

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



“ATMÓSFERA CONTROLADA EN FRUTOS DE PALTO

(Persea americana Mill.) cv. HASS”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

PAULA SOFIA RUIZ PINTADO

LIMA - PERÚ

2024

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

ATMÓSFERA CONTROLADA EN FRUTOS DE PALTO (Persea americana Mill.) cv. HASS

ORIGINALITY REPORT

10 %	10 %	1 %	2 %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	orcid.org Internet Source	1 %
2	www.avocadosource.com Internet Source	1 %
3	www.revistas.unitru.edu.pe Internet Source	1 %
4	issuu.com Internet Source	1 %
5	aprenderly.com Internet Source	1 %
6	hemeroteca.unad.edu.co Internet Source	<1 %
7	www.scribd.com Internet Source	<1 %
8	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Student Paper	<1 %

joseantonioarcos.es

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA

“ATMÓSFERA CONTROLADA EN FRUTOS DE PALTO

(Persea americana Mill.) cv. HASS”

PAULA SOFIA RUIZ PINTADO

Tesis para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph. D. Walter Apaza Tapia
PRESIDENTE

Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz
ASESOR

Dr. Erick Espinoza Núñez
MIEMBRO

Ing. Mg. Agroneg. Daniel Encarnación Chávez
Bocanegra
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2024

A mis padres, Julia y Augusto,
por su inmenso amor y constante apoyo
en todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMENTOS

A mis padres, que siempre me dan lo mejor de ellos. Gracias por sus consejos, apoyo y esfuerzo para que yo sea profesional. Los amo.

A mis hermanos, especialmente a Marysé, por estar a mi lado pendiente de que pudiera cumplir mis objetivos.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina por darme la oportunidad de estudiar en su hermoso campus, donde conocí personas que se quedarán conmigo toda la vida.

A mi asesor de tesis, el Ing. Andrés Casas Díaz, por guiarme en este importante camino de titulación.

A mis profesores, que año tras año fueron parte de mi formación profesional y personal.

Al Laboratorio de Productos Hortícolas, por brindarme sus instalaciones para poder llevar a cabo mi investigación. Asimismo, a la señorita Paola, encargada del laboratorio, por su constante hospitalidad.

A la Asociación de Productores y Exportadores de Palta Hass del Perú que, gracias al convenio con la Unalm, hicieron posible realizar esta investigación, brindando todos los equipos y materiales necesarios para su desarrollo.

A Víctor, Gerente Técnico de ProHass, por confiar en mí para llevar a cabo este importante trabajo en poscosecha. Por compartir conmigo sus conocimientos y guiarme en todo momento.

A Magaly, Anita y Sharon que desde el primer día me brindaron su apoyo y amistad.

A Andrea, Marcela, Emilee y Angelli por su amistad incondicional.

ÍNDICE GENERAL

I	INTRODUCCIÓN	1
II	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	El palto.....	3
2.1.1	Origen.....	3
2.1.2	Taxonomía.....	3
2.1.3	Cultivar Hass	4
2.2	Fisiología poscosecha	4
2.2.1	Respiración	5
2.2.2	Etileno.....	5
2.2.3	Transpiración.....	6
2.3	Factores que influyen en el almacenamiento.....	7
2.3.1	Temperatura.....	7
2.3.2	Humedad.....	8
2.3.3	Composición gaseosa (O ₂ – CO ₂).....	8
2.3.4	Etileno.....	9
2.4	Tecnologías de conservación	10
2.4.1	Atmósfera modificada (AM).....	10
2.4.2	Atmósfera controlada (AC).....	12
2.5	Calidad poscosecha.....	15
2.5.1	Manchas en la piel	15
2.5.2	Pulpa gris	16
2.5.3	Moho peduncular.....	17
2.5.4	Enfermedades poscosecha	17
2.5.5	Madurez de cosecha.....	18
2.6	Producción peruana.....	19
2.7	Exportación.....	19
III	METODOLOGÍA	20
3.1	Ubicación	20
3.2	Materiales y equipos	20
3.2.1	Material vegetal	20

3.2.2	Materiales de laboratorio	20
3.3	Tratamientos	20
3.4	Condiciones de almacenaje	21
3.5	Diseño experimental	21
3.6	Análisis estadístico	21
3.7	Evaluaciones	22
3.7.1	Evaluación previa al almacenamiento	22
3.7.2	Evaluación a salida de frío	22
3.7.3	Evaluación al término del periodo de maduración	23
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1	Evaluaciones a salida de frío	24
4.1.1	Pérdida de peso	24
4.1.2	Pérdida de firmeza	25
4.1.3	Color externo	27
4.1.4	Mancha negra	28
4.1.5	Moho en el pedúnculo	29
4.2	Evaluaciones en madurez de consumo	32
4.2.1	Días para madurar.....	32
4.2.2	Pérdida de peso	33
4.2.3	Color externo	34
4.2.4	Pulpa gris	35
4.2.5	Enfermedades poscosecha	37
V	CONCLUSIONES	41
VI	RECOMENDACIONES	43
VII	BIBLIOGRAFÍA.....	44
VIII	ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tratamientos evaluados.....	21
Tabla 2: Color externo en frutos de palta cv. Hass a la salida de frío (SF) según tratamiento de atmósfera controlada y días de almacenaje.....	27
Tabla 3: Color externo en frutos maduros de palta cv. Hass según tratamiento de atmósfera controlada y días de almacenaje	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pérdida de peso en frutos de palta cv. Hass a la salida de frío según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento	25
Figura 2: Pérdida de firmeza en frutos de palta cv. Hass a la salida de frío según tratamiento de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento	26
Figura 3: Severidad de mancha negra en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento	28
Figura 4: Incidencia de mancha negra en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento	29
Figura 5: Severidad de moho peduncular en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento	31
Figura 6: Incidencia comercial de moho peduncular en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento.....	31
Figura 7: Número de días que tarda la fruta de palta cv. Hass en alcanzar madurez de consumo según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado	32
Figura 8: Pérdida de peso en frutos de palta cv. Hass al término del periodo de maduración según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado	33
Figura 9: Severidad de pulpa gris en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado	35
Figura 10: Incidencia de pulpa gris en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado	36
Figura 11: Incidencia de pudrición peduncular en frutos de palta cv. Hass según tratamiento de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado.....	38

Figura 12: Incidencia de antracnosis en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado 38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Escala de evaluación para daño de mancha negra.....	49
Anexo 2: Escala de evaluación para daño de pulpa gris	50
Anexo 3: Escala de evaluación para moho peduncular.....	51
Anexo 4: Escala de evaluación para color de piel	52
Anexo 5: Imágenes de apariencia externa según tratamiento después de 30 días de almacenamiento refrigerado (SF 30).....	53
Anexo 6: Imágenes de apariencia externa según tratamiento después de 45 días de almacenamiento refrigerado (SF 45).....	54
Anexo 7: Imágenes de apariencia externa según tratamiento después de 60 días de almacenamiento refrigerado (SF 60).....	55
Anexo 8: Imágenes de apariencia interna después del periodo de maduración (PM) de fruta almacenada por 30 días (SF 30) según los tratamientos de atmósfera controlada.	56
Anexo 9: Imágenes de apariencia interna después del periodo de maduración (PM) de fruta almacenada por 45 días (SF 45) según los tratamientos de atmósfera controlada.	61
Anexo 10: Imágenes de apariencia interna después del periodo de maduración (PM) de fruta almacenada por 60 días (SF 60) según los tratamientos de atmósfera controlada.	66

RESUMEN

El Perú es uno de los más grandes exportadores de palta Hass, con países destino como Tailandia, India, China y Japón. Donde el mayor desafío se juega en la cadena poscosecha, ya que en muchos casos la fruta llega en mal estado, afectando directamente la credibilidad del país productor. Por ello, se ha simulado el tránsito de la fruta bajo el sistema de atmósfera controlada (AC) a temperatura y humedad relativa constante. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de cuatro diferentes concentraciones de gases O₂% y CO₂% (3/3, 5/5, 10/10, 17/10) más un tratamiento control en atmósfera convencional (21/0,03) sobre los principales parámetros de calidad poscosecha de la palta. La fruta fue almacenada por 30, 45 y 60 días bajo los diferentes tratamientos. Se analizaron indicadores de calidad como peso, firmeza, color, pardeamientos de piel y de pulpa, así como incidencia de pudriciones poscosecha. Los resultados indican que, durante el almacenamiento refrigerado, la atmósfera 5/5 obtuvo los mejores resultados en cuanto a deshidratación. La firmeza fue conservada por todos los tratamientos de AC estudiados. En el control del moho peduncular, el tratamiento 17/10 presentó la menor severidad promedio. Los desórdenes fisiológicos inducidos por el daño por frío, como son las manchas en la piel y la decoloración difusa de la pulpa, fueron mitigados en gran medida por las atmósferas controladas. En el testigo, el daño por frío incrementó la susceptibilidad al daño por hongos. Asimismo, los tratamientos de AC con mayor concentración de CO₂ tuvieron un mayor tiempo promedio de maduración, mayor deshidratación y mayor incidencia de enfermedades poscosecha. El desarrollo del color fue normal para los tratamientos de AC, a diferencia de los testigos.

Palabras clave: atmósfera controlada, Hass, calidad, poscosecha, daño por frío.

ABSTRACT

Peru is one of the largest exporters of Hass avocado in the world, with shipping destinies such as Thailand, India, China and Japan. Where the greatest challenge takes place in the postharvest chain, since in many cases the fruit arrives in poor condition, directly affecting the credibility of the producing country. For this reason, the transit of the fruit has been simulated under the controlled atmosphere (CA) system at constant temperature and relative humidity. The objective of the present study was to evaluate the effect of four different concentrations of O₂% and CO₂% gases (3/3, 5/5, 10/10, 17/10) plus a control treatment in a conventional atmosphere (21/0,03) on the main postharvest quality parameters of the avocado. The fruit was stored for 30, 45 and 60 days under the different treatments. Quality indicators such as weight, firmness, color, browning of the skin and pulp, as well as the incidence of post-harvest rot, were analyzed. The results indicate that, in terms of dehydration during refrigerated storage, the 5/5 atmosphere obtained the best results. Firmness was preserved by all CA treatments studied. In the control of peduncular mold, the 17/10 treatment presented the lowest average severity. Physiological disorders induced by cold injury, such as skin spots and diffuse pulp discoloration, were largely mitigated by controlled atmospheres. In the control treatment, chilling injury increased susceptibility to fungal damage. Likewise, AC treatments with a higher CO₂ concentration had a longer average ripening time, greater dehydration and a higher incidence of postharvest diseases. Color development was normal for the AC treatments, unlike the controls.

Key words: controlled atmosphere, Hass, quality, postharvest, chilling injury.

I INTRODUCCIÓN

El cultivo de palta es un negocio en constante crecimiento, en los últimos cinco años el área cosechada a nivel mundial ascendió de 669,709 a 858,152 hectáreas. Mientras que la producción tuvo un incremento de 6,294,331 a 8,685,672 toneladas de fruta. En el continente americano se encuentra la mayor producción de este cultivo. En el periodo de 2018 a 2022, en América se concentró el 71.2% de la producción, seguido de África (13.2%) y Asia (12.5%) (FAOSTAT, 2023).

Según la FAOSTAT (2023), en el 2022, los tres mayores productores de palta fueron México, Colombia y Perú. Además, el Perú en el año 2022 exportó 583,214 toneladas de palta, siendo los últimos diez años el segundo mayor exportador después de México. Los principales mercados que importaron esta fruta son Estados Unidos, Países Bajos, España y Francia. A partir de estos datos podemos determinar el rol importante que desarrolla nuestro país en el comercio mundial de la palta. Por ello, es primordial emplear tecnologías que garanticen que el fruto llegará a destino en óptimas condiciones de calidad.

La palta (*Persea americana* Mill.) es un fruto perecible que es consumido principalmente en estado fresco. Posee metabolismo activo durante su periodo poscosecha que conlleva a la maduración y posterior deterioro y senescencia de sus tejidos. En general, el riesgo de pérdida de la calidad aumenta mientras mayor sea el tiempo desde la cosecha hasta su consumo. Además, la tendencia hacia mayores distancias entre los sitios de producción y el consumidor ha aumentado el énfasis en la tecnología y las prácticas poscosecha (Schaffer et al., 2012).

La vida de anaquel de la palta puede ser prolongada con el uso de diferentes tecnologías, que ayudan a disminuir los procesos deteriorativos fisiológicos y patológicos. La herramienta más importante para la conservación y almacenamiento de productos frutícolas es el manejo de la temperatura. Sin embargo, el uso de bajas temperaturas por tiempos prolongados se ve limitado por la marcada pérdida de peso y firmeza y la expresión de daños fisiológicos, como decoloración de la pulpa, manchas en la piel del fruto, entre otros desórdenes que afectan la calidad del producto (Quezada, 2005).

Por ello, en la actualidad se hace uso de la atmósfera controlada, una técnica de conservación en la que se modifica la composición gaseosa de la atmósfera, regulando también la temperatura, humedad y circulación del aire. La composición del aire se ajusta de forma precisa de acuerdo a los requerimientos del producto, manteniéndose constante en el tiempo. Es una técnica asociada al frío, que acentúa el efecto de la refrigeración sobre la actividad de los tejidos, evitando problemas fisiológicos y las pérdidas por pudriciones (Gopala, 2015). La acción de la atmósfera sobre la respiración del fruto es mucho más importante que la acción de las bajas temperaturas.

La atmósfera controlada es empleada ya sea en cámaras de almacenamiento o en contenedores para el transporte de productos hortofrutícolas. Se conoce que incrementa el tiempo de vida poscosecha dos o tres veces más que otros métodos de conservación (APL, 2007). Dicho mecanismo permite conservar la calidad inicial de la palta, manteniendo la posibilidad de ser comercializada y consumida al transcurrir un periodo de tiempo desde su cosecha. Esta característica es de suma importancia cuando se desea exportar un producto a destinos lejanos en cantidades considerables.

Aunque actualmente se conoce la efectividad del uso de contenedores de atmósfera controlada para la exportación de la palta, es necesario realizar estudios para perfeccionar las concentraciones de gases que permitan mantener los principales parámetros de calidad que determinan la aceptación de la fruta exportada.

El presente estudio tuvo el objetivo general de probar el efecto de diferentes concentraciones de gases (O_2/CO_2) en la calidad de frutos de palta 'Hass' utilizando atmósferas controladas bajo distintos periodos de almacenamiento en frío. Como objetivos específicos se evaluó la pérdida de peso y firmeza en los frutos, se identificaron posibles daños fisiológicos internos y externos y se determinó la posible presencia de daños causados por hongos.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El palto

2.1.1 Origen

Se cree que el palto (*Persea americana*) evolucionó principalmente en latitudes tropicales (23.5°N a 23.5°S) y por lo tanto a menudo se clasifica como una especie “tropical”. Sin embargo, su tropicalidad es más que todo geográfica. Desde el punto de vista hortícola y climático, solo la raza antillana tuvo una adaptación tropical, debido a que evolucionó a baja altitud en las zonas costeras occidentales de América Central. Por lo tanto, esta raza de palta es de “tierra baja tropical” en adaptación y se cultiva ampliamente en los trópicos y semitrópicos cálidos y húmedos. Por otro lado, las razas guatemalteca y mexicana evolucionaron en bosques nubosos montanos de tierras altas. La raza guatemalteca es enteramente tropical altiplánica, geográfica y climáticamente. Mientras que la raza mexicana es tanto del altiplano tropical, como del límite de la “subtropical fría” en cuanto a adaptación (Schaffer et al., 2012).

Yahia (2011) indica que la palta tiene su origen en América Central y el sur de México. Basado en evidencia arqueológica hallada en Tehuacán, México, se cree que apareció hace aproximadamente doce mil años. Árboles primitivos de esta especie fueron encontrados en la “Sierra Madre Oriental” desde México hasta Costa Rica. Desde esta región, la palta se dispersó hacia el sudeste de Estados Unidos, las Indias Occidentales y América del sur, a países como Colombia, Venezuela, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile.

2.1.2 Taxonomía

El palto es una planta perenne dicotiledónea del orden Ranales, familia Lauraceae y es una de las pocas especies comercialmente significativas dentro del género *Persea* (Yahia & Woolf, 2011). Se diferencian variedades provenientes de tres razas ecológicas: *drymifolia*, *guatemaltensis* y *americana*, también conocidas como mexicana, guatemalteca y antillana, respectivamente. La variedad Hass destaca dentro de la raza guatemalteca y posee de 10 a 15% de raza mexicana, logrado a través de mutación espontánea (Saavedra et al., 2012).

2.1.3 Cultivar Hass

La palta Hass se originó de una plántula casual de origen desconocido. Seleccionada en California, E.E.U.U. por Rudolph Hass en la década de 1920 por su mejor calidad de pulpa, mayor rendimiento y madurez más tardía que 'Fuerte'. Fue desarrollado comercialmente en Estados Unidos y difundida a Israel, Islas Canarias, sur de España, México y Sudamérica (Alfonso, 2008).

Es un árbol de tamaño mediano a grande, con hábito de crecimiento semierguido, casi tan ancho como alto con copa redondeada; y floración del grupo A. El fruto puede ser oval o periforme, con cáscara gruesa que lo hace resistente a la manipulación y transporte. El color de la piel es verde y se torna morado intenso al madurar. La pulpa es de excelente calidad, no posee fibrosidad vascular y la semilla es esférica adherida al mesocarpio (Schaffer et al., 2012).

Las características poscosecha que contribuyen a la popularidad de 'Hass' son su excelente capacidad de almacenamiento y transporte en comparación con la mayoría de los otros cultivares (debido en parte a las concentraciones relativamente altas de calcio en la fruta) y el cambio en el color de la cáscara de verde a negro que enmascara imperfecciones menores de la corteza (Schaffer et al., 2012).

2.2 Fisiología poscosecha

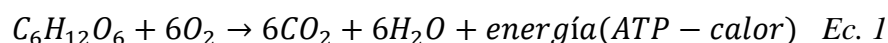
A diferencia de la mayoría de frutos, la palta normalmente no alcanza la madurez de consumo en la planta, sino hasta después de la cosecha. Esto significa que el fruto puede permanecer en la planta por meses después de haber alcanzado la madurez fisiológica. Sin embargo, mientras más tiempo perdure en el árbol, su maduración será más rápida una vez cosechado (Yahia & Woolf, 2011). La palta es un fruto climatérico con un marcado incremento en su tasa respiratoria y producción de etileno al inicio de la maduración, seguido de una disminución al alcanzar la crisis climatérica.

La palta madura mejor entre 15 y 20°C. A temperaturas menores a 15°C la maduración es lenta y a mayores de 25°C se incrementa el riesgo de pudriciones, maduración desuniforme de la pulpa y alteración en el sabor. Se menciona que la fruta madura mejor si primero es almacenada en refrigeración por una o dos semanas y luego madurada a 20°C. Asimismo, el

tiempo de maduración disminuye a mayor tiempo en almacenamiento refrigerado (Yahia & Woolf, 2011).

