



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN**

**Retardantes de maduración en manejo postcosecha de  
aguacate (*Persea americana* L.)**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**P R E S E N T A**

**OLMEDO GONZÁLEZ VÍCTOR LEONARDO**

**DIRECTORA DE TESIS**

**QUEZADA VIAY MARTHA YOLANDA**

**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Estado de México, 2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **AGRADECIMIENTOS**

**ESTE TRABAJO FUE REALIZADO CON EL APOYO DEL PROYECTO DE DGAPA-PAPIME PE211222, EL LABORATORIO DE MANEJO POSTCOSECHA DE LA UNIDAD DE GRANOS Y SEMILLAS (UNIGRAS), LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN, MI DIRECTORA DE TESIS MARTHA QUEZADA VIAY, ASÍ COMO DEL LABORATORISTA JULIO AGUILAR, COMPAÑEROS O AMIGOS QUE ME APOYARON DURANTE EL EXPERIMENTO, LA DONACIÓN DE LOS AGUACATES POR PARTE DE LA FAMILIA CASTAÑEDA Y EL SOPORTE DE MI FAMILIA.**

## **DEDICATORIAS**

**A MI UNIVERSIDAD, COMPAÑEROS DE CLASE, PROFESORES,  
PRODUCTORES Y COMERCIANTES DEL CAMPO MÉXICANO.**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	ix
ÍNDICE DE ESQUEMAS .....	ix
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	ix
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	x
ABREVIATURAS .....	xi
Resumen.....	2
Introducción.....	3
1. Objetivo general.....	5
2. Objetivos específicos .....	5
3. Hipótesis .....	5
I. Revisión de literatura.....	6
1.1 Clasificación de frutos climatéricos y no climatéricos .....	8
1.2 Características del aguacate.....	9
1.3 Importancia nutrimental .....	10
1.4 Importancia económica y regional del aguacate .....	12
1.5 Manejo cultural del aguacate: cosecha y postcosecha.....	13
1.6 Efecto del etileno sobre frutas y verduras .....	14
1.7 Maduración de frutos.....	16
1.7.1 Materia seca.....	21
1.7.2 Respiración .....	22
1.7.3 Potencial de Hidrógeno “pH” .....	23
1.7.4 Sólidos solubles totales (°Brix).....	23
1.7.5 Humedad relativa.....	24
1.7.6 Temperatura.....	25
1.8 Biosíntesis del Etileno .....	26
1.9 Retardantes de madurez .....	27
1.9.1 Propiedades del permanganato de potasio .....	29
1.9.2 Propiedades del óxido de aluminio .....	30

1.9.3	Principales vehículos o <i>carriers</i> .....	31
1.9.4	Dosis .....	31
II.	Materiales y Métodos .....	31
2.1	Zona de estudio y material vegetal .....	31
2.2	Diseño experimental.....	32
2.2.1	Preparación de tratamientos.....	34
2.2.2	Almacenamiento .....	36
2.2.3	Pérdida de peso fresco de frutos.....	37
2.2.4	Tasa respiratoria.....	38
2.2.5	Materia seca.....	40
2.2.6	Firmeza.....	41
2.2.7	Sólidos solubles totales, acidez titulable y pH .....	42
III.	Resultados y Discusión .....	44
3.1	Ubicación y descripción de la huerta de aguacate .....	44
3.2	Descripción de la cosecha del aguacate .....	47
3.2.1	Coordinación con el comprador o centro de acopio .....	47
3.2.2	Método de cosecha.....	47
3.2.3	Manejo postcosecha .....	49
3.3	Pérdida de peso.....	53
3.4	Tasa respiratoria.....	55
3.5	Materia seca.....	58
3.6	Firmeza.....	59
3.6.1	Calidad sanitaria de los frutos de aguacate durante el almacenamiento a temperatura ambiente.....	59
3.7	Sólidos solubles totales .....	61
3.8	Acidez titulable.....	63
3.9	pH.....	64
IV.	Conclusión.....	67
V.	Referencias .....	68
VI.	ANEXO 1 .....	75
VII.	ANEXO 2 .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de frutos climatéricos y no climatéricos. ....	8
Tabla 2. Vitaminas hidrosolubles y liposolubles en pulpa de aguacate. ....	11
Tabla 3. Minerales en pulpa de aguacate. ....	12
Tabla 4. Clasificación de aguacate por peso. ....	13
Tabla 5. Precedentes de prácticas estimulantes en la producción de etileno. ....	15
Tabla 6. Cambios y efectos en la maduración del fruto de aguacate. ....	17
Tabla 7. Clasificación de frutos de acuerdo con su máxima producción de etileno. .....	27
Tabla 8. Tratamientos (T1 testigo sin retardante, T2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + KMnO <sub>4</sub> , T3 Vermiculita + KMnO <sub>4</sub> y T4 KMnO <sub>4</sub> ). ....	35
Tabla 9. Características de la huerta de origen. ....	45
Tabla 10. Clasificación de frutos. ....	51
Tabla 11. Nivel de severidad de la antracnosis en frutos almacenados 6 días a temperatura ambiente. ....	60
Tabla 12. Comparación de media de pérdida de peso fresco de frutos de aguacate Hass. ....	86
Tabla 13. Comparación de media de tasa respiratoria de frutos de aguacate Hass. .....	86
Tabla 14. Comparación de media de % materia seca de frutos de aguacate Hass. .....	86
Tabla 15. Comparación de media firmeza de frutos de aguacate Hass. ....	87
Tabla 16. Comparación media °Brix de frutos de aguacate Hass. ....	87
Tabla 17. Comparación media ac. titulable de frutos de aguacate Hass. ....	88
Tabla 18. Escala de severidad de antracnosis en los frutos de aguacate Hass. ....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anatomía del fruto de aguacate.....	10
Figura 2. Etapas de crecimiento, maduración y envejecimiento de las frutas. ....	19
Figura 3. Procesos de desarrollo del fruto de aguacate "Hass" desde antesis hasta senescencia en postcosecha y el proceso de infección y desarrollo de hongos patógenos en el fruto.....	21
Figura 4. Mecanismo de biosíntesis del etileno desde la metionina.....	27
Figura 5. Material Tyvek para la elaboración de los sobres. ....	36
Figura 6. Selladora eléctrica.....	36
Figura 7. Refrigeración de frutos. ....	37
Figura 8. Aguacates dentro de frascos sellados.....	39
Figura 9. Medidor de oxígeno Illinois Instruments modelo 6600. ....	39
Figura 10. Pulpa en cortes dentro de cajas petri. ....	40
Figura 11. Penetrómetro marca HANDPI. ....	42
Figura 12. Medición de la acidez titulable. ....	43
Figura 13. Localización geográfica de Urapa, Ario de Rosales, Mich.....	44
Figura 14. Parcela Vivi dentro del Municipio de Ario de Rosales. ....	45
Figura 15. Cosecha con varilla. ....	48
Figura 16. Acomodo de cajas sobre hileras.....	48
Figura 17. Transporte de aguacate.....	48
Figura 18. Recepción y peso de carga.....	49
Figura 19. Determinación del porcentaje de materia seca. ....	49
Figura 20. Cepillado de aguacate por banda transportadora.....	51
Figura 21. Acomodo de frutos de acuerdo con defectos físicos. ....	52
Figura 22. Distribución de frutos y armado de pallets.....	52
Figura 23. Refrigeración de frutos.....	52
Figura 24. Acomodo de cajas dependiendo del origen del productor.....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Pérdida de peso fresco de frutos de aguacate Hass.....	54
Gráfica 2. Intervalos de pérdida de peso de frutos de aguacate Hass. ....	55
Gráfica 3. Tasa de respiración de frutos de aguacate Hass.....	57
Gráfica 4. Intervalos de consumo de oxígeno por hora de aguacate Hass.....	57
Gráfica 5. % MS de frutos de aguacate Hass. ....	58
Gráfica 6. Intervalos de % MS de aguacate Hass. ....	59
Gráfica 7. Firmeza (kg/cm <sup>2</sup> ) de frutos de aguacate Hass. ....	60
Gráfica 8. Intervalos de firmeza (kg/cm <sup>2</sup> ) de frutos de aguacate Hass. ....	61
Gráfica 9. Intervalos de °Brix de frutos de aguacate Hass. ....	62
Gráfica 10. °Brix de frutos de aguacate Hass. ....	62
Gráfica 11. Intervalos ac. titulable de frutos de aguacate Hass.....	63
Gráfica 12. Acidez titulable de frutos de aguacate Hass.....	64
Gráfica 13. Intervalos pH de frutos de aguacate Hass.....	65
Gráfica 14. pH de frutos de aguacate Hass. ....	65

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1. Metodología en laboratorio.....	33
Esquema 2. Proceso de cosecha y postcosecha.....	46

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Formula 1. Porcentaje de materia seca.....	21
Formula 2. Sólidos solubles totales .....	24
Fórmula 3. Pérdida de peso fresco.....	38
Fórmula 4. Porcentaje de materia seca.....	40
Fórmula 5. Acidez titulable.....	43

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>Término</b>	<b>Significado</b>
<b>Acidez titulable</b>	Medida cuantitativa de la capacidad de la muestra de agua para reaccionar con una solución de base fuerte a un valor de pH específico
<b>Autocatalítico</b>	Procedimiento en el que un determinado compuesto químico controla e induce una reacción química sobre sí mismo
<b><i>Carrier</i></b>	Vehículo para formar un absorbente sólido que aumente el área de contacto
<b>Grados Brix</b>	Medición de sólidos o materia seca total disuelta en un líquido
<b>Índice de madurez</b>	Niveles de desarrollo naturales
<b>Postcosecha</b>	Período entre la cosecha de la fruta y su consumo
<b><i>Sachets</i></b>	Pequeñas bolsas que protegen el producto que contienen dentro
<b>Sólidos solubles</b>	Se componen por azúcares, sales, ácidos y otros compuestos solubles en agua
<b>Vermiculita</b>	Mineral formado por silicatos de hierro o magnesio
<b>Vida de anaquel</b>	Período de tiempo en el que un producto alimenticio conserva las propiedades que el consumidor espera

## ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
<b>ANOVA</b>	Análisis de varianza ( <i>Analysis of variance</i> , por sus siglas en inglés)
<b>°Bx</b>	Grados Brix
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura por sus siglas en inglés, <i>Food and Agriculture Organization</i>
<b>FDA</b>	Siglas en inglés de la Agencia de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, <i>Food and Drugs Administration</i>
<b>g</b>	Unidad de masa en gramos
<b>kg</b>	Unidad de masa en kilogramos
<b>ml</b>	Unidad de volumen en mililitros
<b>MS</b>	Materia seca
<b>NMX</b>	Norma Mexicana de uso no obligatorio
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno

## Resumen

Este trabajo se llevó a cabo en UNIGRAS-FES Cuautitlán. Los frutos de aguacate provenientes de Ario de Rosales, Michoacán de Ocampo, se almacenaron 27 días en presencia de permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) como retardante de maduración, junto con 2 *carriers*: óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y vermiculita.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de  $4 \times 4 \times 9$ , donde el primer nivel correspondió a 4 tratamientos, el segundo nivel a 4 repeticiones, y el tercer nivel a 9 fechas de toma de muestras. El primer tratamiento (testigo o control), como segundo tratamiento ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{KMnO}_4$ ), como tercer tratamiento (vermiculita +  $\text{KMnO}_4$ ) y por cuarto tratamiento ( $\text{KMnO}_4$ ). Se evaluó la pérdida de peso, tasa respiratoria, porcentaje de materia seca (MS), Grados Brix o sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH y firmeza emulando la comercialización al mercado asiático a  $4.5$  a  $5.5$  °C con una humedad relativa (HR)  $80 \pm 15\%$ . Se observaron cambios relacionados con la senescencia del fruto, no hubo diferencias significativas entre tratamientos para pérdida de peso, %MS, SST y AT. Los resultados sugieren que el T2 con un *carrier* de óxido de aluminio conservó la firmeza de los frutos en mayor medida comparado con el control y el resto de los tratamientos. Además, con el T2 se observó menor severidad de antracnosis en los frutos en comparación con T3 y T4. Los datos obtenidos con el control pusieron en evidencia que el almacenamiento refrigerado fue suficiente para conservar la calidad postcosecha de los frutos durante 27 días.

También se describió el proceso de cosecha y el manejo postcosecha de los frutos en Michoacán. Se observó que en la zona de producción se llevan a cabo buenas prácticas agrícolas y de manejo postcosecha adecuados para su comercialización internacional.

## Introducción

México se encuentra como líder en la producción de aguacate con 32% del volumen mundial. Durante 2020 la venta externa registró un millón 358 mil toneladas, con lo que alcanzó un valor comercial de 2 mil 958 millones de dólares y 51 países de destino. El mayor volumen de exportación nacional sigue destinándose a Estados Unidos con un millón 45 mil toneladas, en segundo lugar se encuentra Canadá con 92 mil toneladas y en tercero Japón con 71 mil (SIAP, 2021).

El elevado volumen de aguacate exportado de México a Estados Unidos de América (EUA) se debe a que el tiempo de traslado es de entre 84 a 72 horas. Se realiza en tractocamiones y cuando llega a ser por transporte marítimo a otras regiones del mundo como Canadá, Japón, Asia, Europa, etc., los tiempos de traslado son de 24 a 40 días (Herrera et al., 2020).

En México el aguacate es denominado como “oro verde” por su importancia en las exportaciones. Durante 2020 la superficie abarcó un total de 241 mil hectáreas, de las cuales, alrededor del 93% se encontraba en producción, generando a su vez un volumen de 2 millones 394 mil toneladas. El cultivo lleva más de 10 años con una tendencia creciente en su producción, registrando una tasa media anual de crecimiento durante el mismo periodo de 7.4%. En 2020, Michoacán registró una producción de 1.8 millones de toneladas lo que representó un incremento anual de 4.3%, logrando obtener un valor de producción de 39 mil 623 millones de pesos (SIAP, 2021).

Las pérdidas de alimentos están influenciadas por las elecciones tomadas en la producción de cultivos y sus patrones, la infraestructura y capacidad internas, las cadenas comerciales y los canales de distribución, así como las compras de los consumidores y las prácticas de uso de alimentos. Lo anterior conlleva el desperdicio de recursos utilizados en la producción, como tierra, agua, energía e insumos. Producir comida que no va a consumirse supone emisiones innecesarias de CO<sub>2</sub> además de pérdidas en el valor añadido de los alimentos producidos (FAO, 2012).

De acuerdo a lo citado por Parfitt et al. (2010), en países en desarrollo las pérdidas son mucho mayores en las etapas inmediatamente posteriores a la cosecha mientras que en economías industrializadas es mayor la pérdida en los alimentos perecederos, en el caso de México se

debe principalmente a que no se realizan estas actividades con las herramientas adecuadas ni se cuenta con una capacitación suficiente.

Actualmente, existe una tendencia por alargar la vida útil de los vegetales y mantener su calidad inicial por un mayor período. Estos dos factores se ven afectados por el etileno, el cual puede producir cambios indeseados en la apariencia, textura y sabor de las frutas y verduras. Para evitarlo, se utilizan absorbentes de etileno.

El etileno es una hormona vegetal gaseosa que presenta efectos tanto beneficiosos como perjudiciales en el almacenamiento postcosecha de productos frescos. Los efectos benéficos incluyen desarrollo del color y sabor característico de frutas y verduras. Por otro lado los efectos perjudiciales incluyen la promoción de la senescencia, que conduce a la decoloración, ablandamiento y una mayor susceptibilidad a la descomposición, todo ello acorta la vida de almacenamiento (Pathak et al., 2017).

Una alternativa para evitar los efectos perjudiciales del etileno es el uso de absorbentes de este gas durante la postcosecha. El permanganato de potasio es un agente oxidante de amplio espectro que reacciona con etileno junto con otros contaminantes. Cuando reacciona oxidando el etileno a etilenglicol, un componente visible se produce ya que se genera un cambio de color (Gaikwad et al., 2020).

Se han llegado a obtener resultados que indican que el permanganato de potasio alarga la vida útil de los vegetales y aminora su pérdida de calidad (Rivera, 2020)

Durante el desarrollo de la tesis se pretendió dar una opción viable para el aumento de vida de anaquel mediante el uso de permanganato de potasio y de la misma forma promover el cumplimiento de las medidas fitosanitarias para la exportación del aguacate o para su consumo nacional.

## 1. Objetivo general

- Identificar el efecto del permanganato de potasio, óxido de aluminio y vermiculita en la vida de anaquel del fruto de aguacate.

## 2. Objetivos específicos

- Explicar el proceso de cosecha en Ario de Rosales, Michoacán.
- Describir el manejo postcosecha de los frutos de aguacate en Uruapan, Michoacán.
- Identificar los procesos fisiológicos por los que pasan los frutos de aguacate durante el almacenamiento refrigerado con permanganato de potasio.

## 3. Hipótesis

- Hipótesis de trabajo: La vida de anaquel en los frutos aumentará con el uso de permanganato de potasio con los *carriers* óxido de aluminio y vermiculita.
- Hipótesis nula: Los frutos no presentaran mayor vida de anaquel cuando se utiliza permanganato de potasio con los *carriers* óxido de aluminio y vermiculita.
- Hipótesis alternativa: Al menos un tipo de tratamiento mejora la vida de anaquel con el uso de permanganato de potasio con los *carriers* óxido de aluminio y vermiculita.

