

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de recubrimientos para preservar las características de calidad del  
aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass)

Trabajo de graduación en la modalidad de trabajo profesional presentado por Silvia Zoe  
Cevallos Figueroa para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias  
de los Alimentos.

Guatemala

2024



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación de recubrimientos para preservar las características de calidad del  
aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass)

Trabajo de graduación en la modalidad de trabajo profesional presentado por Silvia Zoe  
Cevallos Figueroa para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Ciencias  
de los Alimentos.

Guatemala

2024

Vo.Bo.:

*Ana Silvia Colmenares de Ruiz*

(f) \_\_\_\_\_

MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Tribunal Examinador:

*Ana Silvia Colmenares de Ruiz*

(f) \_\_\_\_\_

MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

*Ana Alicia Paz Pierri*

(f) \_\_\_\_\_

MSc. Ana Alicia Paz Pierri

*Adilia Blandón Ubeda*

(f) \_\_\_\_\_

MSc. Adilia Blandón Ubeda

Fecha de aprobación: 29 de noviembre de 2024

## PREFACIO

Esta tesis nace del interés por encontrar soluciones que extiendan la vida útil de los alimentos frescos, un reto constante en la industria alimentaria. El aguacate Hass, apreciado mundialmente por su calidad y beneficios, despertó mi interés por investigar métodos innovadores de conservación. Los recubrimientos comestibles se destacaron como una opción prometedora, no solo por su eficacia, sino también por su enfoque sostenible y su potencial para reutilizar recursos naturales.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental a lo largo de este proceso. A mis padres, Silvia Figueroa y Mauricio Cevallos, por siempre confiar en mí y brindarme todos los recursos necesarios para llevar a cabo esta etapa, por ser un ejemplo constante de perseverancia, dedicación y entrega, motivándome cada día a dar lo mejor de mí. A mi hermano, Sergio Cevallos, por su compañía y sus valiosos consejos en los momentos más importantes. A mis abuelos, Sergio Figueroa y Sylvia de Figueroa, por su amor, constancia y por abrirme las puertas de su hogar, brindándome el espacio necesario para concluir esta etapa tan significativa en mi vida.

También quiero agradecer a Isaac Cyrman, por su generosidad y disposición para acompañarme durante el proceso de experimentación, así como por ser una compañía invaluable durante la elaboración de este trabajo. Finalmente, a mis amigos de la universidad, quienes siempre estuvieron dispuestos a brindarme su apoyo y nunca dudaron en ofrecerme una mano cuando más lo necesité. Y claramente, agradecer a la Universidad del Valle de Guatemala y a todos mis catedráticos por brindarme todas las herramientas necesarias para cumplir esta nueva meta en mi vida.

Espero que este trabajo sea una pequeña contribución al campo de la tecnología de alimentos y que inspire futuras investigaciones sobre la conservación sostenible de frutas. Con este proyecto cierro un ciclo importante de mi vida, lleno de aprendizajes, retos y crecimiento personal, con la esperanza de seguir avanzando en esta área de estudio.

# ÍNDICE

PREFACIO .....	v
LISTADO DE CUADROS.....	vi
LISTADO DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
<i>A. Producción de Aguacate en Guatemala.....</i>	<i>4</i>
<i>B. Pérdidas poscosecha.....</i>	<i>6</i>
<i>C. Daños durante la poscosecha.....</i>	<i>7</i>
<i>D. Procesamiento de aguacate en Guatemala.....</i>	<i>7</i>
<i>E. Características de calidad del aguacate.....</i>	<i>9</i>
<i>F. Rechazo de aguacate de exportación.....</i>	<i>9</i>
<i>G. Recubrimientos Comestibles.....</i>	<i>9</i>
<b>III. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>IV. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>V. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<i>A. Aguacate .....</i>	<i>14</i>
<i>B. Composición nutricional del aguacate .....</i>	<i>14</i>
<i>C. Cosecha.....</i>	<i>15</i>
<i>D. Índices de Cosecha .....</i>	<i>16</i>
<i>E. Materia seca.....</i>	<i>17</i>
<i>F. Maduración.....</i>	<i>17</i>
<i>G. Pérdida de peso.....</i>	<i>19</i>
<i>H. Coloración.....</i>	<i>19</i>
<i>I. Sólidos solubles.....</i>	<i>20</i>
<i>J. Firmeza.....</i>	<i>21</i>

<i>K. Materia grasa</i> .....	21
<i>L. Recubrimientos comestibles</i> .....	22
<i>M. Quitosano</i> .....	23
<i>N. Carnauba</i> .....	23
<i>Ñ. Polifenoloxidasa</i> .....	24
<i>O. Antioxidantes</i> .....	25
<i>P. Agentes quelantes</i> .....	27
<b>VI. METODOLOGÍA</b> .....	<b>28</b>
<i>A. Etapa de selección de los recubrimientos</i> .....	28
<i>B. Pruebas piloto</i> .....	30
<i>C. Parámetros evaluados</i> .....	32
<i>D. Evaluación de condiciones</i> .....	35
<i>E. Análisis de resultados</i> .....	36
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>37</b>
<i>A. Método de aplicación</i> .....	37
<i>B. Recubrimientos seleccionados</i> .....	41
<i>C. Evaluación en condiciones de exportación</i> .....	47
<b>VIII. CONCLUSIONES</b> .....	<b>58</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>60</b>
<b>XI. ANEXOS</b> .....	<b>68</b>
<i>A. Etapa de Selección</i> .....	68
<i>B. Prueba piloto 1</i> .....	71
<i>C. Prueba Piloto 2</i> .....	74

## LISTADO DE CUADROS

<b>Cuadro 1. Superficie del cultivo de aguacate por departamento en 2020 .....</b>	<b>4</b>
<b>Cuadro 2. Condiciones de temperatura en la cadena de suministros de aguacate Hass para exportación.....</b>	<b>8</b>
<b>Cuadro 3. Composición del aguacate .....</b>	<b>15</b>
<b>Cuadro 4. Promedio de los índices de cosecha para aguacate Hass.....</b>	<b>16</b>
<b>Cuadro 5. Requisitos fisicoquímicos del aguacate Hass.....</b>	<b>18</b>
<b>Cuadro 6. Recubrimientos evaluados en etapa de selección.....</b>	<b>37</b>
<b>Cuadro 7. Parámetros fisicoquímicos de los recubrimientos evaluados .....</b>	<b>38</b>
<b>Cuadro 8. Evaluación de métodos de aplicación de recubrimiento a base de quitosano .....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 9. Evaluación de métodos de aplicación de recubrimiento a base de cera .....</b>	<b>39</b>
<b>Cuadro 10. Evaluación de color externo durante etapa de selección de recubrimientos para utilizar en evaluación final.....</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 11. Apariencia Interna de aguacates al finalizar etapa de selección de recubrimientos para utilizar en la evaluación final .....</b>	<b>43</b>
<b>Cuadro 12. Análisis estadístico de pérdida de peso en aguacates de prueba piloto 2 .....</b>	<b>47</b>
<b>Cuadro 13. Promedio de pérdida de peso en aguacates de prueba piloto 2.....</b>	<b>48</b>
<b>Cuadro 14. Porcentaje de materia grasa en los días 1 y 22 .....</b>	<b>50</b>
<b>Cuadro 15. Análisis estadístico de variación de firmeza en aguacates de prueba piloto 2 .....</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 16. Cartilla de color externo durante tiempo de evaluación de prueba piloto 2.....</b>	<b>55</b>

<b>Cuadro 17. Pesos obtenidos para análisis de pérdida de peso para aguacates en etapa de selección de recubrimientos para evaluación final.....</b>	<b>68</b>
<b>Cuadro 18. Evaluación de ángulo HUE durante etapa de selección de recubrimientos para utilizar en evaluación final.....</b>	<b>68</b>
<b>Cuadro 19. Apariencia interna de aguacates de prueba piloto 1 .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 10. Comportamiento de temperatura en cámara fría utilizada para prueba piloto 1..</b>	<b>72</b>
<b>Cuadro 20. Crecimiento de moho y hongos en aguacates de la prueba piloto 1.....</b>	<b>72</b>
<b>Cuadro 21. Parámetros L*, a* y b* obtenidos en análisis de prueba piloto 2 .....</b>	<b>76</b>
<b>Cuadro 22. Pesos obtenidos para análisis de pérdida de peso para aguacates de prueba piloto 2.....</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 23. Datos recolectados de variación de dureza en evaluación de aguacates de prueba piloto 2 .....</b>	<b>79</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1. Promedio de toneladas de los países con mayor exportación de aguacate .....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 2. Exportaciones de aguacate desde 2008 a 2022 .....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 3. Importaciones de los 5 importadores principales de aguacates (promedio entre 2010-2022) .....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 4. Color del aguacate Hass .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5. Relación entre el porcentaje de materia seca y contenido de aceite .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 6. Porcentaje de pérdida de peso del aguacate evaluada en etapa de selección de recubrimientos para utilizar en evaluación final.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 7. Variación de porcentaje de materia seca durante tiempo de evaluación de prueba piloto 2 .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 8. Variación de dureza durante tiempo de evaluación de prueba piloto 2 .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 9. Variación de peso durante la etapa de selección de recubrimientos para utilizar en la evaluación final.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 11. Variación de humedad relativa durante simulación de exportación en prueba piloto 2.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 12. Variación de temperatura durante simulación de exportación en prueba piloto 2</b>	<b>74</b>
<b>Figura 13. Variación de Concentración de CO<sub>2</sub> durante simulación de exportación en prueba piloto 2 .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 14. Variación de humedad relativa durante evaluación de vida de anaquel en prueba piloto 2 .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 15. Variación de temperatura durante evaluación de vida de anaquel en prueba piloto 2.....</b>	<b>76</b>

## RESUMEN

El presente trabajo analiza la preservación de la calidad y extensión de la vida útil del aguacate Hass mediante el uso de recubrimientos comestibles. El objetivo general es evaluar distintos recubrimientos para determinar cuál resulta más eficaz en la conservación del fruto, priorizando su estabilidad en el tiempo y los parámetros de calidad. La metodología emplea un control sin recubrimiento y tres tratamientos con diferentes formulaciones basadas en quitosano, cera carnauba y otros agentes conservantes. A través de mediciones de pérdida de peso, cambios en la coloración, porcentaje de grasa y materia seca, se identifican diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados más destacados indican que los recubrimientos a base de cera carnauba y ácido eritórbico, así como los que incluyen ácido giberélico, lograron reducir la tasa de respiración y mantener la calidad del fruto de mejor manera en comparación con el control. Se concluye que la aplicación de estos recubrimientos puede extender la vida útil del aguacate Hass con un impacto positivo en su conservación poscosecha, siendo el más eficiente de todos los recubrimientos el elaborado en base a quitosano y sorbato de potasio. Se sugiere realizar pruebas a mayor escala y en condiciones reales para verificar su viabilidad comercial y ajustar las técnicas de aplicación en función de los resultados observados en entornos controlados.

## **ABSTRACT**

This study analyzes the preservation of quality and extension of the shelf life of Hass avocados through the use of edible coatings. The general objective is to evaluate different coatings to determine which is most effective in preserving the fruit, prioritizing its stability over time and quality parameters. The methodology employs a control group without coating and three treatments with different formulations based on chitosan, carnauba wax, and other preservative agents. Through measurements of weight loss, color changes, fat percentage, and dry matter, significant differences between treatments are identified. The most notable results indicate that coatings based on carnauba wax and erythorbic acid, as well as those including gibberellic acid, managed to reduce the respiration rate and better maintain the fruit's quality compared to the control. It is concluded that the application of these coatings can extend the shelf life of Hass avocados, with a positive impact on their post-harvest preservation, with the most efficient coating being the one made from chitosan and potassium sorbate. It is suggested to conduct larger-scale tests under real conditions to verify its commercial viability and adjust the application techniques based on the results observed in controlled environments.

# I. INTRODUCCIÓN

El aguacate Hass es una de las variedades de aguacate más populares de todo el mundo, originaria de zonas montañosas del este de México y Guatemala, y cultivada en diversos países latinoamericanos, destaca por su textura cremosa y sabor intenso. El aguacate tiene un gran impacto económico a nivel mundial, según lo indicado por FAOSTAT (2024), este fruto cuenta con un mercado valorado en más de \$7 mil millones en exportaciones en 2022 y proyectado a alcanzar \$26 mil millones para 2030, impulsado por la creciente demanda en mercados como Estados Unidos, Europa y China. Su importancia social radica en la generación de empleos, inversión en infraestructura y mejora de la calidad de vida en comunidades rurales, especialmente en países como México, Perú, Colombia y otros países de Latinoamérica.

Las pérdidas poscosecha, que oscilan entre un 2 % y un 23 % en productos hortofrutícolas y alcanzan hasta un 30 % en el caso del aguacate a nivel mundial (Kader, 2002), generan un impacto económico y ambiental considerable. Además de la disminución de alimentos disponibles, se traducen en ingresos perdidos para los agricultores, mayores precios para los consumidores y un desperdicio de recursos. Entre las causas de estas pérdidas, los rechazos de productos de exportación por no cumplir con requisitos fitosanitarios, daños físicos durante el transporte o problemas de calidad relacionados con la etapa de maduración son de los principales motivos. Para reducirlas, es necesario implementar medidas en diferentes etapas de la cadena de valor, como mejorar las prácticas de cosecha y manejo, utilizar tecnologías de almacenamiento, transporte y conservación adecuadas y más innovadoras.

Dada la relevancia global del aguacate, el desarrollo de métodos para prolongar su vida útil se ha vuelto crucial para la industria alimentaria. Además, este producto ha adquirido un gran interés económico y social en Guatemala, gracias a la generación de empleo y a los ingresos derivados de su exportación. Actualmente, Guatemala está en proceso de obtener el permiso de exportación de aguacate a Estados Unidos, lo

que aumenta el interés por desarrollar e implementar métodos de conservación que garanticen la calidad del producto y prolonguen su vida útil.

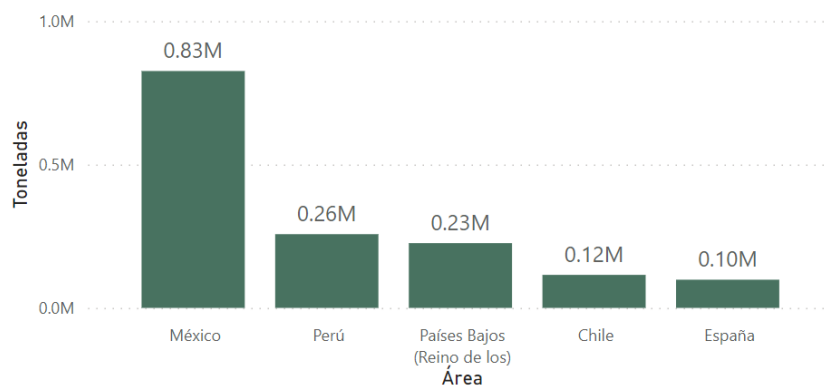
La aplicación de recubrimientos en productos hortofrutícolas ha sido objeto de extensa investigación en los últimos años, debido a su potencial para funcionar como método de envasado. En el transcurso de esta investigación, se describirá el comportamiento de maduración de los aguacates tras la aplicación de diversos recubrimientos, con el objetivo de determinar cuál es el más efectivo para prolongar su vida en anaquel. A lo largo de la siguiente investigación, se mostrarán los resultados obtenidos tras la aplicación de diversos recubrimientos comestibles en el aguacate Hass y la evaluación de calidad de los aguacates a lo largo de la simulación de tiempos y condiciones de exportación. Entre los parámetros de calidad evaluados se encuentran la determinación de materia seca, pérdida de peso, cambio en la coloración, análisis de firmeza, contenido de sólidos solubles y la evaluación de las condiciones (temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>) durante la simulación de exportación.

A lo largo del documento se desarrollan distintos capítulos, comenzando con los antecedentes, donde se expone el estado actual de las investigaciones sobre recubrimientos comestibles y su aplicación en aguacates. A continuación, en el capítulo de justificación, se destacan datos relevantes sobre la importancia de aplicar recubrimientos y el consumo de aguacates. El marco teórico proporciona la base conceptual necesarias para el desarrollo de la investigación, seguido por el capítulo de Objetivos. En la sección de metodología, se describen detalladamente los procesos llevados a cabo durante la etapa de experimentación. En el capítulo de resultados y discusión presenta los análisis realizados y la interpretación de los datos obtenidos. Finalmente, se presentan los capítulos de conclusiones y recomendaciones, relacionados con el trabajo de investigación, terminando con el capítulo de anexos, que incluye información adicional, datos originales y gráficos generales.

## II. ANTECEDENTES

El aguacate es un fruto con gran versatilidad debido a su sabor neutro y cremosidad, al igual que tiene un alto aporte de grasas y proteínas, lo cual lo hace un fruto de gran interés. De igual manera, este es un fruto utilizado para el consumo humano, pero también debido a las propiedades de su aceite, que corresponde entre un 10 % a 20 %, es ampliamente utilizado en la industria cosmética y en la industria farmacéutica (Pulido y Hernández, 2019). Tal como indican Madero-Romero y Castro-Zarcos (2019) en su estudio sobre el comportamiento del mercado de aguacate, en los últimos años el mercado de aguacate ha incrementado cada año en aproximadamente 3 puntos porcentuales. Este crecimiento se ve reflejado en su mayoría, en países de América del Norte, Europa, China y el Sureste Asiático. Actualmente, tal como se muestra en la Figura 1, México es el mayor productor y exportador de aguacate a nivel mundial, seguido de Perú, Países Bajos, Chile y España. En promedio, entre el 2010 y 2022, México exportó más de 826,000 toneladas de aguacate, lo cual representa un impacto económico de más de \$2,025 millones. Por otra parte, es importante tomar en cuenta que el consumo de aguacate se ha visto “impulsado por la promoción del aguacate como parte del grupo de “super alimentos”” (Arias, Montoya y Velásquez, 2018, p.35).

**Figura 1:** Promedio de toneladas de los países con mayor exportación de aguacate



[Elaboración propia. Fuente: FAOSTAT. 2024]

## A. Producción de Aguacate en Guatemala

Según lo señalado por la Asociación de Exportadores de Guatemala (AGEXPORT), el país cuenta con condiciones óptimas para el cultivo del aguacate, lo que abre la posibilidad de que se consolide como un proveedor destacado a nivel global de esta fruta. Actualmente, las variedades más destacadas en la exportación son Hass y Booth 8, las cuales se cultivan en diversos departamentos del territorio guatemalteco, entre ellos: Guatemala, Chimaltenango, Sacatepéquez, Alta y Baja Verapaz, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Huehuetenango, Jalapa, Retalhuleu, Escuintla y Petén. De los departamentos mencionados, Chimaltenango cuenta con una mayor superficie de cultivo de aguacate, lo cual representa un 19.73 % de la superficie total de cultivo que fue estimada en el 2020. En el Cuadro 1, se puede observar la distribución de la superficie de cultivo en los diversos departamentos productores de aguacate y su respectivo porcentaje de aportación a la superficie total con los datos proporcionados por la Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo (DIGER, 2021).