2.2.1 Respiración

La respiración aeróbica involucra la oxidación de sustratos orgánicos presentes en las células, tales como almidón, azúcares y ácidos orgánicos. Este proceso fisiológico da como resultado la producción de dióxido de carbono, agua y energía (Ec. 1), la cual es usada por la célula para sus reacciones de síntesis. El agua producida permanece dentro del tejido, pero el CO₂ sale y representa parte de la pérdida de peso de los frutos cosechados. Se estima que un 3% a 5% de pérdida de peso es debido a la respiración (Gopala, 2015).



La tasa respiratoria es usada como un indicador de la vida útil de almacenamiento de los productos hortícolas. Así, mientras mayor sea la tasa de respiración, será menor su vida útil y viceversa (Gopala, 2015). Se describe la tasa respiratoria como la cantidad de dióxido de carbono emitido o de oxígeno consumido por kilogramo de fruta y por hora (Ortolá, 2020).

No todos los productos frescos poseen la misma velocidad de respiración, esto va a depender de la temperatura, estado de desarrollo, tamaño del producto, composición atmosférica, presencia de etileno, daños mecánicos, genética, entre otros factores (Ortolá, 2020). La tasa respiratoria de la palta es relativamente alta comparada con otras frutas; según Kader y Arpaia (2001), varía de 20 a 50 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 5°C, 50 a 160 a 10°C y 80 a 300 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 20° C.

2.2.2 Etileno

El etileno es una hormona producida por la planta que juega un rol importante en el inicio de la maduración y es fisiológicamente activo a muy bajas concentraciones (menores a 0.1 ppm). La capacidad de producción de etileno varía ampliamente entre las frutas, donde aquellas que muestran moderada (1 – 10 μL kg⁻¹ h⁻¹ a 20°C) a muy alta (>100 μL kg⁻¹ h⁻¹ a 20°C) tasa de producción son clasificadas como frutas climatéricas (Gopala, 2015). En la palta, las tasas de producción de etileno son bajas para frutos inmaduros, con valores menores a 0.1 μL kg⁻¹ h⁻¹ a 20°C, aumentando rápidamente después de la cosecha hasta más de 100 μL kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C cuando alcanza la madurez de consumo (Yahia & Woolf, 2011).

Los frutos se pueden dividir en climatéricos y no climatéricos. En el primer grupo, la maduración está asociada a un claro incremento en la respiración y producción de etileno, aumentando la tasa de respiración hasta el pico climatérico y luego disminuyendo. Dicho aumento puede ocurrir mientras el fruto está adherido a la planta o separado de ella. El climaterio por lo general coincide con el cambio de color, ablandamiento, desarrollo del sabor, entre otras características propias de la maduración. Las frutas climatéricas típicas incluyen manzanas, peras, melocotones, plátanos, mangos, ciruelas, tomates y paltas. En frutos no climatéricos, la maduración es prolongada y, a diferencia de los frutos climatéricos, el logro del estado maduro no está asociado con un marcado aumento en la respiración o la producción de etileno. Frutas como los cítricos, las fresas y la piña son no climatéricas (Gopala, 2015).

2.2.3 Transpiración

La transpiración consiste básicamente en la pérdida de agua de las frutas. Después de la cosecha, la palta continúa perdiendo agua a través de la transpiración, que es uno de los principales procesos responsables del deterioro. La pérdida de humedad de una fruta o verdura se debe a una diferencia en la presión del vapor de agua entre la superficie del producto y el medio ambiente. Asimismo, el calor producido por la respiración incrementa la temperatura de los tejidos, elevando la presión de vapor en la superficie y aumentando la transpiración (Gopala, 2015).

Si no se maneja la transpiración, se induce al marchitamiento, encogimiento y pérdida de firmeza, seguido de la pérdida de apariencia, textura y sabor. Además, la transpiración conlleva al estrés hídrico, que ha demostrado acelerar la senescencia del fruto (Gopala, 2015). El estrés hídrico poscosecha desempeña un papel importante en el inicio de desórdenes fisiológicos en la palta (Bill et al., 2014).

La transpiración es influenciada por factores como la relación entre el área de superficie y volumen del producto, naturaleza del exocarpio, humedad relativa, temperatura, presión atmosférica, etc. Asimismo, los daños mecánicos y las lesiones físicas en forma de golpes, rayones, cortes superficiales, etc., aceleran en gran medida la tasa de pérdida de agua del tejido de frutas y verduras (Gopala, 2015).

2.3 Factores que influyen en el almacenamiento

2.3.1 Temperatura

La vida poscosecha de la palta se prolonga en el almacenamiento en frío manteniendo los parámetros generales de calidad, como la textura, el sabor y la composición nutricional, durante la cadena de suministro. Una temperatura baja tiene efecto directo en su tasa de respiración, que es un indicador de la tasa de perecibilidad (Bill et al., 2014).

La temperatura es el factor más importante en el almacenamiento y conservación de la calidad poscosecha de la palta (Gopala, 2015), debido a que afecta directamente la velocidad de reacción de los procesos biológicos. La tasa de maduración depende principalmente de la temperatura de almacenamiento, donde la respuesta del fruto varía de acuerdo a la raza, variedad, condiciones de cultivo, madurez de cosecha y etapa de maduración (Yahia & Woolf, 2011).

Se menciona que los cultivares de origen guatemalteco y mexicano generalmente son almacenados a temperaturas entre 4 y 8°C, mientras que los cultivares antillanos son más sensibles a las bajas temperaturas y son almacenados a temperaturas cercanas a 13°C. Los cultivares comerciales más importantes, tipo 'Hass' y 'Fuerte' se almacenan a temperaturas entre 5 y 7°C (Yahia & Woolf, 2011). El tiempo de almacenamiento de la palta es considerado corto a intermedio comparado con otros frutos, con una duración de dos a cuatro semanas para la mayoría de cultivares; para aquellos principalmente comercializados, se requiere lograr de tres a cuatro semanas de almacenamiento. Tiempos de almacenamientos más prolongados son más desafiantes debido a la expresión de trastornos fisiológicos y patológicos.

2.3.1.1 Daño por frío

El tiempo de almacenamiento de algunas frutas y hortalizas, principalmente de las de origen subtropical o tropical como la palta, puede ser limitado por el daño por frío. Se trata de desórdenes fisiológicos severos que se desarrollan debido a la exposición de la fruta a temperaturas bajas no congelantes (Gopala, 2015). Para la mayoría de los cultivares, la evidencia externa del daño por frío ocurre entre 0 y 4°C (Yahia & Woolf, 2011).

Dicho daño es inducido por bajas temperaturas, el tiempo de exposición a estas y la sensibilidad de la especie o cultivar (Gopala, 2015). Se menciona también que los síntomas

del daño por frío pueden no ser notorios durante el almacenamiento en refrigeración, pero son evidenciados cuando el producto es transferido a temperatura ambiente o de maduración.

Los síntomas del daño por frío incluyen principalmente decoloración difusa de la pulpa, oscurecimiento vascular, manchas oscuras en la piel, maduración desuniforme, alta susceptibilidad al ataque de microorganismos, y en periodos de almacenamiento muy prolongados, ennegrecimiento de la pulpa exterior, haces vasculares fibrosos y derrame vascular (Woolf et al., 2004).

2.3.2 Humedad

Por lo general, la humedad es expresada en porcentaje como humedad relativa. La humedad de almacenamiento afecta principalmente a la tasa de pérdida de agua de frutas y verduras, donde la desecación por encima de cierto nivel puede hacer que sean inaceptables para el mercado. La baja humedad en la atmósfera de almacenamiento puede provocar el inicio de la maduración y, por tanto, una vida útil reducida, así como una mayor pérdida de agua. Se menciona también que mantener una alta humedad alrededor de la fruta puede ayudar a mantenerla en la etapa preclimática (Thompson, 2016). Gopala (2015) indica que, para minimizar la transpiración, los productos deben ser almacenados a baja temperatura y alta humedad relativa.

Como regla general, el marchitamiento debido a la desecación no llega a ser un grave problema de mercado hasta que las frutas pierden alrededor de 5% de su masa inicial. Las pérdidas de humedad del 3 al 6% son suficientes para provocar una marcada pérdida de calidad en muchos tipos de productos (Gopala, 2015).

2.3.3 Composición gaseosa (O₂ – CO₂)

Las frutas y verduras, como la mayoría de los demás organismos, producen la energía necesaria para mantener su metabolismo a través de la respiración aeróbica. Por ello, una menor disponibilidad de O₂ puede reducir la tasa de respiración y así prolongar su vida poscosecha (Thompson, 2016). Reducir la concentración de oxígeno y/o incrementar la concentración de dióxido de carbono en el entorno de la fruta disminuye la tasa de respiración y la producción y acción del etileno. Esto conlleva al retardo de la maduración y disminución del daño por frío (Thompson, 2010).

Al disminuir la concentración de oxígeno se conserva en mayor medida la firmeza y textura de la palta. Asimismo, bajas concentraciones de O₂ conducen a una reducción en la velocidad de reacción de diversos procesos fisiológicos, tales como el metabolismo del etileno y la actividad enzimática relacionada con el ablandamiento celular. Sin embargo, se reportan también efectos adversos como deterioro en el sabor y aroma. De no haber suficiente cantidad de oxígeno, se produciría la respiración anaerobia, llamada también fermentación, que resulta en la producción de etanol y acetaldehídos, mal sabor del fruto y desórdenes fisiológicos (Bender et al., 2000). Al 1% de O₂, el sabor alcohólico se puede detectar en manzanas, plátanos, paltas, alcachofas y pimientos. En general, se recomienda no utilizar concentraciones inferiores al 2% (Gopala, 2015).

El oxígeno es necesario para la síntesis de etileno y por lo tanto para el proceso de maduración, sin embargo, es importante también considerar la temperatura. La producción de etileno se reduce por niveles bajos de O₂, niveles altos de CO₂ o ambos, y los efectos son aditivos. El etileno no es activo a temperaturas cercanas al congelamiento, pero tampoco puede inducir la maduración a 21.1°C cuando el nivel de oxígeno es 1% o menor. Mientras que la alta concentración de CO₂ provoca inhibición del efecto estimulante del etileno en la maduración. Una concentración del 10% de CO₂ contrarresta el efecto de 100 ppm de etileno. Parece que el CO₂ compite con el etileno en la ubicación específica del sitio del receptor. También es posible que el CO₂ inhiba la formación de C₂H₄ (Gopala, 2015).

2.3.4 Etileno

Las plantas producen etileno normalmente en concentraciones muy bajas. Sin embargo, en los frutos climatéricos, la biosíntesis de grandes cantidades de etileno da inicio a la maduración (Thompson, 2016).

El etileno puede reducir en gran medida la vida útil de almacenamiento de productos perecibles sensibles a él. El tratamiento con etileno a frutos climatéricos estimula que estos alcancen más rápido el pico o crisis climatérica al incrementar su tasa respiratoria y producción autocatalítica de etileno, acelerando su maduración. La magnitud de la máxima actividad respiratoria de un fruto climatérico está determinada por la producción endógena de etileno y no está influenciada por la aplicación externa de este gas. La aplicación de etileno en frutos no climatéricos estimula únicamente la respiración; no hay aumento en la producción de etileno autocatalítico. Cuando un fruto no climatérico es expuesto al etileno,

se induce un aumento de la respiración proporcional a la concentración de etileno aplicada. Las tasas de respiración vuelven a su nivel previo al tratamiento cuando se elimina el etileno (Gopala, 2015).

La exposición a pequeñas dosis de etileno durante el almacenamiento refrigerado acelera el ablandamiento, deterioro del fruto y contribuye en la expresión del daño por frío (Gopala, 2015). Bill et al. (2014) mencionan que la producción de etileno durante la maduración de la palta aumenta la actividad de la polifenol oxidasa (PPO), enzima responsable de la decoloración difusa de la pulpa. Asimismo, la actividad de la PPO tiene lugar en presencia de oxígeno

Si bien el descenso de los niveles de O_2 disminuye la generación de etileno, para asegurar el retardo de la maduración se utilizan mecanismos para sustraer el etileno del ambiente en las cámaras de almacenamiento. El etileno puede ser removido por mecanismos oxidativos como los oxidantes catalíticos de permanganato de potasio o mediante sistemas basados en ozono (Reid, 2002).

2.4 Tecnologías de conservación

2.4.1 Atmósfera modificada (AM)

La atmósfera modificada tiene como principio restringir el intercambio gaseoso a través de una barrera entre el interior de un empaque y el ambiente. Dicho intercambio depende de la respiración del fruto almacenado y de la permeabilidad de la barrera. Junto con el uso de bajas temperaturas de almacenamiento, su finalidad es controlar la concentración de O_2 y CO_2 dentro del empaque. Los envases y películas plásticas pueden ser de diferentes polímeros (perforados o no perforados) que actúan como una barrera para dicho intercambio gaseoso. Los dos factores fundamentales son la elección correcta del tipo de empaque y el peso del producto dentro de él (Rai et al., 2011).

Por su parte, Bill et al. (2014) indican que, en el envasado en atmósfera modificada, la composición atmosférica (principalmente O_2 , CO_2 y humedad) alrededor de la fruta es modificada o alterada al almacenarla en películas plásticas, a veces con microperforaciones o agregando productos químicos dentro de las bolsas para controlar el etileno, CO_2 , y vapor de agua. Aunque se puede modificar la atmósfera al inicio del almacenamiento inyectando

O₂ y/o CO₂ en concentraciones predeterminadas, este ambiente establecido estará sujeto a cambios por la actividad respiratoria del producto, el tipo de envase y su permeabilidad.

En la AM, la modificación de la atmósfera se lleva de manera pasiva por efecto de la respiración y la permeabilidad de la película. Es decir, cuando la fruta es envasada, se dan dos procesos simultáneos, la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica. El equilibrio gaseoso se logra al transcurrir determinado tiempo después del establecimiento de la AM, cuando la intensidad de transmisión a través del envase es equivalente a la intensidad de respiración del producto almacenado (Ospina & Cartagena, 2008).

Debido a que la concentración de O₂ en el envasado en AM disminuye, existe el riesgo de que se alcancen concentraciones perjudiciales de CO₂ para el producto almacenado. Este hecho se produce debido a que existe una relación 1:1 entre el O₂ consumido y el CO₂ producido durante la respiración. Por lo tanto, una película ideal debería permitir la permeabilidad del CO₂ de 3 a 5 veces superior a la permeabilidad del O₂. Varios polímeros utilizados en la formulación de materiales plásticos cumplen dicho criterio, donde el polietileno de baja densidad y el cloruro de vinilo son los principales plásticos empleados en el envasado de frutas y verduras (Ospina & Cartagena, 2008).

Se debe tener en cuenta que, si se usa un empaque con baja tasa de transmisión de oxígeno para almacenar productos con alta tasa respiratoria, puede resultar en una reducción del nivel interno de oxígeno, generando respiración anaerobia, pérdida de calidad y riesgo de contaminación por patógenos anaeróbicos (Chinsirikul et al., 2014).

Es importante mantener la cadena de frío ya que las temperaturas más altas aumentarán la respiración y darán como resultado concentraciones de gas perjudiciales dentro de la bolsa de atmósfera modificada. El potencial del uso de esta tecnología para alargar la vida poscosecha de la palta ha sido demostrado en condiciones controladas de laboratorio. Sin embargo, su aplicación comercial de forma extensiva es actualmente limitada (Schaffer et al., 2012).

Los recubrimientos comestibles actúan como una película semipermeable creando una atmósfera modificada en la superficie del producto. De esta forma disminuye la tasa respiratoria y la deshidratación y por lo tanto retrasa la maduración y senescencia del fruto.

Su éxito depende de la composición y de la correcta aplicación en los productos (Aday & Caner, 2010).

2.4.2 Atmósfera controlada (AC)

El mecanismo de atmósfera controlada (AC) puede ser utilizado para diversos tipos de frutas y hortalizas e, históricamente, ha sido el principal método de almacenamiento de la manzana (Dellino, 1997). Los primeros estudios sobre la conservación de frutas en medio gaseoso se llevaron a cabo en una atmósfera compuesta por más CO₂ y menos O₂ de lo que normalmente está presente en el aire. El dióxido de carbono jugó un papel dominante, por lo que el método también se denomina "método de conservación del dióxido de carbono (Gopala, 2015).

El primer estudio científico documentado sobre la conservación en atmósfera controlada fue realizado por Berard en 1821, quien demostró que la fruta almacenada en atmósferas sin oxígeno no maduraba, pero si posteriormente era colocada en aire convencional, esta continuaba madurando. Alrededor de 1850 y 1860, una empresa estadounidense experimentó modificando el CO₂ y O₂ en una tienda de manzanas haciéndola hermética, donde afirmó que estas se mantuvieron en buenas condiciones durante 11 meses, con algunos daños fisiológicos probablemente debido a la toxicidad por CO₂. A partir de los primeros acontecimientos en torno al desarrollo de la AC, Kidd y West pueden describirse como los fundadores del almacenamiento en atmósfera controlada moderno. En 1918, el Dr. Kidd estudió la influencia del O₂, CO₂ y vapor de agua sobre la fisiología de algunos productos hortícolas y frutícolas. En 1929, un productor construyó un almacén comercial de atmósfera controlada para manzanas cerca de Canterbury, Kent. El almacenamiento en atmósfera controlada se ha seguido utilizando en una escala cada vez mayor, con una variedad cada vez mayor de frutas y verduras y con un número cada vez mayor de países desde entonces (Thompson, 2016).

Diversas investigaciones se han llevado a cabo en torno al uso de atmósfera controlada en palta. Gómez (2000), Mondaca (2003) y Quezada (2005) estudiaron el comportamiento de frutos de palta var. Hass almacenados bajo diferentes concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono. Camponovo (1996) realizó una investigación similar para la var. Gwen. Bill et al. (2014) explican los efectos de la AC en la gestión de la calidad de la palta durante la cadena de suministro poscosecha.

El almacenamiento en atmósfera controlada es la innovación más importante en la preservación de frutas y hortalizas desde la introducción de la refrigeración mecánica. La AC no se refiere a la sustitución del almacenamiento en refrigeración, sino que busca ser su complemento, ya que solo obtendrá resultados favorables si es realizado a una temperatura específica. La AC combinada con la refrigeración principalmente retrasa la actividad respiratoria y puede disminuir el ablandamiento de los tejidos, amarillamiento, y otros procesos deteriorativos al mantener una atmósfera con mayor concentración de CO₂ y menor de O₂ que el aire normal (Gopala, 2015).

La atmósfera controlada se puede definir como un sistema donde la composición gaseosa deseada, principalmente de reducción de O₂ y/o incremento de CO₂, puede ser regulada y mantenida de forma constante durante la duración del periodo de almacenamiento y transporte. El mecanismo de AC se utiliza principalmente para el almacenamiento a largo plazo de frutas como manzanas, pero también se utiliza cada vez más en el transporte de frutas por mar (Bill et al., 2014).