## I. Revisión de literatura

La calidad de frutas y hortalizas constituye un compuesto dinámico de sus propiedades fisicoquímicas y percepción del consumidor. Los intentos por definir la calidad a menudo discriminan entre las características intrínsecas inherentes a la naturaleza de los productos, dictada por factores genotípicos, agroambientales y postcosecha. También factores extrínsecos características influidas por factores socioeconómicos, de marketing que condicionan la percepción del consumidor en los productos y formular estándares de calidad. El contexto regulatorio actual para la calidad de frutas y hortalizas comprende estándares de clase específicos de cultivos basados en criterios de composición limitados y visuales primarios, mismos que tienen énfasis a expensas del sabor, atributos nutricionales y funcionales relacionados con el contenido de fitonutrientes (Kyriacou & Roupael, 2018).

Se define la calidad potencial de las frutas y hortalizas frescas en la cadena de suministro hortícola en el período anterior a la cosecha, sin embargo, se puede optimizar el pleno desarrollo de las características de calidad mediante el uso de la tecnología postcosecha adecuada como en la cadena de suministro (Kyriacou y Roupael, 2018).

Los cultivos hortícolas frescos son diversos en estructura morfológica (raíces, tallos, hojas, flores, frutos, etc.), composición y fisiología general. Por tanto, los requisitos de los productos básicos y las recomendaciones para una vida postcosecha máxima varían entre los productos básicos. Todos los cultivos hortícolas frescos tienen un alto contenido de agua y están sujetos a la desecación (marchitamiento, arrugamiento) y daños mecánicos. También son susceptibles al ataque de bacterias y hongos, con descomposición patológica. Las causas biológicas (internas) de deterioro incluyen las tasas de cambios en la composición (asociados con el color, la textura, el sabor y valor nutritivo), las lesiones mecánicas, el estrés hídrico, la brotación y el enraizamiento, los trastornos fisiológicos y la degradación patológica. La tasa de deterioro biológico depende de varios factores ambientales (externos), que incluyen la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire y la composición atmosférica (concentraciones de oxígeno, dióxido de carbono y etileno) y los procedimientos de saneamientos (Kader, 2013).

Para lograr que las frutas y verduras alcancen esta calidad deseada, algunas empresas han dirigido su trabajo a la búsqueda de controlar aquellos parámetros que afecten dicha calidad. Algunos de los factores que influyen en los productos frescos son la temperatura, la humedad relativa y la condición del aire, presentes en los ambientes de almacenamiento, transporte y distribución. En relación con la calidad del aire, principalmente en frutas, pero también en verduras, debe tomarse en cuenta la presencia de etileno, compuestos orgánicos volátiles y esporas fúngicas. Para el control de estas sustancias se utilizan productos capaces de absorberlas y lograr la purificación del aire, beneficiando así el estado final del producto (Rivera, 2020).

El desarrollo de las frutas ocurre en cinco etapas, que incluyen organogénesis, expansión, maduración de cosecha, maduración comestible y senescencia (Alba et al., 2005).

Las actividades bioquímicas y fisiológicas involucradas en el ablandamiento, como cambios en la firmeza y en la velocidad de respiración, entre otros, son irreversibles una vez iniciadas (Omboki et al., 2015, como se citó en Martínez et al., 2017).

La maduración y ablandamiento de la fruta son atributos importantes que contribuyen a la caducidad en frutos carnosos o climatéricos. En estas frutas (p. ej., tomate, plátano, mango, aguacate, etc.), tarda unos días después de lo cual son consideradas no comestibles, debido a la sobre maduración. El deterioro incluye ablandamiento excesivo y cambios en el sabor, el aroma y el color de la piel. Este proceso inevitable trae pérdidas significativas tanto para los agricultores como para los consumidores (Bapat et al., 2010).

El mantenimiento de la calidad de los productos hortofrutícolas desde la recolección hasta su consumo constituye el factor más importante en términos de mercado y el principal objetivo de las investigaciones llevadas a cabo en el área de postcosecha. Si bien es cierto que es difícil mejorar la calidad de un producto una vez ha sido cosechado, se puede evitar en la medida de lo posible su deterioro y tratar de minimizar la incidencia de alteraciones producidas por diferentes tipos de estrés biótico y abiótico, que frecuentemente se derivan de una incorrecta manipulación y procesado del mismo. El primer factor que limita la aceptación de cualquier producto hortofrutícola es el aspecto externo del mismo. Por ello, aunque muchas de las alteraciones frecuentes en postcosecha no afectan a la calidad interna del producto, ocasionan manchas en la piel y por tanto su rechazo por parte del consumidor.

Además de las alteraciones causadas por hongos o por ataque de insectos, el deterioro de un producto se debe a la aparición de desórdenes fisiológicos causados por temperaturas extremas, tanto de calor como de frío, exposición a niveles de humedad relativa (HR) inadecuados o golpes o heridas que se producen durante la manipulación postcosecha, entre otros factores. El desarrollo de métodos de acondicionamiento que inducen la tolerancia a diferentes tipos de estreses, y reducen la susceptibilidad de los productos hortofrutícolas a desarrollar fisiopatías, está de sobra justificado y constituye el objetivo último en numerosos estudios de investigación que tratan de conocer los mecanismos de defensa de las plantas y entender sus bases fisiológicas, bioquímicas y moleculares (Establés, 2008).

### 1.1 Clasificación de frutos climatéricos y no climatéricos

La maduración climatérica se caracteriza por un aumento en la tasa de respiración que se acompaña un pico de producción de etileno autocatalítico durante la maduración de la fruta. Por el contrario, la maduración de la fruta no climatérica implica una respiración a menor medida que frutos climatéricos, el repunte de respiración y etileno no se observa o es transitorio después de la aplicación de etileno (Obando, Moreno, García, 2008, como se citó en Kou y Wu, 2018).

Tabla 1. Clasificación de frutos climatéricos y no climatéricos.

Frutos no climatéricos		Frutos climatéricos	
Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Pera asiática	<i>Pyrus serotina</i> Rehder	Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill
Nuez de la india	<i>Anacardium occidentale</i> L	Manzana	<i>Malus domestica</i> Borkh
Pepino	<i>Cucumis sativus</i> L	Platano	<i>Musa sapientum</i> L.
Uva	<i>Vitis vinifera</i> L	Mango	<i>Mangifera indica</i> L
Limón	<i>Citrus limonia</i> Burm.	Papaya	<i>Carica papaya</i> L.
Naranja	<i>Citrus sinensis</i> Osbeck	Pera	<i>Pyrus communis</i> L.

Chile	<i>Capsicum annuum</i> L	Melón	<i>Cucumis melo</i> L
Lichi	<i>Litchi sinensis</i> Sonn.	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
Toronja	<i>Citrus grandis</i> Osbech	Sandía	<i>Citrullus lanatus</i> Mansf.
Fresa	<i>Fragaria</i> spp.	Kiwi	<i>Actinidia sinensis</i> Planch.
Granada	<i>Punica granatum</i> L	Durazno	<i>Prunus armeniaca</i> L
Frambuesa	<i>Rubus idaeus</i> L.	Guanábana	<i>Annona muricata</i> L
Nopal	<i>Opuntia amyclaea</i> Tenore	Higo	<i>Ficus carica</i> L.

Fuente: Tripathi et al., 2015

## 1.2 Características del aguacate

El árbol de aguacate es frondoso y de hoja perenne; tiene una floración muy generosa que cuaja en fruto en un porcentaje muy alto. Sus flores son perfectas en racimos; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Las flores abren primero como femeninas, cierran por un periodo fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo 0.1% se transforma en fruto (SAGARPA, 2017).

El fruto es la baya de una semilla, oval, de superficie lisa o rugosa, con rango de peso amplio (entre 120 y 500 g). Es de color verdoso y piel fina o gruesa; cuando está maduro, la pulpa tiene una consistencia como de mantequilla dura y su sabor recuerda levemente al de la nuez. Es muy rico en proteínas y grasas con un contenido de aceite de 10 a 20% (SAGARPA, 2017).

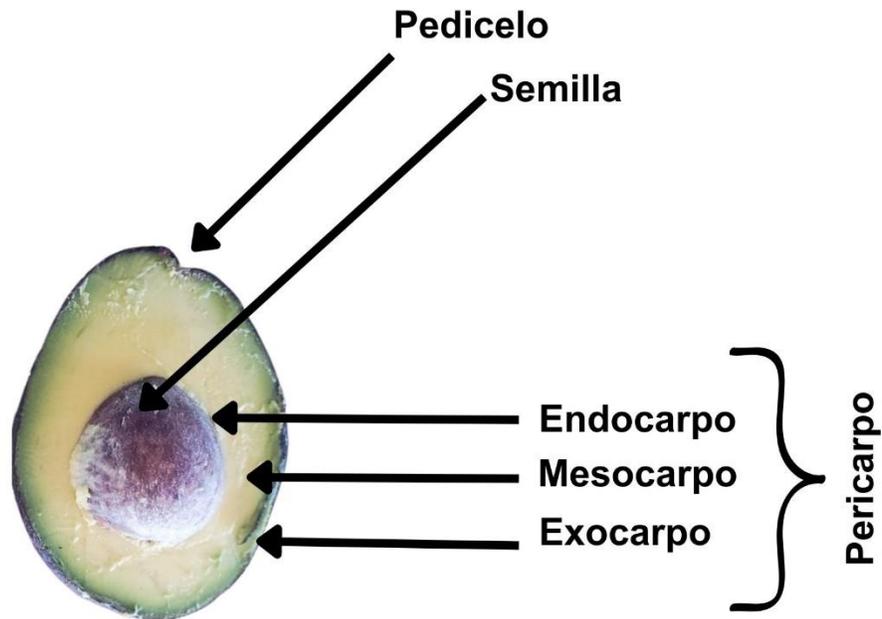


Figura 1. Anatomía del fruto de aguacate.

Fuente: Elaboración propia

### 1.3 Importancia nutrimental

Los seres humanos, como todos los seres del reino animal, consumimos alimentos para satisfacer nuestras necesidades energéticas y para crear nuestras propias estructuras tisulares y orgánicas. Aunque ingerimos alimentos, son los nutrientes, así como otros compuestos bioactivos contenidos en ellos, los que determinan, en gran parte nuestro estado de salud. Se conocen más de 50 nutrientes, los cuales se clasifican en macronutrientes, que incluyen hidratos de carbono, proteínas y lípidos (grasas), además de agua, donde ocurren todas las reacciones metabólicas, y micronutrientes, constituidos por minerales y vitaminas (Gil et al., 2019).

El aguacate aporta prácticamente todas las vitaminas requeridas por el organismo; a excepción de la vitamina B12, presente solo en el reino animal. El aporte de las vitaminas liposolubles es suficiente en cantidad, sin la presencia de colesterol y con un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados (Ortega, 2003).

Tabla 2. Vitaminas hidrosolubles y liposolubles en pulpa de aguacate.

<b>Valor vitamínico y aporte nutricional del aguacate</b>	
<b>Vitaminas</b>	<b>Contenido de mg en 100 gr de aguacate</b>
Vitamina A*	85.00
Vitamina D*	10.00
Vitamina E*	3.00
Vitamina K*	8.00
Vitamina B1**	0.11
Vitamina B2**	0.20
Vitamina B6**	0.45
Niacina**	1.60
Ac. Pantoténico**	1.00
Biotina**	10.00
Ácido fólico**	32.00
Vitamina C**	14.00

Nota: \* = vitamina liposoluble, \*\* = vitamina hidrosoluble

Fuente: Ortega, 2003.

Tabla 3. Minerales en pulpa de aguacate.

<b>Minerales</b>	<b>Contenido en mg en 100 gr de aguacate</b>	<b>Necesidades diarias en mg</b>	<b>% de necesidad cubiertas por 100 gr de aguacate</b>
Calcio	10.00	800.00	1.25
Hierro	1.06	15.00	7.06
Fosforo	40.0	800.0	5.0
Cobre	0.35	1.7	20.58
Magnesio	41.0	300.0	13.66
Manganeso	2.3	0.5	65.71
Sodio	4.0	3450.0	0.12
Potasio	463.0	4	0.12

Fuente: Ortega, 2003

#### **1.4 Importancia económica y regional del aguacate**

En 2017, se recolectaron poco más de 2 millones 29 mil toneladas de aguacate. Las entidades con mayor volumen de cosecha son: Michoacán, Jalisco, México, Nayarit y Morelos, en conjunto suman 95% de la producción total del país. El 82.7% del valor de la producción corresponde a Michoacán (SIAP, 2018).

En 2012 México produjo 1,316,104 toneladas y para 2017, 2,029,886 toneladas, estando en ambas ocasiones en primer lugar de producción mundial. El país tiene afianzado su liderazgo mundial exportando el fruto, por lo que el aguacate es el segundo producto mexicano que más divisas genera al país y cada cuatro de cinco dólares que se obtienen por su venta, provienen de Estados Unidos, aunque en los últimos seis años se ha duplicado los países a los que México exporta este producto (SIAP, 2018)

Actualmente se satisface 100% de los requerimientos nacionales con producción interna; así mismo, las importaciones mundiales han aumentado 171.97% en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas principalmente con destino a Estados

Unidos, Japón y Canadá. Se utiliza como complemento de todo tipo de comidas debido a su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. De su rica materia grasa pueden extraerse aceites que una vez procesados, son utilizados en la industria cosmética y farmacéutica (SAGARPA, 2017).

La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio que derrama entre productores, comercializadores, industriales y consumidores. Los huertos generan empleo al demandar mano de obra para las podas, los riegos, el cuidado nutritivo y fitosanitario, la cosecha, el acarreo, la selección, el empaque, el traslado, el mercadeo y ventas de mayoreo y menudeo (SAGARPA, 2015)

## 1.5 Manejo cultural del aguacate: cosecha y postcosecha

En las regiones de clima templado la mayor parte de la producción de frutas y hortalizas es estacional, a diferencia de las de clima tropical y subtropical, en donde el período de cultivo es más amplio y la cosecha se distribuye en el tiempo. La demanda, sin embargo, es continua a lo largo del año, por lo que el almacenamiento es el proceso normal para asegurar el aprovisionamiento de los mercados por el mayor tiempo posible (López, 2003).

Comercialmente antes de realizar la cosecha se hace un recorrido por la huerta, se escogen frutos aleatorios para determinar que se tenga una materia seca mayor al 21% de todos los frutos.

Se procede a realizar la recolección de fruta, evitando que toque el suelo con un gancho y red, también se evita cosechar cuando haya llovido con anterioridad, posteriormente se pone en una caja plástica limpia y exclusiva para la transportación del aguacate.

En empaque generalmente se clasifican los frutos por medio del calibre que se muestra a continuación:

Tabla 4. Clasificación de aguacate por peso.

Calibre	Nombre coloquial	Peso unitario en gramos
A	Súper	Mayor de 265

B	Extra	211 - 265
C	Clase 1	171 – 210
D	Mediano	136 – 170
E	Comercial	85 - 135
F	Canica	Menos de 85

Fuente: NMX-FF-016-SCFI-2016

**Calidad Suprema.** Deben ser de calidad superior, uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño, y no deben tener defectos ni enfermedades.

- **Calidad I.** Deben ser de buena calidad, ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño. No se permiten defectos conocidos como “clavo”, quemaduras causadas por el sol o por heladas, sólo podrá presentar defectos leves en no más de 6 cm<sup>2</sup> de su superficie y que no afecten el aspecto general del producto. Deberán estar libres de daños mecánicos y sin daños causados por larvas u otras enfermedades.

- **Calidad II.** Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño. Podrán permitirse daños superficiales que afecten un máximo del 50% de la superficie del fruto causados por fisiopatías y daños mecánicos; siempre y cuando los aguacates conserven sus características esenciales de calidad, estado de conservación y su presentación.

- **No Clasificado.** Todo aguacate que no clasifica como calidad II, se considera como no apto para consumo humano en fresco.

(ABC DE FRUTAS Y VERDURAS, s/f)

## 1.6 Efecto del etileno sobre frutas y verduras

El etileno es un volátil que ha recibido considerable estudio como regulador de crecimiento de la planta. Se ha demostrado que este gas insaturado de dos carbonos tiene propiedades biológicas y comerciales. Los agricultores lo emplearon involuntariamente para manipular cultivos en diversas prácticas culturales postcosecha mucho antes de que fuera identificado como agente causal. Ahora se sabe que estas prácticas estimularon la biosíntesis de etileno o

dieron como resultado la exposición del cultivo a concentraciones efectivas de etileno (Abeles et al., 1992).

Tabla 5. Precedentes de prácticas estimulantes en la producción de etileno.

<p>Corte de higos descrito en el antiguo testamento para estimular la maduración, ahora se sabe que resulta en la síntesis de etileno y su acumulación dentro de la fruta.</p>	<p>Galil, 1968</p>
<p>La combustión incompleta de combustibles orgánicos libera etileno y se pueden alcanzar niveles fisiológicamente efectivos en espacios cerrados. El incienso chino quemado en habitaciones cerradas para mejorar la maduración de peras.</p>	<p>Mille, 1947</p>
<p>Los granjeros rusos usaban humo de leña en la década de 1860 para fumigar las plantas jóvenes de pepino. El humo aumentó la formación de flores femeninas fructíferas y produjo una cosecha más temprana.</p>	<p>Mekhaink, 1958</p>
<p>Las estufas de queroseno se utilizaron en el cambio de siglo en el embalaje de California en cobertizos y vagones de ferrocarril para evitar daños por helados a los cítricos. Al principio se utilizaban únicamente para mantener la fruta caliente. Los cargadores notaron que los cítricos calentados desarrollaron mejor color. Después el uso de estufas de queroseno en las empacadoras de cítricos fue universal.</p>	<p>Barger, 1926 Chace, 1934</p>
<p>El gas de iluminación se produjo a partir de la combustión parcial del carbón y fue una importante fuente de luz en el siglo XIX. Su llama de color amarillo brillante se debió a la combustión de etileno y otros gases insaturados.</p> <p>El descubrimiento de la actividad biológica del etileno se produjo debido al daño que causó a las plantas cultivadas.</p>	<p>Crocker y Knight, 1908 Harvey y Rose, 1915</p>

Fuente: Abeles et al., 1992.

