosecha 1 con un % MS = 26,3; cosecha 2 con un % MS = 31,5) se estudió el efecto de la aplicación de azetil (100 ppm, 24 h a 20 °C) para ambas cosechas, luego se almacenaron por 40 días a 5 °C, sobre la cantidad de días necesarios para alcanzar uno de cuatro rangos de firmeza establecidos. Los rangos de firmeza se establecieron en cuatro categorías, donde:

- Rango 1= 53 - 57 lb_f
- Rango 2= 44 - 47 lb_f
- Rango 3= 16 -29 lb_f
- Rango 4 = 0,5 - 2 lb_f (madurez de consumo)

Los resultados indican que los tratamientos con etileno a cosecha redujeron los días necesarios para alcanzar el rango de firmeza de madurez de consumo en 10 días y 4 días en fruta de la cosecha 1 y 2, respectivamente (Figura 8.14). Asimismo, fruta proveniente de la segunda cosecha (madurez avanzada), y sin aplicación de azetil, requirió de un menor tiempo de exposición a 20 °C para alcanzar madurez de consumo que fruta de menor madurez fisiológica (Figura 8.14). En contraposición,

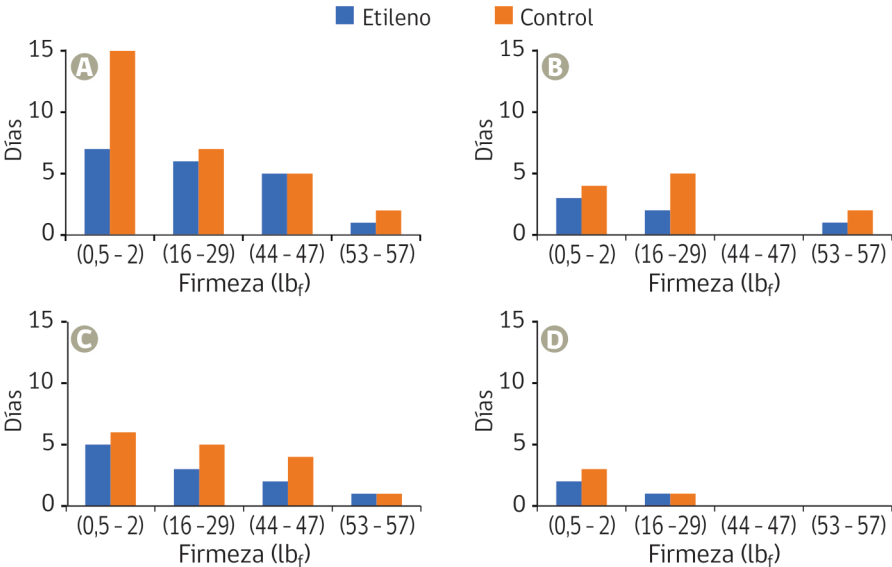


Figura 8.14. Efecto de la aplicación de etileno a cosecha (A-B) y luego de 40 días a 5 °C (C-D), en fruta de la cosecha 1 (A-C; 26,3 % MS) y cosecha 2 (B-D; 31,5 % MS) sobre los días necesarios para alcanzar 4 rangos de firmeza.

los tratamientos con etileno luego de 40 días de almacenaje a 5 °C redujeron la efectividad en aumentar la tasa de pérdida de firmeza, adelantando solamente en 1 día con respecto al control, siendo el tiempo necesario para alcanzar el rango de firmeza de madurez de consumo (Figura 8.14).

Por otro lado, trabajos realizados por Eaks (1978) demostraron que el proceso de maduración de las paltas es inhibido con temperaturas superiores a los 30 °C. Sin embargo, fruta expuesta a etileno a temperaturas inferiores a 15,5 °C debería responder a etileno, pero la tasa de maduración es considerablemente inferior. Los estudios realizados por Young (1979) demostraron que el rango de temperatura óptima de maduración se ubica entre los 15,5 °C y 20 °C. Tratamientos realizados con temperaturas entre los 20 °C y 30 °C, aunque tomen un menor tiempo en alcanzar madurez de consumo, podrían ser riesgosos debido a que la tasa de maduración podría ser muy alta (inferior a 3 días) y generando como resultado fruta sobremadura al consumidor. En el Cuadro 8.3 se describen las condiciones recomendadas en California para realizar los tratamientos de maduración con etileno.

Cuadro 8.3. Requerimientos básicos para realizar los tratamientos de maduración forzada en paltas en California.

Recomendaciones actuales del uso de etileno	
Temperatura (°C)	15,5 - 18
Humedad relativa (%)	90 - 95
Concentración de etileno (ppm)	10 - 100
Duración tratamiento (h)	8 - 48
Concentración adecuada CO ₂	Flujo de aire debe mantener niveles de CO ₂ inferiores al 1%

Un manejo adecuado de la temperatura que incluya una refrigeración óptima es crítico para el éxito en los procedimientos de maduración. Las paltas deberían ser aclimatadas a la temperatura de maduración antes de ser tratadas con etileno, sólo por el tiempo necesario para iniciar el proceso de maduración natural del fruto. La duración del tratamiento con etileno será dependiente de los factores discutidos anteriormente, pero en general, fruta de cosecha temprana (inicio de la temporada) debería ser tratada por 24 h a 48 h, mientras que la fruta de cosecha tardía (término de la temporada) debería ser tratada por 8 h a 12 h.

En esta línea, en la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina se analizó el efecto en paltas ‘Hass’ de dos productores, en el tiempo de exposición de etileno (100 ppm aplicado como Azetil) por 12 h, 24 h y 36 h. luego de almacenaje a 5 °C por 30 días en atmósfera controlada (4 % O₂ y 6 % CO₂), más 10 días en atmósfera regular, sobre el tiempo a madurez de consumo. Para este estudio se consideraron dos estados de madurez diferente en función del productor. Para el productor 1, se muestreó con un 23,8 % de materia seca (fruta temprana), en tanto el productor 2 presentó un 31,8 % de materia seca (fruta tardía). Los resultados demostraron que no existieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el tiempo de exposición a etileno en fruta del productor 2 (Figura 8.15). Asimismo, solamente en el productor 1, los tratamientos con etileno se diferenciaron significativamente con respecto al control sin tratamiento (Figura 8.15).

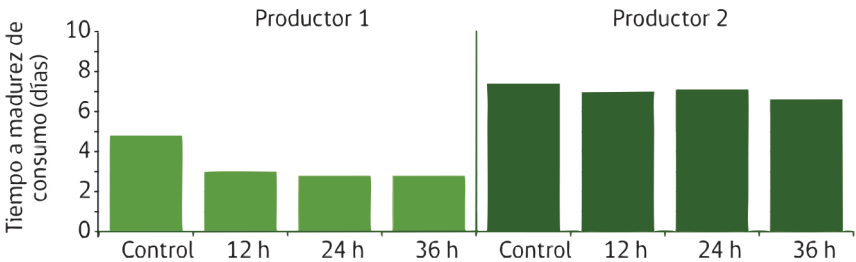


Figura 8.15. Efecto del tiempo de exposición a etileno sobre el tiempo a madurez de consumo en paltas ‘Hass’ de dos productores; productor 1 (23,8 % MS) y productor 2 (31,8 % MS). Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas de los tratamientos por prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Otro estudio realizado en la misma Unidad de INIA La Platina usando paltas ‘Hass’ de dos momentos de cosecha: cosecha 1 (26,3 % MS, correspondiente a 11 % aceite) cosecha 2 (29 % MS y 12,5 % aceite), permitió determinar el efecto conjunto entre la temperatura de almacenaje, de 4 °C y 5 °C y el tiempo de exposición a etileno (100 ppm de Azetil) por 0 h, 24 h y 48 h. Los tratamientos con etileno se aplicaron luego de 30 días de almacenaje antes de determinar los parámetros de calidad del fruto y el tiempo a madurez de consumo a 20 °C. Para ambas cosechas y temperaturas de almacenaje, los resultados indicaron una significativa disminución en la firmeza con los tratamientos de 24 h y 48 h de etileno. Asimismo, para la temperatura de almacenaje de 5 °C, el tratamiento de etileno por 48 h adelantó el cambio de color de las paltas de ambas cosechas estudiadas (Cuadro 8.4).

Cuadro 8.4. Efecto de la temperatura de almacenaje y tiempo de exposición al azetil sobre la firmeza y color externo (escala 1-5; donde 1= verde y 5= negro) en paltas 'Hass' de dos cosechas y almacenadas por 30 días.