La temperatura ideal y el nivel de oxígeno y dióxido de carbono requerido para maximizar el tiempo de almacenamiento y minimizar la ocurrencia de daños y deterioro de la calidad es extremadamente variable. Depende del producto, cultivar, condiciones de cultivo, madurez de cosecha, entre otros factores (Dellino, 1997). Se menciona que la AC óptima para la palta es con 2-5% de O₂ y 3-10% de CO₂, consiguiendo retardar el ablandamiento y el virado de color de la piel, al disminuir las tasas de respiración y de producción de etileno (Kader & Arpaia, 2001). En palta, la atmósfera controlada puede extender el tiempo de almacenamiento y reducir el daño por frío (Schaffer et al., 2012). Se debe tener en cuenta que el mecanismo de atmósfera controlada debe cumplir el rol de retrasar la maduración del producto almacenado sin afectar su calidad interna o externa (Gopala, 2015).

Kyzlink (1990) menciona que al disminuir la concentración de oxígeno en el ambiente se generan condiciones adversas para la reproducción de la mayoría de microorganismos deteriorativos, lo que permite prolongar la vida de anaquel del producto. Además, se suponía que la mejor conservación de la fruta bajo mayores concentraciones de dióxido de carbono se debía a la supresión de la actividad vital de los microorganismos fitopatógenos. Sin embargo, Gopala (2015) sugiere que en una atmósfera controlada la menor infestación de los frutos no se debe a la supresión del metabolismo de los microorganismos, sino al mejor mantenimiento de la resistencia natural de los frutos. Debido a que el carácter antiséptico del

CO₂ se manifiesta a concentraciones muy altas (40% a más), que los propios frutos no pueden soportar. Esta resistencia se atribuye principalmente a la ralentización de los procesos de maduración y caducidad de las células.

La tecnología de almacenamiento en AC maneja activamente las concentraciones de O₂ y CO₂ al monitorear estos gases e inyectar N₂ o purgar el aire en el ambiente según sea necesario (Thompson, 2016). Los contenedores de envío en AC llevan el control de la temperatura, humedad relativa, concentración de oxígeno y dióxido de carbono, y eliminación de etileno como opción adicional (Gasser et al., 2008). El etileno puede ser removido por mecanismos oxidativos como los oxidantes catalíticos de permanganato de potasio o mediante sistemas basados en ozono (Reid, 2002). Para lograr el almacenamiento en atmósfera controlada, primero se reduce la temperatura del producto a su punto mínimo óptimo donde no se produzcan daños fisiológicos. Luego se altera la atmósfera del espacio de almacenamiento al reducir la concentración de oxígeno e incrementar la concentración de dióxido de carbono; asimismo, se debe manejar la humedad para evitar daños por desecación (Dellino, 1997).

Para el diseño de una cámara de atmósfera controlada (CAC) se debe tener en consideración diversos factores como: finalidad de uso, dimensiones, localización, cálculo de carga de calor, cálculo de mezcla de gases, etc. Una CAC puede servir como almacén por un tiempo prolongado, como bodega temporal, como centro de acopio diario o como contenedor para las exportaciones. Está compuesto por partes que permiten su hermeticidad, donde el material más utilizado es el poliuretano, aunque se debe asegurar la circulación interna de aire. Asimismo, la temperatura óptima de almacenamiento debe ser constante, para lo cual se deberá calcular la capacidad de refrigeración bajo las condiciones de carga más exigentes bajo las que trabajará la CAC (Montoya, 2007).

El almacenamiento en atmósfera controlada estándar utiliza concentraciones constantes de CO₂ y O₂ (Gasser et al., 2008). Mientras que la atmósfera controlada dinámica reduce las concentraciones de O₂ de la atmósfera de almacenamiento hasta el nivel mínimo tolerado por la fruta, llegando al conocido *punto de compensación anaeróbica* (Gasser et al., 2008). Al monitorear el estrés de la fruta, se puede mantener una concentración de O₂ más baja, lo que resulta en reducciones en el ablandamiento y enfermedades en la fruta madura. Al alcanzar una concentración de oxígeno de alrededor del 2% y estresar repetidamente la fruta

durante períodos muy cortos durante el almacenamiento se conduce a una mejor calidad de la fruta sin necesidad de altas concentraciones de dióxido de carbono (Burdon et al., 2008).

2.5 Calidad poscosecha

Las principales causas de pérdida de calidad poscosecha a lo largo de la cadena de comercialización es debido a daños mecánicos que ocurren durante la precosecha y cosecha, al manejo en campo o transporte, así como la fruta sobremadura, fruta desecada, enfermedades poscosecha (antracnosis y pudrición del pedúnculo) y daños por frío (como resultado de temperaturas de almacenamiento inadecuadas), daños por plagas y desórdenes fisiológicos. Estos factores afectan la apariencia, textura, sabor y valor nutricional de la fruta (Bill et al., 2014).

2.5.1 Manchas en la piel

Las manchas en la piel del fruto pueden ser ocasionadas por más de un factor. En primer lugar, debido a daño mecánico por rozamiento durante la cosecha y ‘packing’, resultando en pequeñas manchas oscuras de menos de 3 mm de diámetro con márgenes discretos y bien definidos (White et al., 2009). Este defecto también es llamado daño de nódulos o de lenticelas y por lo general se evidencia un par de días después de la cosecha o empaquetado. En el cultivar ‘Hass’ a menudo está localizado en la punta de los nódulos (protuberancias) y el daño se vuelve menos evidente a medida que el fruto madura (Schaffer et al., 2012).

Las manchas en la cáscara del fruto también pueden ocasionarse debido al daño por frío. Schaffer et al. (2012) mencionan que el daño por frío se produce a causa de la exposición a temperaturas menores a 3-4°C por más de 10 días de almacenamiento. El límite de temperatura que ocasiona el daño va a depender de las condiciones de cultivo, especialmente de la zona de producción (White et al., 2009). En la palta Hass se expresa como manchas oscuras irregulares que tienden a estar en las depresiones alrededor de los nódulos verdes y sanos. Estas manchas pueden ser áreas grandes o pequeñas aisladas de diámetro mayor a 3 mm. Al término del almacenamiento en refrigeración los bordes de las manchas no son marcados, sin embargo, al cabo de unos días se acentúan. Estos síntomas se limitan a la cáscara y no penetran la pulpa, lo que los diferencia de daños causados por pudriciones (White et al., 2009).

2.5.2 Pulpa gris

También llamado decoloración difusa de la pulpa o pardeamiento interno. Este desorden fisiológico puede deberse a diversas causas, muchas veces relacionadas al almacenamiento en refrigeración o a la exposición a muy bajas temperaturas después de la cosecha (White et al., 2009). En la mayoría de los casos presentando oscurecimiento de la pulpa del fruto, parcialmente catalizado por la enzima polifenol oxidasa (PPO) (Schaffer et al., 2012). Bill et al. (2014) indican que, durante el proceso de pardeamiento, la oxidación enzimática de compuestos fenólicos a melanina, mediada por la PPO, es responsable de la decoloración difusa de la pulpa.

Se manifiesta como una decoloración grisácea de la pulpa del fruto, particularmente en la base alrededor de la semilla, el cual puede estar asociado al oscurecimiento vascular (Yahia & Woolf, 2011). La susceptibilidad del fruto va a depender del cultivar, madurez de cosecha, etapa de maduración, temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento, así como de la temperatura de maduración (Schaffer et al., 2012). La pulpa gris aparece como una decoloración con márgenes poco definidos y por lo general está asociado a prolongados tiempos de almacenamiento a bajas temperaturas, pero mayores a 4-6°C (Van Rooyen & Bower, 2006).

En general, la incidencia de pulpa gris es más común a temperaturas de almacenamiento relativamente mayores, sobre 5°C (Van Rooyen & Bezuidenhout, 2010), mientras que las manchas en la piel son ocasionadas por temperaturas menores, entre 0 y 2°C (Vuthapanich, 2001). Sin embargo, en algunas ocasiones, dichas manchas ocurren tras un largo periodo de almacenamiento a 5-6°C en el cultivar 'Hass' (Schaffer et al., 2012).

Otras causas para la decoloración de la pulpa son el daño mecánico y la incidencia de enfermedades como pudrición de pedúnculo y antracnosis. El daño físico a fruta inmadura puede causar grietas en la pulpa y un ligero oscurecimiento del área afectada, aunque estos síntomas son poco comunes. A medida que la fruta madura, el oscurecimiento de la pulpa por daño mecánico ocurre con mayor facilidad y por lo general está asociado con cavidades en la pulpa (Schaffer et al., 2012).

2.5.3 Moho peduncular

El moho peduncular es causado por hongos saprófitos que crecen sobre el pedúnculo del fruto durante el almacenamiento y transporte frigorífico de la palta. Se expresa como micelio blanquecino y esponjoso, de tal manera que afecta la calidad del producto en su llegada a destino (Grisales et al., 2019). Sin embargo, de esta patología en el exterior del fruto no se dispone de mucha información.

2.5.4 Enfermedades poscosecha

La vida poscosecha de la palta se ve afectada por hongos patógenos, siendo una limitación importante para el éxito de su almacenamiento y transporte. Donde la antracnosis y la pudrición del pedúnculo son dos enfermedades poscosecha importantes que causan graves pérdidas durante las exportaciones (Bill et al., 2014).

La pudrición peduncular empieza en el pedúnculo desde donde progresa hacia todo el fruto. Para la mayoría de los tipos de pudrición peduncular, la sintomatología externa aparece como una pudrición de color marrón oscuro a negro con márgenes bien definidos. A veces se observa crecimiento micelial en la superficie de las lesiones, particularmente durante etapas avanzadas del desarrollo de los síntomas y en condiciones de almacenamiento húmedo (Schaffer et al., 2012).

A excepción de la pudrición peduncular causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, los haces vasculares se decoloran, generalmente antes de que aparezcan los síntomas de descomposición de la pulpa. La producción de masas de esporas de color salmón en la superficie de las lesiones es característica de la pudrición de pedúnculo causada por *C. gloeosporioides* (Schaffer et al., 2012). Anamorfos de *Botryosphaeria* spp. son importantes agentes causales de la pudrición del pedúnculo de la palta en todo el mundo. *B. rhodina* (anamorfo: *Lasiodiplodia theobromae*) es un agente causal común, mientras que otras especies tienen distribuciones más o menos restringidas (Menge & Ploetz, 2003).

La antracnosis es la enfermedad poscosecha más grave de la palta en regiones productoras de altas precipitaciones, principalmente causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. En la fruta, los síntomas generalmente se desarrollan después de la cosecha y durante la maduración. Los síntomas que se desarrollan durante la maduración aparecen inicialmente como pequeñas lesiones circulares de color marrón claro. A medida que las lesiones

aumentan, se vuelven ligeramente hundidas en el centro y adquieren un color marrón oscuro o negro. En condiciones de humedad, se pueden producir masas de esporas de color salmón en el centro de las lesiones. Los síntomas externos son difíciles de distinguir en la fruta madura de la palta Hass debido al color oscuro de la piel (Schaffer et al., 2012).

2.5.5 Madurez de cosecha

Es importante determinar el momento de cosecha adecuado en el palto. Fruta cosechada antes de la madurez fisiológica conlleva a una maduración deficiente, a menudo asociado con arrugamiento, textura gomosa, fibrosidad vascular, pulpa acuosa y mayor incidencia de pudriciones (Pak et al., 2003). Fruta cosechada en la madurez fisiológica puede no ser comercialmente aceptable debido al bajo contenido de aceite, falta de sabor, maduración desuniforme del fruto y maduración altamente variable entre frutos de un mismo lote. Mientras que la fruta cosechada sobremadura suele presentar sabores desfavorables, mayores pudriciones y menor potencial de almacenamiento.

Al momento de la cosecha, la palta debe contar con las condiciones mínimas de madurez fisiológica que garantice un futuro estado óptimo de consumo (Instituto Nacional de Calidad, 2019). El mejor indicador de la calidad organoléptica de la palta es el contenido de aceite, el cual incrementa a medida que el fruto se desarrolla en la planta. Sin embargo, la forma más práctica de determinar el momento de cosecha en este cultivo es a través de la materia seca, medida por secado a peso constante. En la actualidad, la materia seca es el principal criterio de cosecha de la palta, utilizándose como índice de madurez (Schaffer et al., 2012). El porcentaje de materia seca está estrechamente relacionado con el contenido de aceite y por lo tanto con la calidad del fruto.

El mínimo porcentaje de materia seca requerido para la comercialización de la palta varía de 17 a 25% dependiendo del cultivar y del país (Yahia & Woolf, 2011). En el Perú, el porcentaje de materia seca mínimo para la cosecha y exportación de la palta Hass es de 21.5% (Inacal, 2019). En su estudio, Gamble et al. (2010) indicaron que, a mayor porcentaje de materia seca, existe mayor aceptación de consumo e intención de compra, debido a la mayor calidad sensorial del fruto. Es comercialmente importante identificar la madurez mínima que garantice una experiencia de consumo aceptable y mínimos trastornos de la fruta, al tiempo que permita una cosecha temprana para aprovechar los precios más altos de principios de temporada (Schaffer et al., 2012).

2.6 Producción peruana

En el año 2022 el Perú se consolidó como el tercer mayor productor de palta en el mundo, superado solo por México y Colombia. En los últimos años la producción de palta y el área cosechada ha aumentado de forma significativa. Del 2018 al 2022 la producción total ascendió de 505 mil a 866 mil toneladas, lo que representa un 60% de crecimiento. Mientras que el área cosechada incrementó de 41 mil a 70 mil hectáreas en el mismo periodo de tiempo (FAOSTAT, 2023). En el Perú, la palta se cultiva en todos los departamentos en mayor o menor proporción, concentrándose en las zonas costeras. Las mayores producciones se encuentran principalmente en la región La Libertad, seguido por Lima, Ica, Lambayeque y Junín. Por lo general, la producción de palta en La Libertad representa entre el 30 a 40% de la producción nacional (SIEA, 2022).

2.7 Exportación

En los últimos años Perú se ha convertido en el segundo mayor exportador de palta en el mundo con alrededor de 583 mil toneladas de palta exportada para el año 2022 (FAOSTAT, 2023). En el 2022, el 78% de las exportaciones de palta peruana se concentró en Holanda, Estados Unidos, España y Chile, con un total de 34 mercados de exportación. La palta ha incrementado su demanda alcanzando los 1.088 millones de dólares en exportaciones en el 2021, significando un crecimiento del 39% en comparación con el 2020 (SIEA, 2022).

III METODOLOGÍA

3.1 Ubicación

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Productos Hortícolas de la Universidad Nacional Agraria La Molina ubicada en el distrito de La Molina, provincia de Lima, departamento de Lima. A una altitud de 241 m.s.n.m., latitud 12° 04' 58.47'' S y longitud 76° 56' 52.01'' O.

3.2 Materiales y equipos

3.2.1 Material vegetal

Se utilizaron frutos de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass CAT 1.

Calibre: 16

Materia seca: 23.5%

Procedencia: distrito Virú, provincia Virú, región La Libertad.

3.2.2 Materiales de laboratorio

- Texturómetro Agrost Belle
- Balanza analítica digital
- Escalas de evaluación de calidad

3.3 Tratamientos

El factor estudiado fue la concentración de gases de atmósfera controlada (O₂/CO₂). Se emplearon cuatro niveles de concentración de oxígeno y dióxido de carbono, y un nivel control sin atmósfera controlada (Tabla 1).

Tabla 1: Tratamientos evaluados

N°	Código	Concentración de gases (%)	
		O ₂	CO ₂
1	Control	21	0.04
2	AC 3/3	3	3
3	AC 5/5	5	5
4	AC 10/10	10	10
5	AC 17/10	17	10

3.4 Condiciones de almacenaje

La fruta se dispuso dentro de cajas de cartón con capacidad para 4kg, donde cada una contenía 15 frutos. Se emplearon contenedores herméticos de polietileno de 360 L de capacidad, donde cada contenedor se utilizó para una concentración diferente de gases. Estos contenedores se encontraban situados dentro de una cámara de refrigeración. Los cinco tratamientos se mantuvieron a $6^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ de temperatura y 90% aprox. de humedad relativa.

La investigación se dividió en tres ensayos, los cuales consistieron en el almacenamiento de los frutos durante tres periodos diferentes. De este modo, la fruta se mantuvo por 30, 45 y 60 días bajo los tratamientos de atmósfera controlada mencionados. Posterior a este tiempo, cada ensayo tuvo un periodo adicional de comercialización simulada en atmósfera convencional a 20°C , la cual finalizó cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo.

3.5 Diseño experimental

Para la instalación del proyecto se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 5 tratamientos, siendo estos las diferentes combinaciones de gases. Para cada tratamiento se consideraron 6 repeticiones, haciendo un total de 30 unidades experimentales, donde cada unidad experimental constó de 5 frutos. El diseño experimental se repitió para cada uno de los ensayos mencionados anteriormente.

3.6 Análisis estadístico

Las variables paramétricas fueron sometidas al análisis de varianza ANOVA, para luego realizar la prueba de comparación de medias de Tukey a un nivel de significación del 5%. En el caso de las variables no paramétricas se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis y al

presentar diferencias se realizó la prueba de comparación múltiple de Dunn al 5 % ($p \leq 0,05$). El análisis estadístico se realizó de forma independiente para cada uno de los tiempos de almacenamiento.

3.7 Evaluaciones

El efecto de los tratamientos se evaluó en diversas variables respuesta. Las evaluaciones se realizaron en tres momentos: antes del almacenamiento, al culminar su periodo de almacenamiento (30, 45 o 60 días) y cuando los frutos alcanzaron la madurez de consumo.

3.7.1 Evaluación previa al almacenamiento

Se evaluaron la firmeza y peso para posteriormente poder hallar el porcentaje de pérdida de estos.

- a) Firmeza: Esta medición se realizó utilizando el texturómetro Agrost Belle de 10 mm de émbolo para mediciones no destructivas. Se tomaron 2 lecturas, en caras opuestas del fruto, para obtener un valor promedio. Los datos se expresaron en gf.
- b) Peso: Se registró el peso exacto de los frutos con una balanza digital.

3.7.2 Evaluación a salida de frío

Se realizó cuando la fruta fue retirada de las condiciones de refrigeración y atmósfera controlada. Se evaluaron las siguientes variables:

- a) Color externo: Se evaluó en base a una escala hedónica con valores de 1 al 6, como se observa en el anexo 4.
- b) Firmeza: La evaluación se realizó con el Texturómetro Agrost Belle de 10 mm de émbolo. La medición fue no destructiva y se tomaron dos lecturas, en ambas caras del fruto.
- c) Peso: Se tomó el dato del peso de los frutos con ayuda de la balanza analítica digital, para poder determinar el porcentaje de pérdida de peso a salida de frío.
- d) Mancha negra: Se evaluó de manera subjetiva por inspección visual usando una escala hedónica con valores del 0 al 10, que representa el área con daño respecto al área total de la epidermis del fruto. Interpretándose el valor 0 como “sin daño” y el valor 10, “daño muy severo”, como se observa en el anexo 1.