**Cuadro 1.** Superficie del cultivo de aguacate por departamento en 2020

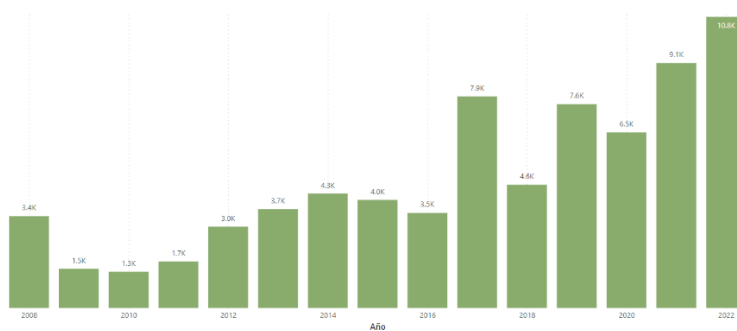
<b>Departamento</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje de superficie de cultivo (%)</b>
Alta Verapaz	525.12	11.04
Baja Verapaz	258.62	5.44
Chimaltenango	939.38	19.75
El Progreso	6.06	0.13
Escuintla	101.81	2.14
Guatemala	271.06	5.70
Huehuetenango	9.26	0.19
Jalapa	12.89	0.27
Jutiapa	67.07	1.41
Petén	401.26	8.44
Quetzaltenango	364.18	7.66
Retalhuleu	39.6	0.83

Sacatepéquez	710.43	14.93
San Marcos	8.19	0.17
Santa Rosa	198.96	4.18
Sololá	373.6	7.85
Suchitepéquez	385.98	8.11
Totonicapán	14.07	0.30
Zacapa	69.45	1.46
<b>Total</b>	<b>4756.99</b>	<b>100</b>

[Elaboración propia. Fuente: DIGER, 2021]

Según lo expuesto en el informe sobre el perfil del aguacate elaborado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación en 2023 (MAGA, 2023), se ha realizado una estimación de los rendimientos de este cultivo en Guatemala desde 2017 hasta 2021, registrando un promedio de rendimiento de 231.42 quintales por hectárea, siendo el mayor porcentaje de producción correspondiente al aguacate Hass. De acuerdo con datos proporcionados por el Banco de Guatemala (BANGUAT, s. f), Guatemala ha participado en la exportación de aguacate desde 2008, experimentando un notable crecimiento del 217.09 % entre 2010 y 2022. En 2022, el volumen total de exportación alcanzó las 10,846.45 toneladas métricas. Como se observa en la Figura 2, a lo largo de los años ha existido una tendencia al alza en la cantidad de aguacate exportado, aunque con algunas fluctuaciones en los años 2016, 2018 y 2020.

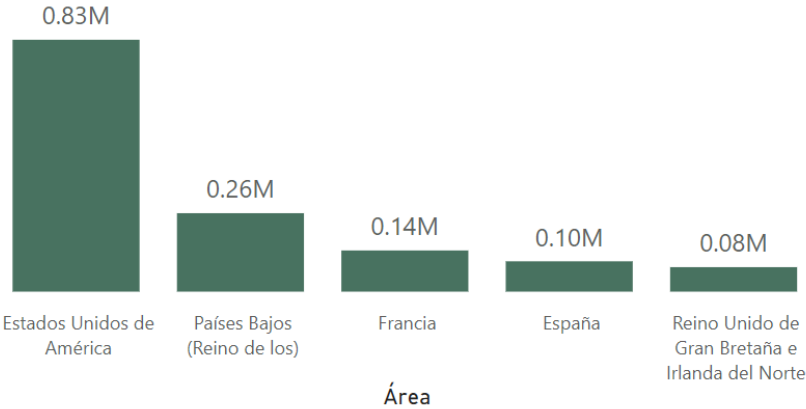
**Figura 2.** Exportaciones de aguacate desde 2008 a 2022



[Elaboración propia. Fuente: MAGA, 2023]

Los destinos más recurrentes de exportación son otros países de Centroamérica, tales como Honduras, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua y Panamá, iniciando las exportaciones a Europa en el 2015 y a Países Bajos en el 2017. Actualmente, Guatemala se encuentra a la espera de la autorización de Estados Unidos para contar con el permiso de exportación de aguacate a dicho país, lo cual sería de gran provecho para Guatemala, debido a que Estados Unidos es el país que más importa aguacate a nivel mundial, siendo el promedio de importación de aguacate entre 2010 y 2022 de más de 83,000 toneladas métricas tal como se presenta en la Figura 3, lo cual hace que Estado Unidos se convierta en un área de interés para los países productores de aguacate.

**Figura 3.** Importaciones de los 5 importadores principales de aguacates (promedio entre 2010-2022)



[Elaboración propia. Fuente: FAOSTAT, 2024]

**B. Pérdidas poscosecha**

Según lo indicado por Kader (2002), se tiene una estimación que, a nivel mundial, del 2 al 23 % de los frutos se pierden en la poscosecha en los países desarrollados, a diferencia de un 50 % de pérdidas en los países en desarrollo. La mayoría de las pérdidas de producto se encuentran relacionadas con la manipulación incorrecta o malas condiciones de transporte. En el caso del aguacate, las pérdidas durante la poscosecha pueden llegar a

representar un 30 % debido a un manejo incorrecto del fruto luego de recolectarlo, estas pérdidas se deben a daños físicos, maduración y la forma y condiciones de conservación. Es importante tomar en cuenta que las pérdidas poscosecha cuentan con un impacto negativo a nivel económico y ambiental, por lo cual, a lo largo de los años se ha convertido en un aspecto de interés la búsqueda de métodos y condiciones que permitan disminuir la pérdida de productos hortofrutícola, esto debido a que las pérdidas poscosecha emiten aproximadamente 4.2 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de comida desperdiciada (Ahmed et al., 2024).

### **C. Daños durante la poscosecha**

Los daños físicos pueden ocurrir al momento de cosecha, al procesar el aguacate (lavar, cepillar, empacar), debido a que es posible que el aguacate puede sufrir de golpes, roces u otros daños por fricción o compresión durante el procesamiento. Estos factores aumentan la temperatura del producto, fomentando un aumento en la tasa de respiración del producto y apresurando el proceso de maduración y/o senescencia del fruto. De igual manera, tal como menciona Abello y Esmeral (2018), otro de los factores que afecta este fruto son los daños microbiológicos, los cuales pueden deberse a la presencia de plagas, la entrada de hongos durante el proceso de la cosecha o durante el procesamiento, almacenamiento y transporte del producto debido a daños mecánicos o malas condiciones de mantenimiento.

### **D. Procesamiento de aguacate en Guatemala**

En el estudio realizado por Vélez, (2021) en Guatemala, se describen las diversas etapas que los productores y exportadores atraviesan antes y durante el envío de aguacates al extranjero. En líneas generales, la cadena de suministro del aguacate Hass para exportación consta de cuatro etapas de transporte. Durante este proceso, se realiza un único procedimiento de cepillado para eliminar posibles impurezas que puedan encontrarse en la superficie del fruto, con el fin de cumplir con las regulaciones establecidas por el reglamento No. 831/97 de la Comisión Europea. Asimismo, se llevan

a cabo procesos de selección, clasificación y almacenamiento en diferentes etapas de la cadena de suministro, según corresponda al estado del fruto. Todos estos pasos se detallan de manera más clara en el Cuadro 2, donde se presentan tanto las condiciones actuales en Guatemala como las condiciones ideales para la cosecha, procesamiento, transporte y almacenamiento del aguacate.

**Cuadro 2.** Condiciones de temperatura en la cadena de suministros de aguacate Hass para exportación

<b>Etapa</b>	<b>Temperatura actual (°C)</b>	<b>Temperatura ideal (°C)</b>
Cosecha	18	7
Transporte primario	19.2	7
Descarga	22.4	7
Pesaje	22.3	7
Almacenamiento previo a cepillado	23.6	7
Cepillado	24.9	7
Selección y clasificación	23.8	7
Almacenamiento	24.1	7
Carga de camión en salida	25.9	7
Transporte secundario	26.1	7
Puerto/transporte de exportación	7	7
Recepción/ almacenamiento país importador	7	7
Transporte cuaternario	7	7
Almacenamiento vendedor al detalle	7	7
Consumidor final	25	7

[Elaboración propia. Fuente: Vélez, 2021]

## **E. Características de calidad del aguacate**

A lo largo de los años, se ha evaluado las características de calidad del aguacate que son más importantes para los consumidores. Entre estos se encuentran, la firmeza del aguacate, la coloración de la pulpa y de la cáscara, el sabor y la humedad del producto al momento de consumirlo. Todas estas características de calidad se encuentran relacionadas con el manejo de la cosecha (que el producto sea cosechado en el momento correcto) y con el manejo del producto tras llevar a cabo la cosecha. Actualmente, el indicador utilizado para determinar la madurez de cosecha es la determinación de materia seca, parámetro que se encuentra relacionado con las condiciones ambientales, el manejo del cultivo, la cosecha y las propiedades del suelo en el que se está cultivando el fruto. Este es un parámetro que permite determinar el punto óptimo de cosecha, siendo actualmente 20.6 % en Australia y en Estados Unidos, en Costa Rica un 23 % y en México se acepta que la materia seca sea mayor a 30 % (Escobar et al., 2019).

## **F. Rechazo de aguacate de exportación**

El estudio sobre las exportaciones de aguacate Hass colombiano hacia Estados Unidos, realizado por Abello y Esmeral (2018), identificó que uno de los factores críticos que influyen en la aceptación o rechazo del aguacate Hass al llegar a los países de destino radica en el cumplimiento de los estándares de calidad relacionados con su grado de maduración. Se estima que entre un 15 % y un 20 % del aguacate es rechazado debido a que alcanza un estado de maduración avanzado. Entre los parámetros analizados que contribuyen a esta maduración avanzada al momento de la exportación, se encuentran los largos tiempos de transporte hasta llegar al puerto y las deficiencias logísticas asociadas a las condiciones de las carreteras y los camiones utilizados para el transporte del fruto.

## **G. Recubrimientos Comestibles**

En la actualidad, los recubrimientos para aguacate aún se encuentran en fase de experimentación, realizándose diferentes pruebas de complementos que permitan alargar la vida útil de este fruto altamente consumido a nivel mundial. Por ejemplo, Ahmed et

al., (2024) realizó la evaluación de un recubrimiento de quitosano, goma arábica y diferentes porcentajes de óxido de zinc, logrando determinar que la combinación entre estos compuestos tiene un efecto positivo en la preservación de las características de calidad de los aguacates. Por otro lado, se han evaluado recubrimientos con actividad fungistática para el control del *Fusarium solani*, el cual es un “hongo responsable de la pudrición seca y blanda de varias especies vegetales” (Coyotl-Pérez, 2023, p.1). Por otra parte, se han realizado estudios, tales como el de Cao et al., (2022), que han evaluado el efecto de los aceites esenciales en la calidad de los frutos durante la poscosecha, logrando determinar que “la aplicación de aceites esenciales es una buena alternativa para el uso de químicos, pero aún se encuentra en sus primeras fases y la investigación aún permanece a escala de laboratorio”. (p.56) Existen diferentes métodos de aplicación para los recubrimientos comestibles en la actualidad, siendo los más utilizados la aspersión, inmersión o *brushing*, el cual consiste en aplicar el recubrimiento utilizando una brocha. Tras la aplicación de recubrimientos el fruto debe de contar con un tiempo de espera para que el producto se seque y adhiera correctamente a la superficie del fruto.

De igual manera, en un estudio realizado por Maftoonzad, y Ramaswamy (2005) identificaron que, al agregar recubrimientos comestibles elaborados a partir de metilcelulosa, la pérdida de humedad (conocida también como pérdida de peso) se redujo un 50 % en los frutos de aguacate. En el caso del estudio realizado por Aguilar (2013) al aplicar recubrimientos elaborados a partir de almidón y glicerol, es posible disminuir las pérdidas de peso entre un 12 y 22 % si el producto se mantiene en condiciones de refrigeración.

### III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, los consumidores buscan la disponibilidad de productos frescos, en buen estado y en cualquier momento del año. Es debido a esta necesidad que el uso de nuevas tecnologías en la conservación de frutas y vegetales se ha convertido en un tópico de interés para la industria de alimentos. Para que un producto hortofrutícola sea aceptado por los consumidores, este debe cumplir con algunos requisitos básicos tales como lo son la conservación de las características organolépticas, las propiedades nutricionales y que sean atractivas visualmente. En el caso de los productos agrícolas, uno de los principales problemas se encuentra en el cambio de los atributos visuales debido al pardeamiento derivado de los procesos de respiración (Mendoza-Intriago et al., 2023).

Los recubrimientos comestibles (RC) han sido objeto de estudio en los últimos años debido a su potencial para ser utilizados como envase, estas pueden aplicarse sobre las frutas y verduras mediante la inmersión o aspersion. Estos recubrimientos funcionan formando una barrera entre el producto y el entorno, permitiendo alargar la vida útil durante procesos de exportación o de almacenamiento. Los RC cuentan con diferentes funciones según el material de elaboración, desde la disminución de probabilidad de crecimiento de hongos, hasta la reducción de pérdidas de humedad y disminución de la rapidez de maduración de los frutos. Algunos de los biopolímeros más utilizados para elaborar las películas comestibles (PC) son a base de almidón, alginato, gomas, quitosano e incluso mezclas de estos u otros compuestos (Madera-Santana et al., 2023)

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, en Guatemala (MAGA, 2023), el consumo de aguacate per cápita es de 2.5 kg al año y este fruto genera una gran cantidad de divisas debido a la exportación. De igual manera, en los países que importan aguacate, ha sido posible observar un aumento en el consumo de dicho fruto a lo largo de los años, tal como menciona el Centro de Promoción de Importaciones de países en desarrollo del Ministerio de Relaciones Exteriores de la Unión Europea (CBI, 2024), se espera que para 2030 el aguacate sea la segunda fruta tropical más vendida del mundo, siendo las importaciones de aguacate mayores a 813 mil toneladas en la Unión Europea el 2022. Por otro lado, se tienen las importaciones de aguacate realizadas por Estados

Unidos, las cuales han mostrado un aumento desde el 2016 y llegando a una cifra de 1.2 millones de toneladas de aguacate en el 2021, lo cual corresponde a un aproximado de 3,000 millones de dólares (DataExport, 2022).

Guatemala se encuentra en búsqueda de aumentar las exportaciones de aguacate hacia diversos países y continentes. De acuerdo con lo indicado por el Banco de Guatemala (BANGUAT), en el 2022, las exportaciones de aguacate representaban un aporte de 11.90 millones de dólares, siendo los principales destinos: Países Bajos, otros países de Centroamérica, Reino Unido, España, Alemania y Canadá. Es importante mencionar que Guatemala se encuentra a la espera de la obtención del permiso de exportación a Estados Unidos y de contar con dicho permiso a finales del 2024 (Agexport, 2023).

De igual manera, tal como lo plantean los Objetivos de Desarrollo Sostenible, aprobados por la Organización de las Naciones Unidas, la aplicación de recubrimientos a los alimentos mínimamente procesados para aumentar su vida útil se podría establecer dentro del objetivo de Producción y Consumo Responsables. Ya que, este objetivo también se enfoca en el gran desperdicio de alimentos que existe en la actualidad debido al consumo excesivo de los mismos (ONU, 2015).

## IV. OBJETIVOS

### A. Objetivo general

Evaluar distintos recubrimientos para preservar las características de calidad y vida de anaquel del aguacate Hass (*Persea americana Mill*).

### B. Objetivos específicos

- ❖ Determinar el método de aplicación del recubrimiento en el aguacate que sea más funcional.
  
- ❖ Seleccionar los recubrimientos que demuestren más efectividad en la preservación de las características de calidad del aguacate.
  
- ❖ Caracterizar y determinar el recubrimiento más efectivo para lograr una mayor vida de anaquel en los aguacates Hass tras la simulación del tiempo de exportación.

## V. MARCO TEÓRICO

### A. Aguacate

El aguacate Hass (*Persea americana*) es una planta perteneciente a la familia Lauraceae, originaria de las zonas montañosas del este de México y Guatemala, pero ampliamente distribuida desde el norte de México hasta el sur de Chile. Esta planta dicotiledónea se caracteriza por su tallo aéreo con aspecto leñoso y raíz superficial. Entre las variedades más destacadas a nivel mundial se encuentran *Persea americana* var. *drymifolia* (raza mexicana), *P. nubigena guatemalensis* (raza guatemalteca) y *P. americana* var. *Americana* (raza antillana). Las diferencias entre estas variedades incluyen la altura de la planta, la forma y tamaño del fruto, el color de la cáscara y el contenido de ácidos grasos presentes en el fruto. El aguacate de variedad Hass es el más sembrado y reconocido al rededor del mundo debido a sus características organolépticas (Caiza-Velasco, 2020).

El fruto del aguacate es una baya cremosa que contiene una semilla de gran tamaño en su centro, rodeada por una pulpa con aspecto mantecoso. Durante la madurez, el color del fruto puede variar entre tonalidades de verde, negro o púrpura, dependiendo de la variedad de aguacate. De igual manera, la forma puede ser ovoide, globular o elíptica alargada. Dependiendo de la variedad, el fruto puede tener un peso que oscila entre poco más o menos de 2.3 kg (Cano-Calle, 2020).

### B. Composición nutricional del aguacate

Tal como se muestra en la Cuadro 3, el aguacate es un alimento con un gran aporte nutricional y esto, acompañado de sus atributos sensoriales, lo hace un producto de mucho interés para los consumidores. A parte de su gran aporte de grasas y proteínas, el aguacate también aporta una mezcla de ácidos grasos omega-3, omega-6 y omega-9 lo cual representa un impacto positivo para la salud, ya que, tal como menciona Viñán-Pérez

(2020), la presencia de estos ácidos grasos permite disminuir la concentración de colesterol LDL y aumentar la concentración de colesterol HDL. De igual manera, el aguacate aporta diversas cantidades de vitamina A, B1, B2, B3, B6, C y E Viñán-Pérez 2020).

**Cuadro 3.** Composición del aguacate

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>100 g</b>
<b>Agua</b>	g	73.23
<b>Energía</b>	kcal	160
<b>Proteína</b>	g	2
<b>Grasa</b>	g	14.66
<b>Carbohidratos</b>	g	8.53
<b>Fibra</b>	g	6.7
<b>Azúcar, total</b>	g	0.66
<b>Calcio</b>	mg	12
<b>Hierro</b>	mg	0.55
<b>Magnesio</b>	mg	29
<b>Fósforo</b>	mg	52
<b>Potasio</b>	mg	485
<b>Sodio</b>	mg	7
<b>Zinc</b>	mg	0.64

[Elaboración propia. Fuente: Aristizábal, 2020]

### **C. Cosecha**

A lo largo de los años, se han realizado diversos estudios que han demostrado que las mejores formas de determinar la madurez y momento de cosecha óptimos para el aguacate, se puede realizar por medio de un análisis de materia seca y contenido de grasa

(Aristizábal, 2020). De igual manera, hay otros estudios, como el de Blakey, Tesfay, Bertling y Bower (2012) en el que se realizaron pruebas de la concentración de nutrientes presentes en el fruto, tales como azúcares, proteínas y la cantidad de aceite durante la maduración. Todas las mediciones previamente mencionadas, son tomadas en cuenta durante la cosecha y la poscosecha del aguacate.