Tiempo	Cosecha 1 (26,3 % MS)				Cosecha 2 (29,0 % MS)			
	Firmeza (lb _f)		Color externo (1-5)		Firmeza (lb _f)		Color externo (1-5)	
	4 °C	5 °C	4 °C	5 °C	4 °C	5 °C	4 °C	5 °C
0 h (Control)	51,4 ^{Bc}	7,8 ^{Ab}	2,0 ^{Aa}	3,2 ^{Ba}	63,8 ^{Bc}	19,4 ^{Ac}	1,6 ^{Ba}	1,0 ^{Aa}
24 h	17,1 ^{Bb}	1,7 ^{Aa}	2,0 ^{Aa}	3,6 ^{Bab}	34,5 ^{Bb}	8,6 ^{Ab}	1,8 ^{Aa}	1,8 ^{Ab}
48 h	7,1 ^{Ba}	1,5 ^{Aa}	2,0 ^{Aa}	4,0 ^{Bb}	3,2 ^{Aa}	3,2 ^{Aa}	2,0 ^{Aa}	2,0 ^{Ab}

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas, por prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), entre temperaturas de almacenaje y para una misma temperatura de almacenaje, para un mismo periodo de exposición a etileno.

En relación al tiempo de maduración a 20 °C necesario para alcanzar madurez de consumo; en frutos de la cosecha 1 almacenados a 4 °C la exposición a etileno disminuyó desde 7,5 días en el control a 5,1 días y 4 días en las exposiciones de 24 h y 48 h, respectivamente. En contraposición, para aquellos frutos almacenados a 5 °C se observa un efecto marginal de 1 día en la reducción del tiempo a madurez de consumo con la aplicación de etileno por 48 h (Figura 8.16). Para el caso de la

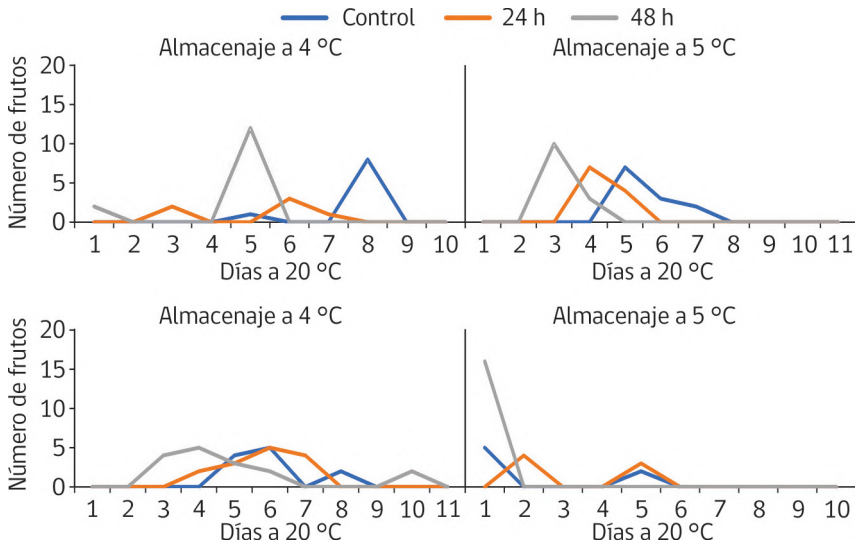


Figura 8.16. Dispersión de los días a 20 °C hasta alcanzar madurez de consumo en palta 'Hass' de la cosecha 1 (A-B; 26,3 % MS) y cosecha 2 (C-D; 29 % MS) almacenadas a 4 °C (A-C) o 5 °C (B-D) por 30 días y tratadas con etileno (100 ppm azetil) por 0 h, 24 h o 48 h.

cosecha 2, etileno aplicado por 48 h, redujo los días a madurez de consumo en 1 y 2 días para las temperaturas de almacenaje de 4 °C y 5 °C, respectivamente. Por lo tanto, los resultados permiten indicar que los tratamientos con etileno en fruta de mayor estado de madurez fisiológica (mayor materia seca), pueden ser menos efectivos en la reducción de los días a madurez de consumo que tratamientos con etileno en fruta de menor madurez fisiológica.

Por otro lado, la facilidad de desprender el pedúnculo del fruto podría ser usada como un indicador de la detención del tratamiento con etileno. Generalmente en este momento las paltas deberían estar parcialmente blandas. Luego del tratamiento, la fruta debería ser enfriada a 5 °C antes de ser comercializada. Sin embargo, en algunos frutos el ablandamiento puede continuar incluso a 5 °C. Una vez que la fruta es expuesta a 20 °C ('shelf life' o temperatura de comercialización), la maduración del fruto debería completarse en 1 a 3 días.

8.5. Comentarios finales

Es importante destacar que el manejo de los frutos después de los tratamientos con etileno debe ser mínimo, especialmente cuando la fruta ha alcanzado su plena madurez, ya que los frutos maduros son extremadamente sensibles a daños mecánicos. En este sentido, es fundamental controlar la tasa de maduración mediante un manejo adecuado de la temperatura. Además, no se recomienda realizar tratamientos con etileno en frutas que serán almacenadas por largos períodos en el destino (más de una semana), ya que estudios realizados en California (Estados Unidos) y otros países han demostrado que los frutos parcialmente maduros son más propensos a desarrollar síntomas de daño por frío cuando se almacenan a 5 °C.

8.6. Referencias

- Blakey, Robert. (2011). Management of avocado postharvest physiology. 171. 10.13140/RG.2.1.3652.712
- Eaks, I.L. (1978). Ripening, respiration and ethylene production of 'Hass' avocado fruits at 20 to 40 °C. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103(5):576-578.
- Young, R.E. (1979). Ripening avocado fruit. *California Avocado Society Yearbook*. 63:79-80.

- Gazit, S., & A. Blumenfeld. (1970). Response of mature avocado fruits to ethylene treatments before and after harvest. *Journal American Society Horticulture Science*. 95(2):229-231
- Faubion, D. F., Mitchell, F. G., Mayer, G., & Arpaia, M. L. (1992). Response of Hass avocado to postharvest storage in controlled atmosphere conditions. In: Proceedings of Second World Avocado Congress (pp. 467-472)
- Olivares, D., Alvarez, E., Véliz, D., García-Rojas, M., Díaz, C., & Defilippi, B. G. (2020). Effects of 1-Methylcyclopropene and Controlled Atmosphere on Ethylene Synthesis and Quality Attributes of Avocado cvs. Edranol and Fuerte. *Journal Of Food Quality*, 2020, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2020/5075218>
- Manríquez, D., Defilippi, B., & Retamales, J. (1999), January. AVG, an ethylene biosynthesis inhibitor: its effects on ripening and softening in kiwifruit. In: IV International Symposium on Kiwifruit 498 (pp. 263-268)
- 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)
- Jeong, J., Huber, D. J., & Sargent, S. A. (2003). Delay of avocado (*Persea americana*) fruit ripening by 1-methylcyclopropene and wax treatments. *Postharvest Biology And Technology*, 28(2), 247-257. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(02\)00176-x](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(02)00176-x)
- Retamales, J., Campos, R., Castro, D. (1998). Ethylene control and ripening in Packham's Triumph and Beurre Bosc pears. *Acta Horticulturae* 475, 559-566. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.475.67>
- Wolf, 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>
- Valdés, Héctor, Pizarro, Melissa, Campos-Vargas, Reinaldo, Infante, Rodrigo, & Defilippi, Bruno G.. (2009). Effect of Ethylene Inhibitors on Quality Attributes of Apricot cv. Modesto and Patterson during Storage. *Chilean journal of agricultural research*, 69(2), 134-144. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000200002>

Capítulo 9

Tecnologías complementarias utilizadas en postcosecha

Pablo Ulloa F.

Ingeniero de Alimentos, Dr.
pablo.ulloa@inia.cl

Bruno Defilippi B.