- e) Moho peduncular: Se evaluó el moho peduncular según su severidad (anexo 3) con valores del 0 (sin daño aparente) al 5 (daño muy severo). De tal forma, se consideró que existía *incidencia comercial* en los frutos cuya severidad fue mayor a 2. La incidencia comercial se expresó en porcentaje.

3.7.3 Evaluación al término del periodo de maduración

Una vez culminado el periodo de almacenamiento en AC, la fruta fue retirada de las condiciones de refrigeración y puesta a temperatura constante de 20°C hasta alcanzar la madurez de consumo, donde se realizaron las siguientes evaluaciones de calidad.

- a) Color externo: Se evaluó en base a una escala hedónica con valores de 1 al 6, como se observa en el anexo 4.
- b) Peso: Se registró el peso de los frutos con la balanza analítica digital. Los resultados se expresaron en porcentaje.
- c) Días para maduración: Se registró el tiempo, desde salida de frío, que toman los frutos para alcanzar la madurez de consumo, la cual fue definida en forma individual por firmeza al tacto.
- d) Pulpa gris: Se realizó la evaluación según escala hedónica con valores del 0 al 100 (anexo 2). Este daño comienza su expresión en la pulpa desde la zona inferior de la semilla y dependiendo de la severidad, puede abarcar todo el fruto.
- e) Enfermedades poscosecha: Se evaluó la incidencia de pudrición peduncular y antracnosis en los frutos. La incidencia se expresó en porcentaje.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluaciones a salida de frío

4.1.1 Pérdida de peso

En la Fig. 1 se resumen los resultados obtenidos en la pérdida de peso. El lote estudiado corresponde a frutos de calibre 16, con un peso promedio de 254 gramos. Se observa una tendencia en cuanto a pérdida de peso a salida de frío para los tres tiempos de almacenamiento. Entre las atmósferas estudiadas, el menor porcentaje de pérdida de peso se obtuvo con el tratamiento AC 5/5 (5% O₂ y 5% CO₂), con diferencias estadísticas significativas para los 30 y 60 días de almacenamiento. Mondaca (2003) menciona que, para 35 y 45 días de conservación, la atmósfera 6/5 (CO₂/O₂) a 5°C obtuvo los menores valores promedio de deshidratación. Gómez (2000) no encontró diferencias significativas entre sus tratamientos de AC (CO₂/O₂) de 6/5, 10/10, 13/7 a 4°C.

Ninguno de los tratamientos de AC superó el 3% de pérdida de peso, lo cual permitió que los frutos tengan un óptimo aspecto de condición externa a salida de frío. Mondaca (2003) reportó que, bajo el uso de AC, ninguno de sus tratamientos superó el 1% de deshidratación.

En general, la pérdida de peso de los tratamientos testigo en los tres ensayos fue significativamente superior a aquellos bajo atmósfera controlada, lo que coincide con lo observado por Gómez (2000) y Mondaca (2003) en el cv. Hass. Se obtuvo porcentajes de deshidratación promedio de 1.96%, 3.03% y 3.91% para los 30, 45 y 60 días de almacenamiento, respectivamente.

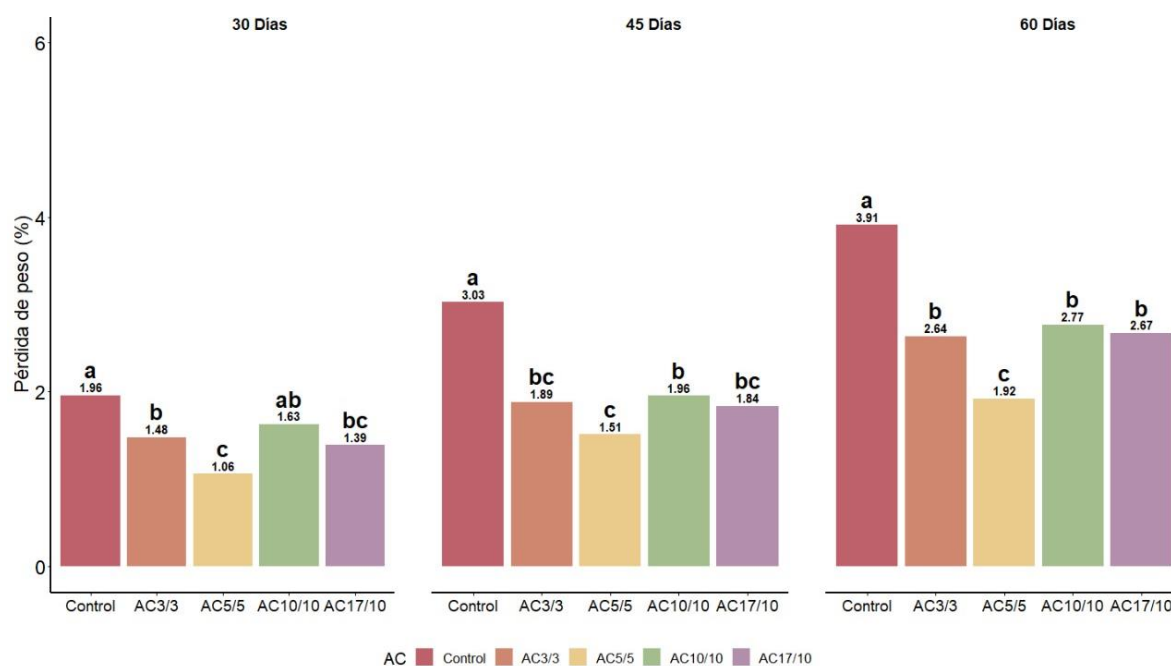


Figura 1: Pérdida de peso en frutos de palta cv. Hass a la salida de frío según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento

4.1.2 Pérdida de firmeza

La firmeza fue medida de forma no destructiva con el Texturómetro Agrost Belle. Las mediciones se realizaron directamente en el exocarpio de los frutos y los datos fueron tomados en kgF. Los resultados fueron expresados en porcentaje de pérdida de firmeza, comparando la firmeza inicial con la firmeza a salida de frío (Fig. 2). La firmeza inicial promedio de los tres ensayos fue de 6.1 kgF. Para los tres tiempos de almacenamiento no se observó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de atmósfera controlada en la pérdida de firmeza. A comparación de los tratamientos testigo, todas las combinaciones de O₂/CO₂ suprimieron en mayor medida el ablandamiento de la fruta.

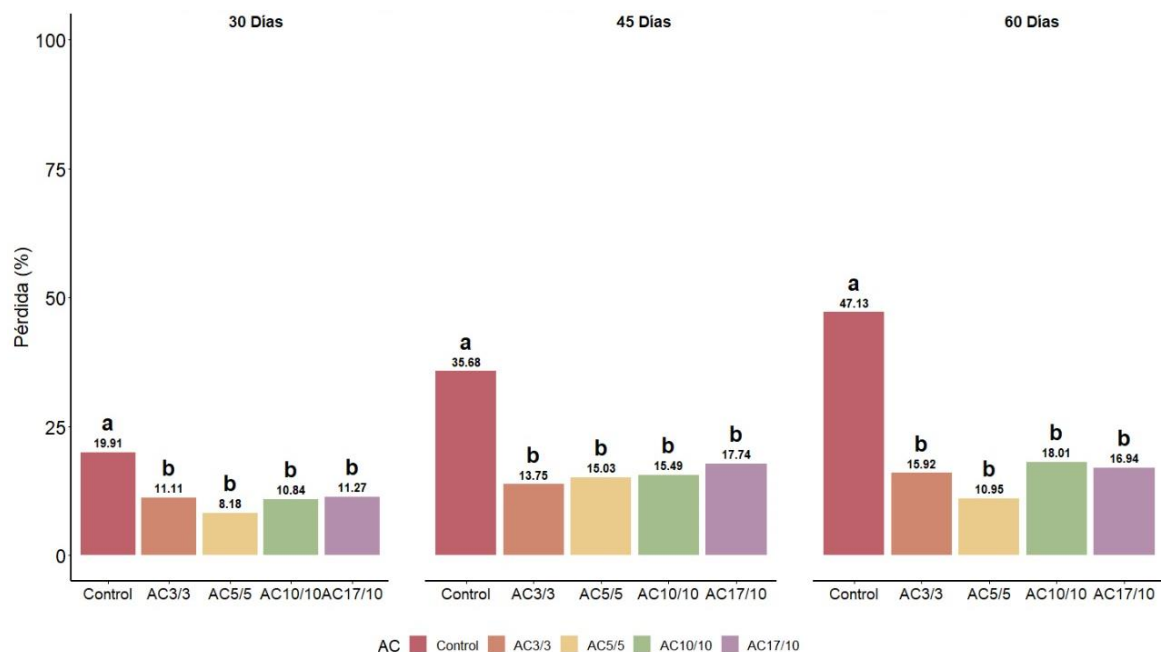


Figura 2: Pérdida de firmeza en frutos de palta cv. Hass a la salida de frío según tratamiento de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento

De forma similar, Quezada (2005) probó el efecto de cinco combinaciones de atmósfera controlada (O_2/CO_2) 2/3, 2/10, 5/3, 5/10, 5/15 a $6^\circ C$. Donde al evaluar la firmeza a salida de frío, no encontró diferencias significativas entre los tratamientos de AC para 20 y 30 días de almacenamiento. Mientras que, con fruta conservada por 45 días, el tratamiento 5/3 AC obtuvo una ligera disminución en la firmeza. Concluyendo que todos los tratamientos de AC usados eran capaces de inhibir el marcado ablandamiento de la fruta comparado con el tratamiento testigo.

En esta investigación, la fruta almacenada por 30, 45 y 60 días presentó diferencia estadística entre las AC y los testigos, que en general presentaron una importante disminución en la firmeza de los frutos (Fig. 2). Lo que coincide con lo encontrado por Gómez (2000) en la var. Hass al medir la resistencia de la pulpa a la presión para 24 y 35 días de almacenamiento, bajo combinaciones (CO_2/O_2) de 6/5, 10/10, 13/7 y control conservado a $4^\circ C$.

Para tiempos de almacenamiento de 20, 30 y 45 días, Quezada (2005) determinó que la fruta almacenada a $6^\circ C$ presentaba mayor ablandamiento que la conservada a $4^\circ C$. Esto refleja el efecto de la temperatura en la conservación de la firmeza a la salida de frío. Además, se puede observar en la figura 2 que, a mayor tiempo de almacenamiento, los tratamientos testigo presentaron un aumento en la pérdida de firmeza, evidenciando que los frutos en

atmósfera convencional sufren una disminución sostenida de la firmeza a partir de la cosecha. Puede concluirse que el uso de atmósfera controlada tiene un efecto positivo en la calidad de la palta al mantener la resistencia del fruto a la presión durante el almacenamiento refrigerado.

4.1.3 Color externo

Para determinar el color de la piel de los frutos se utilizó la escala proporcionada por White et al. (2009) con valores del 1 (verde esmeralda) al 6 (negro). El color de la palta Hass cambia a medida que el fruto madura, por lo que es un indicador del efecto de las atmósferas controladas estudiadas. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Color externo en frutos de palta cv. Hass a la salida de frío según tratamiento de atmósfera controlada y días de almacenaje

Tratamiento	30 días	45 días	60 días
Control	1.78 a	2.07 a	2.61 a
AC 3/3	1.79 a	1.67 b	1.65 b
AC 5/5	1.69 a	1.73 ab	1.74 ab
AC 10/10	1.77 a	1.76 ab	1.79 ab
AC 17/10	1.74 a	1.68 ab	1.75 ab

Letras distintas en la columna representan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples correspondiente ($p < 0.05$)

En los tres tiempos de almacenamiento no existió diferencias entre los tratamientos de AC. Sin embargo, el tratamiento control presentó cierto grado de variación de color a partir de los 45 días de almacenamiento, evidenciando que el manejo de la temperatura es limitado para periodos largos de almacenaje y/o transporte. Además, la fruta de 45 y 60 días presentó daño por frío externo, lo que se debió diferenciar en las evaluaciones del color.

4.1.4 Mancha negra

El pardeamiento externo se evaluó haciendo uso de una escala hedónica (Anexo 1) con valores del 0 al 10 que representan el área dañada con respecto al área total de la epidermis del fruto. En los anexos 5, 6 y 7 se muestra la apariencia externa obtenida en esta investigación. Al término de la frigo-conservación se observó que, principalmente, los frutos de los tratamientos testigo presentaron manchas de color oscuro a nivel de epidermis, las cuales fueron acentuando en severidad e incidencia con el aumento del tiempo de almacenamiento (Fig. 3 y 4). Esto coincide con lo observado por Quezada (2005) en su investigación.

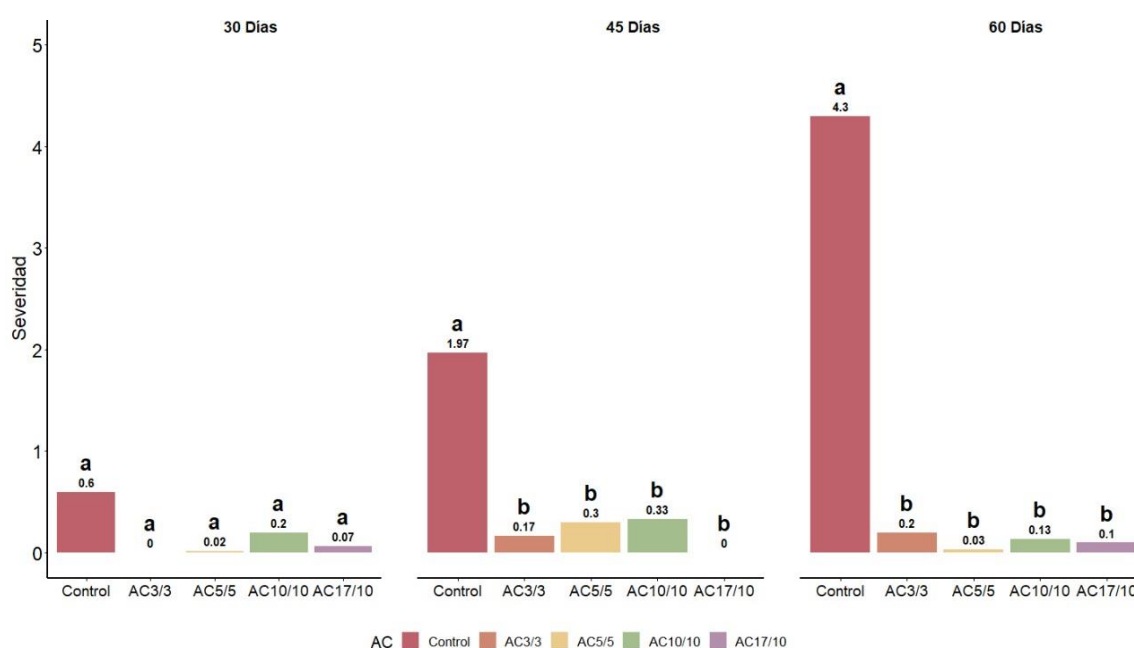


Figura 3: Severidad de mancha negra en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento

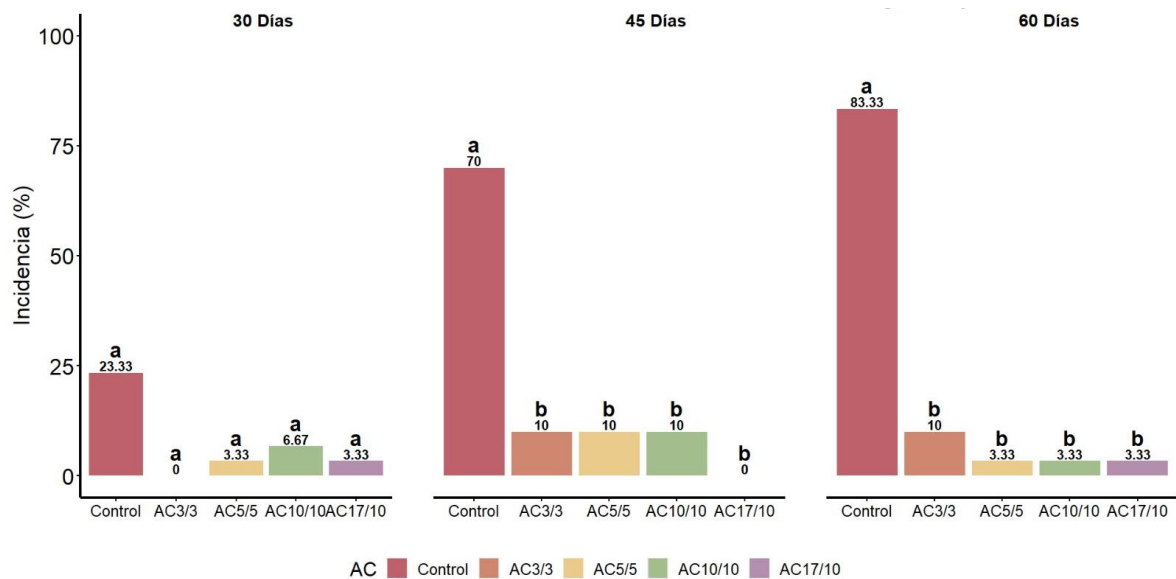


Figura 4: Incidencia de mancha negra en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento

Con los resultados obtenidos en los tres ensayos, vemos que los frutos de palta ‘Hass’ conservados a 6°C sin AC presentaron daños significativos a partir de los 45 días de conservación, difiriendo estadísticamente de los tratamientos de atmósfera controlada en la salida de 45 y 60 días. A comparación de Quezada (2005), que no encontró diferencias significativas entre los tratamientos control y de atmósfera controlada para ninguno de los tiempos de conservación (20, 30 y 45 días) a 6°C.

Por lo expuesto, este daño podría relacionarse con la duración de la exposición al frío, siendo posible atribuir el pardeamiento de la epidermis a una expresión de daño por frío. El cual se ve significativamente mitigado por el almacenamiento en AC, independientemente de la concentración de los gases, ya que en todos los tratamientos se obtuvo valores promedio menores a 0.5 en la escala de severidad de mancha negra (Fig. 4).

4.1.5 Moho en el pedúnculo

El moho peduncular consiste en el crecimiento de micelio en la superficie del pedúnculo, causando daño estético en la calidad externa del fruto. Por lo general ocurre durante el

almacenamiento y transporte frigorífico de la palta, por lo que afecta la calidad del producto en su llegada a destino. Los resultados obtenidos en esta variable se muestran en las Fig. 5 y 6.

El daño se midió en base a una escala de severidad del 0 (sin daño) al 5 (daño muy severo), como se puede observar referencialmente en el anexo 5. Asimismo, se determinó de forma subjetiva que valores de severidad mayores a 2 suponen un daño estético suficiente para considerarse como incidencia comercial (IC).