La fitohormona etileno ejerce numerosos efectos beneficiosos y perjudiciales sobre la calidad postcosecha y la vida útil de almacenamiento de frutas y hortalizas. En vista del desafío mundial

actual de reducir las pérdidas postcosecha y el desperdicio de frutas y hortalizas, la importancia de la gestión del etileno en la cadena de suministro es primordial (Pathak et al., 2017).

Las frutas se dividen en climatéricas y no climatéricas. La diferencia entre estas es que las climatéricas tienen un aumento en su intensidad respiratoria y, por tanto, en la producción de etileno en su proceso de maduración; mientras que las no climatéricas no sufren un aumento en su respiración durante este proceso. En el caso de las climatéricas, la cantidad de etileno producida es mayor; sin embargo, las frutas no climatéricas han mostrado aumentos en su respiración en presencia de etileno externo (Leièvre et al., 1997, como se citó en Rivera, 2020).

En general, el etileno puede influir en la postcosecha de frutos climatéricos y no climatéricos al afectar sus atributos de calidad y el desarrollo de trastornos fisiológicos y enfermedades postcosecha (Kader, 1985, como se citó en Palou et al., 2003).

Debido a que la maduración de los frutos es un proceso genéticamente regulado e irreversible, la principal estrategia para la conservación de frutas y hortalizas es mantener el etileno a niveles muy bajos (Ayoub et al., 1976, como se citó en García et al., 2012).

## **1.7 Maduración de frutos**

La textura de la fruta cambia sustancialmente durante la maduración. Estos cambios se producen por la acción de las enzimas que degradan la pared celular sobre la celulosa, la hemicelulosa y la pectina de la pared celular. Estos cambios metabólicos requieren una fuente de energía y esta área de la fisiología del aguacate no se comprende lo suficiente (Blakey et al., 2010).

Appleman y Noda (1941) mencionan que el contenido de aceite de la fruta blanda fue superior al de la fruta dura que fue recolectada al mismo tiempo. Por otro lado Lee et al. (1983) reportan la correlación positiva en el aumento que existe entre el peso seco y el contenido de aceite durante el paso del tiempo del fruto en árbol o del tiempo de fructificación.

Davenport y Ellis (1959) demostraron que los azúcares reductores van en detrimento durante el crecimiento del fruto. Los azúcares predominantes en todos los tejidos de la fruta fueron la

glucosa, fructosa, D-manoheptulosa y perseitol. Cuando la fruta terminó la fase de expansión rápida, la fructosa y la glucosa habían disminuido a concentraciones muy bajas. En los cambios postcosecha de los frutos, estando una vez madura la fruta, los niveles de sólidos solubles totales (SST) de la piel y la carne disminuyeron dramáticamente independientemente de la temperatura de almacenamiento o duración (Liu et al., 1999)

Tabla 6. Cambios y efectos en la maduración del fruto de aguacate.

Cambio	Efecto		Autor
Físico	Textura	<p>La pérdida de firmeza en los frutos es un proceso normal que ocurre durante la maduración del fruto y se debe a la hidrólisis de la pared celular.</p> <p>Las células dañadas liberan enzimas proteolíticas y pectinolíticas que difunden hacia el interior de los tejidos y actúan sobre sus componentes.</p>	<p>Sams, 1999.</p> <p>Montero-Calderón y Cerdas-Araya, 2009.</p>
	Aroma y sabor	<p>El aroma es el resultado de la mezcla compleja de ésteres, alcoholes, compuestos terpenoides, entre otros.</p> <p>El almidón durante el proceso de maduración se hidroliza de manera muy rápida a azúcares.</p> <p>El sabor del fruto, depende principalmente del contenido de azúcares, el cual se puede alterar por la temperatura y la intensidad de la luz durante el desarrollo, así como también por la estación, el clima, el grado de madurez en la cosecha y otras sustancias empleadas para su crecimiento como hormonas y pesticidas.</p>	<p>Liu, Liu, Yi, Li, y Zhang, 2011.</p> <p>De Morais, Filgueiras, de Pinho, Alves, y de Assis, 2003; Robles-Sánchez, Gorinstein, Martín-Belloso, Astiazarán-García, González-Aguilar, y Cruz Valenzuela, 2007.</p>

			Montero-Calderón y Cerdas-Araya, 2009; Paull, 1997.
	Color	La concentración y tipo de los pigmentos naturales de las frutas y vegetales pueden cambiar a medida que el fruto madura.	Kader, 1997; Montero-Calderón y Cerdas-Araya, 2009.
		Los pigmentos primarios que imparten color se pueden clasificar en dos grupos: los liposolubles, como la clorofila (verde) y los carotenoides (amarillo, naranja y rojo) y los hidrosolubles, como las antocianinas (rojo y azul), flavonoides (amarillo) y betalaínas (rojo).	Barrett, Beaulieu, y Shewfelt, 2010.
Metabolismo		La respiración es un proceso biológico, que continúa después de que el fruto es cosechado o removido el árbol, donde el oxígeno atmosférico es aprovechado para metabolizar compuestos de almacenamiento (azúcares y almidón) y formar CO <sub>2</sub> , agua y energía (calor).	Hulme, 1989.
		A lo largo del crecimiento se produce en primer lugar, un incremento en la respiración, que va disminuyendo lentamente hasta la maduración. Sin embargo, en frutas climatéricas, después de alcanzar el mínimo se produce un nuevo aumento en la intensidad respiratoria hasta alcanzar un valor máximo, llamado pico climatérico, después del cual la intensidad respiratoria disminuye.	Lizada,1993.
		Durante la respiración de los frutos se sintetiza etileno, el cual es conocido como la hormona de la maduración.	Toivonen y De Eil, 2002.

	Existe una alteración en la regulación de rutas metabólicas. El etileno es responsable de la síntesis de enzimas involucradas en cambios físicos, químicos y metabólicos en los tejidos vegetales.	Watkins, 2006.
--	--	----------------

Fuente: Rosas, 2011.

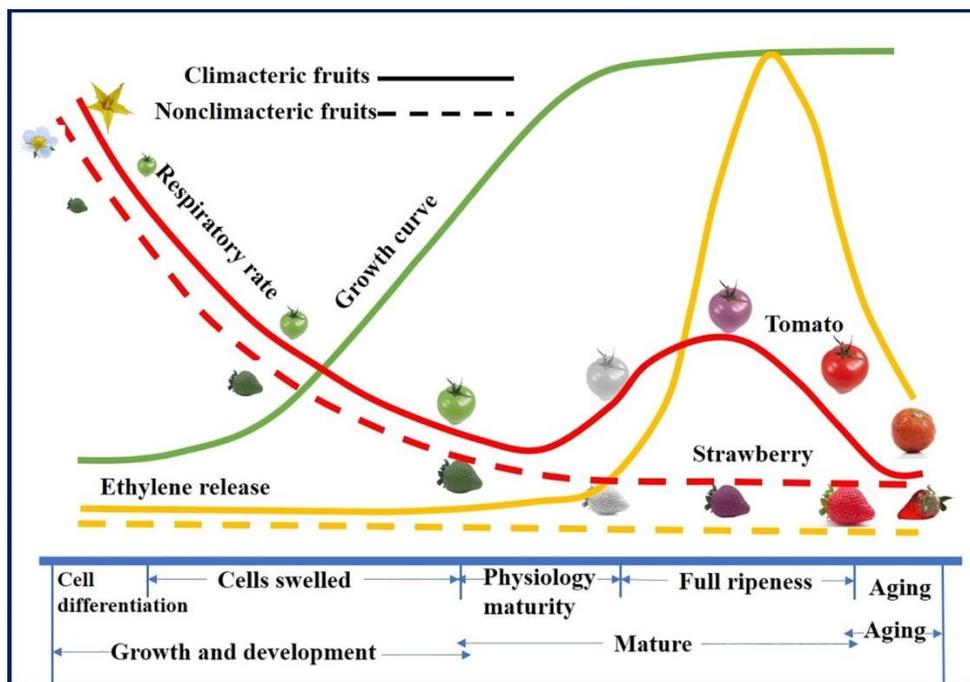


Figura 2. Etapas de crecimiento, maduración y envejecimiento de las frutas.

Fuente: Wei et al., 2021

Pratt (1975), como se citó en Kader (1980), enumeró los fenómenos que pueden ocurrir durante la maduración de frutos carnosos:

1. Maduración de semilla
2. Destrucción de clorofila
  - A. Revelación de carotenoides
  - B. Síntesis de antocianinas
3. Abscisión
4. Cambio en la tasa de respiración
  - A. Para satisfacer los requerimientos de la energía de otros cambios

- B. En respuesta del exceso de etileno
- C. En relación con nueva actividad enzimática
- 5. Cambios en rangos de producción de etileno
  - 1. Para iniciar maduración
  - 2. Exceso en la producción de etileno como fenómeno de senescencia
- 6. Cambios en la permeabilidad del tejido
- 7. Ablandamiento producido por cambios en la composición de la pectina
- 8. Cambios en la composición de carbohidratos
  - 1. Almidón convertido en azúcar
  - 2. Interconversión a azúcares
- 9. Cambios en proteínas
  - 1. Cuantitativo
  - 2. Cualitativo
    - 1. Síntesis enzimática
    - 2. Cambios en ADN y ARN
- 10. Producción de volátiles de sabor
- 11. Desarrollo de cera en la piel
- 12. Cambio de ácidos orgánicos
  - A. Cambios absolutos en cantidades presentes
  - B. Cambio relativo en el sabor en relación con la dulzura

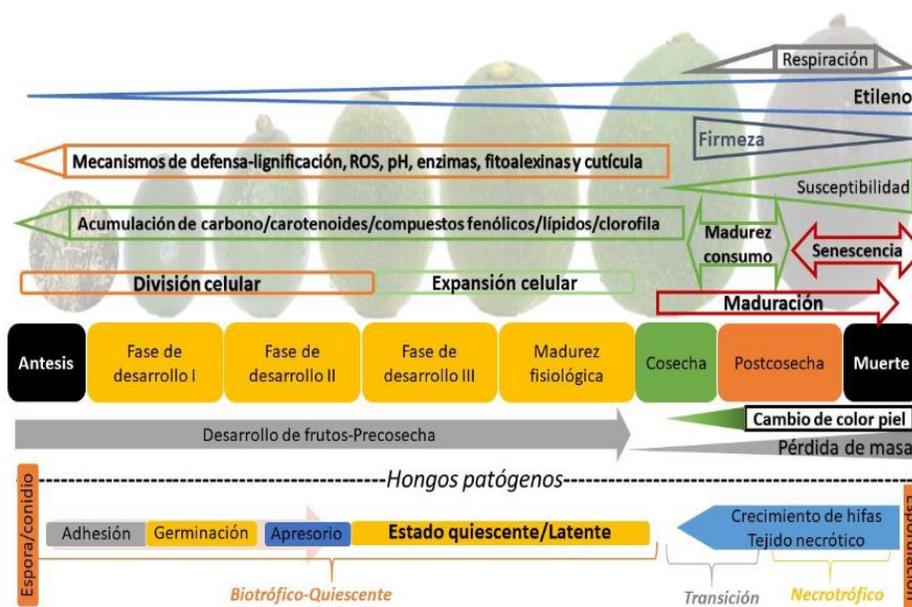


Figura 3. Procesos de desarrollo del fruto de aguacate "Hass" desde antesis hasta senescencia en postcosecha y el proceso de infección y desarrollo de hongos patógenos en el fruto.

Fuente: Herrera et al., 2020.

### 1.7.1 Materia seca

El aguacate Hass es una fruta climatérica con dos tipos de madurez, por lo tanto se evidencian, la primera es la madurez fisiológica, la cual indica si el fruto está listo para ser cosechado o no; para determinar si el fruto tiene la madurez fisiológica se usan índices subjetivos y objetivos, el más utilizado de estos índices es la materia seca, la cual indica la cantidad de sólidos que tiene el fruto. El otro tipo es la madurez de consumo, indica si el fruto está listo para su consumo, para determinar este tipo por lo general se basan en el color y a presionar el fruto ocasionando daño mecánico en la fruta (Bustamante, 2017).

La metodología que sigue Osuna et al. (2017) es la de obtener 10 g de pulpa cortando longitudinalmente tiras delgadas del fruto con un pelador de papas casero. Las tiras se colocan en cajas Petri y se deshidratan en un horno de microondas por 6 a 10 minutos hasta obtener peso constante. El porcentaje de materia seca se calculó con la siguiente fórmula: **Formula 1.** Porcentaje de materia seca

$$\%MS = \left( \frac{\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \right) \times 100$$

### 1.7.2 Respiración

La respiración (oxidación biológica) es la descomposición por oxidación de moléculas de sustratos complejos presentes normalmente en las células de las plantas, tales como almidón, azúcares y ácidos orgánicos a moléculas más simples como el CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Con esta reacción catabólica se da la producción de energía y de moléculas intermedias que se requieren para sostener la gran cantidad de reacciones anabólicas esenciales para el mantenimiento de la organización celular y la integridad de la membrana de las células vivas. El propósito principal de la respiración es mantener un suministro adecuado de adenosina trifosfato (ATP). El proceso global de la respiración aeróbica implica la regeneración de ATP a partir de ADP (adenosina difosfato) y Pi (fosfato inorgánico) con la liberación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. De acuerdo a Navarro (2012) si un azúcar hexosa se utiliza como sustrato, en general la ecuación se puede escribir de la siguiente manera:



Vijay y Rakesh (2014), citando a Yip et al. (1988) mencionan que se puede obtener una reducción del 50% en la producción de etileno con un nivel de O<sub>2</sub> del 1%. Esto se debe principalmente al hecho de que el propio O<sub>2</sub> es un sustrato para la reacción catalizada por 1-aminociclopropano-1-carboxilato oxidasa (ACC-oxidasa).

La intensidad respiratoria de un fruto depende de su grado de desarrollo y se mide como la cantidad de CO<sub>2</sub> en miligramos que desprende un kilogramo de fruta en una hora. A lo largo del crecimiento se produce en primer lugar, un incremento de la respiración, que va disminuyendo lentamente hasta el estado de maduración. En general, la velocidad de respiración, medida por la producción de dióxido de carbono o por el consumo de oxígeno es una buena medida de la velocidad de metabolismo y sirve para predecir el almacenamiento de frutas y verduras. Es deseable una baja velocidad de respiración, puesto que indica un bajo porcentaje de utilización de azúcares, que son los principales sustratos respiratorios. El objetivo

de cualquier técnica de almacenamiento es minimizar el deterioro sin alterar el proceso normal de vida (Salgado y Martínez, 2006).

### **1.7.3 Potencial de Hidrógeno “pH”**

Osorio (2013) utilizó frutos de aguacate incluyendo su semilla, uniformemente maduros para su fácil manipulación, de variedades criollas de Honduras. Colocó muestras de cada uno en tres placas de Petri: en una, colocó un gramo de tegumento, en otra colocó un gramo de endospermo molido y en la última únicamente pulpa, dando un promedio de 6.8 de pH. Estableció que a medida que existe una mayor concentración de materia seca, ésta se correlaciona de manera inversa con el contenido de humedad, lo cual esta a su vez relacionado con la concentración lipídica del vegetal.

La disminución de la acidez durante la etapa de postcosecha puede ser debida probablemente al consumo de moléculas orgánicas en los diferentes ciclos metabólicos para proporcionar la energía requerida por el fruto, además muchos de los ácidos orgánicos pueden participar como precursores de sustancias volátiles, las cuales intensifican su presencia en este período (Park et al. 2006, como se citó en Márquez et al., 2014).

### **1.7.4 Sólidos solubles totales (°Brix)**

Los °Brix se cuantifican con un refractómetro, sirven para determinar la cantidad de sólidos solubles (principalmente azúcares) disueltos en un líquido. Por ejemplo, una disolución de 30 °Brix contiene 30 gramos de sólidos solubles disueltos por 100 gramos de disolución o fase líquida (FL).

La escala Brix se utiliza de forma rutinaria en el sector alimentario para cuantificar la cantidad aproximada de azúcares en diferentes tipos de bebidas como zumos de fruta, vino o bebidas suaves y en la industria azucarera.

Normalmente, en la industria o en el laboratorio, se determina experimentalmente la humedad de los alimentos ( $x_w$ ) introduciendo una cantidad de muestra conocida en una estufa a vacío a 60°C hasta que alcance un peso constante. A partir de la diferencia de pesos antes y después del secado, y dividiendo por el peso inicial, se calcula la humedad del mismo ( $x_w$ ). Por otro lado, la medida de la concentración de sólidos solubles en la fase líquida ( $y_{ss}$ ) se realiza rápidamente mediante un refractómetro, depositando una gota de fase líquida del alimento en el equipo y leyendo directamente en la escala del mismo los °Brix, a una temperatura dada. Con estos dos datos ( $x_w$  y °Brix), es posible calcular la concentración de solutos por 100 g de producto ( $x_{ss}$ ). Sin embargo, cuando se trata de alimentos con baja humedad, no es posible depositar una gota de fase líquida para hacer la medición. En este sentido, para poderla medir se requiere diluir previamente la muestra para poder extraer los sólidos solubles, complicando los cálculos posteriores.