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

9.1. Introducción

La cadena de comercialización de la palta plantea un reto importante debido en gran parte a su alta tasa de deterioro, la que se manifiesta en gran medida por el ablandamiento y cambios de color, sobre todo en tránsitos largos a mercados distantes. La postcosecha de esta fruta representa un gran desafío, ya que su vida útil está determinada por factores como el marco genético, las condiciones ambientales, manejos agronómicos de precosecha, el estado de madurez en el momento de la cosecha, la logística y el manejo de postcosecha, entre otros. El deterioro de esta fruta, debido a su naturaleza altamente perecedera, justifica la complejidad en la gestión de la cadena de frío, con un control estricto de las condiciones de almacenamiento durante todo el período desde la cosecha hasta su llegada al mercado de destino (Guarnaccia *et al.*, 2016; Kassim & Workneh, 2020). La cadena comercial típica de las paltas comienza en el huerto, continúa en el centro de embalaje (*packing*) y finaliza en los mercados minoristas locales y/o de exportación. Los frutos pueden transportarse por vía terrestre, marítima o aérea, dependiendo del destino y del tiempo de tránsito.

Las condiciones de la atmósfera que rodea a los frutos durante el transporte pueden variar entre una atmósfera regular (AR) y una atmósfera controlada (AC). A lo largo de la cadena de distribución, es fundamental controlar tanto la temperatura de la fruta como la composición de la atmósfera que la rodea para retrasar los procesos de maduración y prevenir el desarrollo de pudriciones.

Gran parte de los países productores de palta basan su desarrollo comercial en la exportación de su fruta a diferentes mercados, por lo que, la calidad de la misma es un factor esencial. En Chile, por ejemplo, aproximadamente el 50 % del volumen de fruta producido es destinado a diferentes mercados de exportación como Europa, Estados Unidos y Asia. Debido a la lejanía de los mercados de destino, es crucial implementar un manejo de postcosecha adecuado para mantener la calidad de los frutos durante todo el proceso de exportación (Kassim *et al.*, 2013).

En los Capítulos 7 y 8 se han revisado tecnologías complementarias al manejo del frío que permiten prolongar la vida de postcosecha de las paltas para su exportación a mercados distantes. Estas herramientas incluyen la atmósfera controlada y los métodos de eliminación e inhibición de la acción del etileno. Sin embargo, existe una amplia oferta de tecnologías para extender la vida de postcosecha de la palta, por lo que el objetivo de este capítulo es ofrecer una descripción general de cada una de ellas y su potencial uso en esta especie.

Este análisis adquiere mayor relevancia si consideramos que, durante tres décadas, el uso del frío y la atmósfera controlada han sido los pilares tecnológicos que han permitido el desarrollo de diferentes mercados. Por lo tanto, la incorporación de nuevas tecnologías de postcosecha representa un gran desafío, ya que deben superar o complementar los beneficios técnicos y económicos que brindan las tecnologías y manejos actualmente disponibles.

9.2. Tecnologías complementarias utilizadas en paltas

Con el objetivo de complementar a las tecnologías de postcosecha ya mencionadas, se han realizado distintos esfuerzos de investigación para desarrollar nuevas tecnologías que extiendan la vida de postcosecha de la palta y que, además, sean seguras e inocuas, en las que se han llevado a cabo investigaciones para el desarrollo de estas tecnologías, y que se analizarán en el presente capítulo, destacando el uso de materiales de embalaje y recubrimientos, aceites esenciales, atmósferas modificadas, tratamientos térmicos, irradiación, microorganismos antagónicos y el uso de sanitizantes (Fischer *et al.*, 2018).

9.2.1. Uso de nuevos materiales de embalaje y recubrimientos

Los sistemas de envasado son una de las tecnologías usadas para extender la vida de postcosecha de los productos frescos. Dentro de los materiales más utilizados para embalar productos frescos están los plásticos sintéticos derivados del petróleo; sin embargo, actualmente se busca su reemplazo dado el alto impacto negativo en el medio ambiente posterior a su uso. Por este motivo, es esencial el desarrollo de materiales a partir de compuestos orgánicos y/o biodegradables.

Por otro lado, es importante mencionar que, en el caso de la palta, se suelen utilizar embalajes con un alto nivel de ventilación, compuesto por una caja (cartón o plástico) y un uso mínimo o nulo de otros materiales internos de embalaje.

Una alternativa a los embalajes convencionales es el envase comestible a nivel de fruta, el cual es respetuoso con el medio ambiente, GRAS (*Generally Recognized as safe*), seguro para el consumo y capaz de mantener la apariencia original de los frutos. Basados en factores ecológicos, los recubrimientos comestibles se han convertido en una tecnología ampliamente utilizada, no solo para prolongar la vida útil de los productos frescos y mantener su calidad, sino también como sustituto de los materiales de embalaje derivados del petróleo.

En los últimos años, los recubrimientos comestibles han suscitado una gran atención debido a propiedades y ventajas que ofrecen, además de su capacidad para prolongar la vida útil de las frutas. Estos recubrimientos se consideran como un envase primario fabricado a partir de compuestos biológicos como polisacáridos, proteínas, lípidos y otros polímeros (Nussinovitch, 2009).

Las propiedades funcionales de estos ingredientes naturales se han estudiado y comparado con las de aditivos sintéticos, para evaluar la potencialidad de su uso como una alternativa natural para prolongar la vida útil de las paltas. Dentro de todos ellos, y sobre la base de su composición biológica, los recubrimientos biopoliméricos han levantado un alto nivel de interés debido a su biodegradabilidad.

Existen diferentes métodos para aplicar recubrimientos (Figura 9.1). Uno de los más comunes es la inmersión, en el cual las frutas se sumergen en la solución del recubrimiento durante un período de tiempo determinado y, posteriormente, se dejan secar (Iñiguez-Moreno *et al.*, 2020). Otro método es la pulverización, en la que la solución del recubrimiento es forzada a pasar a través de una máquina

que genera pequeñas gotas ("fog") del recubrimiento, las cuales se depositan sobre la superficie de frutas (Cenobio-Galindo *et al.*, 2019).

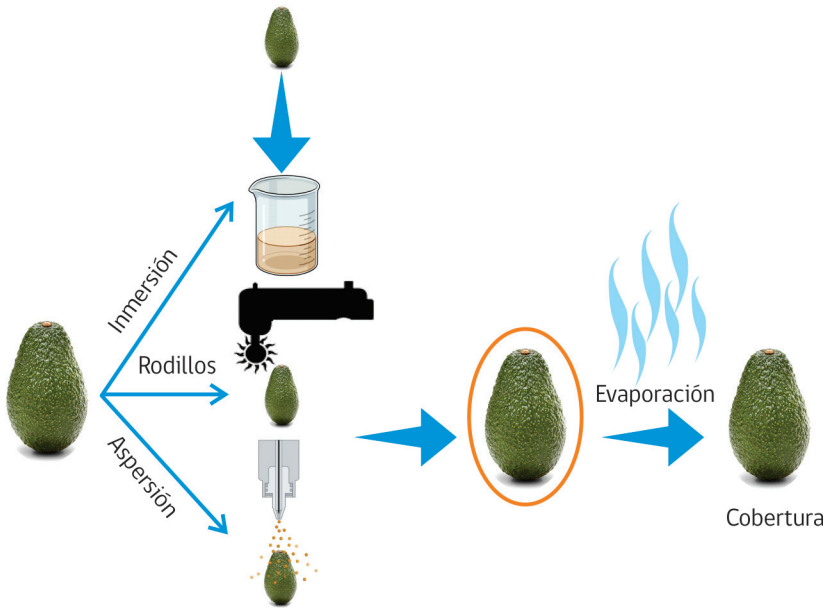


Figura 9.1. Inmersión y pulverización como métodos para la aplicación de recubrimientos en frutas.

Los recubrimientos comestibles forman barreras físicas que rodean a las frutas creando una barrera entre ellas y su entorno inmediato. Esa barrera semipermeable controla la pérdida de agua (deshidratación) y el intercambio de gases, modificando así la atmósfera interna de los frutos, afectando la fisiología de los frutos retrasándose procesos de maduración y senescencia prolongando su vida útil (Atieno *et al.*, 2019). Sin embargo, para que se produzca este efecto en la reducción del metabolismo, el nivel de cobertura de los frutos debe ser homogéneo y de un espesor que no afecte negativamente el intercambio de gases para llegar a condiciones de muy bajo oxígeno (O_2) y alto anhídrido carbónico (CO_2) en el interior de los frutos.

Por otro lado, los recubrimientos también pueden ayudar a reducir el desarrollo de microorganismos, preservar la composición química de los frutos y reducir el riesgo de daños mecánicos durante su almacenamiento y transporte (Dhall, 2013). En función de los materiales utilizados y de las propiedades funcionales ejercidas, los recubrimientos pueden considerarse como una forma no activa o activa de envasado (Figura 9.2). Como cobertura activa podemos destacar

aquellas que en su formulación incorporan algún compuesto (antioxidante y/o antifúngico), el cual tendrá un proceso de interacción con la fruta, evitando deterioro ya sea por oxidación o por la presencia de hongos.