En la Fig. 5 observamos que, para el almacenamiento de 30 días, el tratamiento AC 17/10 presentó el valor más bajo y difirió estadísticamente del tratamiento control con 0.87 y 1.67 de severidad promedio, respectivamente. De igual manera, para el almacenamiento de 45 días, el tratamiento AC 17/10 fue el que obtuvo el menor promedio de severidad de moho peduncular, similar estadísticamente a los tratamientos AC 5/5 y AC 10/10, pero diferente al tratamiento control. Mientras que para el ensayo de 60 días la mayor severidad promedio la obtuvo AC 3/3, difiriendo de AC 5/5, 10/10 y 17/10 que obtuvieron los valores más bajos.

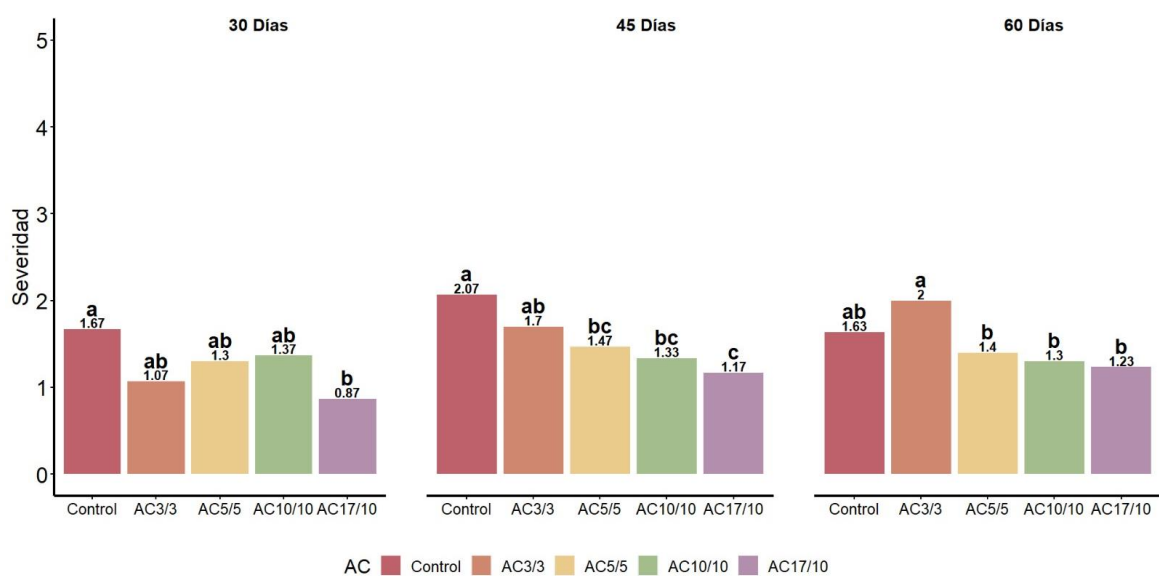


Figura 5: Severidad de moho peduncular en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento

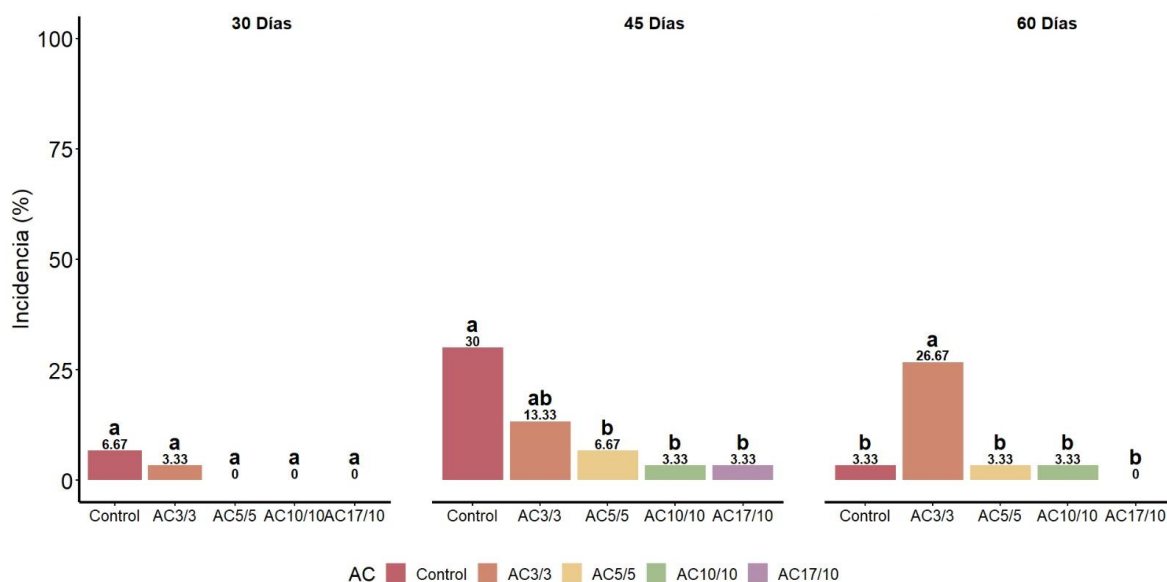


Figura 6: Incidencia comercial de moho peduncular en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento

Para la incidencia comercial (Fig. 6), en el ensayo de 30 días no hubo diferencias entre ninguno de los tratamientos. Mientras que a los 45 días de almacenamiento se observó una incidencia comercial del 30% en el control, seguido por el tratamiento AC 5/5 con 13.33%. Para el almacenamiento de 60 días, el tratamiento AC 3/3 presentó mayor IC, difiriendo estadísticamente de todos los tratamientos. La IC en el tratamiento control presentó un comportamiento anormal debido a que el micelio, inicialmente blanquecino y esponjoso, se tornó verdoso y aplanado probablemente debido al prolongado periodo de almacenaje. Por lo cual presentó baja severidad e incidencia comercial, a comparación del ensayo de 45 días.

Aunque en la simulación de 30 días de transporte refrigerado no hubo mayor incidencia comercial en ningún caso, para los 45 y 60 días sí se evidencia el efecto favorable de la atmósfera controlada en el control del moho peduncular. Especialmente en los tratamientos AC 17/10, AC 10/10 y AC 5/5, por lo que es probable que se deba al efecto del porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera de almacenamiento.

Se debe tener en cuenta que la incidencia total del moho peduncular fue casi del 100%, sin embargo, para simular fines comerciales se estableció el límite de incidencia comercial.

4.2 Evaluaciones en madurez de consumo

4.2.1 Días para madurar

La madurez de consumo se determinó a través del tacto al ejercer ligera presión con la yema de los dedos sobre cada fruto. Esta variable se contó desde la salida de frío hasta la madurez y fue útil para determinar el momento de evaluación de calidad interna de los frutos. Bill et al. (2014) mencionan que la fruta de principios de temporada generalmente tarda de 10 a 12 días para madurar a 20°C.

Se puede apreciar que los tratamientos control fueron los que maduraron más pronto después de culminar su respectivo periodo de almacenamiento (Fig. 7). Sin embargo, en algunos casos, los frutos del tratamiento testigo almacenados por 45 y 60 días presentaron una maduración anormal, inclusive perdiendo la capacidad para madurar. Por lo que debieron ser evaluados antes de que aumente drásticamente la incidencia de enfermedades.

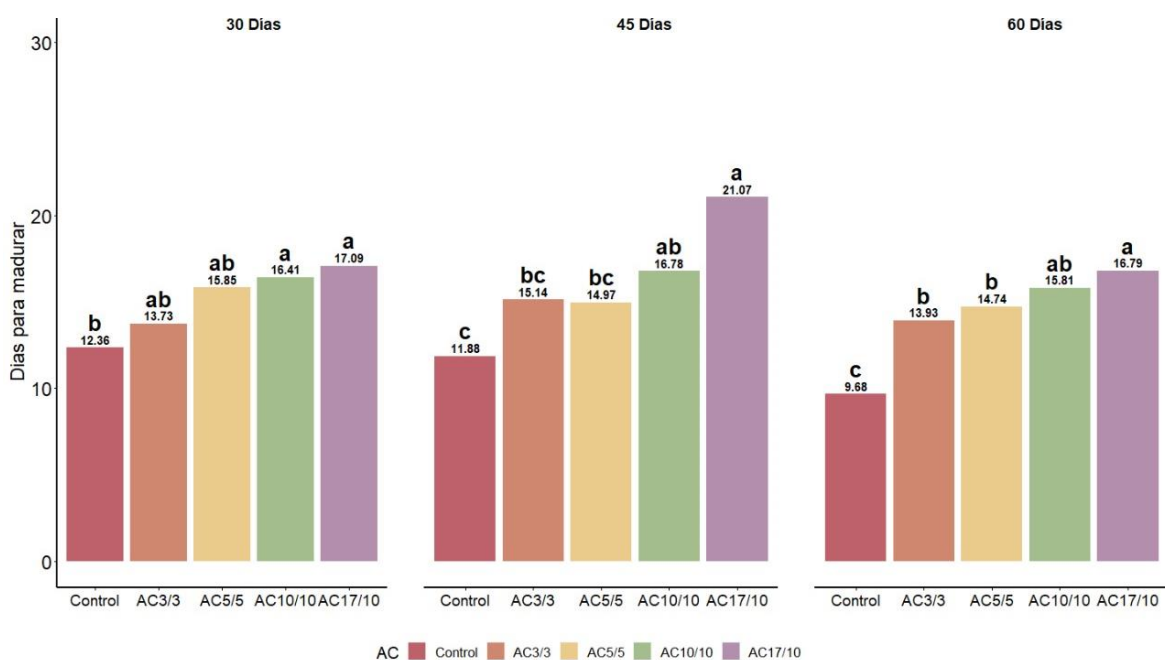


Figura 7: Número de días que tarda la fruta de palta cv. Hass en alcanzar madurez de consumo según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado

El comportamiento de la fruta durante el periodo de maduración evidencia un retraso de la madurez por efecto de la atmósfera controlada en comparación con el tratamiento control,

especialmente en la salida de frío de 60 días. Las AC con alto contenido de CO₂, en particular el tratamiento AC 17/10, muestran un mayor número promedio de días para alcanzar la madurez de consumo, similar a lo reportado por Quezada (2005). En los tres ensayos realizados se puede observar que la fruta almacenada bajo estas condiciones de gases presenta un mayor retraso en la maduración, respecto a los demás tratamientos, probablemente debido a un efecto de toxicidad por el alto contenido de CO₂. Posteriormente se podrá relacionar este comportamiento con la incidencia de enfermedades poscosecha.

4.2.2 Pérdida de peso

La pérdida de peso se determinó en base a la diferencia del peso entre la salida de frío y el término del periodo de maduración. Podemos evidenciar una relación entre el tiempo que demoró en madurar cada tratamiento y su pérdida de peso. De tal forma que, en general, los tratamientos que maduraron en mayor tiempo, presentaron mayor pérdida de peso durante este periodo (Fig. 8).

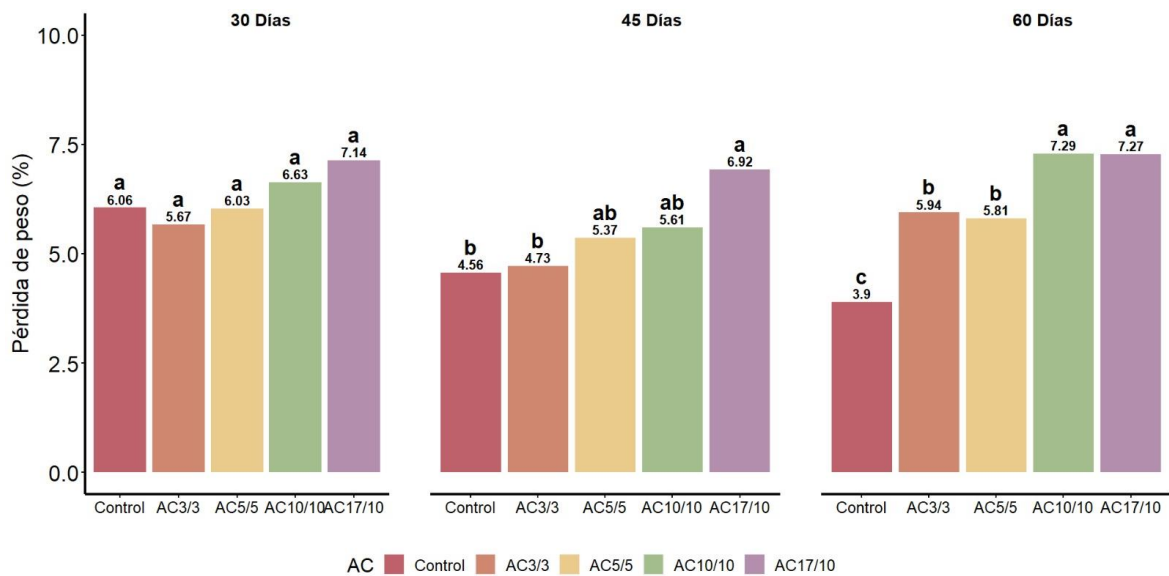


Figura 8: Pérdida de peso en frutos de palta cv. Hass al término del periodo de maduración según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado

Para el almacenamiento de 30 días observamos que no hubo diferencia estadística en la pérdida de peso entre las atmósferas. Mientras que, para la fruta almacenada por 45 días, el

ambiente AC 17/10 presentó la mayor deshidratación, diferenciándose significativamente de los tratamientos control y AC 3/3. En el almacenamiento de 60 días, los tratamientos AC 17/10 y AC 10/10 tuvieron la mayor pérdida de peso con 7.29%, a diferencia del tratamiento testigo que tuvo 3.9%. Sin embargo, aunque el tratamiento testigo obtuvo la menor pérdida de peso, presentó gran incidencia de desórdenes fisiológicos y enfermedades poscosecha, muchas veces presentando una maduración anormal debido al daño por frío. Mondaca (2003) no encontró diferencias estadísticamente significativas entre las atmósferas en cuanto a deshidratación, para 21, 35 y 45 días de almacenamiento refrigerado más el periodo de maduración.

4.2.3 Color externo

El color de la piel fue evaluado a la madurez de consumo del fruto, en base a la escala planteada por White et al. (2009) (anexo 4). En la Tabla 3 observamos que en la salida de 45 y 60 días el testigo se diferencia estadísticamente de las atmósferas controladas. Quezada (2005) observó un comportamiento similar para fruta almacenada por 20, 30 y 45 días.

Tabla 3: Color externo en frutos maduros de palta cv. Hass según tratamiento de atmósfera controlada y días de almacenaje

Tratamiento	30 días	45 días	60 días
Control	4.75 a	4.31 b	3.99 b
AC 3/3	5.16 a	5.61 a	5.80 a
AC 5/5	4.95 a	5.55 a	5.77 a
AC 10/10	5.24 a	5.75 a	5.58 a
AC 17/10	5.08 a	5.55 a	5.52 ab

Letras distintas en la columna representan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples correspondiente ($p < 0.05$)

En general, los frutos sometidos al almacenamiento en AC mostraron una evolución normal del color hacia la maduración. Sin embargo, aquellos bajo condiciones de refrigeración en atmósfera convencional no presentaron una maduración normal, probablemente debido al daño por frío, por lo que no se dio un óptimo desarrollo del color.

4.2.4 Pulpa gris

En las Fig. 9 y 10 se muestran los valores promedio de la severidad e incidencia de pulpa gris, respectivamente. Este daño interno en el fruto comienza su expresión desde la zona inferior pegada a la semilla y se extiende por la pulpa. La severidad del pardeamiento fue medida según escala con valores del 0 al 100, representando el área de la pulpa con presencia del daño.

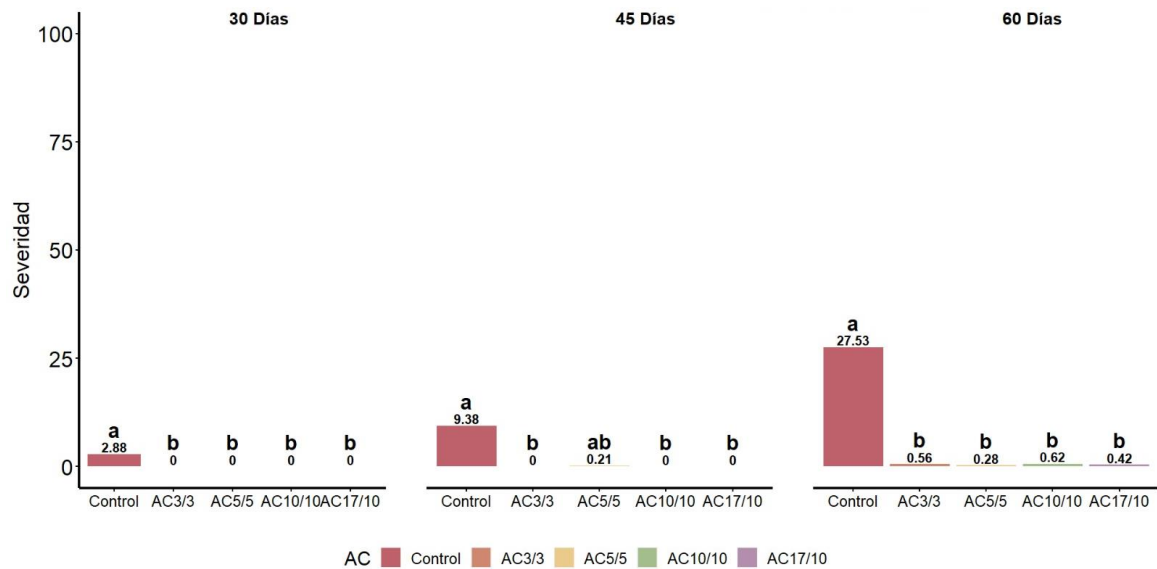


Figura 9: Severidad de pulpa gris en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado

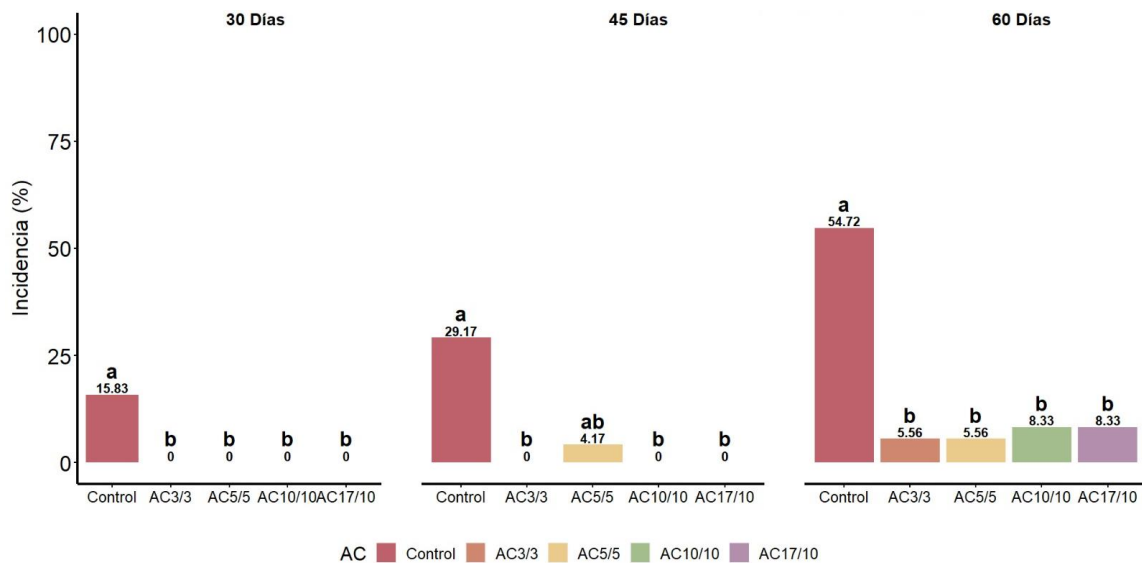


Figura 10: Incidencia de pulpa gris en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado

La incidencia fue inexistente en los tratamientos de atmósfera controlada para la salida de 30 días, a comparación del testigo que tuvo 15.83% de incidencia con 2.88 de severidad promedio, equivalente a frutos con ligero pardeamiento alrededor de la semilla.