Cuando un alimento presenta un bajo contenido en agua y no es posible extraer fase líquida o la lectura en el refractómetro da errónea, éste se debe diluir con una cierta cantidad de agua ( $m'_w$ ). Por tanto Pastor y González (2018), mencionan que para calcular los sólidos solubles se debe utilizar la ecuación siguiente: Formula 2. Sólidos solubles totales

$$\frac{^{\circ}Brix}{100} = y'_{ss} = \frac{m_p x_{ss}}{m_p X_w + m_p x_{ss} + m'_w}$$

$m_p$ = Masa de producto sin diluir

$x_{ss}$ = Concentración de solutos de 100g

$Y'_{ss}$ = Grados Brix

$X_w$ = Humedad del mismo (diferencia de peso después de secado/peso inicial)

$m'_w$ = Cantidad de agua

### 1.7.5 Humedad relativa

Las verduras pierden agua al aire circundante en forma de vapor de agua en un proceso llamado transpiración. Esto implica el movimiento de agua desde las células a la atmósfera circundante siguiendo un gradiente de alta concentración de 100% de humedad relativa (HR)

en espacios intercelulares o en la atmósfera interna, a baja concentración de agua (%HR del ambiente de almacenamiento). Por esta razón, los productos frescos a menudo se almacenan en condiciones de alta HR (90 a 98%) para minimizar la pérdida de agua y el arrugamiento (Woods, 1990, como se citó en Baldwin, 2003).

En el caso del aguacate cuando los frutos no vayan a ser madurados inmediatamente deben ser sometidos a temperaturas de almacenamiento para extender su vida útil en anaquel. Se recomiendan temperaturas de 5 °C y humedades relativas generalmente altas (90%). Las condiciones de equipamiento dependen de los propósitos e instalaciones, las cuales varían si se trata de nivel experimental, piloto o comercial. Por otro lado en El ABC DE FRUTAS Y VERDURAS (s/f) se menciona una humedad relativa de 85 a 90%.

### **1.7.6 Temperatura**

La temperatura es el factor ambiental más importante que influye en el deterioro de los productos cosechados. La mayoría de los productos hortícolas perecederos duran más a temperaturas cercanas a los 0°C. A temperaturas superiores a las óptimas, la tasa de deterioro aumenta de 2 a 3 veces por cada 10°C de aumento de la temperatura. Las temperaturas fuera del rango óptimo pueden causar un deterioro rápido debido a los siguientes trastornos:

**Congelación:** En general el punto de congelación de sus tejidos es relativamente alto (entre -3 a 0°C y -0.5 a 0°C) y la alteración causada por la congelación suele provocar el colapso inmediato de los tejidos y la pérdida total de la integridad celular.

**Daño por frío:** El daño por frío se manifiesta en una variedad de síntomas que incluyen decoloración superficial e interna, picaduras, falta de maduración, maduración desigual, desarrollo de sabores desagradables y mayor susceptibilidad al ataque de patógenos.

**Daño por calor:** las altas temperaturas también son muy dañinas para los productos perecederos. En las plantas en crecimiento, la transpiración es vital para mantener temperaturas de crecimiento óptimas. Los órganos extraídos de la planta, sin embargo, carecen de los efectos protectores de la transpiración, y las fuentes directas de calor, por ejemplo, la

luz solar directa, pueden calentar rápidamente los tejidos por encima del punto de muerte térmica de sus células, lo que lleva a una decoloración o necrosis localizada o colapso general (Kader, 2013).

Los resultados de la investigación de Osuna et al. (2017) sugieren que la temperatura óptima de almacenamiento es 6 °C ya que a cuatro semanas redujo firmeza, mantuvo el color verde de cáscara y proporcionó 5 días de vida de anaquel, con lo que se satisfacen las exigencias de los importadores.

También (Herrera et al., 2020) menciona que la temperatura puede disminuir hasta 2 °C cuando el fruto tiene alto contenido de materia seca (>30%) y aceite (final de temporada de producción, >15% donde la incidencia de daño por frío es menor).

Durante su transporte y almacenamiento debe de manejarse una temperatura de más de 3 a 7°C, no deben manejarse los frutos por debajo de 3°C ya que son sensibles al frío, provocando daños como coloración parda en pulpa y pérdida de sabor característico que aparece una vez que los aguacates han madurado (ABC DE FRUTAS Y VERDURAS, s/f).

## **1.8 Biosíntesis del Etileno**

El etileno se sintetiza a partir de la metionina en tres pasos: (1) conversión de la metionina en S-adenosil-L-metionina (SAM) catalizada por la enzima SAM sintetasa, (2) formación de 1-ácido aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) de SAM a través de la actividad ACC sintasa (ACS), y (3) la conversión de ACC a etileno, que es catalizada por ACC oxidasa (ACO). La formación de ACC también conduce a la producción de 5'-metiltioadenosina (MTA), que se recicla a través del ciclo de la metionina para producir una nueva molécula de metionina. El aumento de la respiración proporciona el ATP necesario para el ciclo de la metionina y puede conducir a altas tasas de producción de etileno sin altos niveles de metionina intercelular (Barry y Giovannoni, 2007).

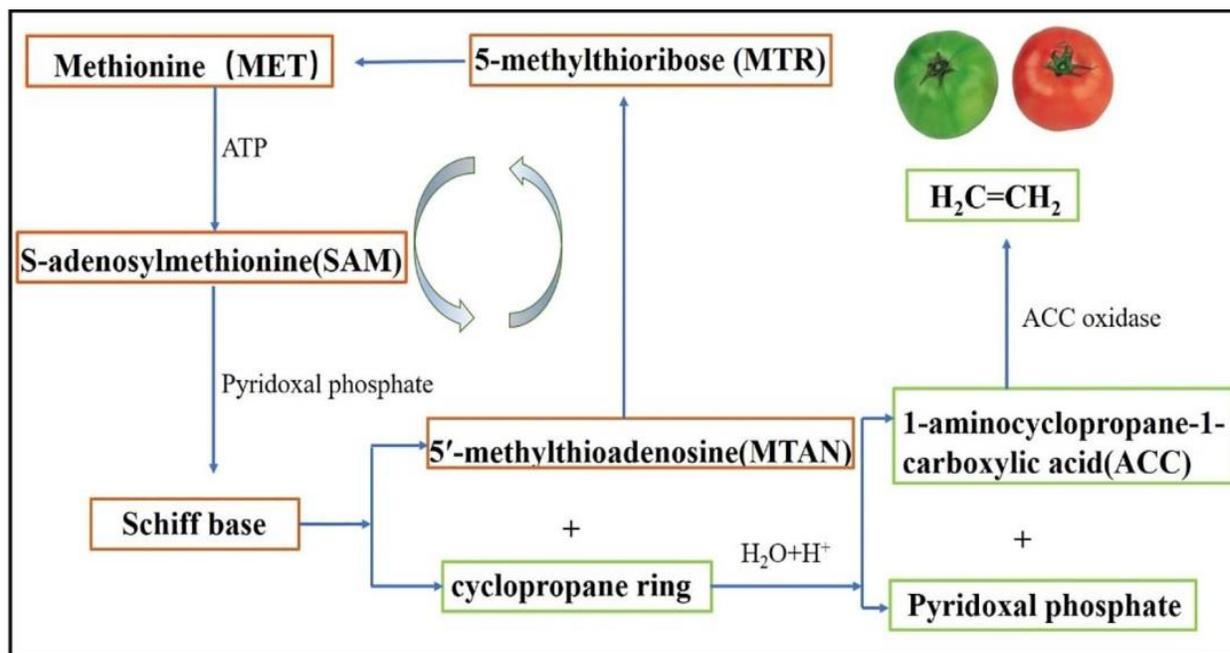


Figura 4. Mecanismo de biosíntesis del etileno desde la metionina.  
Fuente: Wei et al., 2021.

Tabla 7. Clasificación de frutos de acuerdo con su máxima producción de etileno.

Rango de producción de etileno $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{hr}$ a $20^\circ\text{C}$	Frutas
Muy baja: 0.01-0.1	Cereza, cítricos, uva, granada y fresa
Baja: 0.1-1.0	Arandano, kiwi, pimientos, caqui, piña y frambuesa.
Moderada: 1.0-10.0	Plátano, higo, melones dulces, mango y tomate
Alta: 10.0-100.0	Manzana, albaricoque, aguacate, nectarina, papaya, melocotón, pera y ciruela.
Muy alta: >100.0	Chirimoya, mamey, maracuyá y zapote

Fuente: Kader, 1980.

## 1.9 Retardantes de madurez

A lo largo del tiempo se han estudiado diferentes métodos para disminuir los efectos negativos del etileno en los productos agrícolas, actualmente existe una gran cantidad de tecnologías y procedimientos que cumplen dicho propósito, donde se incluye el almacenamiento a bajas

temperaturas, atmósferas modificadas y controladas, aplicación de promotores de crecimiento como auxinas y ácido giberélico, calcio, entre otros (Taiz y Zeiger, 2006, como se citó en Salceso, 2014).

Prabath et al. (2011) hacen referencia a la efectividad de utilizar 1-metilciclopropano y baja cantidad de oxígeno para modificar la atmósfera y como controlador de la oxidación de lípidos en la pulpa de aguacate.

Por otra parte, Bill et al., 2014 mencionan que la vida postcosecha de los aguacates se prolonga en el almacenamiento en frío al mantener los parámetros generales de calidad, como la textura, el sabor y la composición nutricional durante la cadena de suministro.

Una temperatura baja tiene un efecto directo en su tasa de respiración, que es una indicación de la tasa de perecebilidad. Por cada 10 °C de aumento de la temperatura, la tasa de respiración se duplica aproximadamente y los sustratos metabólicos primarios (azúcares y ácidos orgánicos) se agotan a un ritmo cada vez más rápido. La vida de almacenamiento varía inversamente con la tasa de respiración; por lo tanto, la vida útil de los aguacates se acorta a temperaturas más altas. El almacenamiento a baja temperatura frena el aumento climatérico en la producción de CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> que se produce con la maduración.

Múltiples enzimas que intervienen en la síntesis de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, carbohidratos, ácidos orgánicos, y los compuestos volátiles se inhiben a temperaturas más bajas y, en consecuencia, se retrasan los cambios de color, sabor, textura y aroma relacionados con la maduración. Varias temperaturas son recomendadas para prolongar la vida útil de los aguacates variando de unos 5 a 13 °C.

Maftoon (2007) demostró que la aplicación de recubrimiento de metilcelulosa a frutos de aguacate beneficio para retardar el comportamiento de maduración, la capa actuó como una barrera física para el intercambio de gases entre la fruta y el medio ambiente, también el recubrimiento ralentizó la tasa de respiración, redujo cambios de color tanto en la piel como en la pulpa, redujo el ablandamiento y aumentó la vida útil.

### 1.9.1 Propiedades del permanganato de potasio

El permanganato de potasio es un sólido estable púrpura, considerado un fuerte agente oxidante y eficaz en la oxidación de concentraciones muy pequeñas de etileno de la atmósfera alrededor de los productos (Salceso, 2014).

Cuando el  $\text{KMnO}_4$  entra en contacto con el etileno, lo oxida produciendo  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , lo que ocasiona que el etileno pierda su actividad como hormona señal de los procesos de maduración de los frutos (Sammi y Masud, 2007) y concluyen que el uso de  $\text{KMnO}_4$  ayuda a producir  $\text{CO}_2$  y agua en la atmósfera que ayuda a bajar la respiración y el proceso de maduración. También Wei et al., (2021) hacen referencia que al momento de reacción del permanganato de potasio cambia de un color morado a café.

Sammi y Masud (2007), mencionan que la acumulación de vapor de agua puede causar la disminución de la transpiración del agua de la fruta significando una pérdida menor del peso del fruto.

El  $\text{KMnO}_4$  es uno de los oxidantes más utilizados para el etileno. Con el fin de aumentar el área superficial de absorción, el  $\text{KMnO}_4$  a menudo se pone sobre zeolita y alúmina. Los sobres y filtros para almacenes a base de  $\text{KMnO}_4$  son fabricados por empresas como ProdeW Water & Air Innovations (EUA), CargoDepot (México) o DeltaTRAK, Inc. (EUA). Un inconveniente importante del  $\text{KMnO}_4$  es que se satura con el tiempo Pathak (2019).

La oxidación del permanganato es considerada como amigable con el ambiente y ha ganado importancia en la industria verde (Dash et al., 2009).

El  $\text{KMnO}_4$  es ampliamente utilizado en procesos industriales y agrícolas, incluida la purificación del aire (al eliminar  $\text{C}_2\text{H}_4$ , contaminantes como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), aldehídos y otros compuestos orgánicos volátiles), tratamiento de agua para eliminar contaminantes como toxinas de algas y productos farmacéuticos, como agente blanqueador en la industria textil y como agente antimicrobiano en productos pesticidas (Dash et al., 2009; Singh y Lee, 2001; Tigar et al., 2018 y Álvarez et al., 2019).

A lo largo de los años, el sistema de eliminación de etileno más reconocido, económico y comúnmente utilizado ha sido el basado en  $\text{KMnO}_4$ , un confiable agente que elimina químicamente el etileno por un proceso de oxidación (Gaikwad et al., 2020).

La mayoría de los artículos no informan la concentración de permanganato de potasio utilizado y, a menudo, no determinan el efecto sobre la concentración de etileno. Se considera que la falta de estudios cuantitativos sistemáticos sobre la capacidad del permanganato de potasio para absorber etileno ha dificultado el uso comercial con productos hortícolas. La falta de tales estudios ha significado que no se hayan publicado recomendaciones sobre la cantidad de permanganato de potasio necesaria para lograr una disminución específica en la concentración de etileno o un aumento en la vida postcosecha de un producto (Wills y Warton, 2004).

### **1.9.2 Propiedades del óxido de aluminio**

Los estudios más completos sobre el permanganato de potasio elaborados primero por Lidster et al., (1985), como se citó en Wills y Warton (2004), encontraron que los gránulos de alúmina retenían una cantidad mucho mayor de permanganato de potasio que las perlas de vidrio expandidas, la eficiencia de cada producto para reducir el etileno aumentó con la temperatura, pero se obtuvieron efectos contrastantes con el aumento de la humedad relativa.

Para que el permanganato de potasio sea efectivo en la oxidación de concentraciones bastante pequeñas de etileno de la atmósfera alrededor del producto donde la convección natural y la difusión son las únicas fuerzas impulsoras que dan contacto entre el etileno y el oxidante, el permanganato de potasio debe tener un área superficial alta expuesta a la atmósfera. Esto se ha logrado mediante la adsorción de permanganato de potasio en minerales inertes como celita, vermiculita, alúmina, zeolita y arcilla (Wills y Warton, 2004).

Existe un rango de productos comerciales con permanganato de potasio que están disponibles con un *carrier* en común como lo son las perlas de alúmina, sin embargo, estos productos son usados para remover contaminantes orgánicos de la atmósfera en sistemas de aire acondicionado y no ha sido significativo su uso comercial en la horticultura.

### 1.9.3 Principales vehículos o *carriers*

En un artículo publicado por Salamanca et al. (2014) se señala que para que el  $\text{KMnO}_4$  sea efectivo, debe ser adsorbido a un vehículo o “*carrier*” que forme un adsorbedor sólido, fácilmente manejable y que aumente el área efectiva de contacto. Algunos de los *carriers* más utilizados son la zeolita, vermiculita, alúmina y perlita, entre otros.

Por otro lado se hace mención a la demostración de muchos tipos de arcillas que tienen capacidades de disipación de etileno. Estos materiales eliminan el etileno de forma física por absorción en superficies activas y se utilizan de manera más común en *sachets* con permeabilidad al etileno (Rivera, 2020).

### 1.9.4 Dosis

En el caso de García et al. (2012) dividieron los tratamientos en mezclas de  $\text{KMnO}_4$  y arcilla en 0.5%, 1.0% y 1.5% con base en el peso fresco de los frutos y encontraron una mayor eficiencia cuando el  $\text{KMnO}_4$  se encuentra en mayor proporción con respecto al *carrier*.

La falta de estudios cuantitativos significa que no existan recomendaciones sobre la cantidad necesaria para lograr un aumento en la vida útil postcosecha del producto, aunque algunos autores mencionan de 4 a 6 g de producto de permanganato de potasio por cada 100 g de fruto (Wills y Warton, 2004).