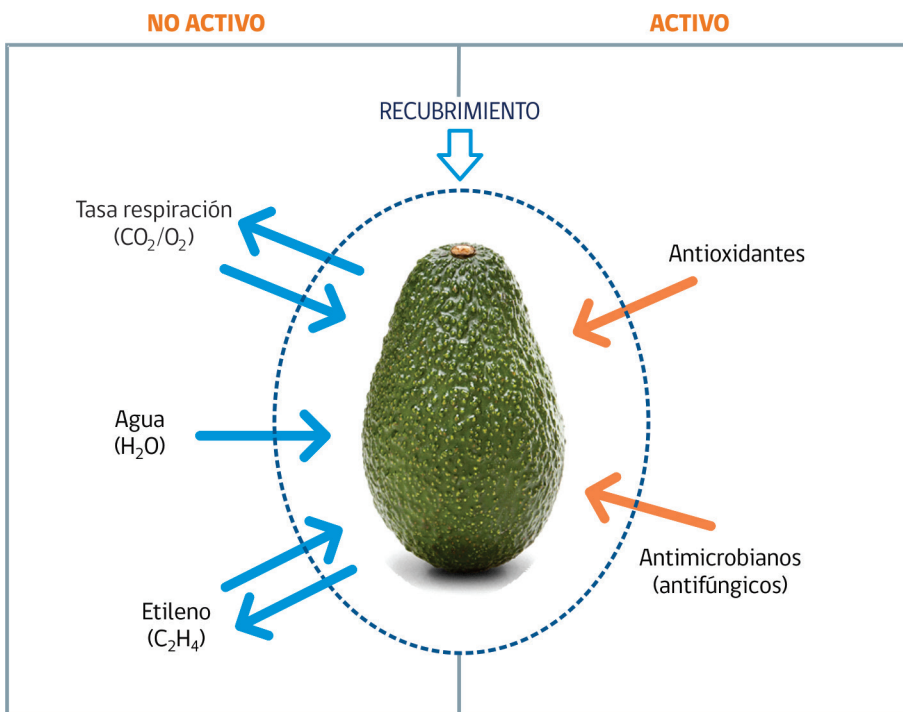


Figura 9.2. Propiedades funcionales de los recubrimientos no activos y activos en paltas. Adaptado desde Garcia & Davidov-Pardo (2021).

En paltas, el uso de recubrimientos ha tenido dos objetivos principales: el primero es para reducir la pérdida de agua de los frutos y, de este modo, disminuir los síntomas de deshidratación; y el segundo es para mejorar la apariencia de los frutos. Su aplicación reduce de manera efectiva la pérdida de agua, especialmente en tránsitos largos hacia mercados distantes, y particularmente después del período de maduración forzada que se realiza a una temperatura entre 18 y 20 °C. En los últimos años, también se han utilizado para mejorar el nivel de residualidad de los ingredientes activos de fungicidas.

Uno de los grandes desafíos que ha tenido este tipo de tecnologías es lograr los beneficios antes mencionados sin ocasionar efectos no deseados, como puede ser

una alteración en el patrón de maduración, lo cual puede ocurrir cuando el intercambio de O₂ y CO₂ es afectado de manera muy significativa (Lieu *et al.*, 2024).

Existe un importante dinamismo en el desarrollo de nuevos recubrimientos, sin embargo, es necesario considerar aspectos cruciales para su uso en paltas, entre los que se incluyen la homogeneidad de la aplicación, la temperatura durante el tránsito (cadena de frío), la interacción con otras tecnologías, entre otros. En el Cuadro 9.1 se detalla el uso de diferentes recubrimientos y sus efectos durante la postcosecha de paltas.

Cuadro 9.1. Diferentes recubrimientos utilizados para mejorar la vida de postcosecha de paltas ‘Hass’.

Recubrimiento	Composición	Principales efectos observados	Referencias
Cera	Carnauba con la incorporación de aceite <i>Lippia scaberrima</i>	Reducción de la incidencia de antracnosis.	Regnier <i>et al.</i> (2010)
Cera	Candelilla incorporación de ácido gálico (0,01 %)	Reducción del crecimiento y la propagación de la antracnosis. Mejor apariencia y la calidad general de los frutos después de 6 semanas de almacenamiento.	Aguilar (2018)
Emulsión	Quitosano (1,5 % p/v) fusionado con propóleo (1, 1,5, 2 %)	Mejora en la calidad de la fruta y reducción en el crecimiento de <i>C. gloeosporioides</i> (<i>in vitro</i>). Reduce en incidencia y severidad de antracnosis.	Marino <i>et al.</i> (2018)
Comestible	Carboximetilcelulosa (CMC 1 %), incorporando extracto de moringa de hojas y semillas (2%)	Reducción en el crecimiento de patógenos (<i>C. gloeosporioides</i> y <i>A. alternata</i>). Mejora en la vida útil de la fruta.	Tesfay & Magwaza (2017)
Recubrimiento	Quitosano/nanopartículas (CSNPs) + AEs de tomillo (3 - 5 %)	Control de <i>C. gloeosporioides</i> ensayos <i>in vitro</i> y una reducción en la incidencia en condiciones <i>in vivo</i> .	Correa-Pacheco <i>et al.</i> (2017)
Recubrimiento	Biocomposito Quitosano + AEs de molle	Reducción de la incidencia de <i>C. gloeosporioides</i> . Prevención de la pérdida de la calidad en 10 días.	Chávez-Magdaleno <i>et al.</i> (2018)

9.2.2. Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AEs) tienen el potencial de sustituir y/o complementar al uso de los fungicidas tradicionales, por lo que se ha dedicado mucho esfuerzo en investigación para comprender sus propiedades y beneficios; parte de esto se resume en el Cuadro 9.2. Estos extractos de plantas incluyen una mezcla de compuestos terpenoides y sus derivados oxigenados (Bill *et al.*, 2014). Estos pueden ser aplicados a los frutos directamente como fase gaseosa, pulverización, inmersión o indirectamente como parte de las matrices de recubrimientos.

Cuadro 9.2. Ejemplos de los efectos del uso de algunos aceites esenciales (AEs) en la postcosecha de palta variedad 'Hass'.

Compuesto activo (AEs)	Efecto	Referencias
Timol (96 $\mu\text{L/L}$), aplicado como gas	Un incremento de la actividad enzimática, asociada a la β -1,3 gluconasa y quitinasa.	Bill <i>et al.</i> (2016)
Metil jasmonato (MeJa) y metil salicilato (MeSa)	Una reducción de un 40 % en la incidencia de antracnosis.	Glowacz <i>et al.</i> (2017)
Tomillo aceite + AM	Una reducción en la incidencia y severidad de antracnosis, una menor incidencia de pulpa gris, pardeamiento vascular, y una menor pérdida de firmeza de los frutos. Una mejora global en la condición de los frutos.	Sellamuthu <i>et al.</i> (2013)

Como antifúngicos, su modo de acción puede ser variado y consisten en generar inestabilidad en biomoléculas, como el ADN, lípidos y proteínas, que son vitales para el buen funcionamiento celular de los patógenos (Sellamuthu *et al.*, 2013). Las fracciones hidrofóbicas de los AEs pueden disolverse en los componentes hidrofóbicos de la membrana celular del patógeno, alterando así la integridad de la misma y la permeabilidad a la adenosina-5'-trifosfato (ATP), y en última instancia provocar muerte celular (Perumal *et al.*, 2022).

Además, los AEs pueden interferir con las reacciones enzimáticas, provocando una disposición incorrecta de los componentes de la pared celular, la quitina, los glucanos y las glicoproteínas y la fuga celular de Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+} . También pueden actuar como elicitores, así los frutos tratados con AEs pueden experimentar un aumento de los niveles de antioxidantes (polifenoles, flavonoides, antocianinas) y de la capacidad de absorción de oxígeno.

Los tratamientos con AEs también pueden aumentar la resistencia de los tejidos vegetales frente a los patógenos y reducir su deterioro fisiológico.

Mpho *et al.* (2013) demostraron que el aceite de lemongrass inhibe *in vitro* el crecimiento radial micelial de *C. gloeosporioides* a 2 ($\mu\text{L}/\text{placa}$). Del mismo modo, la aplicación de aceites de tomillo en concentraciones de 500 - 2.000 ($\mu\text{L}/\text{L}$) mostró inhibir el desarrollo de *C. gloeosporioides*. Además de mejorar la firmeza de la pulpa de 2,5 - 3,3 veces en palta en comparación con los frutos no aplicados.