En la salida de 45 días, podemos observar que el tratamiento testigo presentó mayor incidencia (29.17%) que en la salida de 30 días, con una severidad promedio de 9.38. En las evaluaciones individuales por fruto existieron valores de severidad de hasta 70, sin embargo, la media fue menor debido a que más del 70% de los frutos no presentó este daño fisiológico. En el anexo 6 podemos observar frutos del tratamiento testigo con diferentes superficies de daño por pulpa gris.

En el caso del almacenamiento por 60 días, la incidencia fue de más de la mitad de los frutos evaluados para el tratamiento testigo, con una severidad de 27.5 en promedio. Esto significa un daño importante en la calidad interna de los frutos al usar como único método de conservación la refrigeración. Mientras que para los tratamientos de AC hubo mínima incidencia de pardeamiento de pulpa, sin presentar diferencias significativas entre ellos.

La longitud del periodo de almacenaje fue un factor clave para la fruta mantenida en frío con atmósfera convencional. Van Rooyen & Bower (2006) mencionan que la pulpa gris por lo

general está asociada a prolongados tiempos de almacenamiento a bajas temperaturas, pero mayores a 4-6°C.

Se puede observar que la severidad promedio en los tres tiempos de almacenamiento, para los frutos sometidos a AC, es menor a 1 con una incidencia máxima de 8.33%, valores significativamente menores que en los tratamientos testigo. El almacenamiento en AC, independientemente de la combinación de gases (O_2/CO_2), fue capaz de mitigar en gran medida el daño de pardeamiento de pulpa en los tres periodos de almacenamiento. Lo que coincide con lo descrito por Camponovo (1996) en su investigación. Schaffer et al. (2012) mencionan que el uso de atmósfera controlada en palta puede reducir el daño por frío, que en este caso se expresa a través de la decoloración difusa de la pulpa.

A diferencia de los resultados obtenidos en esta investigación, Gómez (2000) no observó diferencia significativa entre tratamientos ($CO_2/O_2 = 6/5, 10/10, 13/7$, control), para 24 y 35 días de almacenaje refrigerado, al evaluar pardeamiento de pulpa después del periodo de maduración. Los valores fluctuaron entre 1 y 1.8, equivalentes a frutos sanos y frutos con ligero pardeamiento alrededor de la semilla. Por su lado, Mondaca (2003), para 35 y 45 días de almacenamiento (más el periodo de maduración), precisó que los testigos presentaron un porcentaje de pulpa afectada significativamente mayor que las combinaciones de atmósfera controlada.

4.2.5 Enfermedades poscosecha

En las Fig. 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos en la incidencia de enfermedades poscosecha durante el periodo de maduración de los frutos, para los respectivos tiempos de almacenamiento refrigerado.

En la Fig. 11 observamos que para los 30 días de almacenamiento no hubo diferencias significativas en cuanto a la incidencia de pudrición peduncular, aunque el mayor porcentaje de frutos afectados lo tuvo el tratamiento control con 45.83%. Mientras que en la Fig. 12 vemos que, para la incidencia de antracnosis, el tratamiento AC 17/10 fue el más afectado con más del 50% de frutos con pudrición de pulpa, difiriendo estadísticamente de las combinaciones 3/3 y 10/10. Gómez (2000) obtuvo un alto grado de pudrición (25%) en fruta madura en el tratamiento 10% CO_2 /10% O_2 para 35 días de almacenamiento.

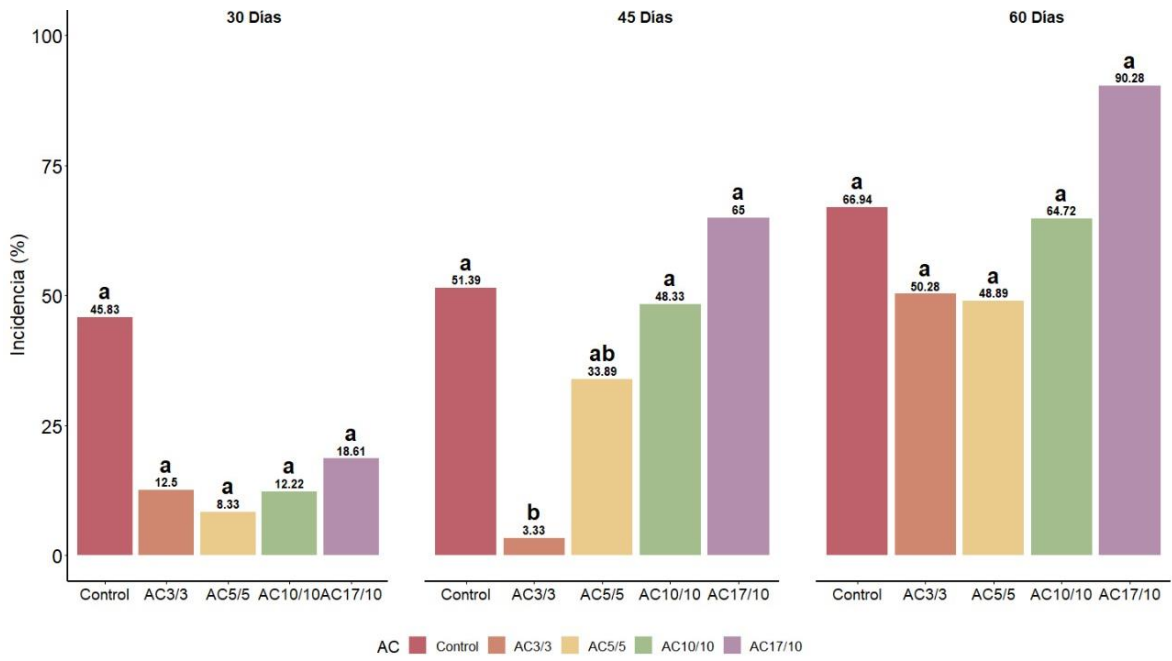


Figura 11: Incidencia de pudrición peduncular en frutos de palta cv. Hass según tratamiento de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado

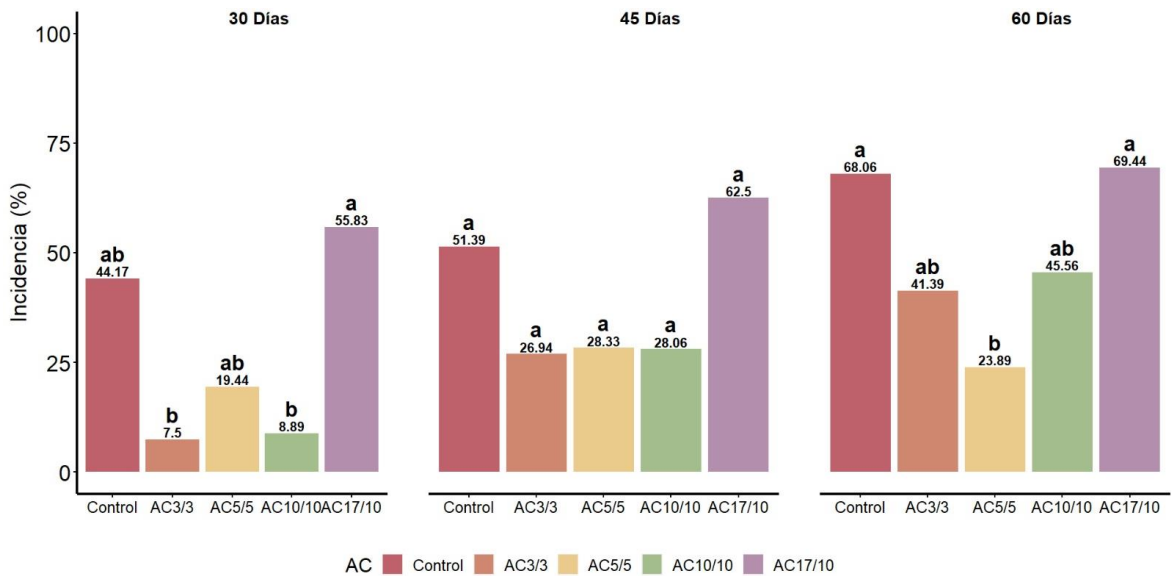


Figura 12: Incidencia de antracnosis en frutos de palta cv. Hass según tratamientos de atmósfera controlada para 30, 45 y 60 días de almacenamiento refrigerado

La fruta almacenada por 45 días evidenció un gran control de la pudrición peduncular bajo el tratamiento AC 3/3 presentando una incidencia mínima de 3.33%, lo que difirió significativamente del testigo y de los tratamientos de AC con alto contenido de CO₂ (10/10 y 17/10). En la incidencia de antracnosis no se observó diferencias estadísticas entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento AC 17/10 presentó la mayor incidencia con 62.5%. Para el mismo tiempo de almacenamiento, Mondaca (2003) evidenció que el testigo se diferenció de forma significativa de las atmósferas controladas al presentar una mayor incidencia de pudriciones alrededor del 20%.

En el ensayo de 60 días no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos en la incidencia de pudrición de pedúnculo, aunque el AC 17/10 presentó el 90% de frutos dañados, como se observa en la Fig. 11. En la incidencia de antracnosis, los mayores valores fueron de los tratamientos control y AC 17/10 con 69%, estadísticamente diferentes al tratamiento AC 5/5 que tuvo la menor incidencia con 23.89%. Camponovo (1996) para la var. Gwen reportó que los testigos presentaron altos porcentajes de frutos afectados por pudrición, diferenciándose estadísticamente de los tratamientos de atmósfera controlada, para 35 y 50 días de almacenaje.

Gopala (2015) nos indica que el daño por frío evita la maduración normal de los frutos e incrementa su susceptibilidad al deterioro por hongos, debido a que generalmente está asociado a la necrosis de los tejidos externos e internos. De tal forma, explica la alta incidencia de enfermedades poscosecha del tratamiento control en todos los tiempos de almacenamiento. Schaffer et al. (2012) mencionan que la atmósfera controlada puede reducir el daño por frío en la palta.

En términos generales, en los tres ensayos hubo una alta incidencia de pudriciones. Probablemente debido a que la fruta fue dispuesta en un ambiente de atmósfera convencional a 20°C para su maduración, sin realizarse un tratamiento de maduración forzada. Schaffer et al. (2012) mencionan que existe una fuerte correlación entre el tiempo de maduración del fruto y el desarrollo de antracnosis en la palta. Por lo que aquellos mecanismos que reducen el tiempo de maduración (como la aplicación de etileno), tienden a reducir la incidencia de esta enfermedad. En base a esto, podemos relacionar el tiempo que tomó en madurar el tratamiento AC 17/10 con su mayor incidencia de enfermedades poscosecha a comparación

del resto de atmósferas. Bill et al. (2014) mencionan que niveles de CO₂ mayores a 5% pueden tener un efecto perjudicial en la calidad de la palta Hass. Además, no se observó el efecto fungistático que podrían tener las altas concentraciones de CO₂ como lo señala Kader (1992).

V CONCLUSIONES

En los tres tiempos de almacenamiento, la atmósfera controlada 5% O₂ y 5% CO₂ presentó los mejores resultados en cuanto a pérdida de peso. En general, todos los tratamientos de AC mitigaron la pérdida de peso, al compararlos con los tratamientos en atmósfera convencional.

Los tratamientos control evidenciaron una importante disminución en la firmeza, presentando valores más altos de pérdida a mayor tiempo de almacenamiento. Independientemente de la combinación de gases, el uso de AC tuvo un efecto positivo en la retención de firmeza a salida de frío de los frutos.

La pulpa gris está asociada a prolongados tiempos de almacenamiento en refrigeración, donde las AC evidenciaron un gran control del daño. Sin embargo, partir de los 60 días de almacenamiento se observó una mínima incidencia de este desorden fisiológico en los tratamientos de AC.

En la severidad de mancha negra se observó diferencias significativas a partir de los 45 días de almacenamiento, entre el tratamiento testigo y los tratamientos de AC. La severidad del pardeamiento externo se relacionó con la duración del periodo de refrigeración de la fruta. Este daño fue significativamente mitigado por el almacenamiento en atmósfera controlada.

En la incidencia de las principales enfermedades poscosecha, el tratamiento AC 3/3 presentó el mayor control para el almacenamiento de 45 días. La más alta incidencia se dio en los tratamientos testigo y AC 17/10 para los tres ensayos. En general, hubo un alto porcentaje de fruta dañada, especialmente en la conservada por 60 días.

Para el moho peduncular se evidenció el mayor control de la incidencia comercial en los tratamientos AC 5/5, AC 10/10 y AC 17/10 en los periodos de almacenamiento de 45 y 60 días. En general, el tratamiento 17% O₂ y 10% CO₂ presentó la menor severidad promedio.

Los tratamientos en atmósfera convencional maduraron con mayor rapidez, a comparación de las atmósferas controladas, especialmente diferenciándose del tratamiento AC 17/10. Esta variable se relacionó con la pérdida de peso durante el periodo de maduración de los tratamientos, ya que las AC sufrieron mayor deshidratación que los testigos.

Al término del almacenamiento refrigerado, el color externo de los tratamientos de AC se mantuvo en verde oscuro, según la escala utilizada. El tratamiento control se diferenció de las AC al presentar variación en el color luego de 45 y 60 días de almacenamiento. Asimismo, culminado el periodo de maduración de los tratamientos, los testigos no tuvieron un desarrollo normal del color.

VI RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un sistema de maduración forzada para lograr una maduración uniforme de los frutos. De esta forma reducir la deshidratación y el desarrollo de enfermedades poscosecha durante esta etapa.

Probar el efecto de altas concentraciones de CO₂ con bajas concentraciones de O₂ sobre la severidad e incidencia del moho peduncular.

Investigar el efecto de la madurez de cosecha sobre la calidad poscosecha de la palta almacenada en atmósfera controlada.

VII BIBLIOGRAFÍA

- Aday, M. S., & Caner, C. (2010). Understanding the effects of various edible coatings on the storability of fresh cherry. *Packaging Technology and Science*, 23(8), 441-456.
<https://doi.org/10.1002/pts.910>
- APL Limited. (2007). *Modified/controlled atmosphere*.
<http://www.apl.com/reefer/html/atmosphere.html>.
- Bender, R.J., Brecht, J.K., Sargent, S.A. and Huber, D.J. (2000). *Mango tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125, 707–713.
- 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>
- Burdon, J., Lallu, N., Haynes, G., McDermott, K. and 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, 61–68.
- Camponovo, F. (1996). *Efecto del almacenamiento en atmosfera controlada, sobre la calidad y composición de azúcares de frutos de palto (Persea americana Mill.) cv. Gwen*. Universidad de Chile.
- Chinsirikul, W., Klintham, P., Kerddonfag, N., Winotapun, C., Hararak, B., Kumsang, P., & Chonhenchob, V. (2014). Porous Ultrahigh Gas-Permeable Polypropylene Film and Application in Controlling In-pack Atmosphere for Asparagus: POROUS ULTRA HIGH OTR-PP FILM. *Packaging Technology and Science*, 27(4), 313-325.
<https://doi.org/10.1002/pts.2027>

- Dellino, C. V. J. (Ed.). (1997). *Cold and Chilled Storage Technology*. Springer US.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1127-0>
- FAOSTAT. (2023). *Crops and livestock products*. En: FAOSTAT. Roma. Accedido en marzo 2023. <https://www.FAOSTAT.org/FAOSTATstat/en/#data>
- Gamble, J., Harker, F.R., Jaeger, S.R., White, A., Bava, C., Beresford, M., Stubbings, B., Wohlers, M., Hofman, P.J., Marques, J.R. and Woolf, A. (2010). *The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase*. *Postharvest Biology and Technology* 57, 35–43.
- Gasser, F., Eppler, T., Naunheim, W., Gabioud, S., & Hoehn, E. (2008). Control of the critical oxygen level during dynamic CA storage of apples by monitoring respiration as well as chlorophyll fluorescence. *Acta Horticulturae*, 796, 69-76.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.796.6>
- Gómez, C. (2000). *Comportamiento de frutos de palto (Persea americana Mill.) var. Hass almacenados a diferentes concentraciones de CO₂ y O₂*. Universidad de Chile.
- Gopala, C. (2015). *Engineering for Storage of Fruits and Vegetables: Cold Storage, Controlled Atmosphere Storage, Modified Atmosphere Storage*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/C2014-0-03394-1>
- Grisales Vásquez, N. Y., Rodríguez Fonseca, P. E., Correa Londoño, G. A., & Tamayo Molano, P. J. (2019). Inventario de los principales fitopatógenos de poscosecha y defectos de calidad de los frutos de aguacate (*Persea americana* Mill cv. Hass). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). Norma Técnica Peruana: Palta. Requisitos (NTP 011.018:2019).