## II. Materiales y Métodos

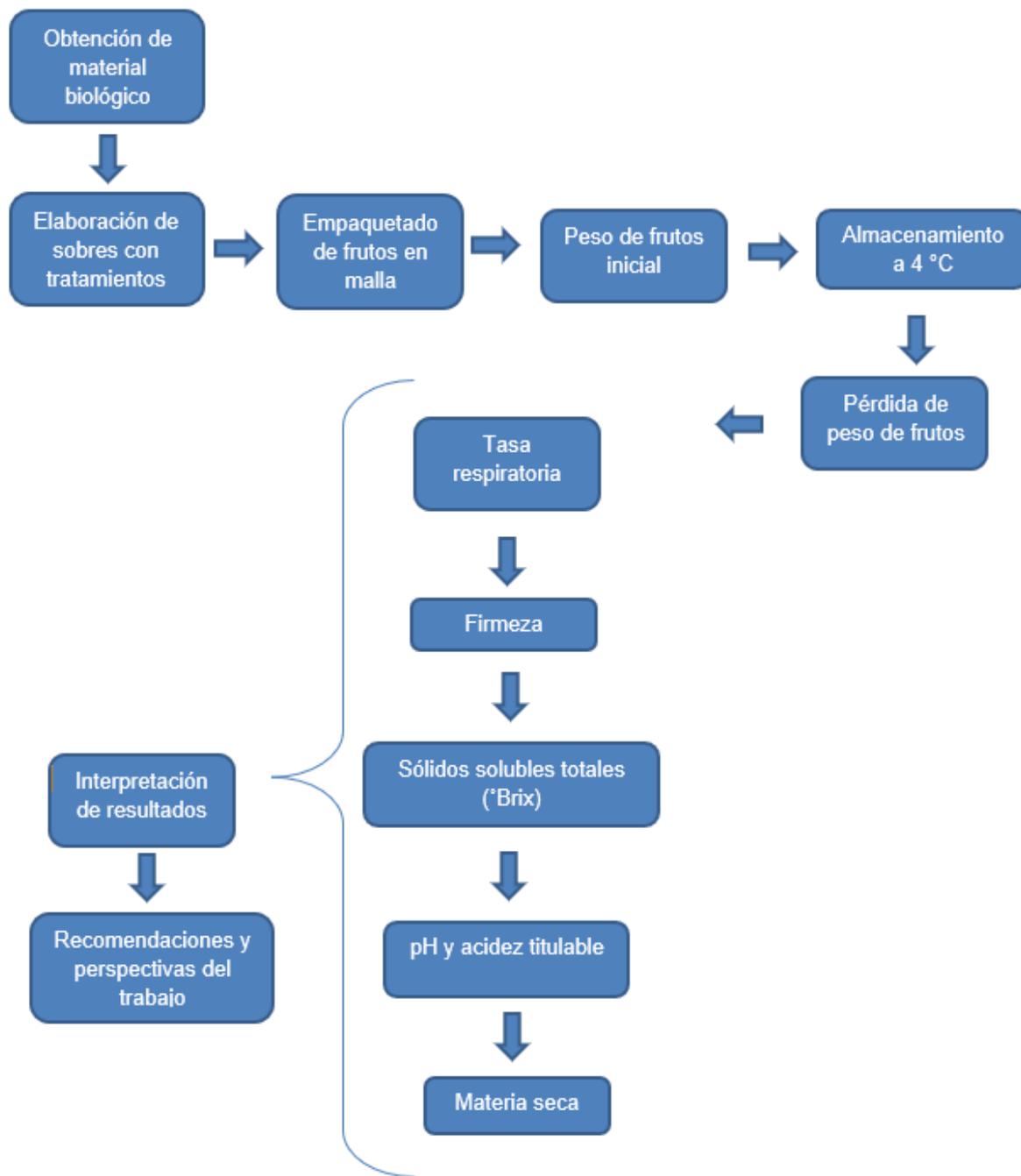
### 2.1 Zona de estudio y material vegetal

Los frutos se colectaron directamente de los árboles en la huerta Vivi, localizada dentro de la comunidad llamada Urapa en el Municipio de Ario de Rosales, Michoacán. Después fueron transportados aproximadamente 400 kilómetros desde su lugar de origen hasta el laboratorio de UNIGRAS en campo 3 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, con una duración

de traslado de 5 horas y treinta minutos y al día siguiente se empezó con el establecimiento del experimento.

## **2.2 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4x4x9, el primer tratamiento (testigo), como segundo tratamiento ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{KMnO}_4$ ), como tercer tratamiento se utilizó (vermiculita + $\text{KMnO}_4$ ) y por último como cuarto tratamiento ( $\text{KMnO}_4$ ). Cada tratamiento contó con 4 repeticiones. Se evaluaron los siguientes parámetros de calidad de los frutos: pérdida de peso fresco, tasa de respiración, % MS, firmeza, °Brix o SST, acidez titulable y pH. Las evaluaciones de estos parámetros se realizaron cada tercer día, durante 27 días y en el caso de firmeza hasta 33 días con un arreglo factorial de 4x4x11.



Esquema 1. Metodología en laboratorio.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

## 2.2.1 Preparación de tratamientos

### Materiales y equipo

- $\text{KMnO}_4$
- $\text{Al}_2\text{O}_3$
- Vermiculita
- Sobres de tela Tyvek
- Selladora eléctrica
- Rotulador
- Máquina mezcladora con rodillos giratorios

Para el T2, se pesó 115 g de  $\text{KMnO}_4$  + 91.7 g de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , se mezcló en un frasco en rotación durante 10 minutos. Para el T3 se procedió igual, mezclando 115 g de  $\text{KMnO}_4$  + 115 g de vermiculita. Se formaron sobres sellados con calor, confeccionados con tela Tyvek. Los sobres contenían 5 gramos de la mezcla para el T3 y 4.6 gramos para el T2. El T4 consistió únicamente de 5 gramos de  $\text{KMnO}_4$ . El T1 consistió de sobres vacíos, sin permanganato ni *carrier*. En total se obtuvieron 45 sobres para cada tratamiento.

Tabla 8. Tratamientos (T1 testigo sin retardante, T2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + KMnO<sub>4</sub>, T3 Vermiculita + KMnO<sub>4</sub> y T4 KMnO<sub>4</sub>).

<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la mezcla por malla</b>	<b>Peso de cada componente de la mezcla por kg de fruto</b>	<b>Porcentaje con base al peso fresco de los frutos</b>
T1	0 g	0 g	0 g
T2	4.6 g	2.5 g KMnO <sub>4</sub> 2.0 g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4%
T3	5 g	2.4 g KMnO <sub>4</sub> 2.4 g Vermiculita	0.5%
T4	5 g	4.8 g KMnO <sub>4</sub>	0.5%

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Cada aguacate se rotuló con el número de tratamiento y repetición, por ejemplo, si un aguacate pertenecía al tratamiento 2 y a la repetición 4, el fruto tendría escrito T2R4 a fin de identificar cada fruto durante todo el desarrollo del experimento.

Se elaboraron sobres con el material de la marca Tyvek modelo 2462 C (figura 5). Este material es resistente al agua y a la vez permite el movimiento de vapores, esto es de suma importancia porque al momento de entrar en contacto el permanganato de potasio con el etileno, uno de los residuos es el agua. Para hacer el cierre de los sobres se utilizó una selladora eléctrica de modelo FRL – 350 (figura 6).

El motivo por el cual se escogió este material es porque permite el intercambio de gases entre los frutos de aguacate para hacer reacción con los tratamientos.



Figura 5. Material Tyvek para la elaboración de los sobres.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La selladora se calentó lo suficiente para que el material Tyvek sellara adecuadamente por ambas caras del material.



Figura 6. Selladora eléctrica.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

## 2.2.2 Almacenamiento

### Materiales y equipo

- Aguacates
- Mallas retenedoras
- Sobres con tratamientos
- Termohigrómetro
- Refrigeradores comerciales

Una vez elaborados los sobres se colocaron en las mallas que contenían 8 aguacates previamente pesados y marcados. Posteriormente se acomodaron en refrigeradores comerciales a 4.5 a 5.5°C con 80 ± 15% de HR % (figura 7) y posteriormente se midieron las propiedades fisicoquímicas cada 3 días, así como de sus respectivas repeticiones.



Figura 7. Refrigeración de frutos.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### 2.2.3 Pérdida de peso fresco de frutos

## **Materiales y equipo**

- Balanza analítica marca Sartorius
- Aguacates

El primer dato a obtener es la diferencia de pesos entre el peso inicial que corresponde al día en que llegaron los frutos al laboratorio y el peso final al día de la evaluación de cada fruto respecto al tiempo (días): Fórmula 3. Pérdida de peso fresco.

$$Pérdida\ de\ peso\ fresco = Peso\ inicial - Peso\ final$$

### **2.2.4 Tasa respiratoria**

#### **Materiales y equipo**

- Frascos de vidrio
- Parafilm
- Tapas con centro de goma
- Analizador de gases Illinois Instruments Modelo 6600
- Carro transportador

Al momento de tomar datos cada tercer día se tomaban las 4 repeticiones de los 4 tratamientos, teniendo 16 aguacates en total. Se sacaban del refrigerador, se tomaba su peso final y posteriormente se dejaban respirar por 1 hora dentro de un frasco de 1 litro sellado con Parafilm, dentro de un cuarto a una temperatura ambiente de 21-24°C. La tasa respiratoria se determinó a través de este consumo de oxígeno.



Figura 8. Aguacates dentro de frascos sellados.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Después del tiempo determinado de 1 hora se midió la cantidad de oxígeno dentro del frasco con el analizador de gases que se muestra en la figura 9. La aguja del medidor se insertó en cada frasco con la tapa puesta para evitar la fuga de los gases. La tasa respiratoria se estimó como el consumo de oxígeno por gramo de aguacate por hora.



Figura 9. Medidor de oxígeno Illinois Instruments modelo 6600.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

## 2.2.5 Materia seca

### Materiales

- Balanza digital
- Horno de microondas
- Cajas de Petri de vidrio
- Cuchillo de sierra
- Desecador de vidrio con gel de sílice

Para la medición de la materia seca, se retiró el exocarpo (cáscara), se cortaron pedazos de pulpa con la ayuda de un cuchillo. Se pesaron 10 g de la pulpa en una balanza digital en cajas de Petri (figura 10). Luego se deshidrataron en el horno de microondas por 10 minutos usando el 75% de la potencia del horno hasta peso constante.

Se calculó el porcentaje de la materia seca: Fórmula 4. Porcentaje materia seca

:

$$\text{Porcentaje materia seca por fruta} = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso de papel} \times 100}{\text{Peso húmedo neto}}$$



Figura 10. Pulpa en cortes dentro de cajas petri.  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Se considera el 21 % en contenido de materia seca de cada fruto como el mínimo aceptable para la autorización de corte y proceso según la NMX-FF-016-SCFI-2016 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA USOHUMANO –FRUTA FRESCA – AGUACATE HASS (*Persea americana* Mill) –ESPECIFICACIONES (CANCELA A LA NMX-FF-016-SCFI-2006)NMX-016-SCFI-2016.

### 2.2.6 Firmeza

La firmeza se determinó con la ayuda de un penetrómetro de la marca HANDPI (figura 11) removiendo la cáscara del fruto; se utilizó un punzón cónico de 3.5 mm de diámetro, con un rango de medida de 1-12 kg/cm<sup>2</sup>, colocándolo en la parte ecuatorial del fruto, apoyando éste siempre sobre la mesa para aplicar la fuerza y obtener el dato.

El método utilizado para medir la firmeza del fruto es el reportado por Brezmes (2001) considerando los puntos que se muestran a continuación:

- 1) Corte fino de la cáscara o exocarpo de la fruta en la parte ecuatorial del fruto por puntos opuestos.
- 2) Verificar que la aguja que indica el valor de presión se encuentre en 0.
- 3) Posicionar de forma vertical el aparato, colocando la punta de éste justo donde se ha efectuado el corte, se sujeta el fruto que debe de esa soportado o apoyado en una superficie firme.
- 4) Presionar hasta que se haya introducido parcialmente el émbolo hasta que refleje un valor.
- 5) Anotar el primer valor, realizar el mismo procedimiento para el otro trozo de pieza sin piel cortado con anterioridad.



Figura 11. Penetrómetro marca HANDPI.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

## 2.2.7 Sólidos solubles totales, acidez titulable y pH

### Materiales

- Refractómetro
- Pipeta Pasteur
- Licuadora
- Agua destilada
- Vasos de precipitados
- NaOH 0.1N
- Bureta
- Embudo de vidrio
- Soporte universal con pinzas para bureta
- Potenciómetro calibrado con soluciones estándar de pH 7 y 10
- Balanza digital
- Colador de plástico

En la cuantificación de sólidos solubles totales o °Brix, acidez titulable y pH se tomaron 10 gramos de pulpa de aguacate, y se licuaron durante 45 segundos con 50 mililitros de agua

destilada. Posteriormente se filtró con un colador a un vaso de precipitado para tomar una pequeña muestra con una pipeta de 3 ml y después colocarla en el refractómetro marca Spectrum Technologies, Inc. con el fin de obtener los °Brix. Para calcular los sólidos solubles totales se siguió la fórmula de Pastor y González (2018) para alimentos con bajo contenido de agua. Inmediatamente después se midió el pH en el vaso de precipitado con un potenciómetro. Finalmente, se utilizaron 20 ml del licuado de pulpa para obtener el valor de la acidez titulable (AT), medida como el contenido de ácido tartárico de la muestra. Para la titulación con la bureta, se agregó NaOH 0.1N hasta llegar a un pH de 8.1 a 8.3 (figura 12). Fórmula 5. Acidez titulable:

$$AT = \left[ \frac{(\text{ml NaOH} \times 0.1N \times 0.07505\text{g/meq Ac. tartárico})}{2 \text{ gr}} \right] \times 100$$

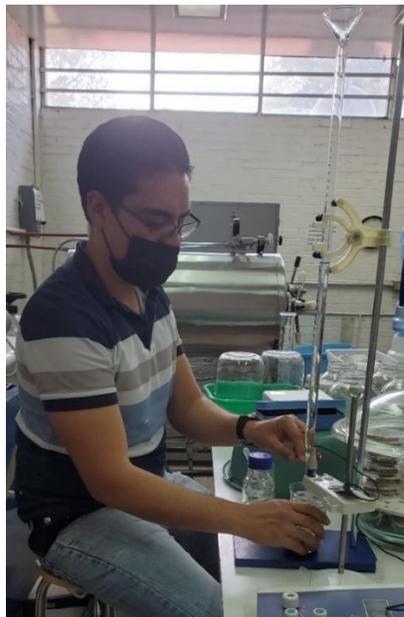


Figura 12. Medición de la acidez titulable.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### III. Resultados y Discusión

Para conocer los criterios de cosecha y las actividades realizadas durante la postcosecha de los frutos, se realizó una visita al huerto de origen de los aguacates. A continuación, se describe la ubicación geográfica y las características edafológicas y climáticas de la zona en cuestión. Posteriormente se presenta un diagrama de flujo con las actividades postcosecha y la descripción detallada de éstas.

#### 3.1 Ubicación y descripción de la huerta de aguacate

Los frutos son provenientes de una huerta dentro de la comunidad llamada Urapa en el Municipio de Ario de Rosales (fig. 13 y 14) con características que se muestran en la tabla 9, clima semicálido subhúmedo, con una precipitación de 1000 a 1200 mm anuales con 4 tipos de suelos dominantes en la zona, los cuales son andosol, leptosol, luvisol y regosol.



Figura 13. Localización geográfica de Urapa, Ario de Rosales, Mich.  
Fuente: Google Earth, 2023.

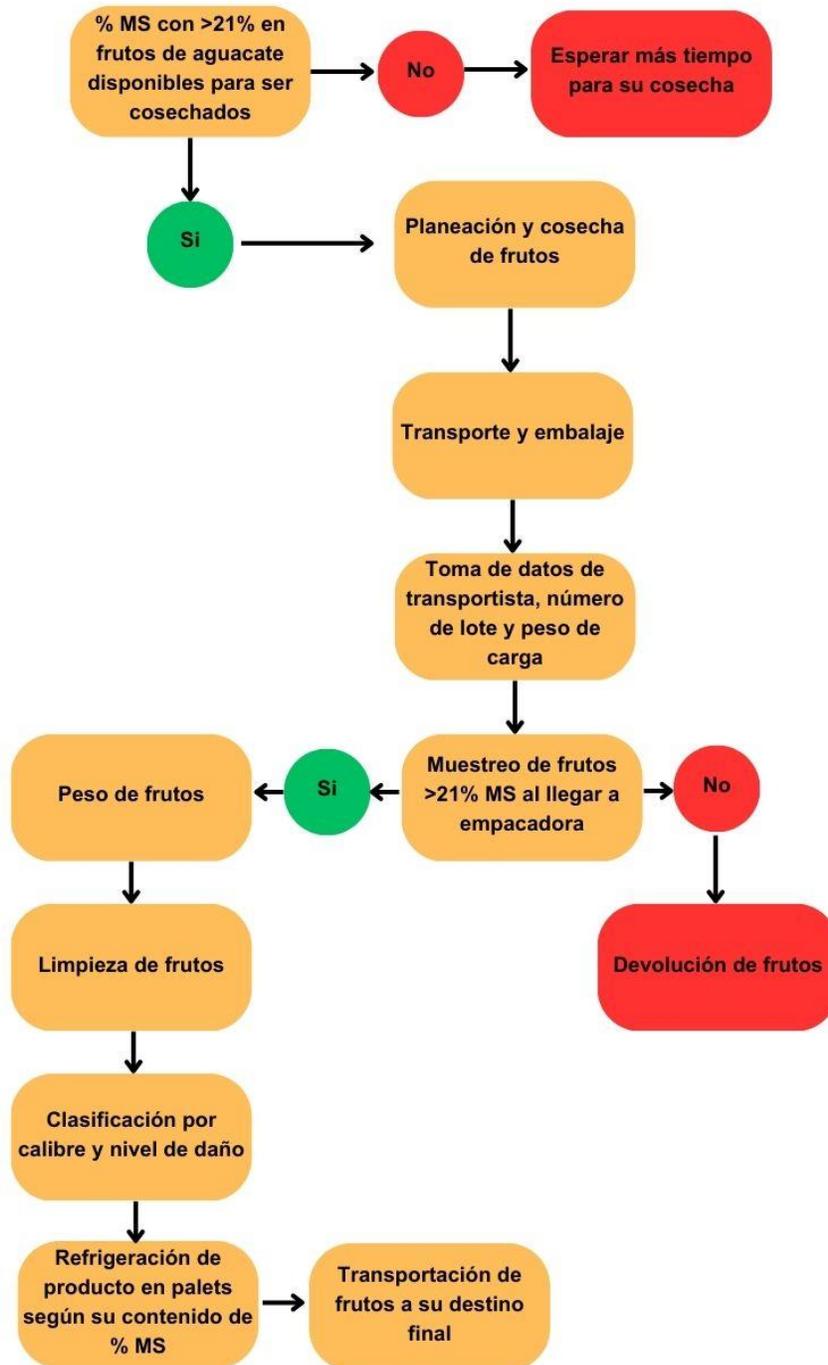


Figura 14. Parcela Vivi dentro del Municipio de Ario de Rosales.  
Fuente: Google Earth, 2022.

Tabla 9. Características de la huerta de origen.

<b>Características</b>	
Cultivar	Hass
Suelo	Andosol
Clima	Semicálido subhúmedo
Precipitación en mm	1200 – 1800
Marco de plantación en metros	7 x 7
Sistema de riego	Por aspersion y goteo

Fuente: Elaboración propia, 2023.