Sin embargo, el uso de altas concentraciones de AEs puede ocasionar daños en la piel de los frutos afectando su apariencia; mientras que concentraciones bajas muestran una menor eficacia frente al ataque de patógenos. Por lo tanto, para su aplicación a nivel comercial debe tomarse en consideración el uso de concentraciones que tengan la capacidad de controlar a los patógenos sin inducir fitotoxicidad en la fruta.

Un enfoque que se puede implementar en este sentido, en el caso de paltas, es combinar el uso de AEs con otras tecnologías de postcosecha como es la atmósfera modificada (AM). Es así como Sellamuthu *et al.* (2013), demostraron que una combinación de la aplicación de aceite de tomillo (75 μL) con el uso de una bolsa de atmósfera modificada que consiguió a su equilibrio concentraciones de 8 % CO_2 y 2 % O_2 , mostró un 75 - 80 % de frutos libres de pudrición causada por antracnosis en palta 'Hass' y 'Fuerte', luego de un período de 18 días a 10 °C.

Es importante mencionar que, si bien se describió un ligero aroma al aceite de tomillo inmediatamente después de abrir las bolsas, éste desapareció rápidamente después de la apertura. De manera similar, la combinación de lemongrass con el uso de atmósferas modificadas redujo significativamente la incidencia de antracnosis, pulpa gris, pardeamiento vascular, pérdida de peso y pérdida de firmeza (Sellamuthu *et al.*, 2013).

La incorporación de aceites esenciales (AEs) directamente en matrices de recubrimiento reduce de manera eficaz la presencia de inóculos de patógenos en postcosecha presentes en la superficie de la fruta. La prevalencia de *C. gloeosporioides* fue inhibida de forma efectiva en paltas expuestas a 25 °C, a las que se le aplicó un polímero a base de ácido poliláctico (PLA) incorporado con un 10-20 % de timol (Boonruang *et al.*, 2017).

En un estudio similar, se integró aceite de tomillo en un film tricapa de polietileno de baja densidad (PEBD) como aditivo activo antifúngico para el envasado de

paltas (Bill *et al.*, 2018). Este film mostró una alta actividad antifúngica *in vivo* contra *C. gloeosporioides* utilizando un 5 % de aceite de tomillo incorporado en el material. Además, la adición de aceite de tomillo no modificó las propiedades de barrera al vapor de agua del film original (Cuadro 9.3).

Cuadro 9.3. Efectos de la incorporación de AEs en diferentes materiales de envase en platas ‘Hass’.

Compuesto activo	Material de envase	Efecto	Referencias
100 µL lemongrass	Papel filtro (3 cm ²) impregnado	Una reducción significativa de la pudrición de la pulpa, pardeamiento vascular, pérdida de peso y la incidencia de <i>C. gloeosporioides</i> fue reducida en un 50 %.	Mpho <i>et al.</i> (2013)
Timol (10-20 % p/p)	Polímero de ácido poliláctico (PLA)	Reducción en la incidencia de <i>C. gloeosporioides</i> .	Boonruang <i>et al.</i> (2017)
Tomillo (5 % p/p)	Film trilaminar de LDPE	Reducción de la incidencia de <i>C. gloeosporioides</i> .	Bill <i>et al.</i> (2018)
Pino (10-20 % p/p)	Mallas de polímero PLA/PBAT + quitosano impregnado con AEs	La incidencia de actracnosis fue reducida en un 80 % en frutos almacenados en mallas.	Correa-Pacheco <i>et al.</i> (2022)
Tomillo (0,4-1,3 p/v)	“Film” de quitosano	Una retención de la firmeza de pulpa y composición nutricional del fruto, como contenido nutraceutico. Una reducción de la incidencia de la pudrición blanda ocasionada por <i>Clonostachys rosea</i> .	Coyotl-Pérez <i>et al.</i> (2022)

9.2.3. Atmósfera modificada

En el Capítulo 7 se revisó de forma amplia el uso y los beneficios de la atmósfera controlada en paltas, herramienta que es utilizada preferentemente durante el tránsito de los contenedores al mercado de destino. Otra estrategia utilizada para modificar los niveles de gases que rodean la fruta es el uso de la atmósfera modificada (AM), la que a través de un film de permeabilidad diferencial a O₂ y CO₂, y con la ayuda de la respiración de la fruta, genera una modificación de la atmósfera en cajas individuales o pallets.

En el uso de AM se han reportado beneficios significativos para extender la vida de postcosecha de las paltas, observándose una reducción en la pérdida de peso, un retraso en el cambio de color verde de la piel y una menor pérdida de firmeza (Meir *et al.*, 1997).

En la Unidad de Postcosecha de INIA La Platina, se determinó el efecto del uso de AM sobre postcosecha de paltas variedad 'Hass'. En este estudio, la fruta fue almacenada bajo dos condiciones: atmósfera modificada (AM) y aire regular (AR) durante 30 y 45 días a 5 °C para simular un tránsito a diferentes mercados de destino. Luego de estos períodos se evaluaron diferentes parámetros de calidad como la firmeza de pulpa, el color de la piel y el desarrollo de pardeamiento externo de los frutos.

Posterior a cada uno de estos periodos, los frutos se dejaron a 20 °C hasta alcanzar madurez de consumo, momento en que se evaluó la incidencia de desórdenes fisiológicos internos. En la Figura 9.3 se muestran los resultados observados en firmeza de pulpa, color de la piel y pardeamiento externo para la evaluación realizada a la cosecha y luego cada uno de los periodos de simulación de tránsito.

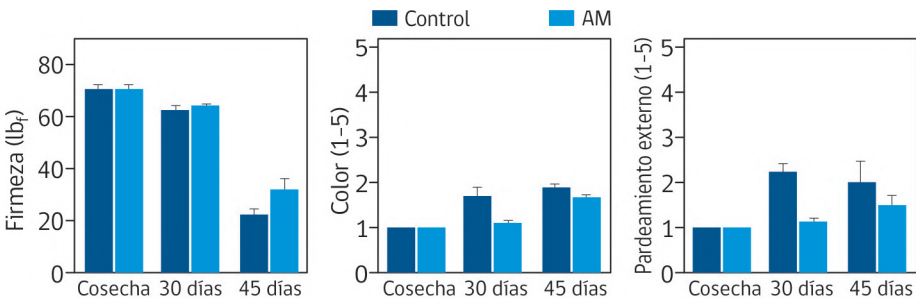


Figura 9.3. Efecto del uso de atmósfera modificada (AM) en firmeza de la pulpa, color y pardeamiento externo en palta 'Hass', luego de 30 y 45 días de almacenamiento a 5 °C para simular un tránsito a diferentes mercados de destino.

Los resultados muestran que el uso de bolsas de AM redujo el ablandamiento de la pulpa en ambos periodos, siendo mucho más evidente luego de 45 días a 5 °C. Asimismo, el cambio de color de la piel mostró un retraso con AM. En el caso del desarrollo del pardeamiento externo, el uso de las bolsas de AM mostró una reducción en la incidencia de este daño en los frutos.

Respecto al pardeamiento interno de la pulpa y vascular, el uso de bolsas de AM después de 45 días a 5 °C mostró una disminución en la severidad de ambos problemas durante el período de shelf life a 20 °C, cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo.

Si bien el uso de atmósfera modificada (AM) ha demostrado beneficios en la extensión de la vida de postcosecha de paltas 'Hass', plantea importantes desafíos tanto técnicos como operacionales para su implementación a nivel comercial. Desde el punto de vista técnico, al igual que en otras especies como el arándano, el uso de bolsas de AM exige una rigurosa mantención de la cadena de frío durante todas las etapas de la cadena de exportación, ya que las variaciones de temperatura pueden causar condensación en el interior de las bolsas, generando un ambiente propicio para el desarrollo de pudriciones. Esta limitación cobra aún mayor relevancia en el caso de las paltas, dado que, hasta la fecha, no existen herramientas eficientes para el control de pudriciones laterales y pedunculares, especialmente en países con alta pluviometría y en tránsitos hacia mercados distantes.

Otro punto importante para considerar es que los quiebres en la cadena de frío también afectan la tasa de respiración de los frutos, lo que puede causar que se alcancen concentraciones de O_2 y CO_2 no deseadas, afectando negativamente la vida de postcosecha de los frutos.