## D. Índices de Cosecha

En un estudio realizado por Rodríguez y Henao (2019). Sobre los índices de madurez de cosecha para el aguacate, lograron llevar a cabo la estandarización de medidas de materia seca, materia grasa, diámetros, tiempo de desarrollo y coloración promedio de los aguacates para determinar el punto óptimo de cosecha en diferentes regiones del país, logrando determinar que existe una relación entre el volumen estimado y la luminosidad (L\*) con respecto a la materia seca del aguacate. En el caso del Cuadro 4, se muestran los promedios aproximados de algunos de los parámetros evaluados Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, en la investigación previamente mencionada.

**Cuadro 4.** Promedio de los índices de cosecha para aguacate Hass

<b>Índice de cosecha</b>	<b>Promedio</b>
Materia Seca (%)	23.43
Materia Grasa (%)	11.74
Diámetro Ecuatorial (mm)	63.92
Diámetro Polar (mm)	83.49
Volumen Estimado (mL)	177.79
<b>Color</b>	<b>Promedio</b>
L*	38.56

a*	-13.68
b*	20.46

[Elaboración propia. Fuente: Rodríguez y Henao, 2019]

## E. Materia seca

La materia seca en el aguacate se refiere a la cantidad de sólidos presentes en la fruta una vez que se ha eliminado toda el agua. Es una medida importante en la evaluación de la calidad del aguacate, ya que indica la concentración de nutrientes y compuestos esenciales en la fruta. La determinación de la materia seca se realiza típicamente mediante el secado de una muestra de aguacate fresco y la posterior medición del peso de los sólidos restantes. En un estudio realizado por Gamble et al., (2010), fue posible demostrar que la materia seca realmente puede impactar la percepción de los consumidores sobre la calidad del aguacate. En este estudio, fue posible determinar que los consumidores suelen preferir aguacates que se tienen un porcentaje de materia seca de entre 22-27 %, e incluso fue posible demostrar cierta preferencia por aguacates que contaban con un porcentaje de materia seca bastante elevado, de incluso un 38 %. De igual manera, tanto lo indicado por el reglamento No. 387/2005 de la Comisión Europea como para la Norma CXS 197-1995 de Codex Alimentarius, el porcentaje mínimo de materia seca requerido para el aguacate Hass debe de ser del 21 % al momento de recepción.

## F. Maduración

El aguacate es un fruto climatérico que inicia la producción de etileno una vez se encuentra separado del árbol, una vez da inicio la fase climatérica, es posible observar diversos cambios en el fruto, tanto físicos como químicos a lo largo del tiempo. Algunos de los factores que resaltan durante esta fase es la producción de etileno y el aumento de la respiración del aguacate, lo cual fomenta los cambios en la coloración, firmeza y otras características organolépticas del aguacate (Rodríguez, 2021). Para el aguacate, la temperatura ideal de maduración se encuentra entre 15 y 20 °C, ya que a temperaturas mayores la maduración es irregular y se genera aumenta la rapidez de senescencia del

fruto. En el caso del aguacate, este cuenta con diferentes etapas de maduración, siendo estas la madurez fisiológica y la madurez comercial.

Según lo establecido en la norma NTE INEN 1755:2015-10 referente al aguacate, la madurez fisiológica representa la fase en la que el producto es cosechado para permitir que continúe su proceso de maduración natural, adquiriendo las características sensoriales y organolépticas propias de este fruto. Por otro lado, se define la madurez comercial como el punto en el que el aguacate ha alcanzado todas las cualidades deseables para los consumidores, incluyendo cambios en textura, desarrollo del sabor, palatabilidad, aspecto y aroma.

Asimismo, según Zepeda et al., (s. f.), los cambios que llevan al aguacate a alcanzar su madurez comercial u organoléptica son el resultado de reacciones bioquímicas inducidas por su proceso de respiración. Estas reacciones provocan una disminución en el contenido de humedad, lo que incrementa los niveles de aceite y materia seca, contribuyendo así al alcance de la madurez comercial del fruto. De igual manera, en el Cuadro 5, se pueden observar algunos de los parámetros esperados según la etapa de maduración del aguacate.

**Cuadro 5.** Requisitos fisicoquímicos del aguacate Hass

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Madurez fisiológica</b>	<b>Madurez comercial</b>
Sólidos solubles	%	$6 < SS \leq 7$	$> 8$
Penetrabilidad	Pa (N/m <sup>2</sup> )	$4.9 \times 10^6 - 5.29 \times 10^6$	$5.88 \times 10^5 - 6.86 \times 10^5$
Materia seca	%	$20 < MS \leq 23$	-
Materia grasa	%	12	-

[Elaboración propia. Fuente: NTE INEN 1755:2015-10]







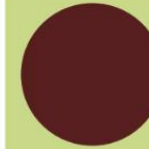
## **G. Pérdida de peso**

La pérdida de peso es el resultado de la deshidratación del aguacate, esto se debe a que, al momento de cosechar el fruto, este cuenta con una gran cantidad de agua que al ser cortada y dar inicio la respiración y producción de etileno, esto genera que el agua se pierda por medio de transpiración (Figueroa et al., 2011). Esta pérdida de humedad es resultado del gradiente de presión que existe entre el interior y el exterior del fruto y es uno de los principales causantes de la pérdida del estado fresco de los aguacates, ya que es un factor que fomenta la marchitez y ablandamiento de este (Figueroa et al., 2011). En el caso de los recubrimientos, estos actúan como una barrera, con la finalidad de frenar la difusión de vapor de agua generada por el gradiente de presión, esta barrera permite disminuir la pérdida de humedad, es por esta razón que el espesor y permeabilidad, son características importantes para tomar en cuenta para manejar la velocidad de la transferencia de masa.

## **H. Coloración**

Al igual que la firmeza, en el caso de los aguacates, el cambio de color es uno de los parámetros más evidentes y es utilizado por los consumidores para determinar si este fruto se encuentra maduro o no (Cerdas et al., 2014). En el caso de los aguacates, el color varía de verde hasta un morado oscuro según su etapa de madurez. Tal como menciona Abello y Esmeral, (2018), uno de los parámetros más importante para el color en los aguacates es el almacenamiento, las condiciones de almacenamiento son determinantes del proceso de maduración que llevará el fruto ya que, el aguacate debe encontrarse a temperaturas bajas, pero si esta es muy baja, puede generar quemaduras por frío y generar cambios en el sabor y color del fruto.

**Figura 4.** Color del aguacate Hass

TABLA DE COLOR					
GRADO DE MADUREZ	GM1	GM2	GM3	GM4	GM5
Detalle	Fruto de color verde claro brillante	Fruto con tonalidades verde oscuro, brillante	Fruto verde oscuro con notables lenticelas	Fruto verde oscuro con tono morado intenso	Fruto color vino tinto
Color del fruto					
Color de referencia					

Nota. Tabla de color [Fotografía], por Solagro, s. f.

El cambio de color en los frutos es el resultado de la degradación de las clorofilas y también de la producción de carotenoides y antocianinas (responsables de la coloración violácea). La degradación de clorofila se encuentra relacionado con cambios en el pH, a los procesos de oxidación y también a la actividad de las clorofilasas (Aguilar, 2013). De igual manera, en la Figura 4 se puede observar la tabla de color elaborada por Solagro (s. f) en su ficha comercial para aguacate Hass.

## I. Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles se encuentra relacionado con la cantidad de diferentes compuestos tales como: azúcares, ácidos orgánicos y otros compuestos de bajo peso molecular. Se ha determinado que es un parámetro importante para los consumidores, ya que se encuentra relacionado con la aceptación del producto debido a que permite el desarrollo de las características organolépticas deseadas en el fruto (Sotomayor et al., 2019). Esta medida se encuentra relacionada con la medición de materia seca ya que, tal como menciona Gamble et al., (2010), la materia seca en el aguacate se refiere a la

cantidad de sólidos presentes en la fruta una vez que se ha eliminado toda el agua. Este también es considerado como un parámetro de calidad para el aguacate y tal como se menciona en la norma NTE INEN 1755:2015-10, durante la madurez fisiológica el porcentaje de Brix presentes debe de encontrarse entre un 6 o 7 % y al momento de alcanzar la madurez comercial, este será mayor a 8 %.

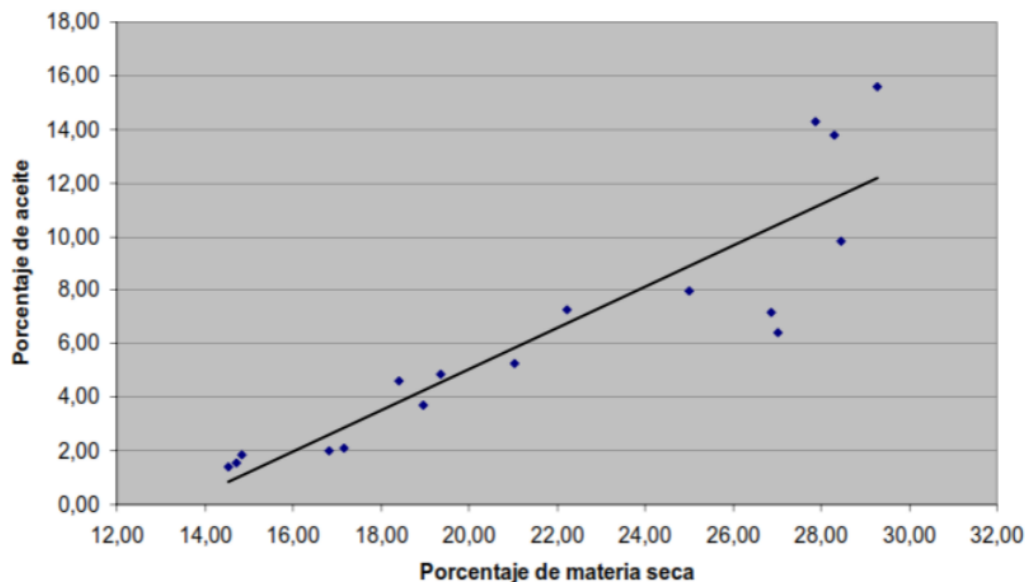
## **J. Firmeza**

La firmeza es uno de los principales factores que determinan la calidad de muchos frutos, así como en el caso del aguacate, los cambios en la firmeza de la cáscara es un indicador muy evidente del estado de maduración en que se encuentra el fruto. Previo al proceso de maduración, los aguacates cuentan con una estructura celular rígida, muy ordenada y definida, la cual, durante el proceso de maduración va modificándose a paredes celulares más blandas y difusas (Aguilar, 2013). El principal factor de este ablandamiento se debe a la degradación de agentes como las pectinas, que son de gran soporte para mantener la estructura celular, y se da debido a la activación y acción de enzimas que surgen durante la maduración, tales como las pectinesterasa y la poligalacturonasa (Huber et al., 2001).

## **K. Materia grasa**

La materia grasa es la cantidad de extracto de grasa o etéreo que se encuentra presente en una muestra fresca. En el caso del aguacate, el contenido de aceite o masa grasa depende de diferentes factores, tales como las condiciones de cultivo, condiciones de cosecha y también se encuentra relacionado con la etapa de maduración del aguacate (Carvalho, Velásquez y Van, 2014). A lo largo de los años, se ha implementado la medición de materia seca como único índice de cosecha, pero tal como indica Aristizábal (2020), en realidad la medición de materia grasa es el mejor indicador para comprender el desarrollo del aguacate, pero no es tan utilizado en el campo debido a que la inversión en equipo, reactivos y personal capacitado es muy elevada.

**Figura 5.** Relación entre el porcentaje de materia seca y contenido de aceite



Nota. El gráfico presenta la relación entre el porcentaje de materia seca y el porcentaje de aceite en el aguacate Hass a lo largo de la maduración. Tomado de Evolución de la maduración de las paltas cv. Lamb-Hass (*Persea americana* Mill en huertos injetados sobre patrón mexicolá) (Cerceda, 2008).

De igual manera, tal como se muestra en la Figura 5, a lo largo de los años se ha demostrado que existe una relación entre el porcentaje de materia seca y el porcentaje de aceite presente en los aguacates, razón por la cual a lo largo de los años se ha establecido el porcentaje de materia seca como un indicador de madurez debido a la facilidad de medición respecto a la medición de contenido de aceite.

## **L. Recubrimientos comestibles**

Los recubrimientos comestibles, son mezclas elaboradas con compuestos naturales que se colocan en la superficie de los alimentos con la finalidad de mantener la calidad de los productos. Generalmente, en su aplicación en frutas y hortalizas, se busca el manejo de humedad o el manejo de la oxidación del producto, al igual que la formación de barreras al intercambio de gases, mejorar la estabilidad microbiológica e incluso buscando mejorar la integridad mecánica del producto (Debeaufort et al., 1998).

Generalmente, los compuestos son elaborados a partir de ceras naturales (como la carnauba), de polisacáridos (como el quitosano) y otras proteínas, esto con la finalidad de crear una estructura que simule un envase. Este tipo de recubrimientos cuenta con un impacto ambiental positivo, como son elaborados a partir de productos naturales, estos son completamente biodegradables (Figuroa et al., 2011). De igual manera, estos pueden ser obtenidos de subproductos de diferentes procesos de elaboración de alimentos.

### **M. Quitosano**

El quitosano es un polímero natural, que cuenta con una gran cantidad de propiedades llamativas, tales como su capacidad de biodegradarse y su biocompatibilidad. Este es un polímero que proviene de la quitina y puede ser extraído de exoesqueletos de insectos, crustáceos e incluso de las paredes celulares de hongos (Marmol et al., 2011). A lo largo de los años, se ha evaluado el potencial del quitosano como parte de los recubrimientos comestibles y se ha identificado la capacidad de mejorar la calidad poscosecha de diferentes frutos, permitiendo prolongar la vida de anaquel de los mismos. Esto por medio de la disminución de la pérdida de peso, el ingreso de oxígeno y disminuyendo el riesgo de un crecimiento microbiano.

La razón por la cual el quitosano cuenta con propiedades antimicrobianas se encuentra relacionado con “la longitud de su cadena polimérica ya que, al unirse con la membrana de los microorganismos es capaz de ocasionar un desequilibrio de potasio y calcio causando la salida de las moléculas que pueden afectar la respiración y nutrición de hongos patógenos” (García, 2022, p. 24).

### **N. Carnauba**

La carnauba es una cera natural que es obtenida de las hojas de palma denominadas *Copernicia cerifera*. Este tipo de ceras cada vez ha tomado más relevancia en la industria agrícola debido a su capacidad de conservación de frutas en la etapa de poscosecha. En el caso de la carnauba, esta cuenta con una baja permeabilidad de los gases (Hagenmaier y Shaw, 1992). Las ceras son mezclas de ésteres de alto peso molecular que se encuentran

conformados por ácidos grasos y alcoholes monohidroxilados, estos son muy abundantes en la naturaleza y pueden ser obtenidos de animales o plantas (Gómez 2011). La carnauba se encuentra compuesta de ésteres de ácidos grasos, siendo la composición aproximada: entre un 80-85 % de ésteres de ácidos grasos, 10-5 % de alcoholes grasos, un 3 % de hidrocarburos, hasta un 20 % de dioles esterificados grasos, 6 % de ácidos grasos hidroxilados y un 10 % de ácido cinámico (Guarniz 2019).

## **Ñ. Polifenoloxidasas**

La polifenoloxidasas (PPO) es parte de las enzimas catalizadoras del pardeamiento. Esta enzima, pertenece al grupo de las óxido-reductasas. Debido a que esta enzima se encuentra directamente relacionada con el oscurecimiento de las frutas y verduras, ha sido ampliamente estudiada con la finalidad de lograr inhibir o retardar los efectos causados por la misma (Gil et al., 2012). Estas enzimas (las óxido-reductasas), cuentan con la característica estructural de contar con la presencia de dos iones de cobre en su centro activo, los cuales se encuentran unidos a dos o tres histidinas (aminoácido básico), al igual que cuenta con un “entorno de aminoácidos hidrofóbico, con anillos aromáticos” (Gil et al., 2012, p. 7) lo cual es clave para el funcionamiento de estas enzimas, ya que es lo que permite que lleven a cabo la unión de sustratos.

### **1. Inactivación de Polifenoloxidasas**

Existen diferentes estudios que se han enfocado en el análisis de diferentes compuestos naturales que sean capaces de inactivar la PPO en las frutas y verduras, ya que el oscurecimiento provocado por esta enzima es uno de los problemas de calidad más evidente en este tipo de productos (Herrera., 2007). El interés por encontrar compuestos que sean capaces de inactivar la PPO, radica en que actualmente se conoce que la aplicación de un tratamiento térmico es capaz de inhibir la actividad enzimática, pero la aplicación de calor es uno de los causantes de la pérdida de nutrientes, y compuestos volátiles presentes en las frutas y verduras, tales como los ésteres o compuestos carbonílicos (Ruiz et al., 2011). Por ejemplo, en el caso de la elaboración de un puré de

aguacate Hass, se determinó que las condiciones óptimas del tratamiento térmico para inactivar la PPO es de 80 °C durante 10 minutos (Puma, 2021).

En el estudio realizado por Moon et al., (2020) se menciona que, en la actualidad, algunos de los compuestos naturales que han sido ampliamente analizados debido a su capacidad de inhibir o retardar los efectos de la PPO en frutas y vegetales han sido los antioxidantes y los agentes quelantes de cobre.

## **O. Antioxidantes**

Los antioxidantes son moléculas que presentan una alta estabilidad, lo cual les permite donar un electrón a un radical libre, lo cual permite que estos sean neutralizados. Debido a esta propiedad, los antioxidantes han demostrado la capacidad de interferir las primeras fases de oxidación de lípidos en los alimentos, lo cual es ideal para preservarlos por una mayor cantidad de tiempo, debido al aplazamiento de esta reacción (Serra et al., 2020). De igual manera, tal como se indica en el estudio realizado por Moon et al., (2020), respecto a las tendencias de control enzimático en vegetales, a lo largo de los años ha sido posible identificar nuevas funciones de los antioxidantes de origen vegetal, ya que estos son capaces de suprimir el inicio del oscurecimiento en este tipo de alimentos.

### **1. Antioxidantes sintéticos**

En la industria de alimentos, existen diferentes tipos de antioxidantes que son ampliamente utilizados, tales como el hidroxianizol butilado (BHA), el propilo de galato (PG), la butilhidroquinona terciaria (TBHQ), entre otros. A pesar de que estos han sido ampliamente estudiados, “aún se tienen dudas respecto a la seguridad para el uso alimentario” (Taghvaei y Jafari, 2015). Es por esta razón, que el uso de este tipo de antioxidantes se encuentra altamente controlado en diferentes países y ha generado mucho interés en la búsqueda de antioxidantes de origen vegetal que puedan sustituirlos.

## **2. Antioxidantes de origen vegetal**

Se ha demostrado que los antioxidantes naturales tienen la capacidad de reaccionar con el oxígeno para suprimir el inicio del oscurecimiento en frutas y vegetales, al igual que cuentan con la capacidad de reaccionar con los productos intermedios logrando inhibir la formación de melanina (Lindley, 1998). Es importante tomar en cuenta que, en este tipo de antioxidantes, el efecto anti-oscuramiento se encuentra relacionado de factores ambientales. Algunos de los compuestos que han sido ampliamente estudiados por su capacidad anti-oscuramiento en las frutas y vegetales han sido “el ácido ascórbico, la N-acetilcisteína, el 4-hexilresorcinol, el glutatión, el ácido eritórbito y el clorhidrato de cisteína” (Moon, 2020, p. 4).