Esquema 2. Proceso de cosecha y postcosecha.  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Durante la entrevista en la empacadora el encargado mencionó que el fruto se refrigera a cierta temperatura dependiendo del porcentaje de materia seca (%MS) con el lleguen los frutos por lo que si tiene menos del 21% se debe de poner a 7.2 °C siempre y cuando se decida comercializar (mercado nacional) y si cumple con por lo menos el 21% MS debe de ir a 3.3 °C.

## **3.2 Descripción de la cosecha del aguacate**

### **3.2.1 Coordinación con el comprador o centro de acopio**

Para acordar el día de cosecha junto con el precio, el comprador realiza una visita a la huerta con el fin de observar la calidad y calibre de fruta que se espera obtener. Una vez que se tiene asegurado el precio del producto y la disponibilidad del interesado o centro de acopio que realizará la compra por determinado volumen, se llevan muestras de frutos para realizar un análisis de materia seca. Para determinar si el aguacate está listo fisiológicamente para su embalaje y distribución, la materia seca debe ser mayor al 21%. En caso de que no cumpla con los parámetros de porcentaje de materia seca, se negocia el precio si existe una necesidad del mercado y por parte del productor para realizar el intercambio.

En caso de recibir un resultado favorable con las muestras, se contrata las cuadrillas o personal necesario para realizar la cosecha que generalmente se hace al día siguiente preferentemente sin que haya llovido con anterioridad para evitar a mayor medida la proliferación de algún patógeno postcosecha en los aguacates.

### **3.2.2 Método de cosecha**

Para poder presentar la fruta al mercado con una excelente calidad se evita cualquier manipulación innecesaria o golpes al fruto durante la cosecha. En la región se utiliza una varilla colectora de un largo variable, a conveniencia del productor (de 3 a 4 m), como se muestra en la figura 5. En los extremos tiene ligado un bolso con capacidad variada dependiendo del tamaño de la bolsa y fruta. En algunos casos contiene una navaja que al jalar la varilla, corta el pedúnculo y el aguacate cae al bolso como lo describe Garbanzo (2011).

Posteriormente se colocan los frutos en cajas plásticas de 30 kg, preferentemente rígidas para soportar su peso. Al ser llenadas como se muestra en la figura 16, se acomodan en hileras bajo la sombra de los árboles. Después pasa un tractor con remolque para llevarlas al tráiler. Se hace de esta manera por las pendientes prolongadas. Llevarlas por las personas hasta el tráiler resultaría más difícil y tardado para los encargados de la cosecha (figura 17), además de que se pagaría más por el servicio prestado y podría ocasionarse un daño en los aguacates.



Figura 15. Cosecha con varilla.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.



Figura 16. Acomodo de cajas sobre hileras.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.



Figura 17. Transporte de aguacate.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

### 3.2.3 Manejo postcosecha

Una vez que se cargó por completo el tráiler (figura 17), se hace un acompañamiento al chofer hasta la báscula de la localidad donde se pesa y se calcula la diferencia entre el peso inicial del tráiler con la carga, y el peso final sin carga, dando como resultado las toneladas de fruto.

El tiempo de traslado entre la huerta y el empaque no suele ser mayor a 4 horas. Sin embargo como este tipo de transportes iniciales no cuentan con un sistema de refrigeración para disminuir la temperatura de los frutos es recomendable iniciar la cosecha a tempranas horas del día para evitar altas temperaturas durante el traslado de los frutos.

Al momento de llegada del tráiler al empaque, se verifica sus datos para poder ingresar al establecimiento y se acomoda en las puertas de desembarque como se muestra en la figura 18 para su posterior manejo dentro del mismo. Al abrir el tráiler se descarga y pesa la mercancía para verificar el peso del cargamento. Cuando llegan los *pallets* (tarimas de madera), éstos contienen 30 cajas como se ve en la figura 19.



Figura 18. Recepción y peso de carga.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.



Figura 19. Determinación del porcentaje de materia seca.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se toman 5 frutos del total del lote ingresado para obtener en ellos el porcentaje de la materia seca (% M.S.). De acuerdo a los criterios de madurez del fruto según la empresa empacadora se toman las siguientes consideraciones:

**a) Primer muestreo:** El cargamento cumple para exportación si el promedio general es de 22% de materia seca para los aguacates de la muestra, y si cumple con las siguientes condiciones:

- Solo 1 fruto tiene entre 19.50 y 20.80 % M.S.
- Solo 2 frutos tienen entre 20.00 y 20.80 % M.S.
- Ninguno de los frutos menos de 19.50 % M.S.
- Cuando no cumpla con las condiciones anteriores, se realizará un acondicionamiento y un segundo muestreo y prueba de materia seca.

**b) Segundo muestreo:** Se realiza de forma inmediata después del acondicionamiento, si en el primer muestreo el lote no cumplió con las condiciones anteriores, se toman 10 frutos.

Se cumple para exportación si en este segundo muestreo el promedio general del lote es mayor a 22.00% de M.S. y cumple con alguna de las siguientes condiciones:

- Máximo 2 frutos tienen 20.00 y 20.80% M.S.
- Ninguno de los frutos tiene menos de 19.50% de M.S.

**c) No cumple para exportación, cumple para consumo nacional:**

- Si el promedio general del lote es mayor a 21.50 % M.S. y que ninguno de los frutos tenga menos de 19.50 % de M.S.

**d) No cumple y es rechazado:**

- Si el promedio general del lote es menor a 21.50 % M.S.

Por último se ingresa a sistema el productor de origen, % M.S., información de M.S., información de transportista, número de lote, peso, calibre y cantidad de cajas.

Posteriormente se corta el pedúnculo en caso de haber permanecido al momento de cosecharlo y después se le da un cepillado como se muestra en la figura 20 para quitar cualquier mancha y quede más brillante el fruto.



Figura 20. Cepillado de aguacate por banda transportadora.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

En cada mesa o tabla suelen clasificarse los frutos de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 10. Clasificación de frutos.

Gramos
100-140
140-170
170-210
210-260
260->260

Fuente: Empacadora, 2023.

Posteriormente se acomodan nuevamente en 3 tipos de cajas en cada mesa o tabla: "A" no tiene ningún defecto, "B" tiene defectos mínimos, "C" contiene defectos físicos que impiden su buena comercialización y el desecho que se pone en otra caja (figura 21).



Figura 21. Acomodo de frutos de acuerdo con defectos físicos.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.



Figura 22. Distribución de frutos y armado de pallets.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Independientemente de la calidad del fruto, cada caja debe de contener 10 kg para poder ser acomodado en un *pallet* al cual se le pondrá una hoja de identificación para tener los datos del número de *pallet* y lote, fecha de armado, categoría, calibre, clase, tipo de caja, peso por caja, cantidad de cajas, posición en cámara de refrigeración y peso total (figura 22).



Figura 23. Refrigeración de frutos.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

La refrigeración de los frutos depende del grado de madurez con el que lleguen. Se utilizan dos temperaturas, 38 °F (3.3°C) cuando cumple los 22.00 % M.S. y 45 °F (7.2°C) cuando los frutos contienen menos % M.S. y por lo tanto menos contenido de aceite, ambos tipos de frutos suelen refrigerarse de 8 a 15 días como máximo, su destino final es Centroamérica y para consumo nacional (figura 23).



Figura 24. Acomodo de cajas dependiendo del origen del productor.  
Fuente: Elaboración propia, 2023.

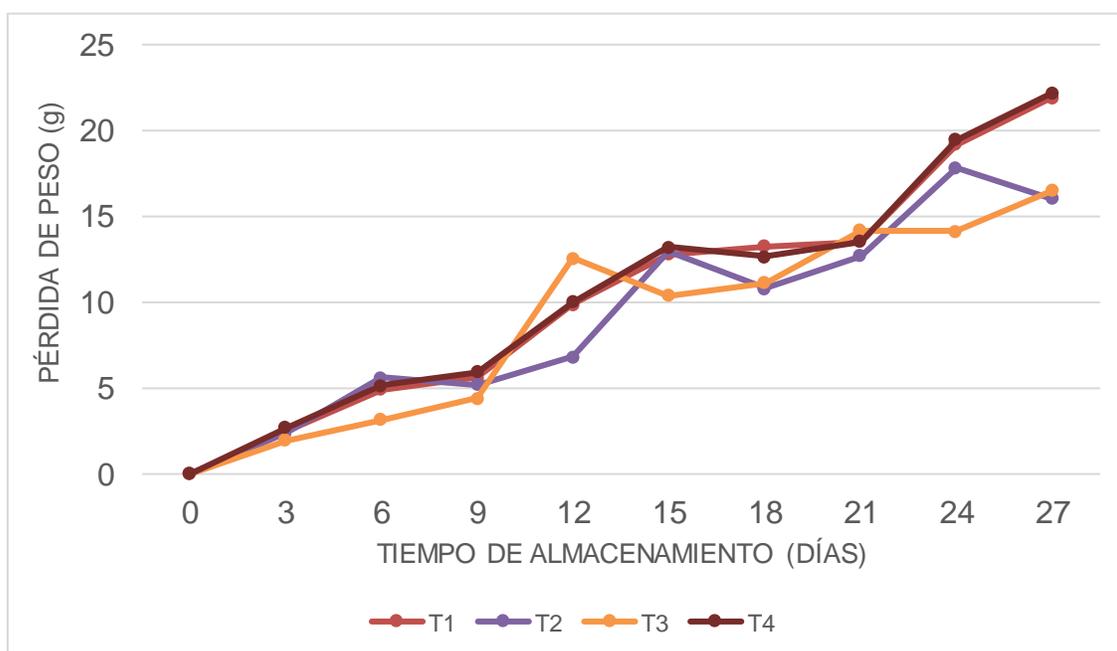
A continuación se describen los resultados obtenidos durante el experimento en el que se almaceno frutos de aguacate en presencia de permanganato de potasio con los diferentes *carrier*

### 3.3 Pérdida de peso

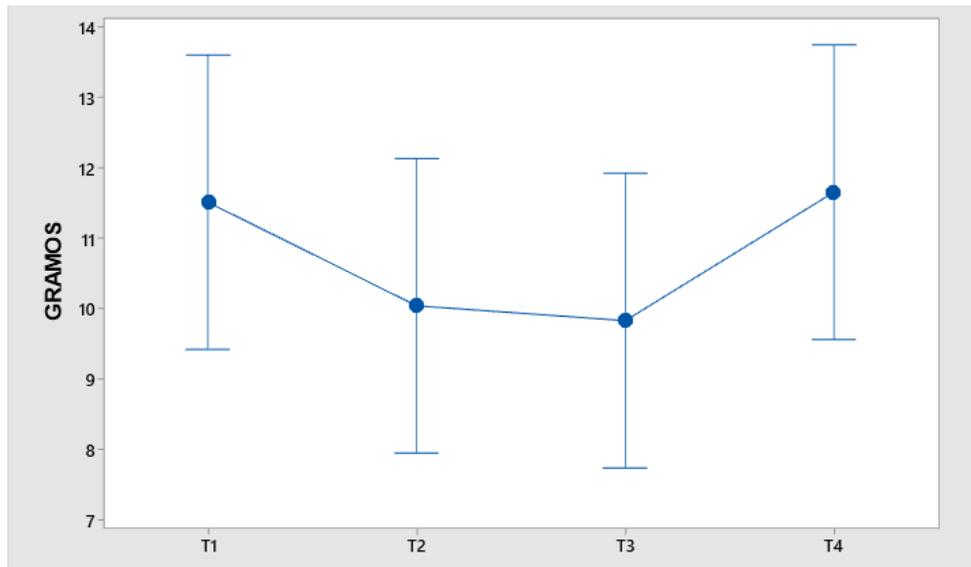
Los tratamientos fueron almacenados 4.5 a 5.5 °C con 80 ± 15% de HR y con diferentes retardantes de maduración (T1 testigo sin retardante, T2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + KMnO<sub>4</sub>, Vermiculita + T3 KMnO<sub>4</sub> y T4 KMnO<sub>4</sub>). La atmósfera interna de frutas y hortalizas está saturada con vapor de agua, pero a la misma temperatura el aire circundante esta menos saturado. Existe pues un gradiente a lo largo del cual el vapor se mueve desde el producto al aire que lo rodea. El efecto neto de la transpiración es una pérdida de agua del producto cosechado, que no puede ser reemplazada. La velocidad con que se pierde esta será un factor determinante en la vida de postcosecha del producto. La pérdida de agua causa una disminución significativa del peso y

a medida que avanza, disminuye la apariencia y elasticidad del producto perdiendo turgencia, es decir se vuelve blando y marchito (FAO, 1987).

En la gráfica 1 (y en la tabla 12 de anexo 2, comparación de columnas) se puede observar la pérdida de peso de los tratamientos respecto a los días. Entre los tratamientos no hubo una diferencia significativa, sin embargo, el T3 (Vermiculita +  $\text{KMnO}_4$ ) fue el que menor media de agrupación mostró respecto a la pérdida de peso durante el tiempo evaluado como se muestra en la gráfica 2. Lo cual refleja que la atmosfera saturada con vapor de agua de estos frutos fue siempre mayor lo que impidió una transferencia de vapores, por lo que perdió menos agua, turgencia y ablandamiento. La vermiculita facilitó la absorción de gases y el permanganato de potasio convirtió el etileno en dióxido de carbono y agua. T3 destacó en este parámetro en comparación de los demás por la formación de microgotas en los sobres que contenían el permanganato de potasio que absorbió la vermiculita generándose así una atmósfera diferente a la que originalmente existía y provocando una menor transpiración.



Gráfica 1. Pérdida de peso fresco de frutos de aguacate Hass.



Gráfica 2. Intervalos de pérdida de peso de frutos de aguacate Hass.

Se encontraron diferencias significativas en pérdida de peso para cada tratamiento, a lo largo del tiempo de almacenamiento (tabla 12, anexo 2). Hubo una tendencia de perder más peso ya que los frutos cosechados siguen con su transpiración, respiración y utilización de sus propias reservas como lo indica (Del Pilar et al., 2007).

### 3.4 Tasa respiratoria

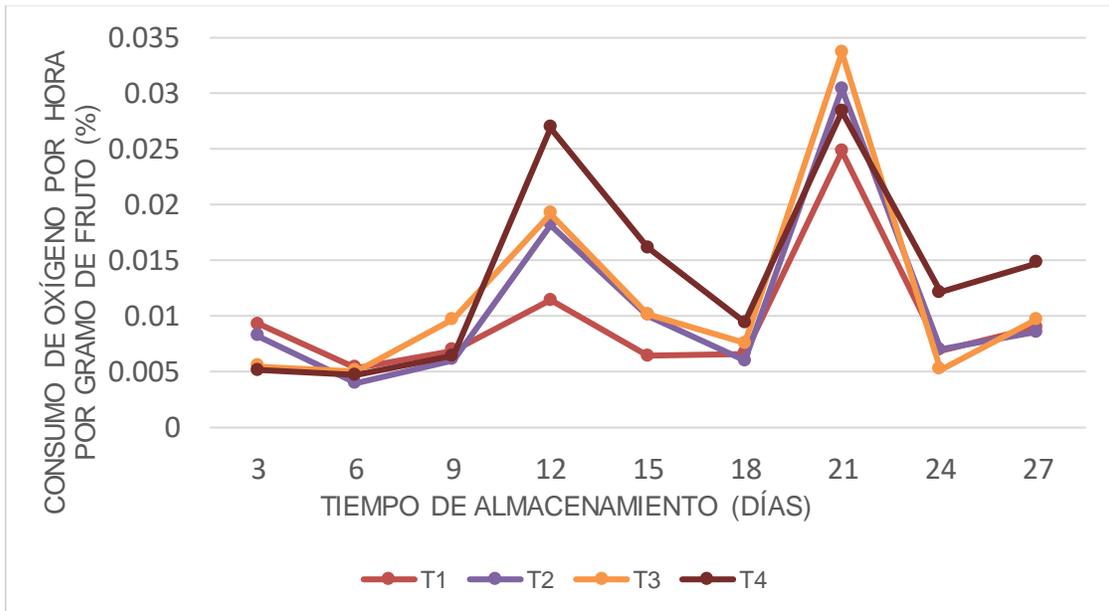
Como ya se menciona los frutos cosechados continúan respirando (Del Pilar et al., 2007). Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para los tiempos de almacenamiento 3, 12 y 15 (tabla 13 de anexo 2).

En la gráfica 4 se muestran la variación de los valores obtenidos, donde el T1 que fue el testigo es el que menos respiración mostró según las medias de agrupación. Esto se puede deber a que se encontraba en otro refrigerador, totalmente apartado de todos los demás tratamientos. El T4 (KMnO<sub>4</sub>) por el contrario fue el que más respiración generó. Sin embargo, se observó (tabla 13 de anexo 2) que a los 3 días el testigo tuvo la mayor respiración y el T4, fue el que menor respiración presentó. La tasa de respiración de los frutos de aguacate los tipifica como climatéricos, presetando el pico climatérico en el día 21.