Por último, es relevante tener en cuenta que, al final de la cadena de comercialización, la fruta en muchos mercados se somete a un proceso de maduración forzada con altas temperaturas y la aplicación de etileno. Al estar la fruta dentro de bolsas de AM con una permeabilidad diferencial, se limita logísticamente la implementación de este importante tratamiento.

9.2.4. Tratamientos térmicos

El uso de tratamientos térmicos en frutas, ya sea a través del uso de agua o aire, está descrito como una herramienta que permite retrasar el proceso de maduración, una reducción en la incidencia de pudriciones, el control de desórdenes fisiológicos y de insectos, entre otros beneficios.

En paltas variedad 'Hass' se ha demostrado que la heterogeneidad de la maduración, característica ya discutida en este boletín, podría disminuirse mediante el uso de tratamiento térmico (Wright *et al.*, 2011). Hernández *et al.* (2017) estudiaron el efecto de dos pretratamientos en postcosecha: un "shock" de nitrógeno (N_2) y térmico antes de que los frutos fueran colocados en condiciones de atmósfera controlada; el objetivo principal del estudio fue obtener una mejor homogeneidad en la maduración de paltas 'Hass'.

Los resultados mostraron que el uso de un “shock” térmico previo a la AC, podía reducir significativamente la maduración heterogénea en frutos de cosecha temprana (21 - 23 % MS) y de media temporada con niveles de materia seca más alta (23 - 26 % MS), efecto que no se observó en el tratamiento del “shock” con N₂. Es importante mencionar que ninguno de los tratamientos alteró el perfil de ácidos grasos de los frutos. Estos resultados apuntaban a que la sincronización en la maduración estaría relacionada con la inducción de procesos metabólicos asociados a la biosíntesis del etileno (Hernández *et al.*, 2017).

Por otro lado, y a nivel fisiológico, un tratamiento con agua caliente a 38 °C durante el proceso en la línea de “packing” antes del almacenamiento en AC por 30 días a 5 °C, indujo la síntesis de azúcares solubles (sacarosa y galactinol) y la actividad de enzimas relacionadas con el estrés (Escribano & Mitcham, 2014). La integración de datos de metabolómica y proteómica reveló una correlación positiva entre la reducción del rendimiento glucolítico y la degradación inducida de proteínas con el tratamiento de choque térmico.

Si bien los datos experimentales de su uso en paltas muestran beneficios, existen limitaciones para su escalamiento e implementación a nivel comercial. Estas barreras están asociadas a temas de logística, operación, costo energético y algunos efectos no deseados en otros parámetros de calidad de los frutos.

9.2.5. Irradiación

La irradiación, también conocida como “pasteurización en frío”, se considera una herramienta segura, ya que no deja residuos nucleares en los alimentos. Las paltas son sensibles a la irradiación gamma; sin embargo, se ha demostrado la viabilidad de su uso para la desinfección de frutos, utilizando una dosis mínima de 100 Gy. Debido a su alta capacidad de penetración, la irradiación puede aplicarse incluso cuando los frutos se encuentran embalados (Figura 9.4).

El haz de radiación (electrones, rayos gamma o rayos X) atraviesa los alimentos, alterando los enlaces químicos, permitiendo eliminar plagas y dañar el ADN de los microorganismos, limitando así su desarrollo. Existen dos métodos de tratamiento por irradiación: el primero consiste en un pretratamiento, donde la irradiación se aplica después de un proceso de refrigeración durante 28 días a 5,5 °C; el segundo método consiste en realizar la irradiación antes del almacenamiento en frío.

Un estudio realizado por Valdivia *et al.* (2002) demostró que la irradiación no influye en la acidez, en el desarrollo de peróxidos ni en la concentración de malondialdehído de la pulpa de palta congelada. De manera similar, Daiuto *et al.* (2014) indicaron que la irradiación gamma y la UV-C disminuyeron el daño que puede ocurrir durante el almacenamiento de los frutos, lo que permitió que productos como el guacamole presentaran un mayor contenido de grasas saludables sin afectar su calidad sensorial.

Si bien la irradiación gamma puede utilizarse como un método eficaz para el control de plagas cuarentenarias, no es necesariamente compatible con todas las frutas (Lizarazo-Peña *et al.*, 2022).

Sin embargo, para su uso a nivel comercial, es importante considerar que la irradiación promueve el crecimiento celular, el aumento del número de células del tejido vascular, la estimulación de la biosíntesis de etileno, el incremento de la actividad de la L-fenilalanina amoníaco-liasas y la síntesis de fenoles. La estimulación de la biosíntesis de etileno puede afectar negativamente el proceso de maduración de las paltas, acelerándolo y aumentando el riesgo de deterioro durante el almacenamiento y el tránsito hacia el mercado de destino.

Por lo tanto, este método podría implementarse para el control de patógenos en combinación con otras herramientas de postcosecha que inhiban la producción de etileno (Lieu *et al.*, 2024).

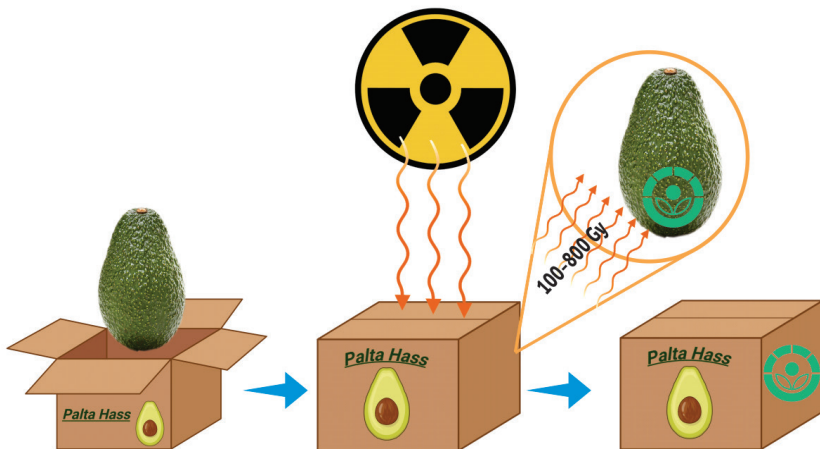


Figura 9.4. Aplicación de radiación en paltas embaladas.

9.2.6. Microorganismos antagonistas (MAs)

Las cepas microbianas antagonistas han suscitado interés para su uso en la postcosecha de paltas debido a su capacidad para competir con otros microorganismos presentes en la palta y que son aquellos que producen las pudriciones en los frutos (López-López *et al.*, 2022; Mpeluza *et al.*, 2023).

Dentro de la diversidad microbiana que puede controlar pudriciones en palta, se han observados resultados efectivos con bacterias, levaduras y géneros de hongos, dentro de los cuales se encuentran bacterias ácido lácticas, *Trichoderma* spp., *Meyerozyma caribbica*, entre otras. En el caso de las paltas, existen dos métodos para aplicar los MAs y así, consiguiendo una mejora de la vida de postcosecha, la inmersión y la pulverización. El uso de bacterias ácido lácticas como agente de biocontrol ha mostrado un efecto de inhibición en el crecimiento radial del micelio y la germinación de esporas de *Colletotrichum gloeosporioides*, el cual es el patógeno causante de antracnosis. Estos resultados mostraron un efecto de un 90 % y 100 % de inhibición del desarrollo del micelio y germinación de esporas, respectivamente; siendo resultados similares a los observados en tratamientos con Prochloraz.

El aislamiento de MAs desde los huertos de palta es un enfoque efectivo para su obtención, ya que son aislados desde el ambiente donde se desarrollan, teniendo la habilidad natural de competir efectivamente con los patógenos presentes en los frutos. En un estudio realizado por López-López *et al.* (2022), se mostró que *Trichoderma* spp. aislado desde raíces y suelo obtenidos en huertos de palta, demostró ser un agente de control biológico para inhibir una serie de patógenos en la postcosecha de paltas (*Neofusicoccum parvum*, *Diaporthe* sp., y *Phomopsis perseae*).

Por otro lado, y en relación con la aplicación de los MAs y cómo mejorar su adherencia a la superficie de la fruta, la combinación con recubrimientos comestibles pudiera ser una solución eficaz para ayudar a la inmovilización de los MAs en la matriz del recubrimiento. Iñiguez-Moreno *et al.* (2020) observaron que una combinación de un recubrimiento de alginato de sodio con *Meyerozyma caribbica* inhibió el desarrollo de pudrición en la pulpa de paltas almacenadas a 25 °C. La inmovilización de los MAs en la superficie del fruto mediante el uso de recubrimientos comestibles ayuda a mantener la biomasa de los MAs, haciendo más efectiva la competencia de ellos con los patógenos causantes de pudriciones.