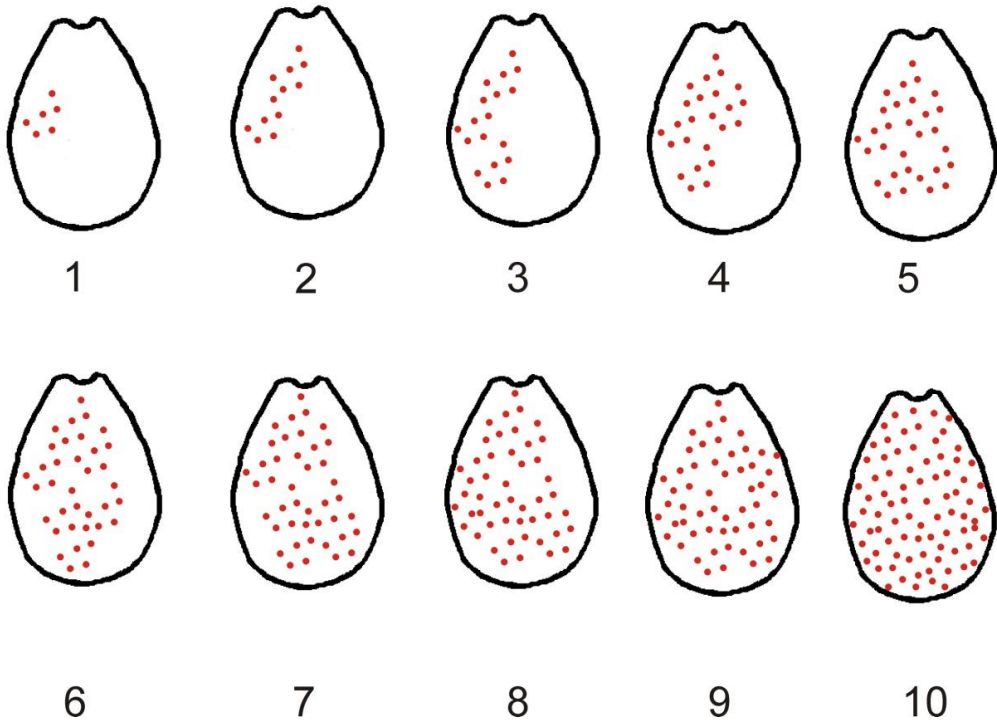
- Kader, A.A. (1992). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 2nd Edition, Univ. Calif., Div. of Agr. and Nat. Resources, Publ, Vol. 3311, 296
- Kader A. A. & Arpaia M. L. (2001). *Avocado: recommendations for maintaining postharvest quality*. Available from: <http://postharvest.ucdavis.edu/produce/producefacts/fruit/avocado.html>.
- Kyzlink, V. (1990). *Principles of food preservation*. Elsevier Science Publishing Co. Inc. Checoslovaquia. pp. 457, 469 – 472.
- Menge, J.A. & Ploetz, R.C. (2003). Diseases of Avocado. En Ploetz, R.C. (Ed.) *Diseases of Tropical Fruit Crops* (pp. 35–71). CAB International, Wallingford, UK.
- Mondaca, C. (2003). *Comportamiento de paltas var. Hass almacenadas en atmosfera controlada*. Universidad de Chile.
- Montoya, D. (2007). Tecnología de Atmósferas Controladas para Frutas y Hortalizas, Caso de Estudio: Modelo Aguacate (Persea Americana) Variedad HASS. *Publicaciones e Investigación, 1*, 77. <https://doi.org/10.22490/25394088.555>
- Ortolá, M. (2020). *Determinación de la tasa respiratoria de frutas*. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/145648>
- Ospina, S.M., & Cartagena, J.R. (2008). *La atmósfera modificada: Una alternativa para la conservación de alimentos*. 5(2), 12.
- Pak H. A., Dixon J. & Cutting J. C. (2003). *Influence of early season maturity on fruit quality in New Zealand 'Hass' avocados*. 5th World Avocado Congress, 635–640.
- Quezada, D. (2005). *Efecto de la atmósfera controlada y manejo de temperatura en la calidad de palta Hass*. 54.
- Rai, D. R., Kaur, P., & Patil, R. T. (2011). Quality changes in fresh-cut capsicum (*Capsicum annuum*) shreds under modified atmospheres during simulated retail and home

- storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 402-409.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00481.x>
- Reid, M.S. (2002). Ethylene in postharvest technology. En: Kader, A.A. (ed.) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3rd edn. University of California, Oakland, CA, pp. 149–162.
- Saavedra, G., Vásquez, H. D., & Mejía, E. (2012). Aguacate (*Persea americana* Mill.) En Gerard Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 319-348). Bogotá, Colombia: Produmedios.
- Schaffer, B., Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (Eds.). (2012). *The avocado: Botany, production and uses* (2nd ed). CABI.
- SIEA. (2022). Perfil nacional comercio exterior: Principales productos agropecuarios. Recuperado de la base de datos de SIEA.
- Thompson, A. K. (2010). *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables* (2nd ed). CABI.
- Thompson, A. K. (2016). *Fruit and Vegetable Storage: Hypobaric, Hyperbaric and Controlled Atmosphere*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-23591-2>
- Van Rooyen, Z. & Bezuidenhout, J. (2010). *Semi-commercial trials to determine the risk of shipping South African 'Hass' at 1°C*. South African Avocado Growers' Association Yearbook 33, 27–31.
- Van Rooyen, Z. & Bower, J.P. (2006). Effects of storage temperature, harvest date and fruit origin on postharvest physiology and the severity of mesocarp discolouration in 'Pinkerton' avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 31, 89–98.

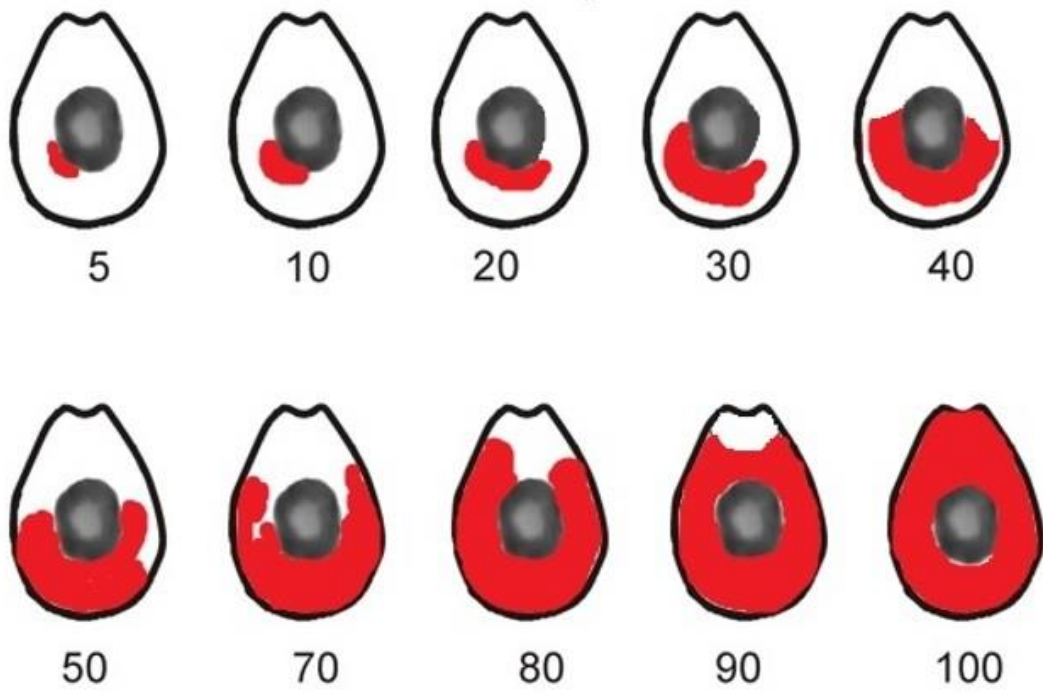
- Vuthapanich, S. (2001). Preharvest practices affecting postharvest quality and minerals composition of 'Hass' avocado fruit. PhD thesis, University of Queensland, Australia.
- White, A., Woolf, A., Hofman, P., & Arpaia, M. L. (Eds.). (2009). *Manual Internacional de la Calidad del Aguacate* (C. Requejo-Jackman & G. Espinosa, Trads.). Plant & Food Research.
- Woolf, A.B., Bowen, J.H., Ball, S., Durand, S., Laidlaw, W.G. and Ferguson, I.B. (2004). A delay between a 38°C pretreatment and damaging high and low temperature treatments influences pretreatment efficacy in 'Hass' avocados. *Postharvest Biology and Technology* 34, 143–153.
- Yahia E. M. (2011). Avocado, Chapter 8. En Rees D., Farrell G. and Orchard J. E. (eds), *Crop Postharvest: Science and Technology*. Volume 3, Perishables, Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, UK. In press.
- Yahia, E. M., & Woolf, A. B. (2011). Avocado (*Persea americana* Mill.). En E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 125-186e). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092762.125>

VIII ANEXOS

Anexo 1: Escala de evaluación para daño de mancha negra



Anexo 2: Escala de evaluación para daño de pulpa gris



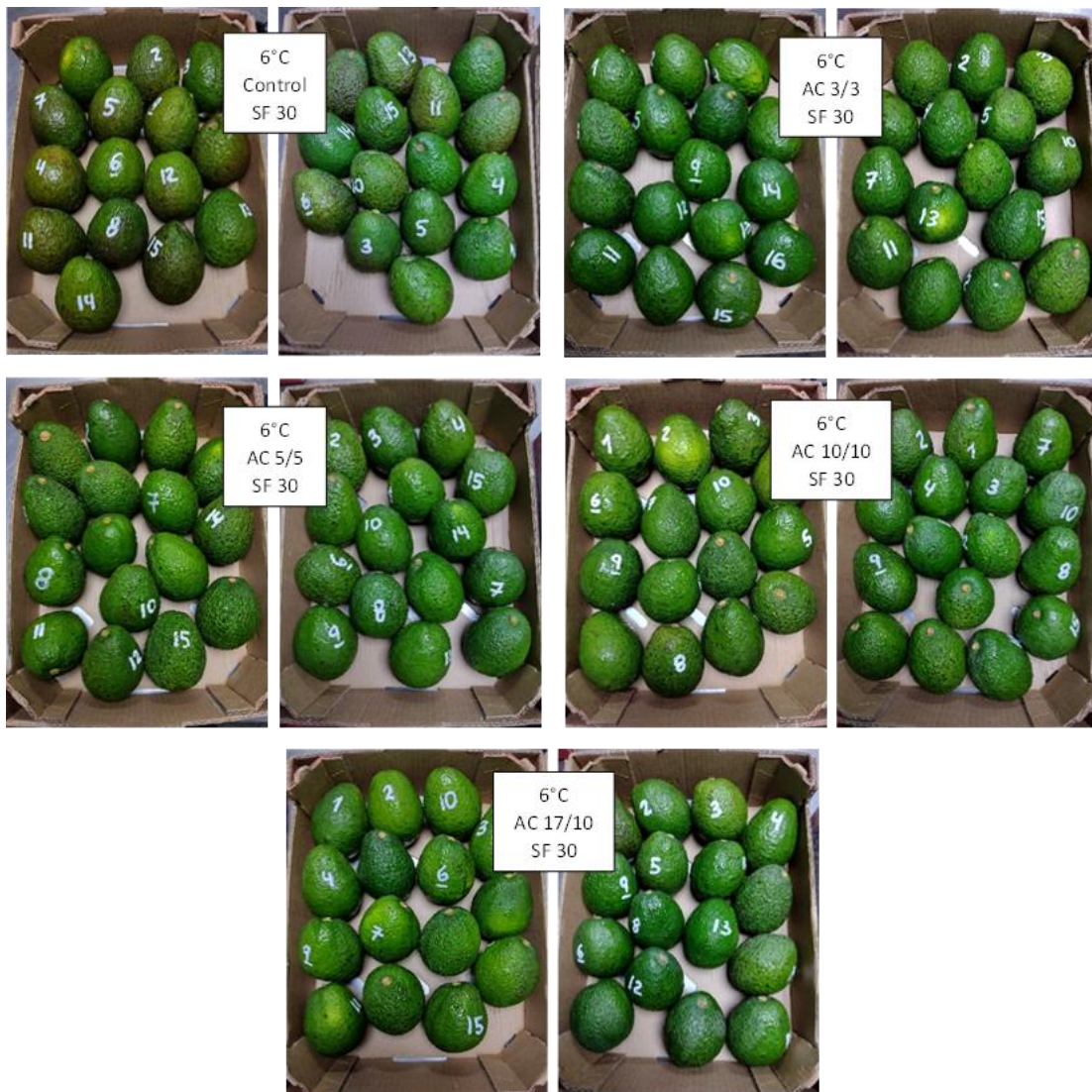
Anexo 3: Escala de evaluación para moho peduncular



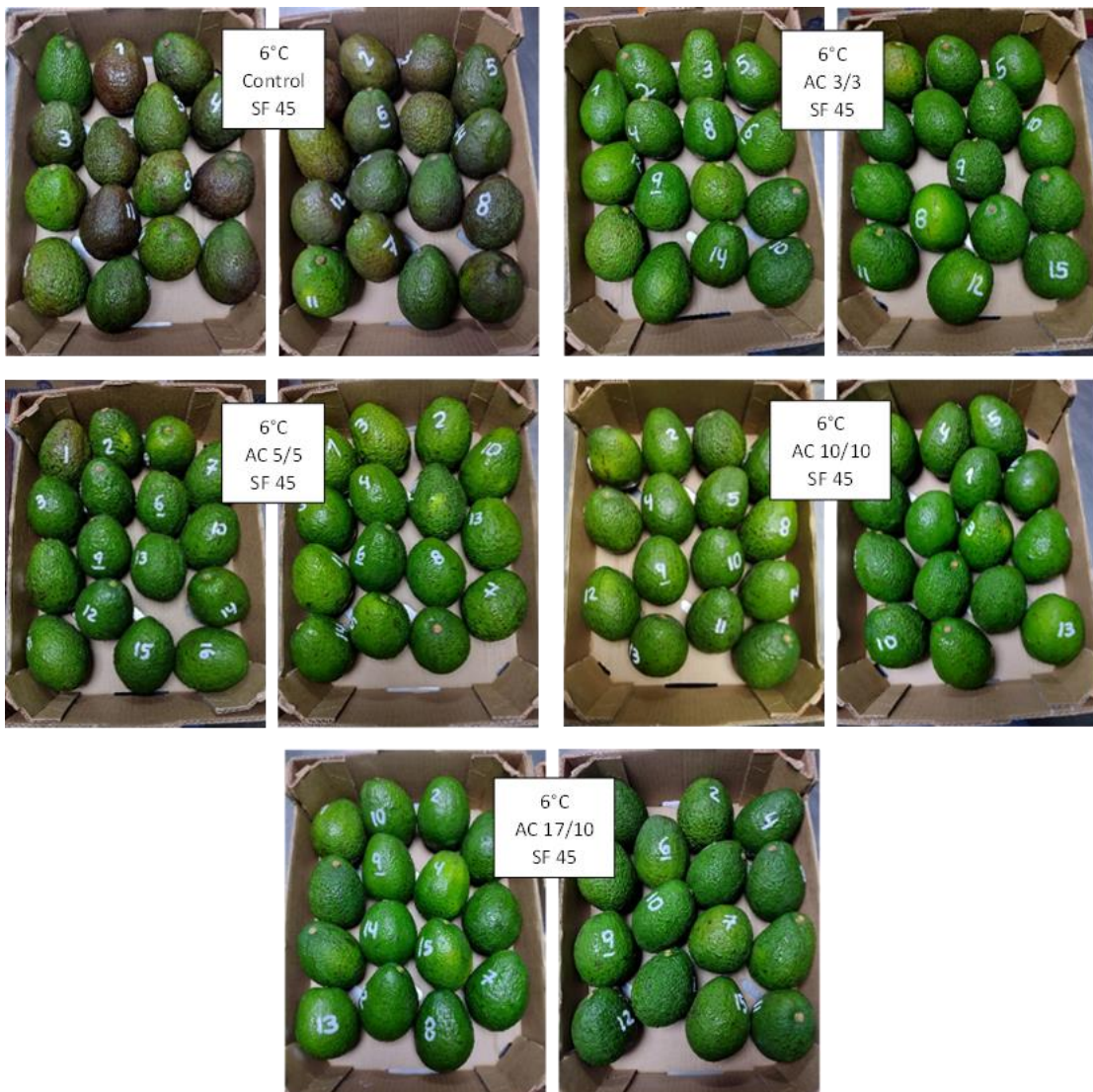
Anexo 4: Escala de evaluación para color de piel



Anexo 5: Imágenes de apariencia externa según tratamiento después de 30 días de almacenamiento refrigerado (SF 30).



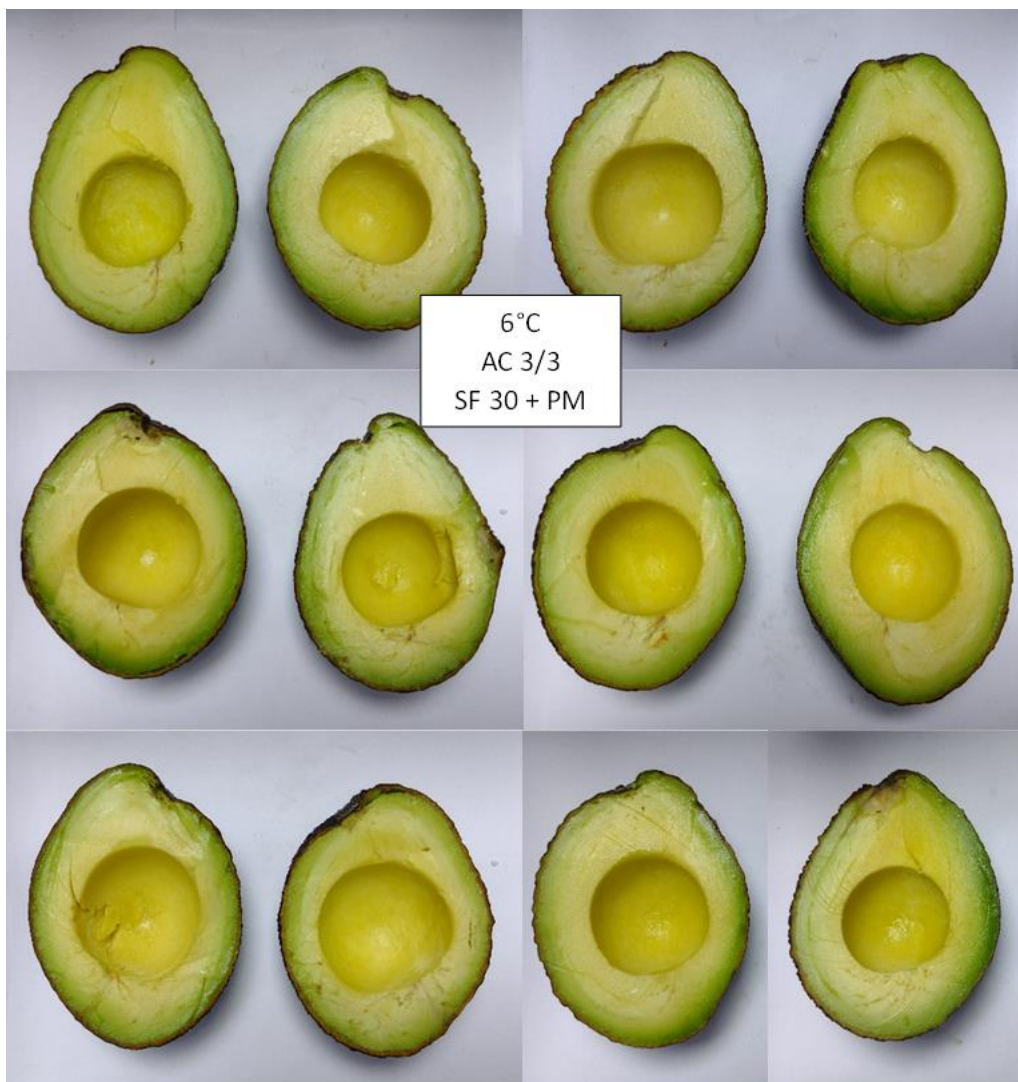
Anexo 6: Imágenes de apariencia externa según tratamiento después de 45 días de almacenamiento refrigerado (SF 45).