### **a. Ácido giberélico**

El ácido giberélico es una hormona vegetal con la capacidad de regular procesos clave en el desarrollo de diversos productos hortofrutícolas, así como de inducir la actividad de ciertas enzimas. Esta hormona promueve el crecimiento de algunos frutos al estimular la hidrólisis de almidones, fructosa y sacarosa, generando moléculas de glucosa esenciales para la formación de las paredes celulares. Además, se ha demostrado que el ácido giberélico está estrechamente relacionado con la división y elongación celular, favoreciendo el desarrollo y la calidad del fruto (Laiton et al., 2012).

### **b. Ácido eritórbito**

El ácido eritórbito y su sal sódica tienen la capacidad de reducir el oxígeno molecular. Como el isómero D del ácido ascórbico, ambos comparten propiedades antioxidantes similares; sin embargo, se ha demostrado que el uso del ácido eritórbito es más rentable desde el punto de vista económico (Parzanese, 2012). Asimismo, estudios han confirmado que tanto el ácido eritórbito como el ácido ascórbico son igualmente efectivos para prevenir el pardeamiento en rodajas de piña (González y Lobo, 2005).

### **c. Glutati3n**

Es un tri-p3ptido no prote3nico que es derivado a partir de amino3cidos y se encuentra formado por L-ciste3na, glicina y 3cido L-glut3mico, es un antioxidante que permite proteger a las especies que son reactivas de ox3geno, as3 como los radicales libres y los per3xidos. El glutati3n cuenta con m3ltiples funciones, entre ellas, es el principal antioxidante end3geno que es producido por las c3lulas, lo cual hace que sea uno de los principales actores en la neutralizaci3n de radicales libres y tambi3n de mantener las vitaminas C y E en sus formas reducidas (Tabanera, 2015).

### **P. Agentes quelantes**

“Los agentes quelantes son aquellos compuestos en los que un nutriente met3lico es ligado a un agente org3nico” (Ram3rez, 2015), al igual que cuentan con la propiedad de encontrarse disponibles para la planta en diferentes condiciones, incluso en condiciones en las que los nutrientes met3licos se comportan como compuestos insolubles. En el caso del uso de quelantes en frutas y verduras, estos son agentes quelantes de cobre para lograr formar complejos con los dos iones cobre de la PPO y suprimir el conocido pardeamiento enzim3tico (Singh et al., 2018). Algunos de los 3cidos que han sido estudiados para su aplicaci3n en frutas y verduras debido a su capacidad quelante han sido: el 3cido c3trico, k3jico, ox3lico, cafeico, clorog3nico, g3lico, m3lico, l3ctico, ac3tico, pir3vico entre otros (Moon, 2020).

## VI. METODOLOGÍA

### A. Etapa de selección de los recubrimientos

Se realizaron pruebas para seleccionar los tres mejores recubrimientos y el método de aplicación más adecuado. Para ello, se adquirieron aguacates en el supermercado que estuvieran completamente verdes, firmes y con un aspecto visual similar. Los recubrimientos fueron brindados por parte de una empresa enfocada en la elaboración de productos para la industria agrícola ubicados en la Ciudad de Guatemala. La etapa de preselección se dividió en diferentes partes:

#### 1. Selección de método de aplicación

Se evaluaron tres métodos de aplicación: aspersión, inmersión y *brushing*, considerando los siguientes parámetros: cantidad de producto requerido para recubrir un aguacate (en peso), homogeneidad de la aplicación del recubrimiento y tiempo de secado. Dado que se disponía de recubrimientos a base de quitosano y cera carnauba, se analizaron dos variantes de cada tipo de recubrimiento para evaluar su rendimiento y comportamiento.

- a. Se utilizaron 2 aguacates para cada método de aplicación (un aguacate para recubrimiento a base de quitosano y otro para recubrimiento a base de cera carnauba)
- b. Según los métodos utilizados se realizó lo siguiente:
  - i. Método de aspersión: se colocaron los recubrimientos en un aspersor.
  - ii. Para *brushing* e inmersión: los recubrimientos fueron colocados en bowls de tamaño mediano de acero inoxidable.
- c. Los recipientes fueron pesados utilizando una balanza KERN PEJ con una incertidumbre de  $\pm 0.01$  g.
- d. La aplicación de recubrimientos se llevó a cabo de la siguiente manera:

- i. Aspersión: se empleó un aspersor plástico de 946 ml para soluciones de la marca Simple Green a una distancia de 10 cm del aguacate, girándolo sutilmente entre cada aplicación.
  - ii. *Brushing*: se usó una brocha para alimentos mediana, girando de igual manera el aguacate entre aplicaciones.
  - iii. Inmersión: Se sumergió el aguacate durante 1 segundo en el recubrimiento y fue extraído utilizando un colador de acero inoxidable para eliminar el excedente.
- e. Todas las muestras se colocaron a secar en rejillas sobre bandejas, para asegurar la eliminación de cualquier exceso de recubrimiento en la superficie del aguacate. Se registró el tiempo de secado hasta asegurar que los aguacates no presentaran sensación de humedad al tacto.

## 2. Selección de recubrimientos

Una vez definido el método de aplicación, se seleccionaron 27 aguacates completamente verdes y firmes, con aspecto similar. Se utilizaron 3 aguacates para cada uno de los recubrimientos analizados en la etapa de preselección, con los siguientes tratamientos:

- Control: Muestra sin recubrimiento
  - A: Quitosano + benzoato de sodio
  - B: Quitosano + sorbato de potasio
  - C: Cera carnauba + benzoato de sodio
  - D: Cera carnauba + ácido eritórbito
  - E: Cera carnauba + glutatión
  - F: Cera carnauba + ácido giberélico + glutatión
  - G: Cera carnauba + ácido giberélico + ácido eritórbito
- a. Se realizó la aplicación de recubrimientos por medio de inmersión.

- b. Los aguacates fueron colocados en bandejas con rejillas para eliminar el exceso de recubrimiento y, utilizando dos ventiladores, se llevó a cabo el secado de los recubrimientos en cada uno de los aguacates (6-7 minutos aproximadamente).
- c. Una vez secos, los aguacates se colocaron sobre una superficie de acero inoxidable durante 10 días a temperatura ambiente.
- d. Durante los 10 días, se realizaron mediciones diarias de peso y análisis de color cada dos días.
  - i. Para la pérdida de peso se realizaron mediciones diarias utilizando la balanza KERN PEJ y llevando a cabo el análisis de variación de peso durante cada día.
  - ii. Para la medición de coloración de la cáscara cada dos días se utilizó el equipo MiniScan EZ de la marca Hunterlab, evaluando la variación de los parámetros L\*, a\* y b\* para determinar si existían cambios respecto al control.
- e. Al finalizar los 10 días, se partieron todos los aguacates para evaluar la coloración de la pulpa y la textura.
- f. Se compararon los cambios respecto al control, tomando en cuenta la pérdida de peso, los cambios de coloración y el estado final de la pulpa de los aguacates.
- g. Se seleccionaron 3 recubrimientos en base a minimizar la pérdida de peso y el cambio de coloración y la capacidad de mantener la calidad de la pulpa del aguacate durante los 10 días de evaluación.

## **B. Pruebas piloto**

### **1. Primera prueba**

Para las pruebas con los recubrimientos seleccionados, se realizaron con aguacate Hass recién cosechado proveniente de la planta de exportación ubicada en el municipio de Villa Nueva. Los aguacates se transportaron en cajas de plástico y se llevaron de manera directa a los laboratorios de la Universidad para iniciar con los tratamientos. Se emplearon 240 unidades de aguacate distribuidos en 60 muestras para cada uno de los cuatro tratamientos que fueron

evaluados, contando con un control y tres recubrimientos previamente seleccionados. Los recubrimientos fueron aplicados, se esperó que todos se encontraran completamente secos y fueron colocados en una cámara refrigerada a 7 °C, con la finalidad de simular las condiciones de exportación deseadas. Luego de 15 días, la cámara refrigerada presentó problemas con el control de la temperatura, presentando niveles por encima de lo 20 °C, por lo que fue necesario iniciar nuevamente la prueba con un nuevo lote de aguacates.

## **2. Segunda prueba**

El segundo lote de aguacates se obtuvo de una planta de exportación ubicada en la Ciudad de Guatemala y fueron transportadas al área donde se realizaría la aplicación de recubrimientos en el nuevo lote. En este caso, se emplearon 200 unidades de aguacate distribuidos en 50 muestras para cada uno de los cuatro tratamientos que fueron evaluados, contando con un control y tres recubrimientos previamente seleccionados.

- a. Los aguacates fueron enumerados y colocados en la plataforma Excel para aleatorizar la selección de muestras.
- b. Los aguacates fueron pesados utilizando una balanza Scout Pro de la marca OHAUS luego de la aplicación recubrimientos y tras el tiempo de secado.
- c. Luego los aguacates fueron colocados en una cámara refrigerada junto a un medidor de temperatura, humedad y concentración de dióxido de carbono SD800 de la marca EXTECH INSTRUMENTS. Se colocó un rango de temperaturas entre 5-10 °C para mantener las muestras durante 21 días simulando los tiempos y condiciones de exportación desde el puerto de Guatemala hacia Europa.
- d. Luego del transcurso de 21 días de simulación, la cámara refrigerada fue aperturada y se inició un proceso de evaluación de los aguacates para evaluar su proceso de maduración. Se evaluaron los siguientes parámetros:

## C. Parámetros evaluados

### 1. Análisis de color

Se llevó a cabo el análisis de color de la cáscara del aguacate por medio del equipo MiniScan EZ y la evaluación de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , para determinar si existían cambios significativos en la coloración del producto desde el primer día y se evaluaron los cambios a partir del día 21 de evaluación del producto. Las muestras fueron tomadas cada dos días en tres muestras de cada tratamiento. Para presentar los resultados de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se utilizó el software e-Paint, para obtener el color de referencia más cercano.

**Ecuación 1:** Parámetros del croma

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

**Ecuación 2:** Ángulo Hue

$$^{\circ}H = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Donde:

$L^*$  = Luminosidad

$a^*$  = Coloración entre verde (-) y rojo (+)

$b^*$  = Coloración entre amarillo (+) y azul (-)

### 2. Pérdida de peso

Para la evaluación de la pérdida de peso, al momento de recepción se seleccionaron 10 aguacates y fueron pesados en una balanza marca KERN PEJ con capacidad de 4200 g  $\pm$  0.01g y se enumeraron los aguacates que serán utilizados para analizar el cambio en el peso a lo largo del tiempo de análisis. Los aguacates fueron pesados al momento de recepción y

al de terminar la simulación de tiempo de traslado (21 días) y a partir de eso, se tomaron los pesos cada 2 días:

### **Ecuación 3: Pérdida de peso**

$$\begin{aligned} & \text{Pérdida de peso (\%)} \\ & = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso muestra almacenada}}{\text{peso inicial}} * 100\% \end{aligned}$$

### **3. Materia seca**

Para determinar la variación de porcentaje de materia seca se llevó a cabo el análisis el primer día de evaluación y luego, tras el periodo de simulación de tiempo de exportación de 21 días, se evaluaron las muestras cada 3 días. La preparación de la muestra se llevó a cabo siguiendo lo indicado por el Instituto Nacional de Metrología de Colombia (2021). En su guía para la determinación de materia seca en aguacate HASS por secado en estufa convencional, debido a las condiciones del laboratorio de investigación de la Universidad del Valle de Guatemala, el secado se llevó a cabo durante un mayor plazo de tiempo que lo indicado en el guía previamente mencionado, la determinación de materia seca se llevó a cabo de la siguiente manera:

- a. Se lavaron las cápsulas de aluminio y se secaron.
- b. Se programó el horno a 80°C durante 30 minutos antes de iniciar el tarado de las cápsulas.
- c. Se colocaron las cápsulas y sus tapas en el horno durante 60 minutos.
- d. Se transfirieron las cápsulas a un desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente.
- e. Se tomó el aguacate y se cortó longitudinalmente.
- f. Se retiró la mayor parte de la cáscara.
- g. Se removió la semilla y todos los componentes diferentes a la pulpa.
- h. Se ralló la pulpa del fruto.
- i. Se almacenó la pulpa rallada en un recipiente, sin superar el 50 % de su capacidad.
- j. Se homogeneizó la muestra de pulpa, agitándola manualmente.

- k. Se pesó una cápsula junto con su tapa correspondiente.
- l. Se registró el valor de la masa y el número de identificación.
- m. Se pesaron 5 gramos de muestra en la cápsula.
- n. Se colocó la cápsula en el horno durante 18 a 20 horas a 80 °C.
- o. Se llevó la cápsula a un desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente (aproximadamente 40 minutos).
- p. Se pesaron las cápsulas.
- q. Para asegurar que se alcanzó el peso constante, se colocaron nuevamente las muestras en el horno a 80 °C durante 1 hora.
- r. Se colocaron las cápsulas en el desecador hasta que alcanzaron la temperatura ambiente.
- s. Se pesaron las cápsulas y se aseguró que la diferencia entre las determinaciones fue menor o igual a 0.15 g.

**Ecuación 4:** Materia seca (%)

$$Materia\ seca = \frac{Pms - R}{Pmf} * 100\%$$

Donde:

$Pms$  = Masa del recipiente con la tapa y muestra seca

$Pmf$  = Peso de la muestra fresca

$R$  = Peso del recipiente vacío

#### **4. Contenido de aceite**

Se llevó a cabo siguiendo lo indicado por la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC), método 963.15. En este caso, el solvente utilizado fue benzina de petróleo. La evaluación de contenido de aceite se llevó a cabo al inicio de la prueba para contar con un

indicador de la maduración de aguacates al iniciar las pruebas y se realizó otra medición al momento de terminar la simulación del tiempo de transporte.

#### **Ecuación 5: Materia grasa**

$$\text{Materia grasa (\%)} = \frac{\text{Peso del extracto etéreo}}{\text{Peso de masa fresca}} * 100\%$$

### **5. Firmeza del fruto**

Utilizando un penetrómetro manual para frutas de la marca OA Supplies modelo FT 327 con punta 3/16", se llevó a cabo un muestreo inicial al recibir los aguacates en el laboratorio y se llevó a cabo la determinación de los cambios de firmeza en el producto tras el paso de los primeros 22 días de evaluación. Las pruebas se realizaron cada 2 días para cada una de las condiciones evaluadas, las determinaciones se realizaron en distintos puntos de la zona de mayor diámetro de los frutos, siempre buscando que la distancia entre medidas fuera mayor a 1 cm, para evitar interferencias entre las medidas (Pulido y Hernández, 2019).

### **D. Evaluación de condiciones**

Para evaluar las condiciones a las que se expusieron los aguacates durante la simulación de exportación y la simulación de tiempo en anaquel se utilizó el equipo SD800 (CO<sub>2</sub>/Humidity/Temperature Datalogger) de la marca EXTECH INSTRUMENTS. Se configuró el dispositivo para tomar medidas a lo largo del proceso y posteriormente los datos fueron extraídos y analizados en Excel. Se utilizaron 6 datos por día, tomando las medidas con una diferencia de 4 horas (12 am, 4 am, 8 am, 12 pm, 4 pm y 8 pm).

## **E. Análisis de resultados**

Para el análisis general de los resultados obtenidos, se utilizó la herramienta de análisis estadístico de Excel para obtener parámetros importantes como lo son la media y la desviación estándar. Para el análisis de resultados relacionado con la variación de pesos entre los recubrimientos seleccionados para la evaluación en condiciones de exportación, se realizó el análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo, utilizando un alfa de 0.05 y se evaluaron los valores F obtenidos por medio de Excel. En el caso del análisis de la variación de la firmeza de los aguacates, se evaluaron los datos por medio de un Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo utilizando nuevamente un alfa de 0.05 y evaluando los valores F obtenidos utilizando el programa de análisis de datos de Excel.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente sección aborda el análisis de la vida útil de aguacate Hass (*Persea americana* Mill.) tratados con diferentes recubrimientos comestibles. Durante la etapa de preselección, se evaluaron ocho recubrimientos distintos, incluidos el control y el quitosano con benzoato de sodio, quitosano con sorbato de potasio y la cera carnauba con diferentes aditivos y antioxidantes. En el caso de las pruebas piloto, se evaluaron cuatro grupos de muestras: control (sin recubrimiento, y tres grupos con diferentes recubrimientos, R.1. (quitosano y sorbato de potasio), R.2. (cera carnauba y ácido eritórico) y R.3. (cera carnauba, ácido giberélico y glutatión). A continuación, se muestran los resultados obtenidos a través del análisis de vida de anaquel de los diferentes tratamientos.

### A. Método de aplicación

Previo a la evaluación del método de aplicación de cada uno de los recubrimientos se llevó a cabo la medición de parámetros fisicoquímicos de cada una de las muestras brindadas, evaluando la diferencia de pH y grados Brix entre cada uno de los recubrimientos.

**Cuadro 6.** Recubrimientos evaluados en etapa de selección

Variable	Recubrimiento
A	Quitosano + benzoato de sodio
B	Quitosano + sorbato de Potasio
C	Cera carnauba + benzoato de sodio
D	Cera carnauba + ácido eritórico
E	Cera carnauba + glutatión
F	Cera carnauba + ácido giberélico
G	Cera carnauba + ácido giberélico + glutatión
H	Cera carnauba + ácido giberélico + ácido eritórico

[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 7.** Parámetros fisicoquímicos de los recubrimientos evaluados

<b>Recubrimiento</b>	<b>pH</b>	<b>Grados Brix (°Brix)</b>
Quitosano + benzoato de sodio	4.61 ± 0.01	5.70 ± 0.14
Quitosano + sorbato de Potasio	5.95 ± 0.12	6.45 ± 0.35
Cera carnauba + benzoato de sodio	7.12 ± 0.01	16.95 ± 0.64
Cera carnauba + ácido eritórbico	4.00 ± 0.03	18.00 ± 0.28
Cera carnauba + glutación	3.87 ± 0.02	17.50 ± 0.14
Cera carnauba + ácido giberélico	4.56 ± 0.01	19.55 ± 0.50
Cera carnauba + ácido giberélico + glutación	5.76 ± 0.18	18.95 ± 0.35
Cera carnauba + ácido giberélico + ácido eritórbico	3.41 ± 0.01	21.40 ± 0.60

[Elaboración propia con datos experimentales]

Como se muestra en el Cuadro 7, se realizaron mediciones de pH y grados Brix para cada uno de los recubrimientos evaluados durante la fase de selección. En el caso de los grados Brix, estos permiten conocer la presencia de sólidos solubles en el recubrimiento, medida que nos permite identificar la presencia de ácidos orgánicos, por lo cual, en este caso, los recubrimientos que presentan grados Brix más altos corresponden a recubrimientos con mayor cantidad de ácidos orgánicos en su formulación. Lo cual tiene coherencia con lo obtenido en la medida de grados Brix del recubrimiento H (cera carnauba + ácido giberélico

+ ácido eritórribico) ya que es el recubrimiento que cuenta con la adición de más antioxidantes (Sotomayor et al., 2019).