Este es un enfoque potencial que podría ayudar a prolongar la vida útil de las paltas, reduciendo la incidencia de pudriciones, además de ofrecer otros beneficios asociados al uso de recubrimientos. Si los impactos ocasionados durante el transporte y el almacenamiento dañan la cáscara del fruto, los agentes antimicrobianos (MAs) serían el primer factor en actuar frente a los daños que pudieran producirse en la fruta (Lieu *et al.*, 2024).

9.2.7. Almacenamiento en condiciones de baja presión

El almacenamiento en baja presión o almacenamiento hipobárico es una tecnología desarrollada en los años 60. Esta tecnología busca reducir la presión atmosférica desde los 1.013 (mbar), que es la presión que normalmente se tiene a nivel del mar, a niveles inferiores de los 400 (mbar), reduciendo el metabolismo de los productos almacenados en esta condición.

Estudios realizados en diferentes productos frescos, muestran que, con el almacenamiento a niveles de presión atmosférica por debajo de los 400 (mbar), permite conseguir una extensión de la vida de postcosecha (Burg, 2004). Al reducirse la presión atmosférica, se produce una baja muy rápida en la concentración de O_2 en la atmósfera, lo que determina una reducción significativa del metabolismo de los productos frescos. Es así como, en condiciones de almacenamiento de baja presión, se ha observado una reducción significativa en la tasa de respiración; y por otro lado, alcanzar bajos niveles de O_2 , como también la actividad de la enzima ACC oxidasa (clave en la ruta de síntesis del etileno, Capítulo 8), muestra una menor actividad en la producción de etileno endógeno, ralentizándose así todos los procesos de maduración y senescencia. Al estar almacenados los productos frescos en un ambiente hermético, otro de los efectos observados es una reducción significativa en la pérdida de agua de los productos frescos.

En el caso de paltas variedad Hass, se han realizado una serie de ensayos que muestran la eficacia de esta tecnología en la extensión de la vida de postcosecha de los frutos, incluyendo una mantención de la firmeza de la pulpa, un retraso en el cambio de color de la piel, una menor deshidratación y una reducción en la incidencia de pardeamientos internos asociados a senescencia (Figura 9.5).

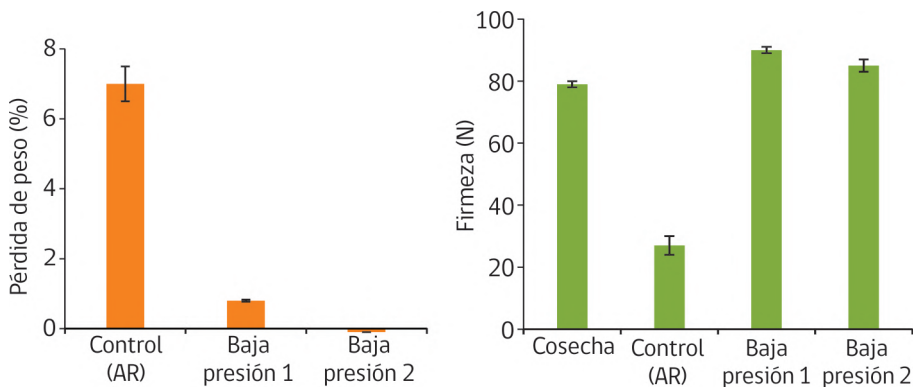


Figura 9.5. Efecto del almacenamiento en baja presión en paltas variedad Hass en la pérdida de peso (deshidratación) y firmeza del fruto luego de 64 días a 5 °C (Fuente: Daniel Manríquez).

9.2.8. Uso de sanitizantes

Esta es un área crítica de desarrollo, ya que los sanitizantes complementan en gran parte a las otras herramientas de postcosecha analizadas en este boletín. Los principales sanitizantes utilizados por la industria en la línea de proceso hoy en día corresponden a hipoclorito y ácido peracético (Korsten *et al.*, 2023).

Ambos productos aplicados en forma correcta son herramientas útiles para reducir la carga de microorganismos que tiene la fruta al momento de la cosecha. Aunque estos tratamientos no son tan efectivos en el control de los hongos que ocasionan tanto pudriciones laterales como pedunculares, que ya fueron descritos en detalle en el Capítulo 5 de este boletín. La aplicación de los mismos en la fruta y en la infraestructura del “packing”, como son la línea de proceso, cámaras de frío y el contenedor refrigerado, son prácticas necesarias para reducir la carga de microorganismos que causan estas pudriciones. Al uso de hipoclorito y de ácido peracético, se suman una serie de productos y otras tecnologías como el ozono, oxígeno reactivo, peróxido de hidrógeno, ácido sórbico, entre otras. Sin embargo, y al igual que para otras tecnologías, es necesario su evaluación bajo diferentes condiciones comerciales de exportación.

9.3. Comentarios finales

Durante su almacenamiento o tránsito hacia los diferentes mercados de destino, las paltas sufren una pérdida de calidad debido a una serie de variables que incluyen cambios en el color de la piel y de la pulpa, ablandamiento, incidencia de desórdenes fisiológicos, deshidratación, aparición de pudriciones y alteraciones en las características organolépticas. Por lo tanto, el desarrollo de nuevas tecnologías debe enfocarse en reducir estas causas de pérdida de calidad en la postcosecha de paltas.

Dado que las paltas son frutos climatéricos con una alta tasa respiratoria y de producción de etileno, sumado a que diversos factores de precosecha y manejo agronómico determinan su comportamiento en postcosecha, se hace necesaria la búsqueda de nuevas herramientas y estrategias para mejorar su vida útil en esta etapa.

Además, existe una creciente demanda por procesos considerados “verdes”, lo que está impulsando la investigación y el desarrollo de tecnologías más sostenibles con el medio ambiente y de bajo costo. Sin embargo, uno de los principales desafíos en el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la postcosecha de paltas es su escalamiento a nivel comercial, ya que es fundamental considerar todos los retos mencionados anteriormente para la implementación de soluciones que puedan reemplazar o complementar las herramientas de postcosecha actualmente existentes.

9.4. Referencias

- Aguilar, C. (2018). A Green Technology for Control of Avocado Necrotic Fungi Using Bioactive Coatings. *International Journal Of Green Technology*, 4(1), 24–28. <https://doi.org/10.30634/2414-2077.2018.04.3>
- Atieno, L., Owino, W., Ateka, E. M., & Ambuko, J. (2019). Influence of Coating Application Methods on the Postharvest Quality of Cassava. *International Journal Of Food Science*, 2019, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2019/2148914>
- Bill, M., Pillai, S. K., Tinyane, P., Ray, S. S., & Sivakumar, D. (2018). The Effect of Thyme Oil Low-Density Polyethylene Impregnated Pellets in Polylactic Acid Sachets on Storage Quality of Ready-to-Eat Avocado. *Food And Bioprocess Technology*, 11(1), 141–151. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2001-5>

- Bill, M., Sivakumar, D., Beukes, M., & Korsten, L. (2015). Expression of pathogenesis-related (PR) genes in avocados fumigated with thyme oil vapours and control of anthracnose. *Food Chemistry*, 194, 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.105>
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado Fruit Quality Management during the Postharvest Supply Chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169-202. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.907304>
- Boonruang, K., Kerddonfag, N., Chinsirikul, W., Mitcham, E. J., & Chonhenchob, V. (2017). Antifungal effect of poly(lactic acid) films containing thymol and R-(-)-carvone against anthracnose pathogens isolated from avocado and citrus. *Food Control*, 78, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.032>
- De Jesus Cenobio-Galindo, A., Ocampo-López, J., Reyes-Munguía, A., Carrillo-Inungaray, M. L., Cawood, M., Medina-Pérez, G., Fernández-Luqueño, F., & Campos-Montiel, R. G. (2019). Influence of Bioactive Compounds Incorporated in a Nanoemulsion as Coating on Avocado Fruits (*Persea americana*) during Postharvest Storage: Antioxidant Activity, Physicochemical Changes and Structural Evaluation. *Antioxidants*, 8(10), 500. <https://doi.org/10.3390/antiox8100500>
- Chávez-Magdaleno, M. E., González-Estrada, R. R., Ramos-Guerrero, A., Plascencia-Jatomea, M., & Gutiérrez-Martínez, P. (2018). Effect of pepper tree (*Schinus molle*) essential oil-loaded chitosan bio-nanocomposites on postharvest control of *Colletotrichum gloeosporioides* and quality evaluations in avocado (*Persea americana* cv. Hass). *Food Science and Biotechnology*, 27(6), 1871-1875. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0410-5>
- Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., Valle-Marquina, M. Á., & Hernández-López, M. (2017). The effect of nanostructured chitosan and chitosan-thyme essential oil coatings on *Colletotrichum gloeosporioides* growth in vitro and on cv. Hass avocado and fruit quality. *Journal of Phytopathology*, 165(5), 297-305. <https://doi.org/10.1111/jph.12562>
- Correa-Pacheco, Z. N., Ventura-Aguilar, R. I., Zavaleta-Avejar, L., Barrera-Necha, L. L., Hernández-López, M., & Bautista-Baños, S. (2022). Anthracnose disease control and postharvest quality of Hass avocado stored in biobased PLA/PBAT/pine essential oil/chitosan active packaging nets. *Plants*, 11, Article 2278. <https://doi.org/10.3390/plants11172278>