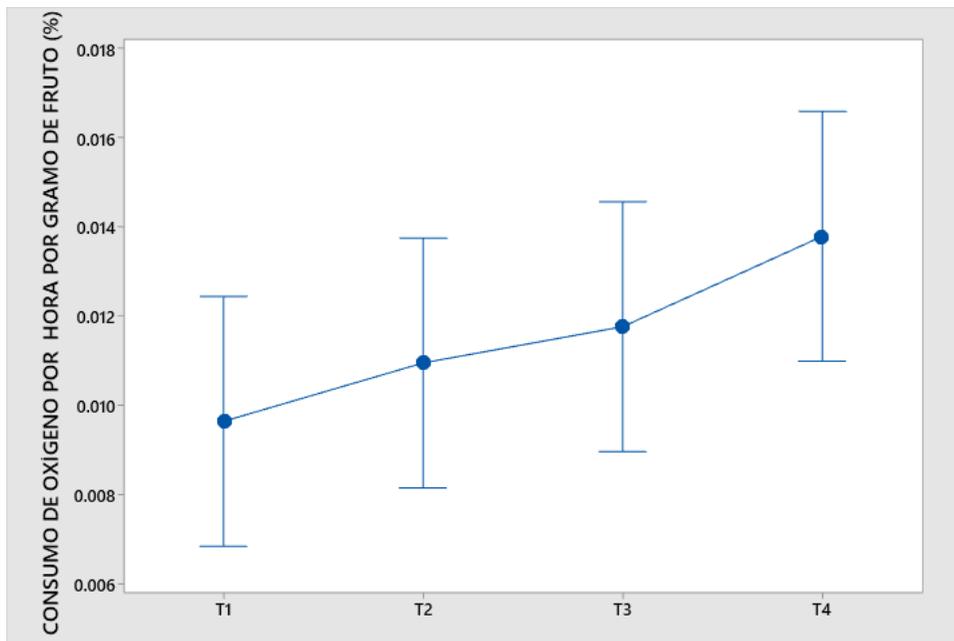
A mayor presencia de etileno en el almacenamiento de los frutos, mayor será su respiración. Wills y Warton (2004) encontraron que la eficacia de absorción del etileno disminuyó sustancialmente cuando se aumentaba la humedad relativa ya que de 70 a 90% fue un 50% menos eficiente, por lo que se recomienda que en posteriores experimentos se aumente el contenido de  $\text{KMnO}_4$ .

Kader (1980) reporta que el aguacate produce de  $10\text{-}100 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ , Wills y Warton (2004) mencionan que en una atmósfera con 90% de HR y generando etileno a  $10 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , se requieren 60 g de absorbente por 1 kg de producto para reducir la concentración de etileno en un 90%, mientras que se requieren 600 g de absorbente por kg de producto cuando se genera etileno a  $100 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ . Los mismos autores concluyen que el uso de un absorbente de permanganato de potasio parecería ser una adición factible a los envases de productos que tienen un bajo nivel de producción de etileno. La idoneidad para un paquete de 20 kg de producto que genera etileno a  $10 \mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  es cuestionable ya que se necesitarían 1,2 kg de absorbente.

El mantener una refrigeración del fruto de aguacate ayuda a disminuir su respiración y por tanto la producción de etileno junto con el uso de  $\text{KMnO}_4$  puede llegar a considerarse como una opción viable a su aplicación comercial junto con más estudios similares para afinar las dosis con determinado % de HR, temperatura y % MS con el que llega el fruto y sin dejar de tomar en cuenta el tiempo necesario de almacenamiento o embalaje según su destino o necesidades del comerciante.



Gráfica 3. Tasa de respiración de frutos de aguacate Hass.



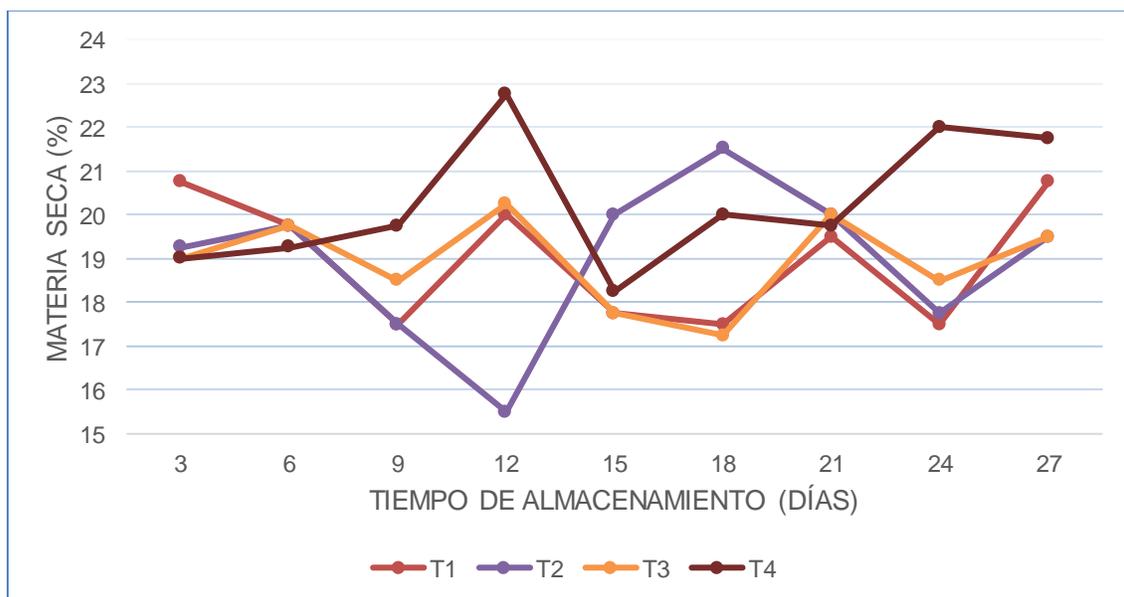
Gráfica 4. Intervalos de consumo de oxígeno por hora de aguacate Hass.

### 3.5 Materia seca

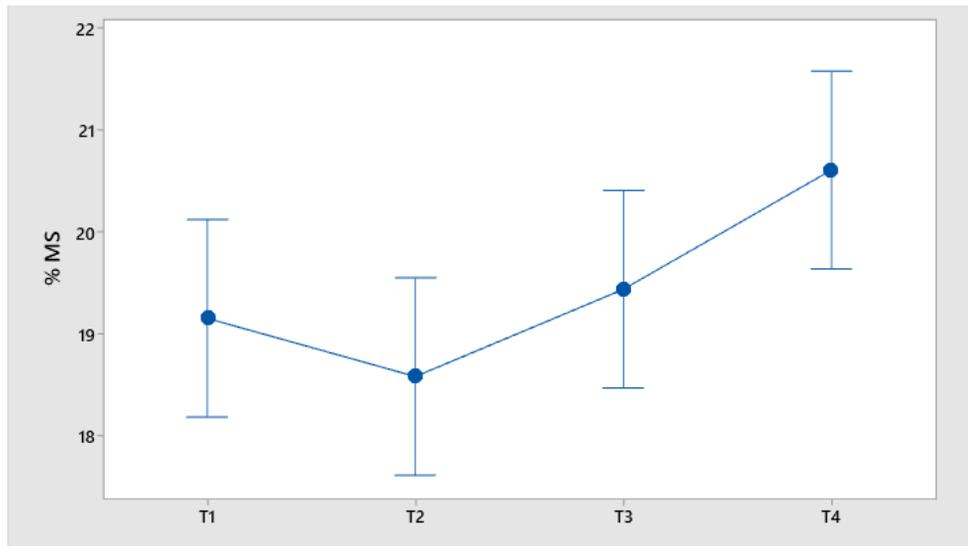
A pesar de que los frutos evaluados en su mayoría no llegaron al laboratorio en condiciones de más de 21% de MS y no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos y el tiempo evaluado como se muestra en la tabla 12 esto no impidió que se notara variedad entre tratamientos. El T2 ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{KMnO}_4$ ) presentó menor % de MS y el T4 ( $\text{KMnO}_4$ ) tuvo mayor % de MS respecto a las medias de agrupación por lo cual tiene un grado de maduración más alto ya que contiene más aceite y menos agua en los frutos como se mencionó en la entrevista de la empacadora.

Este valor coincide parcialmente con la tasa de respiración que a pesar de no ser significativa entre los tratamientos, el T2 se encontró en segundo lugar con menor respiración, la obtención de estos datos refuerza la idea de continuar utilizando el % de MS para determinar la calidad del fruto de forma comercial y también para estudios que evalúen la madurez del fruto.

El significado o razón por la cual el T4 es el menos favorable se puede deber a que como menciona (Wills y Warton, 2004) el  $\text{KMnO}_4$  presenta mayor eficiencia de conservación cuando este se encuentra en mayor proporción que el *carrier* y favoreciendo el incremento del área de contacto etileno-absorbente.



Gráfica 5. Porcentaje MS de frutos de aguacate Hass.



Gráfica 6. Intervalos de % MS de aguacate Hass.

### 3.6 Firmeza

La gráfica 7 muestra los valores de firmeza obtenidos con aguacates refrigerados hasta 33 días. Después de 27 días de refrigeración, se almacenaron 8 aguacates de cada tratamiento a temperatura ambiente durante 6 días.

Se observó que la media de agrupación del T2 fue el que mayor firmeza mostró como se muestra en la gráfica 8, donde el mismo tratamiento en % MS fue el que menor media de agrupación mostró por lo que estos frutos se encontraban en un grado de madurez más bajo, sin embargo en su mayoría de tiempo los frutos presentaron un grado de firmeza muy similar entre los tratamientos durante el almacenamiento.

#### 3.6.1 Calidad sanitaria de los frutos de aguacate durante el almacenamiento a temperatura ambiente

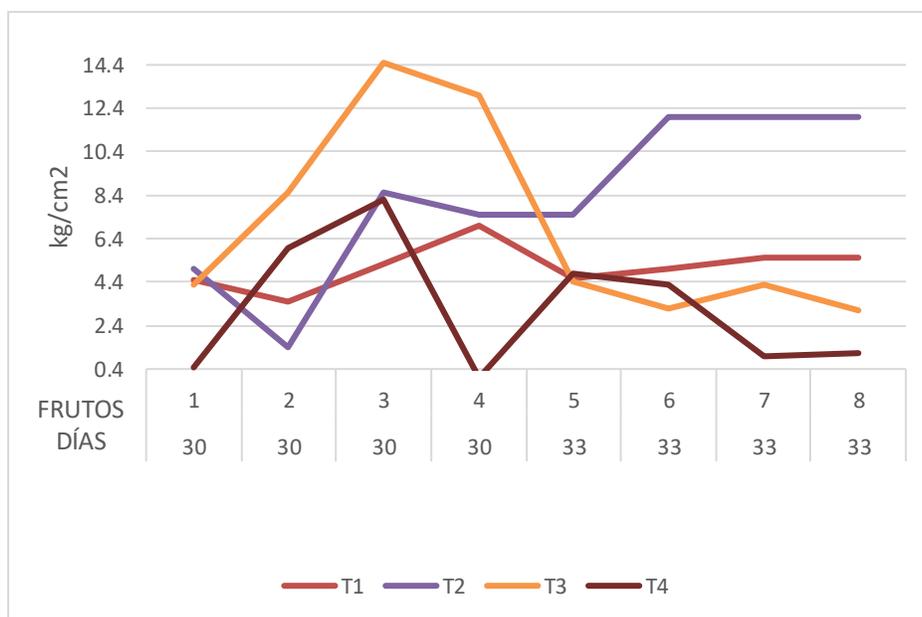
Durante el periodo en que los aguacates se almacenaron a temperatura ambiente del día 28 al 33 se desarrolló antracnosis por *Colletotrichum* sp. en los frutos (tabla 18 de anexo 2), los cuales se encontraron en menor medida en T1 y T2, mientras que en el T3 tuvo casi todos los frutos con desarrollo de antracnosis y el T4 no tuvo ningún fruto sin la presencia visible del

desarrollo de ésta. Esto puede estar relacionado con la firmeza de los frutos ya que en el T3 y T4 los frutos estaban menos firmes que los aguacates del T1 y T2. Los hongos tienen mayor facilidad de establecerse en frutos más blandos o deteriorados.

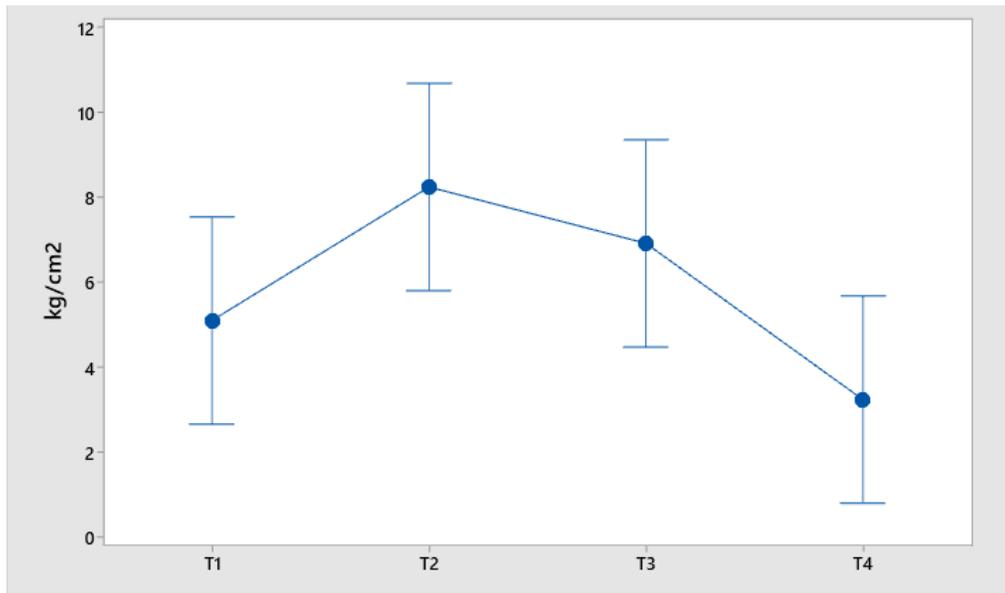
Tabla 11. Nivel de severidad de la antracnosis en frutos almacenados 27 días 4.5 a 5.5°C y posteriormente 6 días a temperatura ambiente.

Tratamiento	Nivel de severidad
1	1 y 2
2	1 y 2
3	2, 3 y 4
4	2, 3 y 4

Fuente: Elaboración propia, 2023.



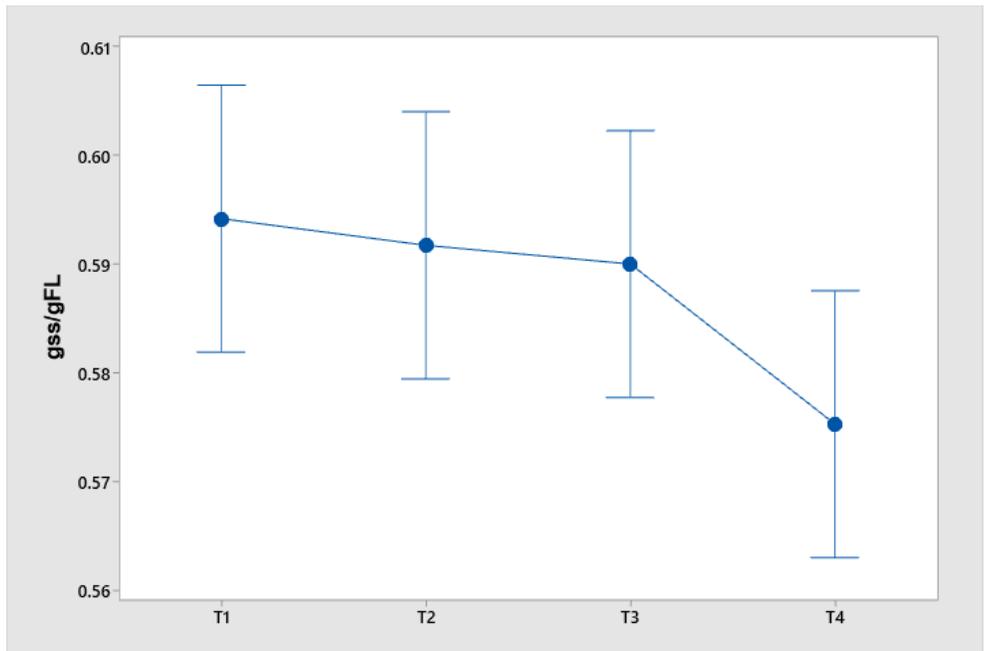
Gráfica 7. Firmeza (kg/cm<sup>2</sup>) de frutos de aguacate Hass.



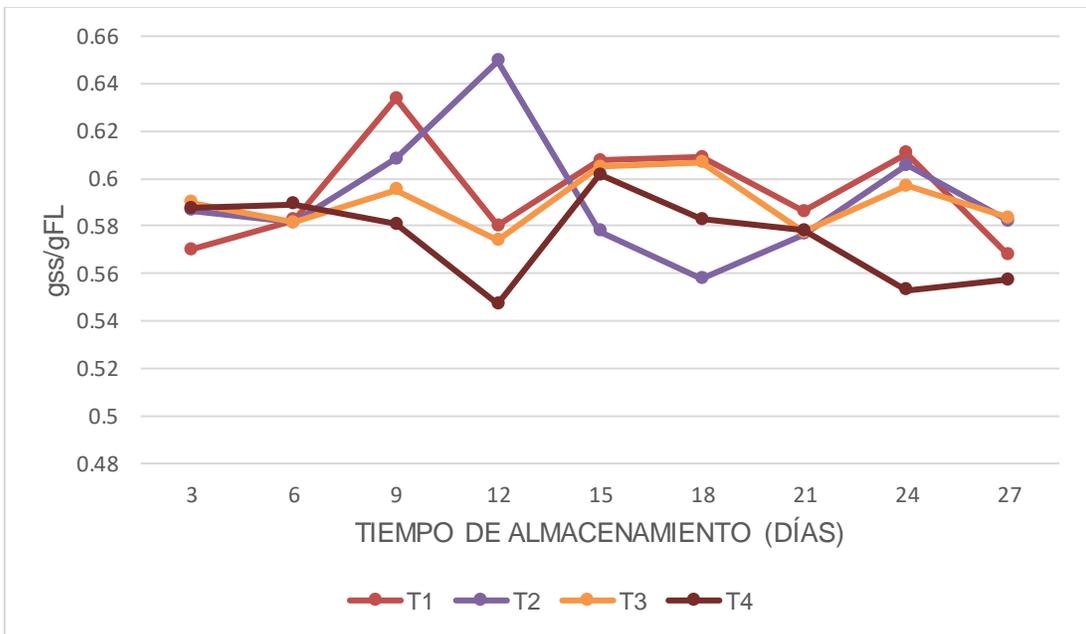
Gráfica 8. Intervalos de firmeza (kg/cm<sup>2</sup>) de frutos de aguacate Hass.