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad de una muestra, en este caso, es posible observar que la mayoría de las muestras, a excepción del recubrimiento de cera carnauba y benzoato de sodio, cuentan con un pH ácido. La muestra con el pH más alto fue el recubrimiento C (cera carnauba + benzoato de sodio), con un valor de  $7.12 \pm 0.014$ , mientras que la muestra con el pH más bajo correspondió a la mezcla de cera carnauba, ácido giberélico y ácido eritórribico. En cuanto a los grados Brix, se observó que los recubrimientos a base de quitosano presentaron valores más bajos. Esto concuerda con lo expuesto en la teoría, ya que las formulaciones con cera carnauba, al incorporar antioxidantes y ácidos orgánicos, muestran una mayor cantidad de sólidos solubles, reflejada en valores de Brix más altos (Gamble et al., 2010).

**Cuadro 8.** Evaluación de métodos de aplicación de recubrimiento a base de quitosano

<b>Método de aplicación</b>	<b>Peso de recubrimiento utilizado (g)</b>	<b>Tiempo de secado (min)</b>
Inmersión	3.40	6.50
Brushing	1.93	6.50
Aspersión	11.11	6.10

[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 9.** Evaluación de métodos de aplicación de recubrimiento a base de cera

<b>Método de aplicación</b>	<b>Peso de recubrimiento utilizado (g)</b>	<b>Tiempo de secado (min)</b>
Inmersión	1.26	4.20
Brushing	1.19	3.90
Aspersión	9.11	3.90

[Elaboración propia con datos experimentales]

En los Cuadros 8 y 9 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con diferentes métodos de aplicación de recubrimientos. Se evaluó tanto la cantidad de recubrimiento requerida por cada método como el tiempo necesario para su secado. Estos factores son fundamentales, ya que inciden directamente en los costos operativos de la industria. La optimización de la cantidad de recubrimiento minimiza el desperdicio de insumos, mientras que un tiempo de secado eficiente permite aumentar la productividad, reduciendo cuellos de botella durante el procesamiento. Además, estos parámetros impactan la calidad final del producto, asegurando que el recubrimiento cumpla su función sin comprometer el rendimiento del proceso.

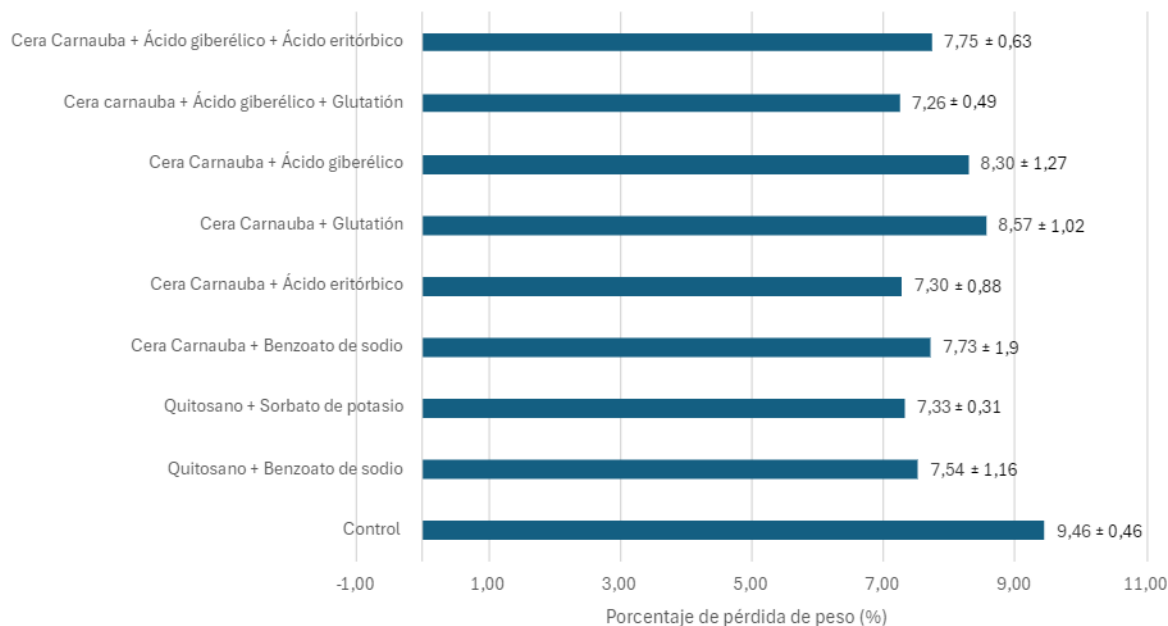
Se utilizó un recubrimiento a base de quitosano (Cuadro 8) y otro a base de cera de carnauba (Cuadro 9), evaluando los tres métodos de aplicación más comunes: inmersión, *brushing* y aspersión. Se determinó que, para ambos tipos de recubrimientos, el método de inmersión es el más eficaz para asegurar la homogeneidad utilizando la menor cantidad de producto. Este método emplea 1.47 g más de producto que el método *brushing* en el caso del recubrimiento a base de quitosano y 0.07 en el caso del recubrimiento a base de cera carnauba, pero 7.71 g menos que el requerido para la aplicación por aspersión en el caso del quitosano y 7.85 g menos en el caso de la cera carnauba. Aunque el método *brushing* requiere menos producto para ambos recubrimientos, no garantiza una aplicación homogénea y demanda una mayor intervención manual, lo que puede afectar la calidad de la aplicación. Posterior a la identificación del método de aplicación más eficiente, las pruebas posteriores se llevaron a cabo realizando la aplicación del recubrimiento por medio de Inmersión.

Respecto al tiempo de secado, es posible observar que los tiempos de secado fueron menores para los recubrimientos a base de cera carnauba, lo cual se encuentra relacionado a que, el quitosano cuenta con una estructura más densa y viscosa, lo cual dificulta el proceso de secado. De igual manera, la viscosidad del quitosano es la característica que permite disminuir el ingreso de oxígeno y mejora su capacidad de actuar como barrera ante la difusión de vapor de agua (Marmol et al., 2011). Por otra parte, tal como se presenta en el Cuadro 8 y 9 respecto a los tiempos de secado requeridos por las muestras a las que se les aplicó el recubrimiento por medio de aspersión y *brushing* es menor a comparación del método de

inmersión, lo cual se encuentra relacionado con la cantidad de recubrimiento que es aplicado en el aguacate.

## B. Recubrimientos seleccionados

**Figura 6.** Porcentaje de pérdida de peso del aguacate evaluada en etapa de selección de recubrimientos para utilizar en evaluación final



[Elaboración propia con datos experimentales]





















Nota. Promedio de pérdida de peso de aguacates almacenados durante 10 días a temperatura ambiente luego de la aplicación de los recubrimientos por medio de inmersión.



















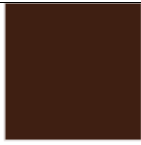






Durante la etapa de preselección se evaluó el parámetro de pérdida de peso, ya que, como menciona Figueroa et al., (2011), esta pérdida se debe a la deshidratación del aguacate por la respiración y producción de etileno. El objetivo fue determinar qué recubrimiento mostraba una mayor capacidad de retención de peso en los aguacates, disminuyendo la pérdida a lo largo de 10 días. En la Figura 9 de la sección de anexos se puede observar la variación de los pesos durante los días de evaluación, y en la Figura 6 se muestran los porcentajes de pérdida de peso y sus respectivos valores de desviación estándar, tomando en cuenta el peso inicial

del aguacate y el peso final tras la selección, en el cual se buscaba definir las mejores propuestas de los recubrimientos evaluados. Se observó que el control presentó la mayor pérdida de peso, con un  $9.46 \% \pm 0.46 \%$  (equivalente a 17.44 gramos).

Los mejores recubrimientos, en base a su capacidad para funcionar como una barrera que evita la difusión de vapor, fueron el recubrimiento D (cera de carnauba + ácido eritórbito) con un  $7.30 \% \pm 0.88 \%$  de pérdida, el recubrimiento G (cera de carnauba + ácido giberélico + glutatión) con un  $7.26 \% \pm 0.49 \%$ , y el recubrimiento B (quitosano + sorbato de potasio) con un  $7.33 \% \pm 0.31 \%$ . Estos resultados fueron obtenidos mediante el análisis de los datos presentados en el Cuadro 17 de la sección de anexos, en el cual se presentan los promedios de peso de las tres muestras evaluadas por día.


**Cuadro 10.** Evaluación de color externo durante etapa de selección de recubrimientos para utilizar en evaluación final






















Recubrimiento	Cartilla de color				
Control	 Día 0	 Día 2	 Día 3	 Día 4	 Día 5
A	 Día 0	 Día 2	 Día 3	 Día 4	 Día 5
B	 Día 0	 Día 2	 Día 3	 Día 4	 Día 5
C	 Día 0	 Día 2	 Día 3	 Día 4	 Día 5

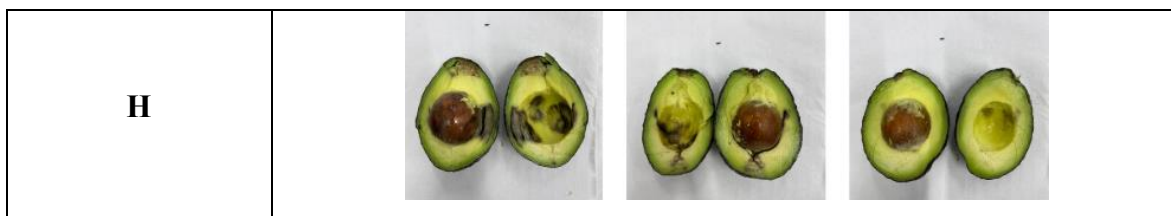
D					
	<b>Día 0</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
E					
	<b>Día 0</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
F					
	<b>Día 0</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
G					
	<b>Día 0</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>
H					
	<b>Día 0</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>

[Elaboración propia a partir de las mediciones L\*, a\* y b\* del colorímetro MiniScan EZ]

**Cuadro 11.** Apariencia Interna de aguacates al finalizar etapa de selección de recubrimientos para utilizar en la evaluación final

Tratamiento	Apariencia interna
Control	

<b>A</b>			
<b>B</b>			
<b>C</b>			
<b>D</b>			
<b>E</b>			
<b>F</b>			
<b>G</b>			



[Elaboración propia con datos experimentales]

En el Cuadro 10 se presenta la cartilla de variación en la coloración de la cáscara de los aguacates evaluados durante la etapa de preselección. No se observó una diferencia significativa en el comportamiento de maduración ni en los cambios de color de los aguacates. Esto puede estar relacionado con el estado de madurez en el que se encontraban al momento de aplicar el recubrimiento, ya que se utilizaron aguacates provenientes de supermercados, los cuales suelen estar en un estado de madurez más avanzado cuando se encuentran en los anaqueles. Los resultados de la cartilla están alineados con los del Cuadro 18 de la sección de anexos, ya que, inicialmente, todos los aguacates tenían un ángulo de Hue superior a 105°, lo que corresponde a tonalidades verdes. Al finalizar la etapa, los ángulos disminuyeron, indicando una coloración violácea característica de aguacates en un estado de maduración avanzado.

En el Cuadro 11 se presentan imágenes que permiten observar el estado de la pulpa del aguacate tras los 10 días de evaluación correspondientes a la etapa de selección de los recubrimientos que serían utilizados en la evaluación final. Es posible observar que existen variaciones entre las muestras de un mismo recubrimiento, pero en el caso de las muestras del tratamiento B, D y G, las características entre muestras fueron similares y no contaron con muestras en estado avanzado de maduración, a diferencia de lo obtenido en las muestras control y en el caso del recubrimiento A.

En cuanto, a los recubrimientos a base de quitosano, se observó que la combinación de quitosano con sorbato de potasio fue más efectiva que con benzoato de sodio. Esto puede estar relacionado con el pH de la solución. Como se muestra en el Cuadro 7, el pH promedio del recubrimiento "A" fue de  $4.61 \pm 0.007$ , y, según la teoría, los benzoatos son más efectivos en un rango de pH entre 2.5 y 4, disminuyendo drásticamente su eficacia a un pH superior a

4.5. En cambio, el sorbato de potasio es efectivo en rangos de pH entre 3.5 y 6.5 (Morales, 2023), lo que explica la mejora en el rendimiento del recubrimiento a base de quitosano y sorbato de potasio en comparación con el que utiliza benzoato de sodio. En el caso de los recubrimientos a base de cera carnauba, la interacción de este compuesto y el ácido eritórbito al igual que la cera carnauba con la mezcla de ácido giberélico y glutatión demostraron ser eficientes para mantener los parámetros de calidad evaluados.

En este caso, podemos observar que el pH y grados Brix de estos recubrimientos a base de cera, estos fueron de  $4.00 \pm 0.028$  pH y  $18.00 \pm 0.283$  Brix para el recubrimiento D y  $5.76 \pm 0.184$  pH y  $18.95 \pm 0.354$  ° Brix para el recubrimiento G. Ambos recubrimientos mostraron un intermedio entre los parámetros evaluados, logrando mejorar el efecto de los ácidos orgánicos y antioxidantes presentes en las muestras. Los antioxidantes fueron parte clave del funcionamiento de los recubrimientos, ya que, tal como menciona Serra et al., (2020), estas moléculas tienen la capacidad de interferir las primeras fases de oxidación de lípidos en los alimentos, siendo un elemento que permite preservarlos por una mayor cantidad de tiempo. De igual manera, la presencia de alto contenido de sólidos solubles pudo fomentar la creación de una película más densa y efectiva para minimizar la pérdida de peso. En el caso del recubrimiento de cera carnauba + ácido giberélico + ácido eritórbito, a pesar de contar con la mayor cantidad de sólidos solubles ( $21.4 \pm 0.566$ ) la interacción entre los antioxidantes pudo haber sido adversa.

Tras evaluar los parámetros como el método de aplicación, los cambios de color y la variación de peso, y observar el estado final de los aguacates, tal como se muestra en el Cuadro 11, se determinó que los recubrimientos con mejor rendimiento fueron: B (quitosano y sorbato de potasio), G (cera carnauba y ácido eritórbito) y D (cera carnauba, ácido giberélico y glutatión), los cuales serán denominados en la siguiente sección como R.1., R.2. y R.3., respectivamente.

### C. Evaluación en condiciones de exportación

En la Figura 10 de la sección de anexos se observan las variaciones de temperatura de la cámara fría utilizada para almacenar la prueba piloto 1 de aguacates. La temperatura más baja registrada fue de aproximadamente 14.5 °C, seguida de un aumento progresivo, alcanzando un máximo cercano a los 25 °C. Este aumento de temperatura está relacionado con el crecimiento de moho y hongos, como se muestra en el Cuadro 20 de la sección de anexos. A temperaturas tan elevadas, la cámara fría se convirtió en un ambiente ideal para la incubación de microorganismos. Además, como era de esperarse, los aguacates perdieron rápidamente su firmeza y cambiaron su coloración a tonos morados de manera acelerada. Esto coincide con lo mencionado por Vélez (2021), quien indica que la temperatura óptima de almacenamiento de los aguacates durante la exportación es de 7 °C, dentro de un rango de 5 a 12 °C, para alargar el proceso de maduración y asegurar que los aguacates lleguen en un estado ideal al país de destino. Es debido a dicha maduración acelerada que se dio inicio al análisis de un segundo lote de aguacates (prueba piloto 2) para evaluar nuevamente el desempeño de los recubrimientos en condiciones de refrigeración.

**Cuadro 12.** Análisis estadístico de pérdida de peso en aguacates de prueba piloto 2

<b>Ho:</b>	No hay diferencias significativas en la pérdida de peso entre los grupos de aguacates (Control, A, B, C), por lo que los recubrimientos no tienen un efecto significativo	
<b>Ha:</b>	Existen diferencias significativas en la pérdida de peso entre los grupos de aguacates, lo que indica que los recubrimientos tienen un efecto en la reducción de la pérdida de peso.	
<i>Origen de las variaciones</i>	<b>F</b>	<b>Valor Crítico para-F</b>
<b>Tratamientos</b>	12.08	2.64
<b>Tiempo</b>	18.25	2.13
<b>Interacción</b>	0.03	1.64

[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 13.** Promedio de pérdida de peso en aguacates de prueba piloto 2

<b>Tratamiento</b>	<b>Pérdida de peso (g) ± SD</b>	<b>Porcentaje de pérdida (%) ± SD</b>
Control	20.25± 4.00	11.08 ± 2.15
R.1.	17.34 ± 2.42	9.62 ± 1.32
R.2.	19.36 ± 2.90	10.96 ± 1.59
R.3.	18.69 ± 1.77	10.03 ± 1.11

[Elaboración propia con datos experimentales]

Los resultados presentados en el Cuadro 12 muestran lo obtenido tras realizar el análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo, utilizando un alfa de 0.05. El análisis realizado indique que los recubrimientos que los diferentes tratamientos evaluados (control, quitosano y sorbato de potasio, cera carnauba y ácido eritórbito y cera carnauba, ácido giberélico y glutatión) tienen un efecto significativo en la reducción de la pérdida de peso a lo largo del tiempo. El valor F obtenido para los tratamientos fue 12.08, lo cual es mayor al valor crítico de 2.64, lo que permite rechazar la hipótesis nula y confirmar que los recubrimientos evaluados cuentan con un impacto significativo en la desaceleración de la deshidratación en comparación con los aguacates sin recubrimiento, lo cual tiene relación con lo indicado en la teoría ya que, tal como menciona Ahmed et al., (2024) en su evaluación de recubrimientos para aguacate a base de nanopartículas de zinc, goma arábiga y quitosano demostró disminuir la deshidratación de los frutos a lo largo del tiempo.

De igual manera, en el análisis de tiempo el valor F fue mayor que el valor crítico (18.25 y 2.13 respectivamente), lo que permite reconocer que la pérdida de peso varía significativamente a lo largo de los días de medición, esto concuerda con lo indicado en la teoría ya que la pérdida de peso en los aguacates es un proceso dinámico que incrementa a medida que avanza el tiempo, debido a la difusión de vapor (Figuroa et al., 2011). Sin embargo, la interacción entre los recubrimientos y el tiempo no resultó ser significativa ( $F = 0.03$ ,  $p = 1.00$ ), lo que sugiere que el efecto de los recubrimientos en la reducción de la pérdida de peso es independiente del tiempo. Esto implica que, si bien los recubrimientos son efectivos, su eficiencia no cambia a lo largo de los días, lo que podría indicar una protección constante frente a la deshidratación durante el periodo estudiado.

En el Cuadro 13, se presentan los resultados obtenidos para el análisis de pérdida de peso en los aguacates evaluados con su respectivo valor de desviación estándar. En este caso, es posible observar que los recubrimientos aplicados lograron reducir significativamente la pérdida de peso en comparación con el grupo control, tal como puede ser observado posteriormente en los resultados presentados tras llevar a cabo el análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo. El grupo control, presentó la mayor pérdida de peso, con un valor de  $20.25 \pm 4.00$  g, lo cual representa un  $11.08 \pm 2.15$  % de pérdida con respecto al peso inicial. Esto se debe a la falta de barrera protectora que lograra frenar la transpiración, resultando en una mayor pérdida de agua y por ende, acelerando el proceso de maduración, tal como se ha reportado en la literatura (Figueroa et al., 2011).