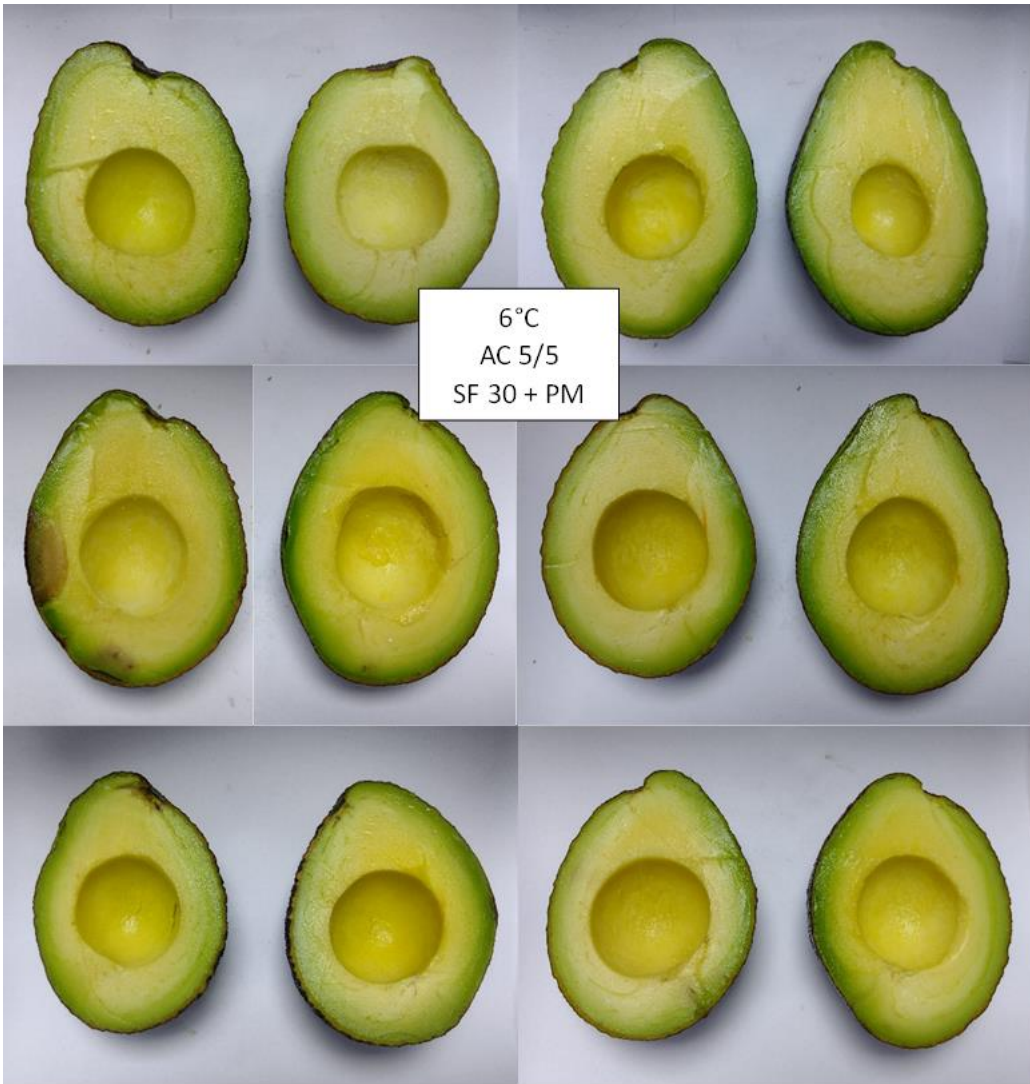


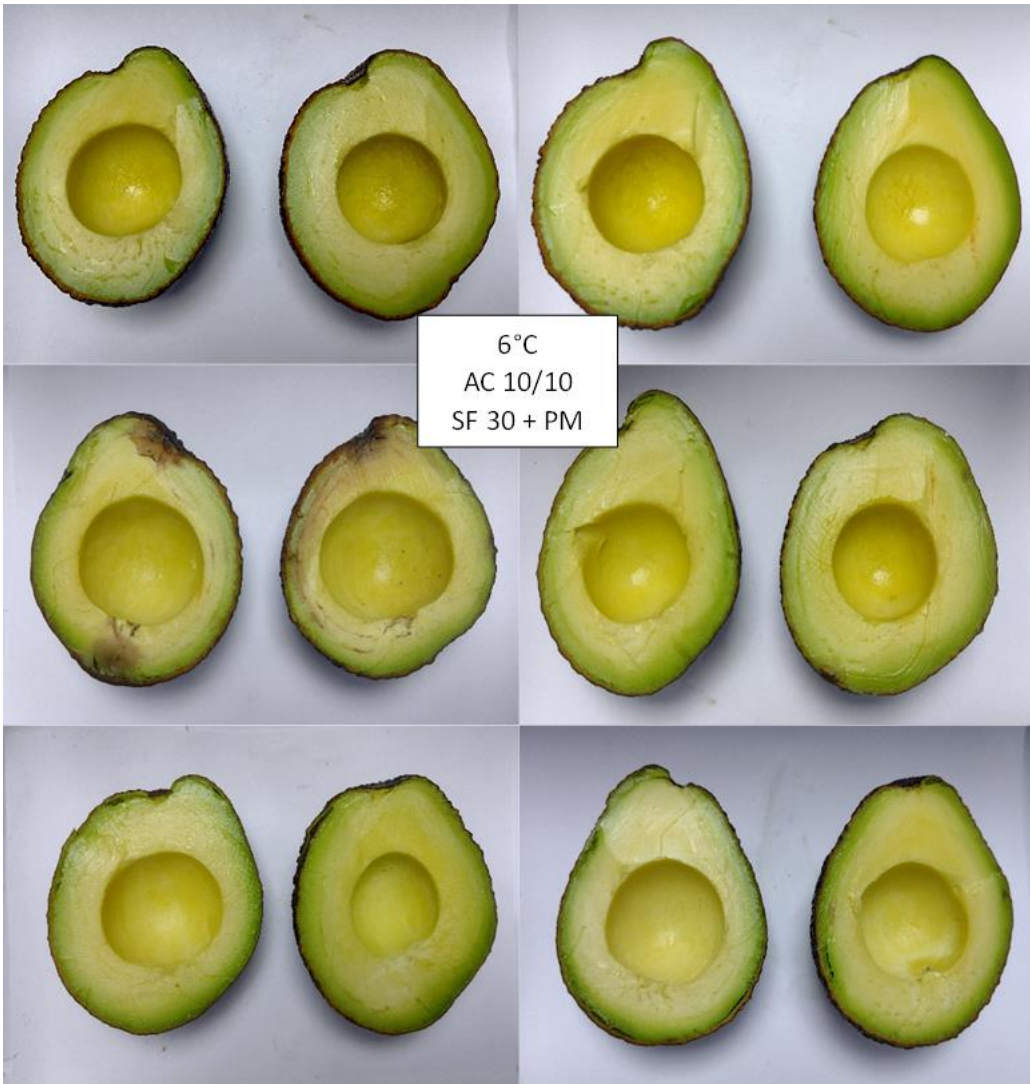
Anexo 7: Imágenes de apariencia externa según tratamiento después de 60 días de almacenamiento refrigerado (SF 60).



Anexo 8: Imágenes de apariencia interna después del periodo de maduración (PM) de fruta almacenada por 30 días (SF 30) según los tratamientos de atmósfera controlada.



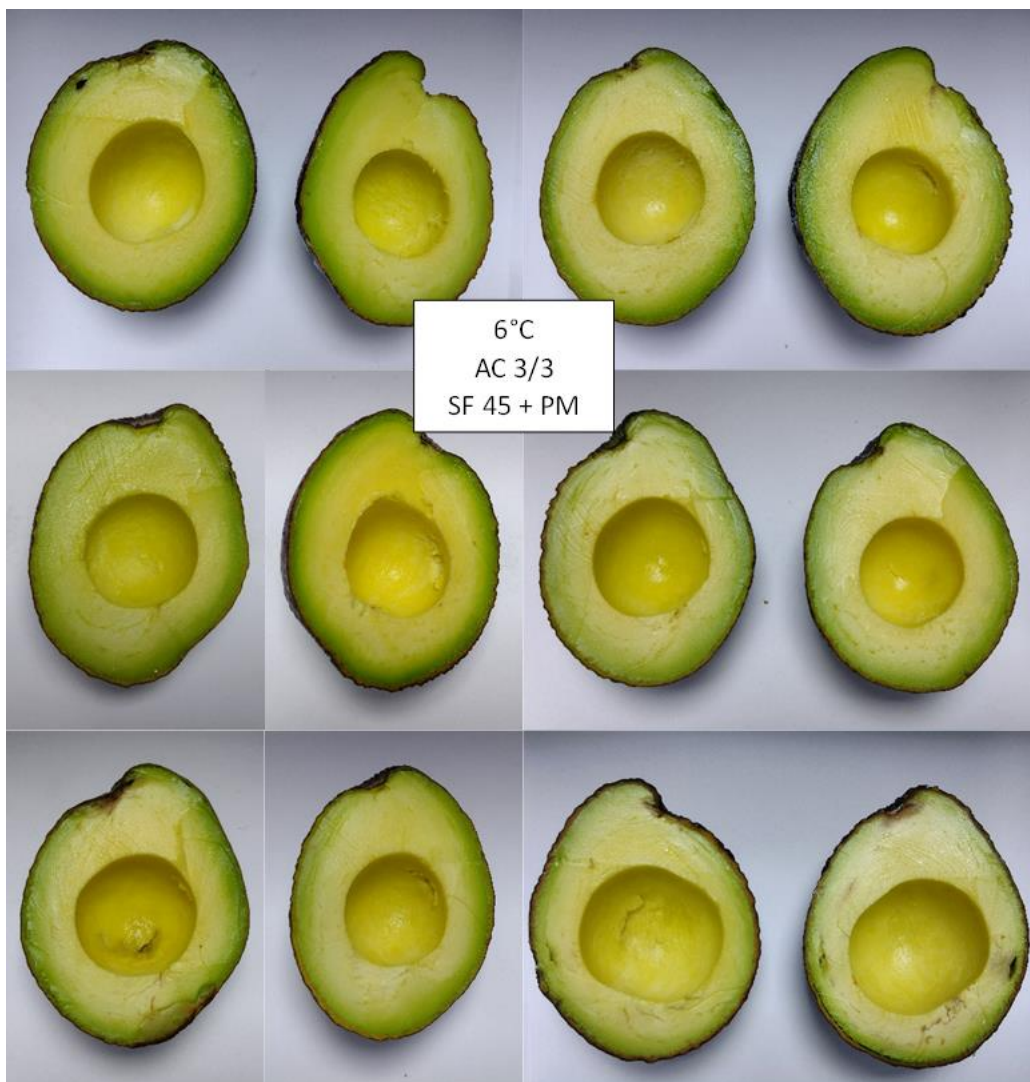




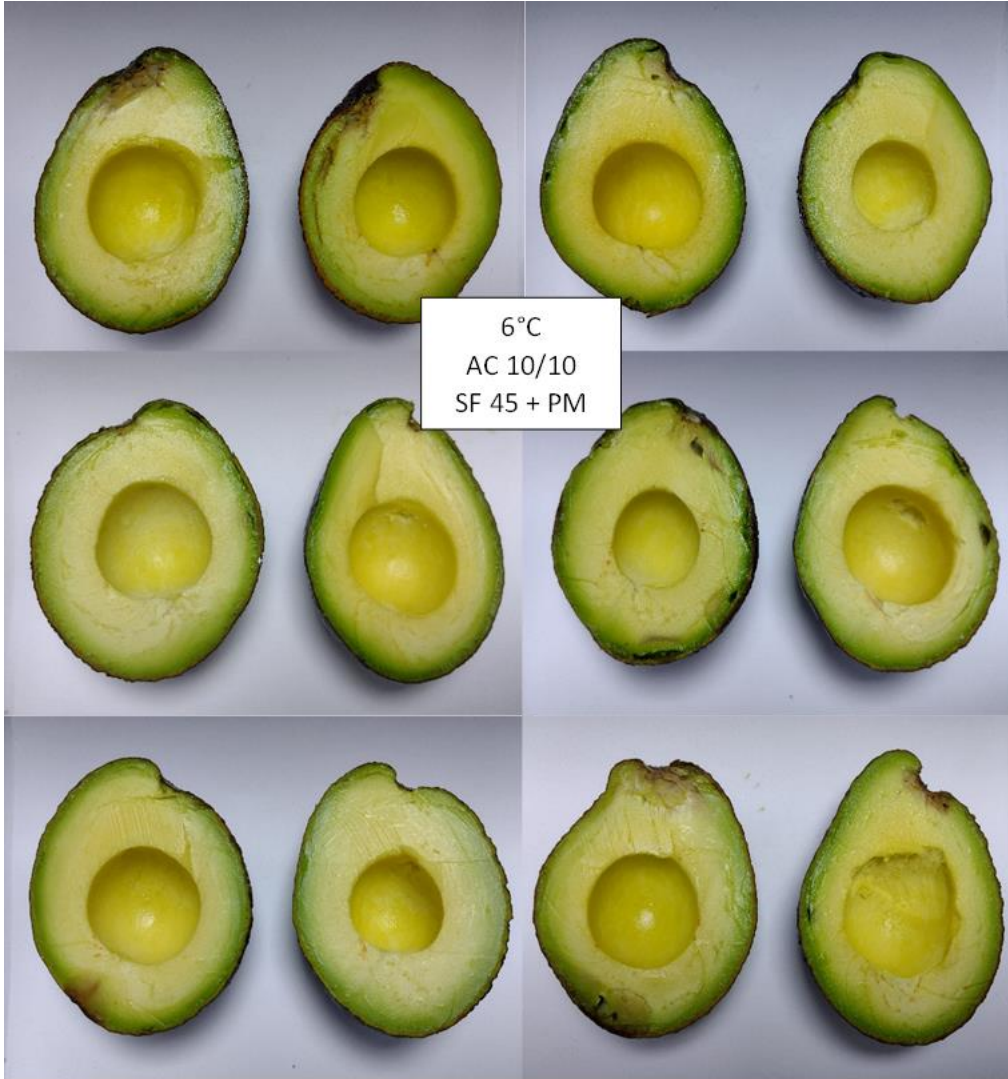


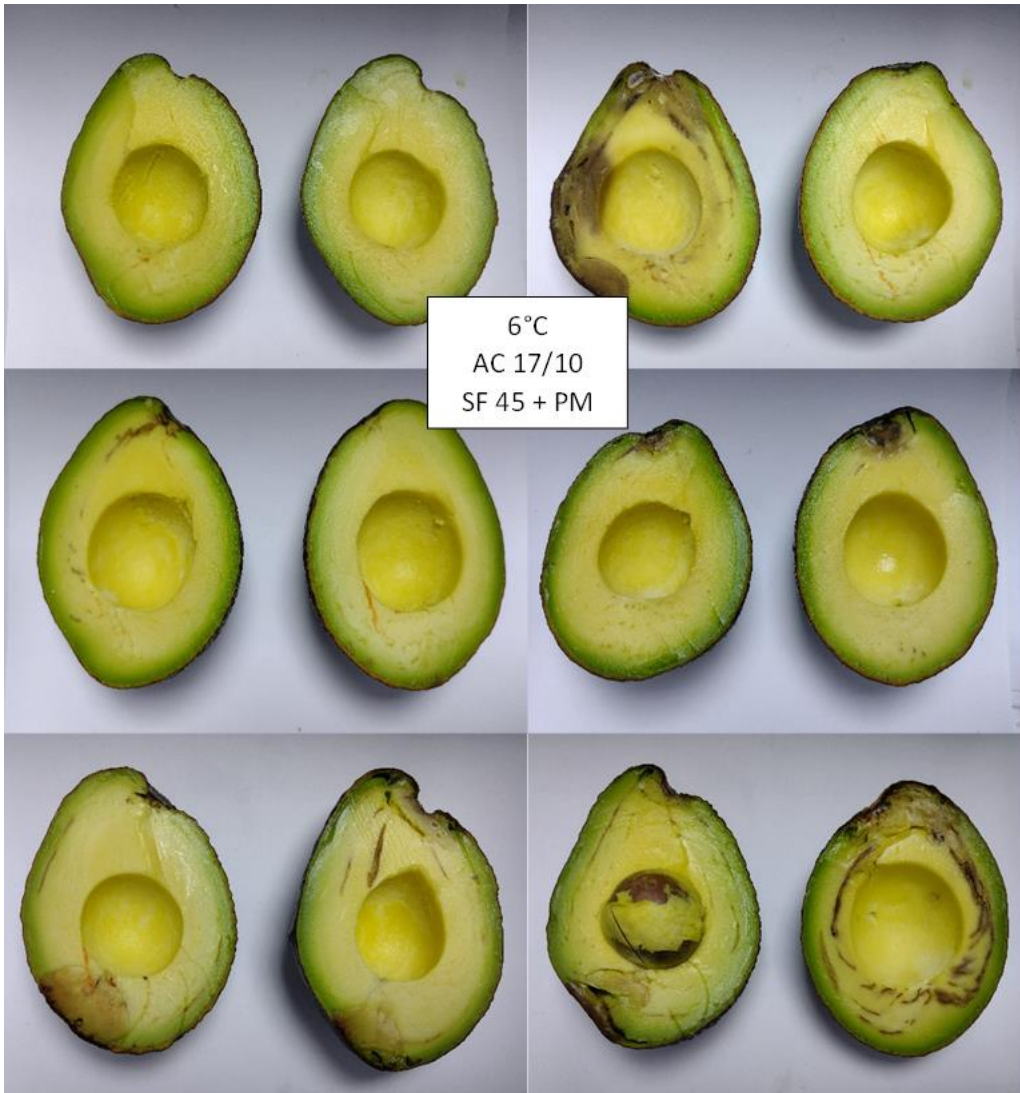


Anexo 9: Imágenes de apariencia interna después del periodo de maduración (PM) de fruta almacenada por 45 días (SF 45) según los tratamientos de atmósfera controlada.











Anexo 10: Imágenes de apariencia interna después del periodo de maduración (PM) de fruta almacenada por 60 días (SF 60) según los tratamientos de atmósfera controlada.