- Coyotl-Pérez, W. A., Rubio-Rosas, E., Morales-Rabanales, Q. N., Ramírez-García, S. A., Pacheco-Hernández, Y., Pérez-España, V. H., Romero-Arenas, O., & Villa-Ruano, N. (2022). Improving the shelf life of avocado fruit against *Clonostachys rosea* with chitosan hybrid films containing thyme essential oil. *Polymers*, 14, Article 2050. <https://doi.org/10.3390/polym14102050>
- Daiuto, É. R., Russo, V. C., Vietes, R. L., Fumes, J. G. F., Vileigas, D. F., & Smith, R. E. (2014). Stability of a product prepared with "Fuerte" avocados exposed to gamma and UV-C radiation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(6), 1999-2005. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12176>
- Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435-450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
- Escribano, S., & Mitcham, E. (2014). Progress in heat treatments. *Stewart Postharvest Review*, 10(3), 1-6.
- Fischer, I. H., de Moraes, M. F., Palharini, M. C. de A., Fileti, M. de S., Cruz, J. C. S., & Firmino, A. C. (2018). Effect of conventional and alternative products on postharvest disease control in avocados. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4), e-408. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018408>
- Garcia, F., & Davidov-Pardo, G. (2020b). Recent advances in the use of edible coatings for preservation of avocados: A review. *Journal Of Food Science*, 86(1), 6-15. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15540>
- Glowacz, M., Roets, N., & Sivakumar, D. (2017). Control of anthracnose disease via increased activity of defence related enzymes in 'Hass' avocado fruit treated with methyl jasmonate and methyl salicylate. *Food Chemistry*, 234, 163-167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.063>
- Guarnaccia, V., Vitale, A., Cirvilleri, G., Aiello, D., Susca, A., Epifani, F., Perrone, G., & Polizzi, G. (2016). Characterisation and pathogenicity of fungal species associated with branch cankers and stem-end rot of avocado in Italy. *European Journal Of Plant Pathology*, 146(4), 963-976. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0973-z>

- Hernández, I., Fuentealba, C., Olaeta, J. A., Poblete-Echeverría, C., Defilippi, B. G., González-Agüero, M., Campos-Vargas, R., Lurie, S., & Pedreschi, R. (2017d). 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>
- Ñíguez-Moreno, M., Ragazzo-Sánchez, J. A., Barros-Castillo, J. C., Sandoval-Contreras, T., & Calderón-Santoyo, M. (2020). Sodium alginate coatings added with *Meyerozyma caribbica*: Postharvest biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado (*Persea americana* Mill. cv. Hass). *Postharvest Biology And Technology*, 163, 111123. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111123>
- Kassim, A., & Workneh, T. S. (2020). Influence of postharvest treatments and storage conditions on the quality of Hass avocados. *Heliyon*, 6(6), e04234. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04234>
- Kassim, A., Workneh, T. S., & Bezuidenhout, C. N. (2013). A review on postharvest handling of avocado fruit. *African Journal Of Agricultural Research*, 8(21), 2385-2402. <https://doi.org/10.5897/ajar12.1248>
- Korsten, L., Coetzee, C., & Duvenage, S. (2023). Postharvest microbial shifts of avocado, *Persea americana* Mill., fruit washings using broad-spectrum surface sanitiser and peracetic acid disinfectants. *Acta Horticulturae*, 1363, 257-272. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2023.1363.38>
- Lieu, M. D., Phuong, T. V., Nguyen, T. T. B., Dang, T. K. T., & Nguyen, T. H. (2024b). 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>
- Lizarazo-Peña, P., Darghan, E., & Herrera, A. (2021). Effects of gamma radiation on the quality of Hass avocado fruits (*Persea americana* Mill.). *Radiation Physics And Chemistry*, 190, 109817. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109817>
- Lizarazo-Peña, P., Darghan, E., & Herrera, A. (2021b). Effects of gamma radiation on the quality of Hass avocado fruits (*Persea americana* Mill.). *Radiation Physics And Chemistry*, 190, 109817. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109817>

- López-López, M. E., Del-Toro-Sánchez, C. L., Gutiérrez-Lomelí, M., Ochoa-Ascencio, S., Aguilar-López, J. A., Robles-García, M. A., Plascencia-Jatomea, M., Bernal-Mercado, A. T., Martínez-Cruz, O., Ávila-Novoa, M. G., González-Gómez, J. P., & Guerrero-Medina, P. J. (2022). Isolation and Characterization of *Trichoderma* spp. for Antagonistic Activity against Avocado (*Persea americana* Mill) Fruit Pathogens. *Horticulturae*, 8(8), 714. <https://doi.org/10.3390/horticulturae808071>
- SP, A. M. J., Junior, Magalhães, K. M., & Mattiuz, B. (2018). Chitosan-propolis combination inhibits anthracnose in «Hass» avocados. *Emirates Journal Of Food And Agriculture*, 681. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i8.1764>
- Meir, S., Naiman, D., Akerman, M., Hyman, J. Y., Zauberman, G., & Fuchs, Y. (1997b). 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)
- Mpeluza, A. S., Akinola, S. A., Shoko, T., Remize, F., & Sivakumar, D. (2023). Efficacy of Lactic Acid Bacteria as a Biocontrol Agent against Anthracnose (*Persea americana* Miller) Decay in Avocado (*Persea americana*) cv Fuerte Fruit. *Agriculture*, 13(2), 269. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020269>
- Mpho, M., Sivakumar, D., Sellamuthu, P. S., & Bautista-Baños, S. (2013). Use of Lemongrass Oil and Modified Atmosphere Packaging on Control of Anthracnose and Quality Maintenance in Avocado Cultivars. *Journal Of Food Quality*, 36(3), 198-208. <https://doi.org/10.1111/jfq.12027>
- Nussinovitch, A. (2009). Biopolymer Films and Composite Coatings. En: *Elsevier eBooks* (pp. 295-326). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374195-0.00010-0>
- Perumal, A. B., Huang, L., Nambiar, R. B., He, Y., Li, X., & Sellamuthu, P. S. (2021). Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 375, 131810. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131810>
- Regnier, T., Combrinck, S., Du Plooy, W., & Botha, B. (2010). Evaluation of *Lippia scaberrima* essential oil and some pure terpenoid constituents as postharvest mycobiocides for avocado fruit. *Postharvest Biology And Technology*, 57(3), 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.03.010>

- Sellamuthu, P. S., Mafune, M., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013). Thyme oil vapour and modified atmosphere packaging reduce anthracnose incidence and maintain fruit quality in avocado. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 93(12), 3024-3031. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6135>
- Tesfay, S. Z., & Magwaza, L. S. (2017). Evaluating the efficacy of moringa leaf extract, chitosan and carboxymethyl cellulose as edible coatings for enhancing quality and extending postharvest life of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. *Food Packaging And Shelf Life*, 11, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.12.001>
- Valdivia, M., Bustos, M., Ruiz, J., & Ruiz, L. F. (2002). The effect of irradiation in the quality of the avocado frozen pulp. *Radiation Physics And Chemistry*, 63(3-6), 379-382. [https://doi.org/10.1016/s0969-806x\(01\)00628-4](https://doi.org/10.1016/s0969-806x(01)00628-4)



Boletín INIA / N° 510
www.inia.cl