Entre los recubrimientos aplicados, el tratamiento R.1. (quitosano y sorbato de potasio) mostró la menor pérdida de peso, con  $17.34 \pm 2.42$  g ( $9.62 \pm 1.32$  %), seguido de R.3. (cera carnauba, ácido giberélico y glutatión) con  $18.69 \pm 1.77$  g ( $10.03 \pm 1.11$  %) y por último R.2. (cera carnauba y ácido eritórbito) con  $19.36 \pm 2.90$  g ( $10.96 \pm 1.59$  %). En base a los resultados obtenidos, es posible observar que el quitosano y la cera carnauba actúan eficazmente como barreras para limitar la transpiración, con el R.1. siendo el más efectivo para reducir la deshidratación del producto, disminuyendo el gradiente de presión entre el interior y el exterior del fruto. Esto puede encontrarse relacionado con que el quitosano tiene propiedades filmógenas que crean una barrera densa, mientras que la combinación de cera carnauba y antioxidantes, tal como es el caso de los recubrimientos R.2. y R.3. también logran disminuir la pérdida de peso, aunque en menor medida, los resultados relacionados con la pérdida de peso fueron obtenidos mediante el análisis de los datos presentados en el Cuadro 20 de la sección de anexos.

En siguiente Cuadro, se puede observar los resultados obtenidos para el análisis de materia grasa en los aguacates evaluados, el cual se llevó a cabo al inicio de la evaluación y al finalizar el tiempo de simulación de transporte. En el día 1, los aguacates presentaron porcentajes de materia grasa bastante similares, lo cual indica que el punto de maduración de los aguacates obtenidos se encontraba en un punto similar aunque presenta una leve variación a lo indicado por la norma ecuatoriana NTE INEN 1755:2015-10, la cual indica que el punto

de madurez fisiológica del aguacate se encuentra cuando el porcentaje de materia grasa es de un 12 %, esta variación puede estar relacionada con el tiempo de transporte del punto de cosecha hacia la planta de preparación para exportación y las condiciones de dicho transporte.

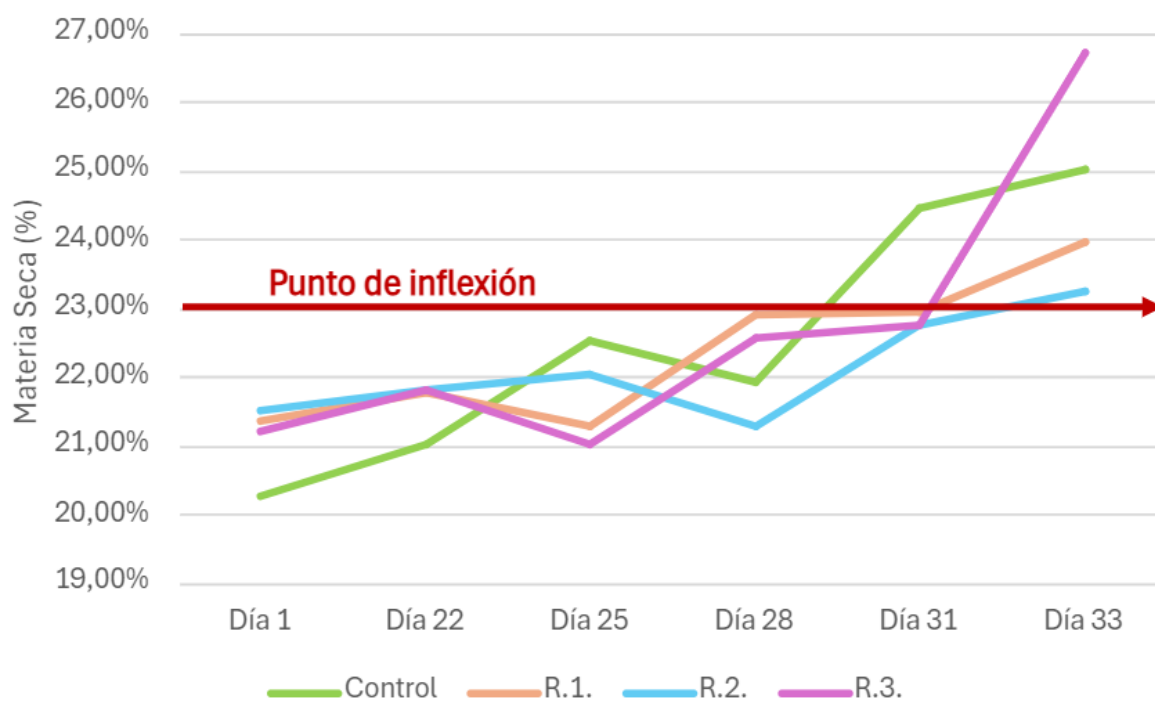
**Cuadro 14.** Porcentaje de materia grasa en los días 1 y 22

<b>Muestra</b>	<b>Materia grasa Día 1 (%) ± SD</b>	<b>Materia grasa Día 22 (%) ± SD</b>
<b>Control</b>	18,44 ± 0.55	23,64 ± 0.50
<b>R.1.</b>	16,09 ± 1.08	20,85 ± 0.33
<b>R.2.</b>	15,10 ± 1.02	21,54 ± 0.37
<b>R.3.</b>	18,57 ± 0.45	20,62 ± 0.20

[Elaboración propia con datos experimentales]

Al final del periodo de simulación de exportación, los porcentajes de materia grasa de las muestras recubiertas presentaron un incremento, aunque no tan pronunciado como el control. Es posible observar que la muestra control aumentó un 5.2 % su contenido de materia grasa, un 4.77 % en el caso de las muestras R.1. un 6.45 % en la muestra R.2. y la muestra R.3. presentó un aumento de tan solo 2.05 %. El aumento del porcentaje de materia grasa se encuentra relacionado con la deshidratación del fruto y el incremento en la concentración de los componentes internos a medida que el aguacate madura. Tal como menciona Carvalho, Velásquez y Van, (2014), el contenido de aceite en el aguacate depende de diferentes factores, tales como las condiciones de cultivo, condiciones de cosecha y la etapa de maduración del aguacate.

**Figura 7.** Variación de porcentaje de materia seca durante tiempo de evaluación de prueba piloto 2



[Elaboración propia con datos experimentales]

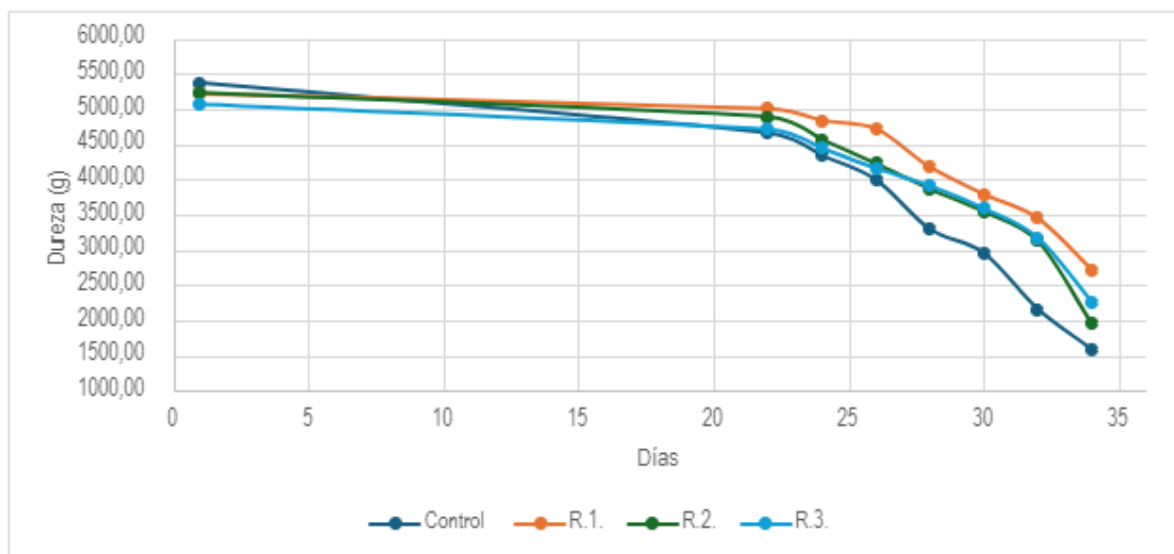
En la Figura 7, se muestran los resultados obtenidos para el análisis de vida útil mediante la evaluación de materia seca. En el caso del control, los aguacates superaron el umbral de madurez comercial de 23 % de materia seca, según lo indicado por la norma NTE INEN 1755:2015, en el día 31, alcanzando valores de 25.04 % en el día 33. En el gráfico se puede observar la línea de separación entre el porcentaje de materia seca esperado para alcanzar la madurez comercial, indicada como “punto de inflexión”. Por otra parte, los aguacates recubiertos con R.1. y R.2. presentaron un incremento más lento en el porcentaje de materia seca alcanzando la madurez comercial de manera más gradual, indicando una mayor estabilidad y prolongación de su vida útil. De igual manera, es posible observar que el recubrimiento R.3. mantuvo un incremento similar al de los otros recubrimientos, hasta alcanzar el día 28. Posterior a esto, mostró un aumento acelerado en su porcentaje de materia seca, alcanzando un 26.73 % en el día 33. Este comportamiento puede sugerir que, si bien la mezcla entre ácido giberélico y glutatión puede retrasar la maduración de los aguacates en

las primeras etapas, su efectividad disminuye con el tiempo, acelerando el proceso en etapas finales.

Es importante tomar en cuenta que los porcentajes de materia seca presentan variaciones a lo largo de los días de medición, lo cual es común en este tipo de productos. Ya que, el proceso de maduración puede variar según diferentes factores tales como la temperatura a la que se encuentran los aguacates durante todo el proceso, las características de la tierra donde fueron cosechados, la cantidad de agua, la manera en que se cosecharon y el cuidado que se tubo con los frutos a lo largo de los procesos poscosecha (Abello y Esmeral, 2018).

En la Figura 8, la cual se presenta a continuación, se muestran los resultados de la evolución de la firmeza de los aguacates evaluados durante un periodo de 34 días siendo el periodo entre 1 y 21 días, el tiempo de simulación de exportación del producto. Es posible observar que la muestra control presentó una disminución más rápida y marcada en la firmeza presentando 5373,26 g en el día 1 y llegando a 1592.64 g en el día 34. A comparación del control, los aguacates que contaban con la aplicación de recubrimiento mostraron una mayor retención de firmeza a lo largo del tiempo de evaluación, en el caso del recubrimiento R.1. es posible observar que este fue el más efectivo para en conservar la firmeza, logrando mantener un valor de 2720.19 g al día 34, lo cual indica que actuó como una barrera eficiente, retardando los procesos de maduración, lo cual se relaciona con el porcentaje de materia seca y la pérdida de peso previamente indicados.

**Figura 8.** Variación de dureza durante tiempo de evaluación de prueba piloto 2



[Elaboración propia con datos experimentales]

Por otra parte, tanto el recubrimiento R.2. como el R.3. muestran una mejor conservación de la firmeza a comparación del control, pero es levemente inferior a lo obtenido con las muestras recubiertas con la mezcla de quitosano y sorbato de potasio (R.1.). Al final del periodo de evaluación de vida de anaquel, las muestras R.2. mostraron una firmeza promedio de 1952.88 g y las muestras R.3. un promedio de 2263.84 g. Esto indica que, los recubrimientos mostraron una disminución de la acción de las enzimas como las pectinesterasa y poligalacturonasa, que tal como menciona Huber et al., (2001), son las encargadas de la degradación de las pectinas presentes en la pared celular de los aguacates.

En este caso, las muestras se evaluaron utilizando un penetrómetro manual para frutas, por lo que es posible que las medidas fueran levemente superiores, pero tal como menciona Pulido y Hernández, (2019), si se utiliza la punta 3/16", se obtendrán medidas que se encuentran dentro de la escala esperada. El gráfico presentado anteriormente fue elaborado utilizando los datos recolectados que se presentan en el Cuadro 22 de la sección de anexos.

**Cuadro 15.** Análisis estadístico de variación de firmeza en aguacates de prueba piloto 2













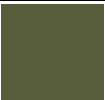
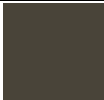

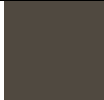











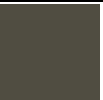


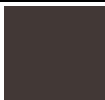
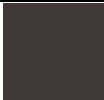
<b>Ho:</b>	No hay diferencias significativas en la dureza entre los distintos tratamientos y no hay diferencia significativa de la dureza a lo largo de los días.	
<b>Ha:</b>	Existen diferencias significativas en la dureza entre los distintos tratamientos y hay diferencia significativa de la dureza a lo largo de los días.	
<i>Origen de las variaciones</i>	<b>F</b>	<b>Valor Crítico para-F</b>
<b>Tratamientos</b>	12.60	3.07
<b>Tiempo</b>	82.35	2.49

[Elaboración propia con datos experimentales]

Lo mencionado anteriormente se confirma con los resultados presentados en el Cuadro 15, en el que se muestran los valores obtenidos tras realizar el análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo. En este caso, debido que el valor crítico de F (3.07) es menor que el valor F calculado (12.60) para el efecto del tratamiento, se rechaza la hipótesis nula, indicando que existen diferencias significativas en la dureza entre los tratamientos evaluados. De igual manera, para el efecto del tiempo, el valor F obtenido fue de 82.35, superando el valor crítico de F (2.49). Esto nos permite rechazar la hipótesis nula, determinando que la dureza varía significativamente a lo largo del tiempo.

Este comportamiento concuerda con esperado en el proceso de maduración del aguacate, ya que, como menciona Aguilar (2013), los aguacates presentan inicialmente una estructura celular rígida que se transforma y degrada durante el proceso de maduración, alcanzando paredes celulares más blandas y difusas.

**Cuadro 16.** Cartilla de color externo durante tiempo de evaluación de prueba piloto 2

Muestra	Día 1	Día 22	Día 24	Día 26	Día 28	Día 30	Día 32	Día 34
<b>Control</b>								
<b>Ángulo Hue (°)</b>	112.67	112.57	114.03	94.30	75.74	76.73	46.97	35.93
<b>R.1.</b>								
<b>Ángulo Hue (°)</b>	110.04	115.32	113.31	112.04	110.41	97.99	89.45	75.51
<b>R.2.</b>								
<b>Ángulo Hue (°)</b>	111.11	112.07	111.17	106.57	52.75	41.48	30.32	35.77
<b>R.3.</b>								
<b>Ángulo Hue (°)</b>	113.98	111.76	112.40	94.74	38.16	64.65	35.46	32.03

[Elaboración propia con datos experimentales]

En el Cuadro anterior, se muestran los resultados del ángulo HUE y su variación a lo largo de la evaluación de vida de anaquel realizada en los aguacates. Los resultados muestran cómo el color de los aguacates cambia a lo largo del tiempo y cómo este varía según el tratamiento aplicado. Es posible observar que inicialmente, todos los tratamientos presentaban un valor HUE en el rango de 110-114° lo que indica un color verde intenso y es posible evidenciar que experimentan un descenso significativo a partir del día 26. En el caso de los aguacates recubiertos con quitosano y sorbato de potasio, estos muestran una mayor estabilidad del color, contando con valores HUE cercanos a 110° incluso hasta el día 28 y presentaron un descenso más gradual en los días posteriores. Los recubrimientos a base de cera carnauba presentan resultados variados y más similares al comportamiento de los aguacates del grupo

control. En los días finales de experimentación, es posible observar que todas las muestras contaron con valores HUE más bajos, lo cual se relaciona con tonos más oscuros y violáceos relacionados con el estado de maduración del producto y lo que se encuentra relacionado con la degradación de clorofilas y la producción de carotenoides y antocianinas (Aguilar 2013).

De igual manera, en el Cuadro 16, se presenta la cartilla de color de la cáscara del aguacate, obtenida a partir del análisis de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  medidos por el colorímetro Hunter Lab. Estos parámetros fueron procesados mediante un programa de análisis para convertirlos en el color estándar más cercano. Los resultados están alineados con los valores de HUE calculados, mostrando que el recubrimiento de quitosano y sorbato de potasio mejoró la retención de clorofilas, manteniendo una coloración verde oscura hasta el día 28, con un oscurecimiento más notable a partir del día 30. En cuanto a los otros tratamientos, se observó un oscurecimiento más rápido y continuo. Cabe destacar que los colores obtenidos no coinciden exactamente con los indicados por Solagro (s. f) en su ficha comercial para aguacate Hass (Figura 4), lo cual podría deberse al tipo de colorímetro utilizado, la iluminación del entorno y posibles variaciones en la configuración del equipo de análisis de color. A pesar de estas diferencias, la tendencia observada en la variación del color coincide con el proceso esperado de maduración del aguacate, donde los tonos inicialmente verdes se oscurecen progresivamente hasta alcanzar tonalidades violáceas, tanto la cartilla de color como los resultados presentados en el Cuadro 16 relacionado con la variación del Ángulo HUE, fueron obtenidos mediante los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  presentados en el Cuadro 21 de la sección de anexos.

El análisis dio inicio con la evaluación de 8 recubrimientos y un grupo control, evaluando el método de aplicación adecuado para los recubrimientos y respecto a los parámetros de calidad la variación en la coloración externa de los aguacates, la pérdida de peso y el estado final de las muestras tras 10 días de evaluación a temperatura ambiente. Tras llevar a cabo esta primera etapa de experimentación, fue posible determinar que los recubrimientos que demostraron un mejor rendimiento fueron los siguientes: quitosano y sorbato de potasio, cera carnauba y ácido eritórbito y cera carnauba, ácido giberélico y glutatión. Estos tres recubrimientos, en conjunto con un grupo control, fueron llevados a una etapa de experimentación más grande, en la cual se evaluaron 50 aguacates de cada tratamiento. Se

evaluaron parámetros tales como: variación de color, pérdida de peso, materia seca, variación de firmeza y materia grasa. En esta segunda etapa, se simularon condiciones de exportación y luego se evaluó el proceso de maduración de las muestras y evaluando la vida de anaquel. Tras llevar a cabo el análisis de los resultados presentados con anterioridad, fue posible identificar que el recubrimiento que presentó un mejor rendimiento fue el elaborado a partir de quitosano y sorbato de potasio, el cual presentó una mejor retención de peso y color a lo largo de la evaluación de vida de anaquel.

## VIII. CONCLUSIONES

- Se evaluó la capacidad de mantener las características de calidad del aguacate Hass (*persea americana* Mill), logrando determinar tres recubrimientos que presentaron mejor desempeño para ser utilizados a nivel comercial.
- Se determinó que el método de aplicación más adecuado para el aguacate Hass es la inmersión. Aunque presenta tiempos de secado ligeramente mayores, utiliza menos producto y garantiza una aplicación homogénea del recubrimiento en toda la superficie del fruto.
- A través del análisis de la variación de color, la pérdida de peso y el estado final de los aguacates tras la etapa de selección, se identificaron como más efectivos los siguientes recubrimientos: quitosano y sorbato de potasio, cera carnauba con ácido eritórbico y cera carnauba con ácido giberélico y glutatión.
- Se concluyó que el recubrimiento a base de quitosano y sorbato de potasio fue el más eficaz para extender la vida útil de los aguacates Hass, tras simular el tiempo de exportación de 21 días. A pesar de presentar ligeras variaciones típicas en productos hortofrutícolas, este recubrimiento logró ralentizar el proceso de maduración del fruto en comparación con el grupo control, manteniendo mayor estabilidad

## IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas a mayor escala en condiciones reales de transporte para evaluar la factibilidad de aplicación del recubrimiento, los tiempos de secado y el comportamiento del producto bajo temperaturas y niveles de humedad reales.
- Es importante contar con un equipo regulador de humedad para evaluar la influencia de este parámetro en los tratamientos, ya que la cámara refrigerada utilizada en esta experimentación no disponía de uno.
- Con la finalidad de mantener las temperaturas necesarias para la simulación de tiempos y condiciones de exportación, se recomienda contar con un regulador de voltaje y un *no break* en la cámara de refrigeración.
- En futuras evaluaciones, se sugiere utilizar una cámara refrigerada por cada tratamiento y contar con medidores de concentración de dióxido de carbono en cada una, para identificar posibles cambios en la tasa de respiración de los frutos según el tratamiento aplicado.
- Se recomienda guardar todas las normas de inocuidad y buenas prácticas de almacenamiento para asegurar el correcto funcionamiento de los recubrimientos comestibles.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Abello, M. J., y Esmeral, A. (2018). *Estudio de mercado para mejorar las exportaciones de aguacate Hass colombiano hacia Estados Unidos*. Colegio de Estudios Superiores de Administración.
- Agexport (2023). Aguacate. Cifras de Exportación. Recuperado el 20 de marzo de 2024. <https://sectores.export.com.gt/aguacate/cifras-de-exportacion/>
- Aguilar Mendez, M. A. (2013). *Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate* (Doctoral dissertation). Instituto Politécnico Nacional.
- Ahmed, A. A., Abd El-Aziz, M. E., Abd-Allah, A. S., Hamed, H. H., Emam, H. E., y Abd El-Moniem, E. A. (2024). Arabic gum/chitosan/Zn-NPs composite film maintains the quality of Hass avocado fruit by delaying ripening and activating enzymatic defense mechanisms. *Scientific Reports*, 14(1), 401.
- Arias, F., Montoya, C., y Velásquez, O. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (55), 22-35.
- Aristizábal, A. M. (2020). *Evaluación de parámetros de calidad y residualidad en frutos de aguacate Hass cultivados en el departamento de Antioquia*. Corporación Universitaria Lasallista.
- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (2006). *Official method 963.15. Fat in cacao products Soxhlet extraction method (18th ed.)*. Gaithersburg.
- Banco de Guatemala, BANGUAT (2023). Importaciones y exportaciones de aguacate.
- Boletín Oficial del Estado (BOE) (2024). Reglamento (CE) nº 831/97 de la Comisión, de 7 de mayo de 1997, por el que se establecen normas de comercialización aplicables a

los aguacates. Boe.es. Recuperado el 12 de abril de 2024, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1997-80823>

Blakey, R. J., Tesfay, S. Z., Bertling, I., y Bower, J. P. (2012). Changes in sugars, total protein, and oil in 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) fruit during ripening. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 87(4), 381.

Brookfield (2024). *CT3 Texture Analyzer Operating Instructions. Manual No. M08-372-F1116*. Brookfieldengineering.com. Recuperado el 11 de abril de 2024, de <https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/manuals/texture/ct3%20manual%20m08-372-f1116.pdf>

Caiza, J. F. (2020). *Evaluación del efecto de la aplicación de atmósferas modificadas sobre la calidad físico química y vida útil del aguacate (Persea americana Mill) variedad Hass (Bachelor's tesis)*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Cano-Calle, D. (2020). *Caracterización Molecular de trips (Thysanoptera: Thripidae) procedentes de cultivos comerciales de aguacate (Persea americana Mill) del oriente antioqueño y estudio de la diversidad microbiana asociada*. Universidad Nacional de Colombia.

Cao, Z., Zhou, D., Ge, X., Luo, Y., y Su, J. (2022). The role of essential oils in maintaining the postharvest quality and preservation of peach and other fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 46(12), e14513.

Carvalho, C. P., Velásquez, M. A., y Van Rooyen, Z. (2014). Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(3), 399-406.

Cerceda, J. (2008). Evolución de la maduración de las paltas cv. Lamb-Hass (*Persea americana* Mill en huertos injertados sobre patrón mexicana). México,

Cerdas Araya, M. D. M., Montero Calderón, M., y Somarribas Jones, O. (2014). Verificación del contenido de materia seca como indicador de cosecha para aguacate (Persa americana) cultivar Hass en zona intermedia de producción de de los Santos Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 207-214.

CODEX ALIMENTARIUS (2013). Norma para el aguacate (CXS 197-1995). Obtenido de: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B197-1995%252FCXS\\_197s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B197-1995%252FCXS_197s.pdf)

Coyotl-Pérez, W. (2023). *Películas biodegradables con actividad fungistática para el control poscosecha de Fusarium solani en fruto de aguacate Hass*. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada-Instituto Politécnico Nacional, Tlaxcala.

DataExport (2022). USDA reanuda la importación de aguacates mexicanos hacia EE.UU. Recuperado el 20 de marzo de 2024. <https://dataexport.com.gt/usda-reanuda-la-importacion-de-aguacates-mexicanos-hacia-ee-uu/>

Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A., y Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Critical Reviews in food science*, 38(4), 299-313.

Diario Oficial la Unión Europea (2005). Reglamento (CE) N° 387/2005 de la Comisión. De 8 de marzo de 2005 que modifica el Reglamento (CE) N° 831/97, por el que se establecen normas de comercialización aplicables a los aguacates. *Comisión Europea*.

Dirección de Información Geográfica y Gestión de Riesgo (DIGEGR) (2021). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Determinación de la Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a Escala 1:50,000 de la República de Guatemala, año 2020. Guatemala

Escobar, J. V., Rodríguez, P., Cortes, M., y Correa, G. (2019). Influencia de la materia seca como Índice de madurez de cosecha y tiempo de almacenamiento en frío sobre la

calidad del aguacate cv. Hass producido en la región del trópico alto. *Información tecnológica*, 30(3), 199-210.

FAOSTAT. (2024). Fao.org. Recuperado el 9 de abril de 2024, de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL/visualize>

Figuroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R., y Narvaez, G. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 3(2), 386-400.

Gamble, J., Harker, F. R., Jaeger, S. R., White, A., Bava, C., Beresford, M., y Woolf, A. (2010). The impact of dry matter, ripeness and internal defects on consumer perceptions of avocado quality and intentions to purchase. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1), 35-43.

García, P. F. A. (2022). *Cubiertas comestibles de quitosano/propóleo y su efecto en la maduración, desarrollo de Aspergillus flavus y calidad sensorial, en frutos de higo, durante el almacenamiento controlado*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Gil Garzón, M. A., Rojano, B. A., y Guerrero, C. A. (2012). *Inhibición de la polifenoloxidas extraída del banano (cavendish) por medio de algunos derivados del isoespintanol*. In *Desarrollo y Transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia*. Corporacion Universitaria Lasallista.

Gómez, E. (2011). Recubrimientos para frutas y hortalizas. *V curso internacional tecnología poscosecha y procesamiento mínimo*, 32.

González, M., y Lobo, M. G. (2005). Técnicas de Procesamiento de Hortalizas Cortadas. *Nuevas Tecnologías de Conservación de Vegetales Frescos Cortados*, 97-115.

Guarniz, A. C. (2019). *Determinación de las características físico-químicas de rodajas de mango (Mangifera Indica L.) var. Tommy Atkins, cubiertas con quitosano y cera*

*carnauba durante 30 días de almacenamiento AT° de refrigeración. Universidad Cesar Vallejo.*

Hagenmaier, R. and Shaw, P. (1992). Gas permeability of fruit coating waxes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117:105-109.

Herrera, T. C. (2007). *Efecto de altas presiones dinámicas sobre la actividad de la polifenoloxidasas en jugo de manzana.* Universidad de las Américas Puebla.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (2015). Norma técnica ecuatoriana: Frutas frescas. Aguacate. Requisitos. (NTE INEN 1755:2015).

Instituto Nacional de Metrología de Colombia (2021). Guía para la determinación de materia seca en aguacate HASS por secado en estufa convencional. *ColombiaMide*. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/10/Guia-para-la-determinacion-de-materia-seca-en-aguacate-Hass-por-secado-en-estufa-convencional.pdf>

Kader, A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops. Agriculture and Natural Resources. Davis, California.* University of California. 535 p.

Laiton, G. A., Almanza-Merchán, P. J., y Balaguera-López, H. E. (2012). Producción y calidad poscosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) larga vida sometido a la aplicación de ácido giberélico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 183-195.

Lindley, M. G. (1998). The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 9(8-9), 336-340.

Madera-Santana, T. J., Toledo-López, V. M., Martínez-Robison, K., Rejón-Moo, V., y Fortiz-Hernández, J. (2023). Evaluación de películas comestibles de quitosano, agar y tomillo para mantener la calidad de frutos de aguacate ‘Hass’ durante su almacenamiento. *Biotechnia*, 25(1), 116-125.

- Madero Romero, B. A., y Castro Zarcos, C. J. (2019). Comportamiento del mercado internacional sobre el consumo de aguacate. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*.
- Maftoonazad, N. y Ramaswamy, H. (2005). shelf –life extension of avocados using methyl cellulose–based coating. *LWT -Food Science and Technology* 38(6):617-624.
- Marmol Z, Páez G, Rincón M, Araujo K, Aiello C, Chandler C y Gutiérrez E (2011) Quitina y quitosano polímeros amigables. Una revisión de su aplicación. *Revista Tecnológica*.
- Mendoza-Intriago, M., Zavala-Murillo, R., Toala-Franco, D., Dueñas-Rivadeneira, J. P., Matute-Zeas, M. E., y Dueñas-Rivadeneira, A. A. (2023). EXTRACTO ETANÓLICO DE PROPÓLEO COMO RECUBRIMIENTO ANTIOXIDANTE EN AGUACATES: UNA REVISIÓN. *Centro Azúcar*, 50(1).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2023). Perfil de Aguacate. Recuperado el 20 de marzo de 2024. Obtenido de: <https://precios.maga.gob.gt/archivos/perfiles/Perfil%20Aguacate.pdf>
- Ministerio de Relaciones Exteriores de la Unión Europea (2024). El potencial del mercado europeo para los aguacates. Recuperado el 20 de marzo de 2024. Obtenido de: <https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/avocados/market-potential>
- Moon, K. M., Kwon, E. B., Lee, B., y Kim, C. Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules*, 25(12), 2754.
- Morales, M. (2023). *Uso de agentes antimicrobianos*. Universidad del Valle de Guatemala
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Recuperado el 20 de marzo de 2024. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Parzanese, M. (2012). Vegetales mínimamente procesados. *Alimentos Argentinos*, 55, 31-39.

- Pirovani, M. E., Güemes, D. R., Piagentini, A. M., y Di Pentima, J. R. (1994). Determinación de la textura de aguacates (*Persea americana* Mill.) mediante ensayos de penetración. *Revista española de ciencia y tecnología de alimentos*, 34(1), 77-89.
- Pulido, Y. G. M., y Hernández, E. (2019). El Consumo de aguacate y sus beneficios para la salud: Una revisión general. *Milenaria, Ciencia y arte*, (14), 17-19.
- Puma, E. R. (2021). *Influencia del tratamiento térmico y antioxidantes sobre la inactivación de la polifenoloxidasa en el puré de palta (Persea americana Mill) variedad Hass*. Universidad Nacional de Moqueagua.
- Ramírez, J. A. (2015). *Producción y productividad de lechuga mediante la adición de agentes quelantes de edta y eddha comerciales*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Rodriguez, M. (2021). *Predicción de problemas de calidad en aguacate Hass por medio de la interrelación de factores clave que afectan sus características de calidad y vida útil*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Ruiz, Y., Pino, J., y Quijano, C. (2011). Análisis de los compuestos volátiles de la ciruela amarilla (*Prunus domestica* L. ssp. *Domestica*). *Revista Venezolana de Ciencias y Tecnología de Alimentos*, 2(1), 41-48.
- Serra, J. J., Melero, J., Martínez, G., y Fagoaga, C. C. (2020). Especies vegetales como antioxidantes de alimentos. *Nereis*, (12), 71-90.
- Singh, B., Suri, K., Shevkani, K., Kaur, A., Kaur, A., y Singh, N. (2018). *Enzymes in Food Technology: Improvements and Innovations*. Springer.
- Solagro (s. f) Ficha Comercial, Aguacate Hass. Recuperado el 19 de abril del 2024: [https://solagroguate.com/wp-content/uploads/2020/07/FichaComercial\\_Solagro-1.pdf](https://solagroguate.com/wp-content/uploads/2020/07/FichaComercial_Solagro-1.pdf)

- Sotomayor, A., Pitzaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., y Vargas, Y. (2019). Evaluación físico química de fruta de pitahaya *Selenicereus megalanthus* en diferentes estados de desarrollo. *Enfoque UTE*, 10(1), 89-96.
- Tabanera, M. A. (2015). *El glutatión* (Doctoral dissertation), Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.
- Taghvaei M, y Jafari S. (2015). Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic aditives. *Association of Food Scientists & Technologists*. 2015;52:1272-82.
- Tochihuitl-Martíñón, A., Chávez-Franco, S. H., Saucedo-Veloz, C., Suarez-Espinosa, J., y Guerra-Ramírez, D. (2018). Extractos de *Persea americana* Mill. que retrasan maduración en frutos de aguacate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(8), 1639-1650.
- Vélez, D. A. (2021). *Evaluación del manejo poscosecha y logística del aguacate Hass de exportación, para el desarrollo de propuestas de mejora para la reducción de pérdidas en la cadena de suministros* (Doctoral dissertation). Universidad del Valle de Guatemala
- Viñán Pérez, E. I. (2020). *Estudio del efecto de la aplicación de atmósferas modificadas sobre la vida útil y la calidad del aguacate (Persea americana Mill) variedad Fuerte (Bachelor's tesis)*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería en Alimentos.
- Zapata, O., y Ceja, G. Ríos. (2014). *Manual técnico poscosecha aguacate Hass (Persea americana Mill)*. Universidad Pontificia Bolivariana.

## XI. ANEXOS

### A. Etapa de Selección

**Cuadro 17.** Pesos obtenidos para análisis de pérdida de peso para aguacates en etapa de selección de recubrimientos para evaluación final

Muestra	Control	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Día 1</b>	184,31	190,17	192,29	187,86	183,11	179,51	188,77	187,09	186,62
<b>Día 2</b>	179,97	186,63	188,90	184,20	179,60	175,45	184,57	183,63	182,92
<b>Día 3</b>	177,28	184,60	186,88	181,92	177,42	173,08	182,18	181,60	180,72
<b>Día 4</b>	174,95	182,75	184,98	179,86	175,48	170,85	179,93	179,67	178,63
<b>Día 5</b>	172,62	180,89	183,08	177,80	173,55	168,62	177,67	178,93	177,54
<b>Día 6</b>	172,61	180,33	182,93	176,48	172,56	168,33	176,67	178,67	176,67
<b>Día 7</b>	170,16	179,39	182,04	175,83	171,94	167,03	176,35	176,68	174,52
<b>Día 8</b>	169,35	178,63	181,26	175,15	171,22	166,16	175,37	175,89	173,85
<b>Día 9</b>	168,99	177,67	179,91	174,99	171,14	165,77	174,78	175,06	173,73
<b>Día 10</b>	166,87	175,83	178,19	173,34	169,74	164,13	173,10	173,51	172,16

[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 18.** Evaluación de ángulo HUE durante etapa de selección de recubrimientos para utilizar en evaluación final

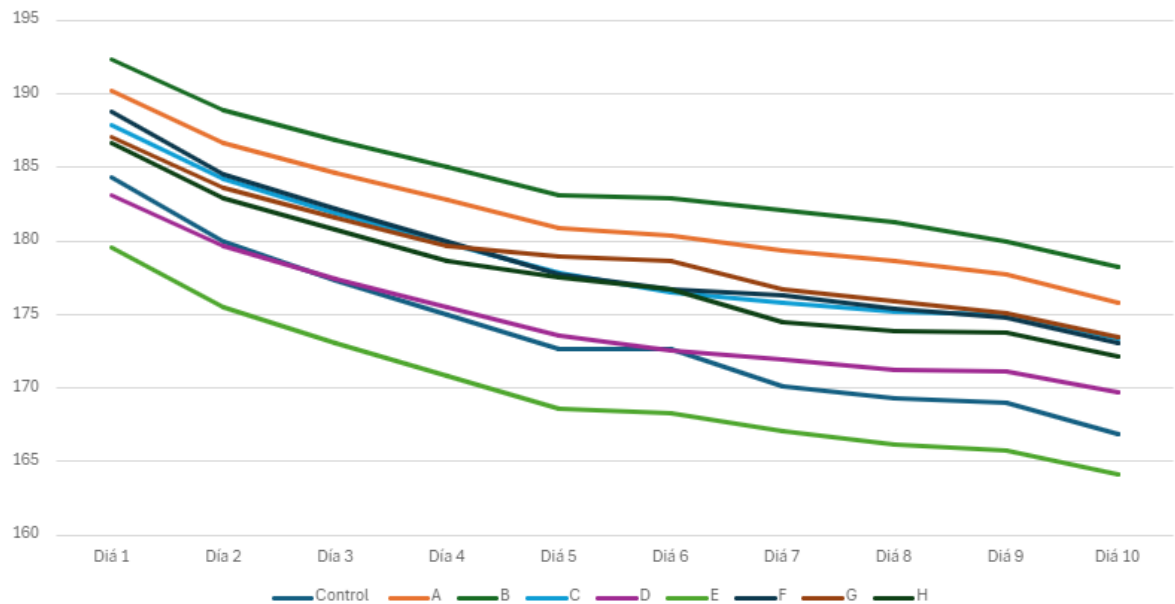
Día	Muestra	Parámetros del croma	Ángulo HUE
<b>0</b>	<b>Control</b>	18.682	112.668
	<b>A</b>	19.908	110.043
	<b>B</b>	19.112	110.308
	<b>C</b>	17.864	114.070
	<b>D</b>	19.676	114.735
	<b>E</b>	16.698	114.321

	<b>F</b>	17.076	116.829
	<b>G</b>	17.248	113.411
	<b>H</b>	18.302	112.721
<b>2</b>	<b>Control</b>	14.280	114.025
	<b>A</b>	20.357	111.891
	<b>B</b>	25.147	113.303
	<b>C</b>	16.331	103.052
	<b>D</b>	17.775	103.127
	<b>E</b>	21.441	105.013
	<b>F</b>	21.946	107.174
	<b>G</b>	16.287	94.257
	<b>H</b>	19.126	107.474
<b>3</b>	<b>Control</b>	10.909	93.905
	<b>A</b>	13.295	110.851
	<b>B</b>	12.134	107.228
	<b>C</b>	5.459	65.773
	<b>D</b>	6.946	73.971
	<b>E</b>	7.929	80.871
	<b>F</b>	10.688	101.320
	<b>G</b>	6.714	71.252
	<b>H</b>	7.097	83.309
<b>4</b>	<b>Control</b>	7.838	85.669
	<b>A</b>	9.458	104.881
	<b>B</b>	7.310	84.143
	<b>C</b>	4.287	38.113
	<b>D</b>	4.756	37.757
	<b>E</b>	4.547	49.102
	<b>F</b>	8.053	90.889
	<b>G</b>	4.440	42.353
	<b>H</b>	4.505	57.234

<b>5</b>	<b>Control</b>	7.727	86.580
	<b>A</b>	6.561	84.490
	<b>B</b>	5.538	69.824
	<b>C</b>	4.612	37.051
	<b>D</b>	4.135	34.905
	<b>E</b>	5.027	37.825
	<b>F</b>	5.490	72.070
	<b>G</b>	5.082	39.051
	<b>H</b>	4.262	39.697

[Elaboración propia con datos experimentales]










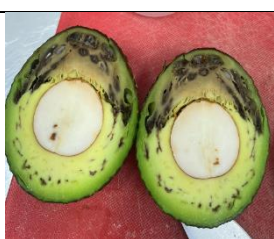


**Figura 9.** Variación de peso durante la etapa de selección de recubrimientos para utilizar en la evaluación final



[Elaboración propia con datos experimentales]

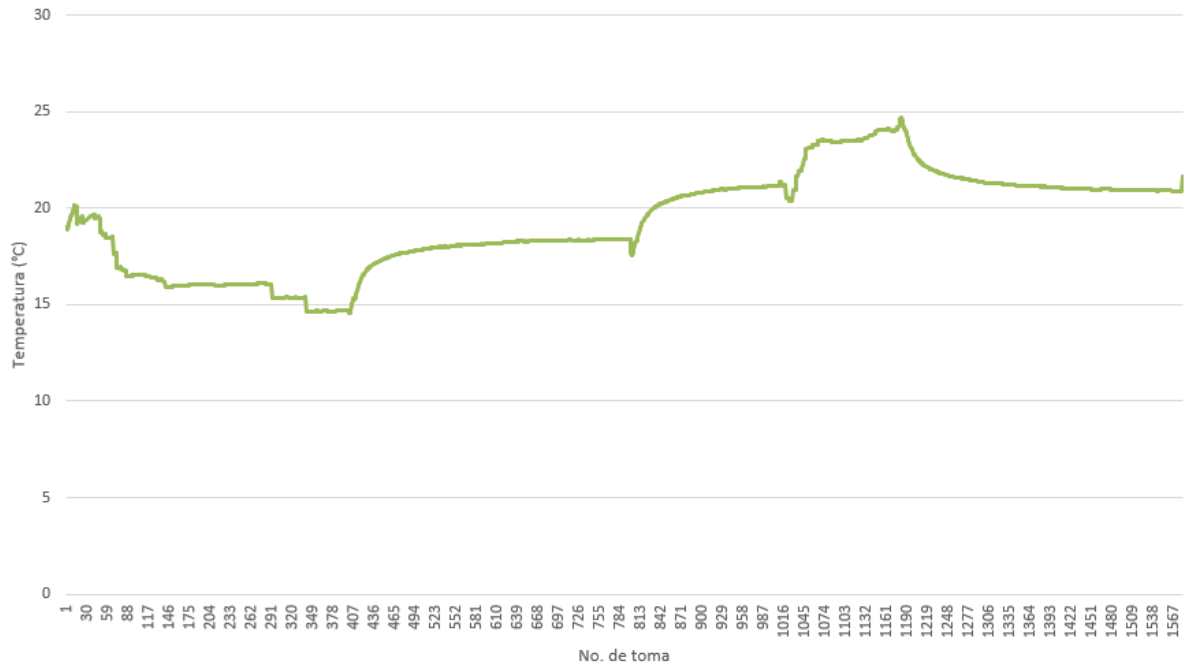
## B. Prueba piloto 1

**Cuadro 19.** Apariencia interna de aguacates de prueba piloto 1

Tratamiento	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Control			
R.1.			
R.2.			
R.3.			


[Elaboración propia con datos experimentales]



**Figura 10.** Comportamiento de temperatura en cámara fría utilizada para prueba piloto 1



[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 20.** Crecimiento de moho y hongos en aguacates de la prueba piloto 1

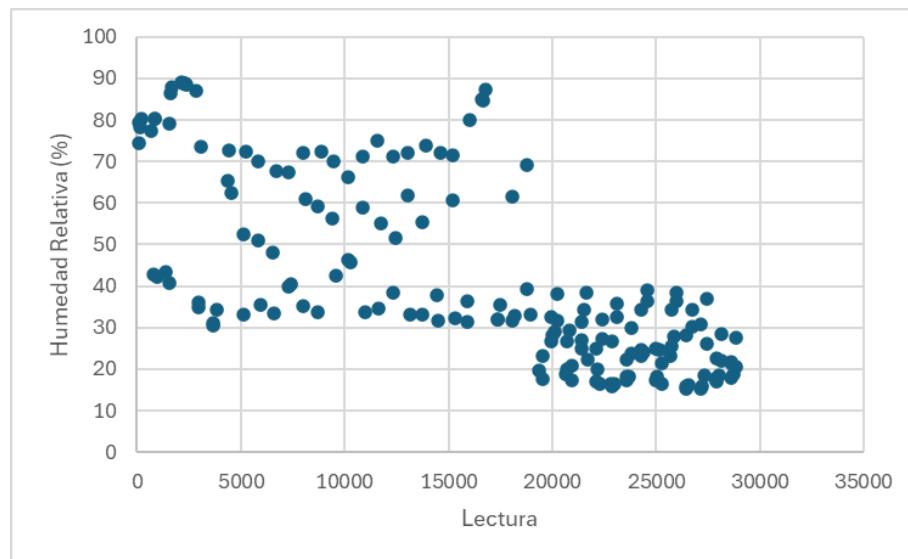
Muestra	Imagen
Control	

<p><b>R.1.</b></p>	
<p><b>R.2.</b></p>	

[Elaboración propia con datos experimentales]

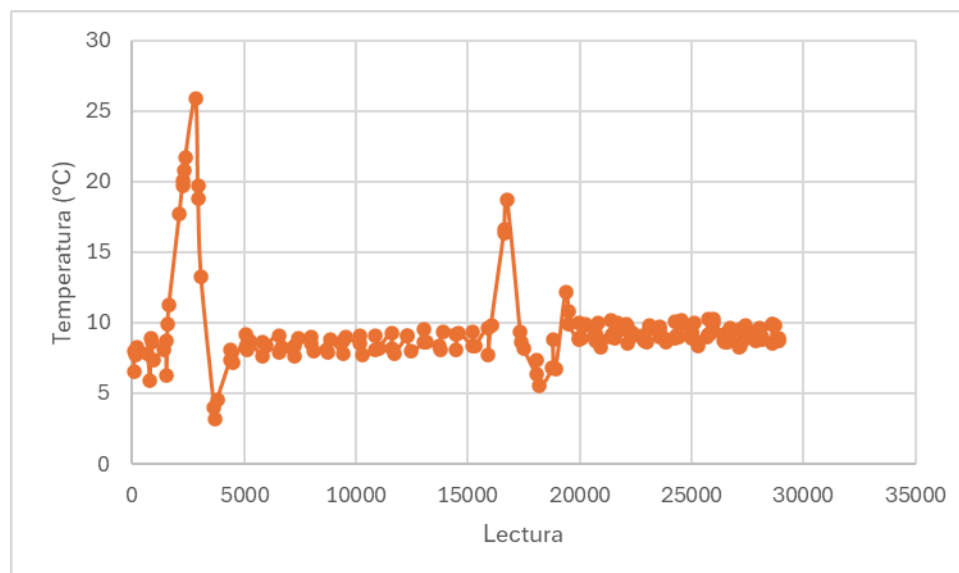
## C. Prueba Piloto 2

**Figura 11.** Variación de humedad relativa durante simulación de exportación en prueba piloto 2



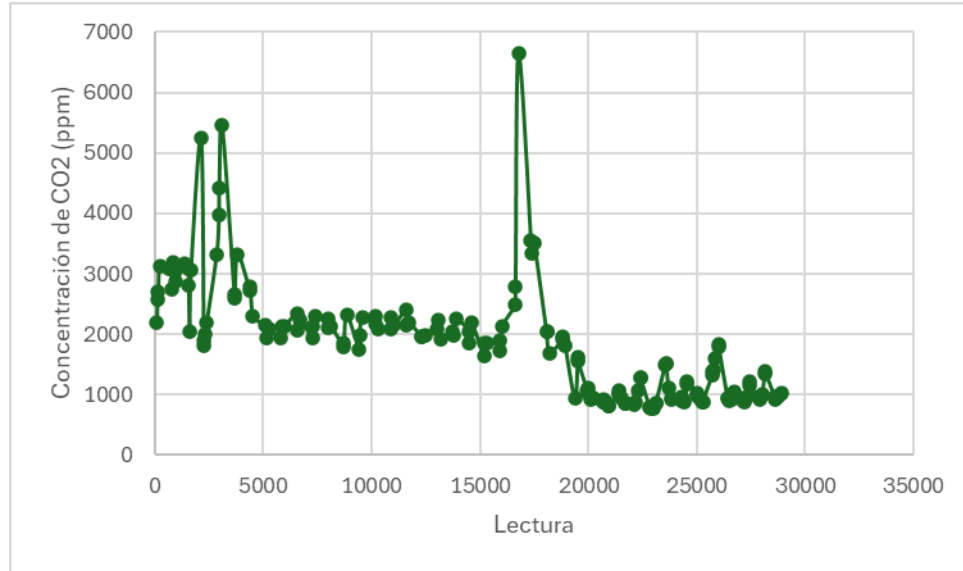
[Elaboración propia con datos experimentales]

**Figura 12.** Variación de temperatura durante simulación de exportación en prueba piloto 2



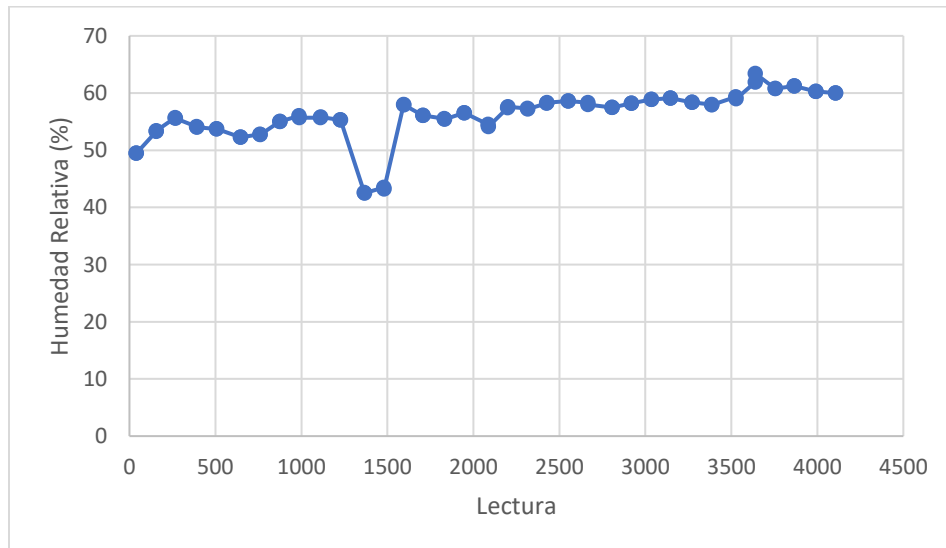
[Elaboración propia con datos experimentales]

**Figura 13.** Variación de Concentración de CO<sub>2</sub> durante simulación de exportación en prueba piloto 2



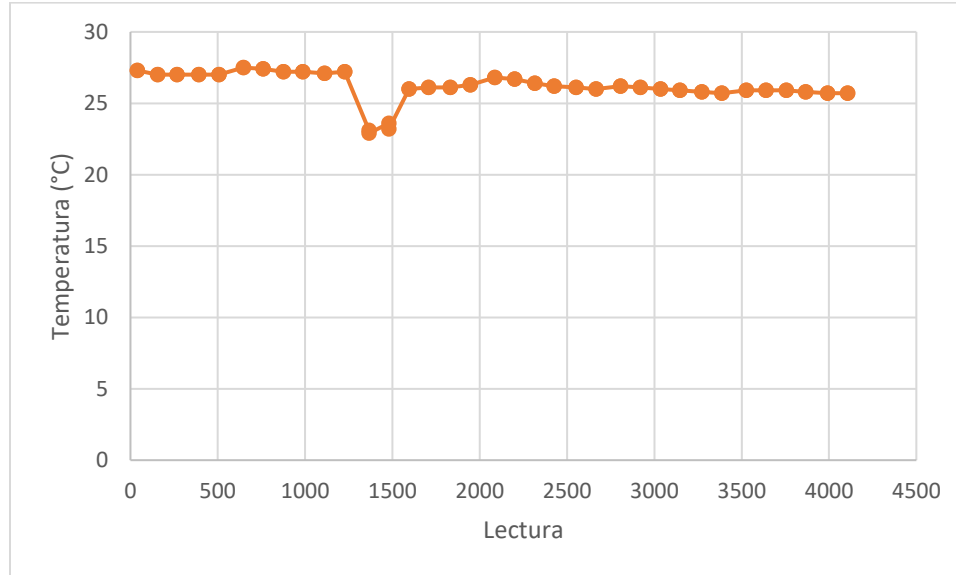
[Elaboración propia con datos experimentales]

**Figura 14.** Variación de humedad relativa durante evaluación de vida de anaquel en prueba piloto 2



[Elaboración propia con datos experimentales]

**Figura 15.** Variación de temperatura durante evaluación de vida de anaquel en prueba piloto 2



[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 21.** Parámetros L\*, a\* y b\* obtenidos en análisis de prueba piloto 2

Día	Parámetro	Control	R.1.	R.2.	R.3.
1	L*	40,774	40,583	39,243	39,744
	a*	-7,200	-6,823	-6,796	-7,518
	b*	17,239	18,702	17,608	16,902
22	L*	39,721	39,953	40,174	38,539
	a*	-7,096	-7,716	-7,086	-6,878
	b*	17,071	16,311	17,478	17,230
24	L*	43,267	41,068	43,074	42,578
	a*	-5,814	-9,166	-6,873	-6,873
	b*	13,043	21,272	17,749	16,677
26	L*	34,709	37,403	36,882	32,846
	a*	-0,743	-9,166	-3,432	-0,643

	<b>b*</b>	9,884	21,272	11,586	7,762
<b>28</b>	<b>L*</b>	33,160	38,321	29,213	27,986
	<b>a*</b>	1,823	-7,102	2,827	3,278
	<b>b*</b>	7,174	19,089	3,718	2,576
<b>30</b>	<b>L*</b>	29,098	36,363	25,077	25,631
	<b>a*</b>	1,358	-1,711	3,324	2,111
	<b>b*</b>	5,758	12,187	2,939	4,455
<b>32</b>	<b>L*</b>	27,382	32,790	24,133	24,602
	<b>a*</b>	3,158	0,123	3,180	4,051
	<b>b*</b>	3,383	12,729	1,860	2,885
<b>34</b>	<b>L*</b>	28,743	31,530	24,799	24,328
	<b>a*</b>	3,261	1,719	2,958	2,930
	<b>b*</b>	2,363	6,651	2,131	1,833

[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 22.** Pesos obtenidos para análisis de pérdida de peso para aguacates de prueba piloto 2

<b>Aguacate</b>	<b>Día 1</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>32</b>
<b>A1</b>	181,88	178,11	168,94	166,38	163,56	161,01	158,23
<b>A2</b>	184,70	182,18	175,45	173,69	171,79	169,97	168,14
<b>A3</b>	183,45	180,15	171,73	169,30	166,71	164,34	161,62
<b>A4</b>	194,96	191,36	181,93	179,02	175,87	173,02	170,04
<b>A5</b>	182,13	180,06	173,09	170,92	168,43	166,12	163,64
<b>A6</b>	180,45	177,67	170,69	168,56	166,17	163,81	169,05
<b>A7</b>	181,97	178,85	170,37	167,69	165,18	162,68	160,05
<b>A8</b>	178,88	175,96	168,21	165,97	163,43	161,14	158,85
<b>A9</b>	175,62	172,59	164,49	161,94	159,13	156,67	152,13
<b>A10</b>	182,67	179,66	171,65	169,27	166,70	164,31	162,42
<b>B1</b>	188,12	185,70	179,97	178,10	175,97	173,93	171,92

<b>B2</b>	181,85	179,72	174,81	173,19	171,41	169,69	168,10
<b>B3</b>	202,18	199,45	192,22	190,00	187,41	184,96	182,56
<b>B4</b>	175,30	173,39	166,50	164,26	161,73	159,39	156,91
<b>B5</b>	175,41	172,18	164,07	161,92	159,37	156,88	154,32
<b>B6</b>	178,33	175,69	169,46	167,99	166,12	164,43	162,65
<b>B7</b>	143,23	141,06	135,49	134,03	132,13	130,45	128,64
<b>B8</b>	197,50	194,98	188,83	187,01	184,83	182,84	180,87
<b>B9</b>	186,25	183,09	175,51	173,35	170,89	168,63	166,13
<b>B10</b>	180,91	178,36	171,87	169,98	167,76	165,69	163,57
<b>C1</b>	174,27	171,93	166,03	164,23	162,18	160,09	157,19
<b>C2</b>	177,89	175,58	169,37	167,60	165,63	163,76	161,84
<b>C3</b>	188,47	185,44	177,84	175,74	173,35	171,17	169,82
<b>C4</b>	178,04	175,28	168,24	166,08	163,62	161,36	159,04
<b>C5</b>	171,95	167,45	156,86	153,72	150,30	147,29	146,52
<b>C6</b>	174,44	171,02	162,54	160,12	157,12	154,33	153,83
<b>C7</b>	155,13	152,87	146,82	145,03	142,96	141,22	139,50
<b>C8</b>	191,67	188,36	180,19	177,74	174,96	172,48	169,83
<b>C9</b>	178,02	172,84	166,76	164,32	161,56	159,14	158,10
<b>C10</b>	176,65	173,42	166,07	163,84	161,30	158,98	157,29
<b>D1</b>	203,12	200,68	194,23	192,25	190,06	188,12	186,01
<b>D2</b>	184,05	181,64	175,89	174,10	172,12	170,33	168,43
<b>D3</b>	182,10	179,54	172,79	170,77	168,54	166,51	164,52
<b>D4</b>	175,17	172,08	164,20	161,76	159,12	156,70	154,34
<b>D5</b>	198,67	195,51	187,68	185,45	183,05	180,91	178,64
<b>D6</b>	179,57	177,03	170,07	168,13	165,83	163,82	161,78
<b>D7</b>	192,08	189,13	181,48	179,44	177,08	174,89	172,56
<b>D8</b>	180,96	178,08	171,25	169,24	166,97	164,91	162,61
<b>D9</b>	184,17	180,96	172,55	170,17	167,41	164,98	162,82
<b>D10</b>	186,65	183,85	176,68	174,59	172,24	170,13	167,97

[Elaboración propia con datos experimentales]

**Cuadro 23.** Datos recolectados de variación de dureza en evaluación de aguacates de prueba piloto 2

DÍA	Dureza (g)							
	1	22	24	26	28	30	32	34
<b>Control</b>	5373,26	4664,16	4341,84	4000,56	3299,04	2957,76	2161,44	1592,64
<b>R.1.</b>	5215,40	5006,84	4836,20	4722,44	4177,82	3794,23	3451,02	2720,19
<b>R.2.</b>	5232,96	4891,68	4569,36	4228,08	3867,84	3545,52	3128,40	1952,88
<b>R.3.</b>	5069,92	4709,68	4444,24	4159,84	3913,36	3591,04	3173,92	2263,84

[Elaboración propia con datos experimentales]