### 3.7 Sólidos solubles totales

No se observó diferencia significativa (tabla 14) en la toma de datos durante el tiempo evaluado en los frutos de aguacate Hass. Chica et al., (2013) mencionan que este parámetro no es lo suficientemente eficaz para determinar el tiempo de cosecha sin embargo para caracterizar un comportamiento fisiológico del fruto sí. En la gráfica 9 se aprecia el T4 siendo el que mayor media de agrupación tiene y el T1 fue el que menor media obtuvo durante todo el tiempo evaluado. Esto hace relación con la entrevista en la empacadora en la que se mencionó que entre más % de MS mayor es el contenido de aceite y menor la presencia de sólidos solubles totales que coincide con la gráfica 5 de % MS, para ejemplificar lo anterior, el día 12 se tiene en T1, T2 y T4 una disminución de SST y un aumento en % MS, caso opuesto del T2 donde se tiene un aumento de SST y una disminución de % MS en el mismo día.



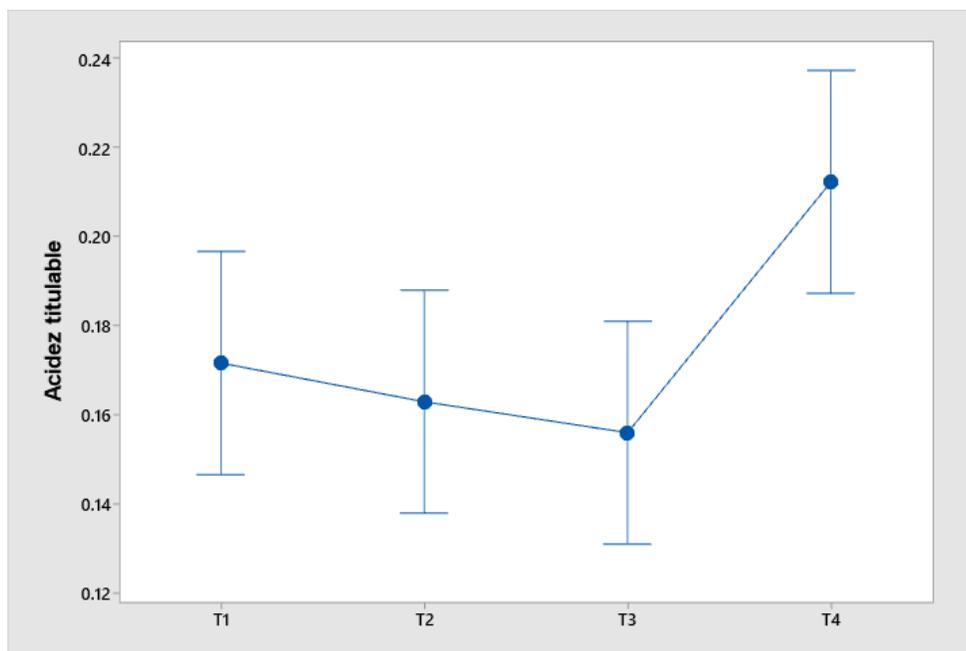
Gráfica 9. Intervalos de °Brix de frutos de aguacate Hass.



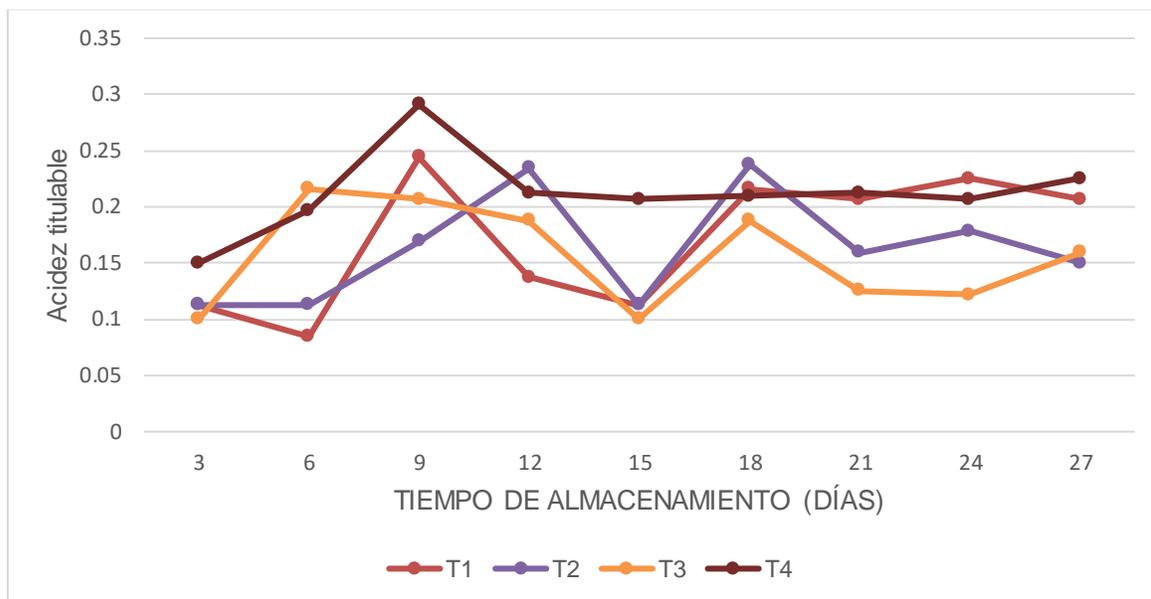
Gráfica 10. Grados Brix de frutos de aguacate Hass.

### 3.8 Acidez titulable

La disminución en la acidez, está asociada al consumo de los ácidos orgánicos en los diferentes ciclos metabólicos del fruto por la respiración y transpiración del fruto, como menciona Chitarra y Chitarra (2005) citado por Taiti et al., (2015), entre ellos el ácido tartárico que predomina en el aguacate. Estos compuestos son utilizados para proporcionar la energía requerida por el fruto durante el proceso de maduración (Astudillo y Rodríguez, 2017). A pesar de que no existió una diferencia significativa en este parámetro en la gráfica 11 se puede observar que durante todo el desarrollo del experimento el T4 mostró una media mayor de contenido de ácido tartárico por lo que utilizó en menor medida este compuesto y el T3 fue el que menor media presentó por lo que sugiere un mayor consumo de este. En el día 9 se observa en la gráfica 14 un nivel bajo de pH y en la gráfica 12 se observa un aumento de la acidez titulable por lo que entre menor pH mayor contenido de ácido tartárico que coincide con (Taiti et al., 2015).



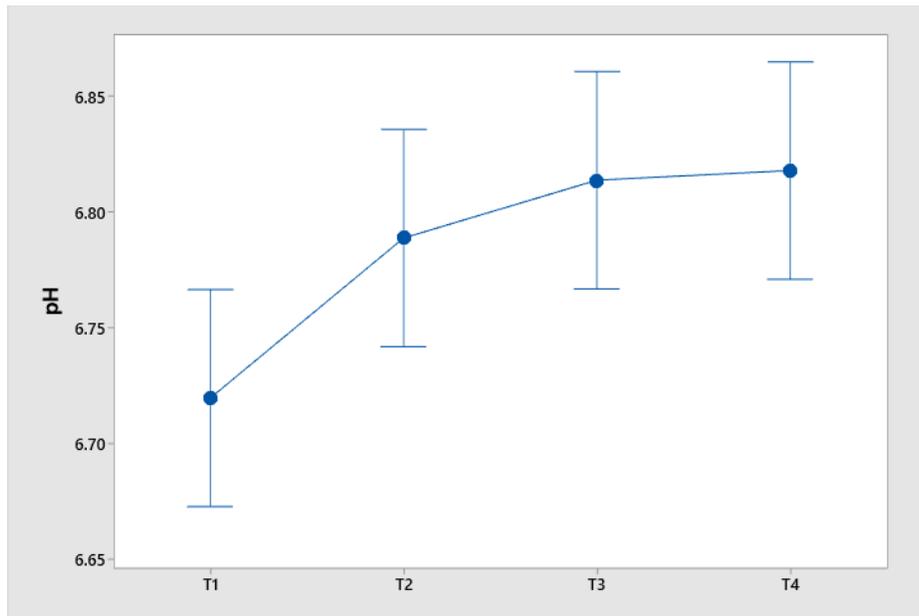
Gráfica 11. Intervalos de acidez titulable de frutos de aguacate Hass.



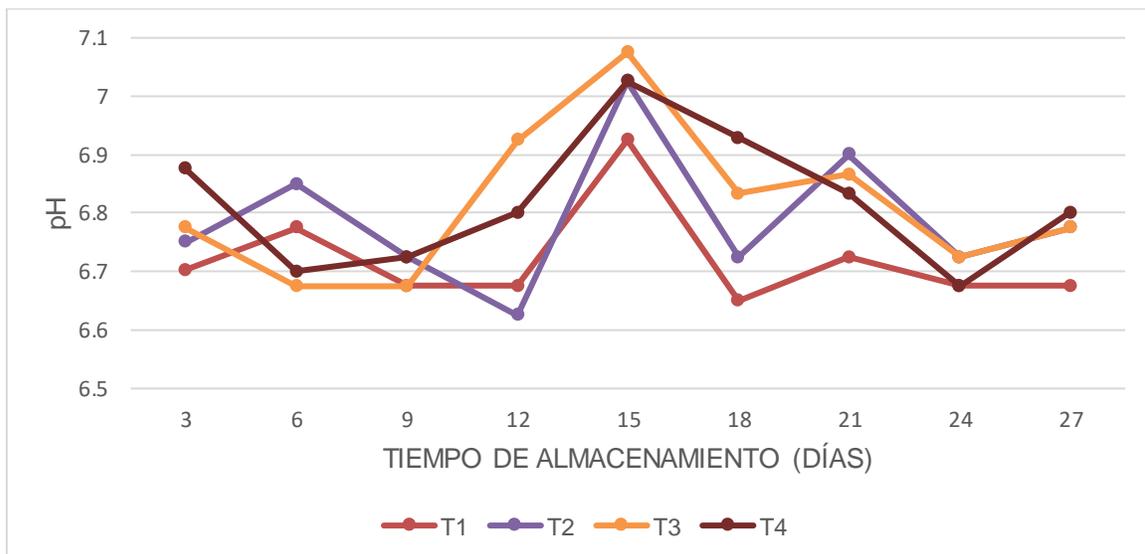
Gráfica 12. Acidez titulable de frutos de aguacate Hass.

### 3.9 pH

En pH no hubo diferencia significativa, sin embargo, en la gráfica 13 se puede observar el T4 que reflejo una media de agrupación más alta en comparación de los demás tratamientos, lo cual sugiere una menor presencia de ácidos, el T1 en cambio obtuvo la media más baja durante el tiempo evaluado por lo que tuvo más concentración de estos. Desde el día 18 se ve una tendencia a la disminución de acidez en todos los tratamientos, lo que hace relación con lo mencionado por (Astudillo y Rodríguez, 2017) los cuales mencionan que la disminución en la acidez está asociada al consumo de los ácidos orgánicos en los diferentes ciclos metabólicos del fruto, entre ellos el ácido tartárico que predomina en el aguacate. En el día 15 de toma de datos se nota una relación con la gráfica 12 donde en todos los tratamientos aprecia una disminución del ácido tartárico y en la gráfica 14 hay un aumento en el pH de los frutos.



Gráfica 13. Intervalos pH de frutos de aguacate Hass.



Gráfica 14. pH de frutos de aguacate Hass.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se recomienda experimentar con dosis más altas del permanganato de potasio con un *carrier* de óxido de aluminio o hacer un cambio de los sobres conteniendo estos reactivos considerando la saturación con etileno. Además se considera conveniente probar un almacenamiento en temperaturas superiores a 5.5 °C donde se pueda hacer más claro el efecto del permanganato de potasio como absorbente de etileno. También se sugiere llevar a cabo el almacenamiento de los frutos en cámara de humedad relativa

controlada y considerar un almacenamiento en cajas de modo que facilite el manejo del producto y de los tratamientos.

## IV. Conclusión

El productor de la huerta de aguacate descrita, de acuerdo con lo observado durante la visita, lleva a cabo buenas prácticas agrícolas y de manejo postcosecha adecuados para su comercialización internacional.

De acuerdo con la literatura consultada y al manejo del producto durante el desarrollo de la tesis se concluyó que el permanganato de potasio es un retardante de madurez viable, sustentable y de sencilla implementación en productos hortofrutícolas, tomando en cuenta el uso de un *carrier*.

El mejor tratamiento fue el T2 ya que los frutos presentaron mayor vida de anaquel, conservando su firmeza hasta 33 días y se observó menor severidad de antracnosis.

Los datos obtenidos con el control pusieron en evidencia que el almacenamiento refrigerado fue suficiente para conservar la calidad postcosecha de los frutos durante 27 días.

No hubo diferencias significativas entre tratamientos y el control para pérdida de peso, materia seca, SST y ac. titulable.

De acuerdo con los resultados obtenidos se acepta la hipótesis alternativa: *Al menos un tipo de tratamiento mejora la vida de anaquel con el uso de permanganato de potasio*. Siendo el tratamiento de permanganato de potasio con un *carrier* de óxido de aluminio el tratamiento que arrojó mejores resultados en firmeza y calidad sanitaria de los frutos.

## V. Referencias

- ABC DE FRUTAS Y VERDURAS*. (s/f). Recuperado el 6 de mayo de 2023, de <http://www.abcdefrutasyverduras.com/moodle/mod/resource/view.php?id=166>
- Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, M. E. (1992). *Ethylene in plant biology* (segunda edición). Academic Press.
- Alba, R., Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., Debbie, P., Martin, G. B., Tanksley, S. D., & Giovannoni, J. J. (2005). Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *Plant Cell*, 17(11), 2954–2965. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.036053>
- Álvarez, M. H., Martínez, G. B., Avalos, F., Castillo, M. A., Contreras, J. C., & Artés, F. (2019). Potassium Permanganate-Based Ethylene Scavengers for Fresh Horticultural Produce as an Active Packaging. *Food Engineering Reviews*, 11(3), 159–183. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09193-0>
- Appleman, D., & Noda, L. (1941). Biochemical Studies of the Fuerte Avocado Fruit - A Preliminary Report. *California Avocado Society*, 26, 60–63. [http://avocadosource.com/CAS\\_Yearbooks/CAS\\_26\\_1941/CAS\\_1941\\_PG\\_060-063.pdf](http://avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_26_1941/CAS_1941_PG_060-063.pdf)
- Astudillo, C. E., & Rodríguez, P. E. (2017, septiembre). Evaluación de parámetros fisicoquímicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. Hass) en su madurez de cosecha y consumo. *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate*. [http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias\\_VCLA/2017/Memorias\\_VCLA\\_2017\\_PG\\_401.pdf](http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_401.pdf)
- Baldwin, E. A. (2003). *Coatings and Other Supplemental Treatments to Maintain Vegetable Quality*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Coatings-and-Other-Supplemental-Treatments-to-Baldwin/c09662ce71d00b2d20181e270fc7f15f94a89891>
- Bapat, V. A., Trivedi, P. K., Ghosh, A., Sane, V. A., Ganapathi, T. R., & Nath, P. (2010, enero). Ripening of fleshy fruit: Molecular insight and the role of ethylene. *Biotechnology Advances*, 28(1), 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.10.002>
- Barry, C. S., & Giovannoni, J. J. (2007, junio). Ethylene and fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(2), 143–159. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9002-y>
- Bill, M., Sivakumar, D., Thompson, A. K., & Korsten, L. (2014). Avocado Fruit Quality Management during the Postharvest Supply Chain. *Food Reviews International*, 30(3), 169–202. <https://doi.org/10.1080/87559129.2014.907304>

- Blakey, R. J., Bower, J. P., & Bertling, I. (2010). Post-harvest avocado physiology. *Sout African Avocado Growers*.  
[http://www.avocadosource.com/journals/saaga/saaga\\_2010/saaga\\_2010\\_33\\_pg\\_56.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/saaga/saaga_2010/saaga_2010_33_pg_56.pdf)
- Blandón, S. (2012). *Fisiología de Poscosecha*.  
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fisiologiaposcocsecha.pdf>
- Brezmes, J. (2001). *Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta* [Universidad Politécnica de Catalunya].  
<https://www.tesisenred.net/handle/10803/6877#page=1>
- Bustamante, J. (2017). *Detección de nivel de materia seca en aguacate hass mediante técnicas no destructivas-estudio piloto* [Tesis, Universidad Tecnológica de Pereira].  
<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=1&sid=fcab72b6-3c28-4146-b010-c1c62ac78a5b%40redis&bdata=Jmxhbmcmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3d%3d#AN=edsoai.on1089809851&db=edsoai>
- Chica, F., Restrepo, M. Á., & Camilo, J. (2013). Grados Brix y otros parámetros de cosecha en aguacate variedad Hass (Persea americana Mill.) en el municipio de Rionegro-Antioquia. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 22–31.  
<https://revistas.uco.edu.co/index.php/uco/article/view/230>
- Dash, S., Patel, S., & Mishra, B. K. (2009, enero 24). Oxidation by permanganate: synthetic and mechanistic aspects. *Tetrahedron*, 65(4), 707–739.  
<https://doi.org/10.1016/j.tet.2008.10.038>
- Davenport, J. B., & Ellis, S. C. (1959). *Chemical changes during growth and storage of the avocado fruit*.  
[https://www.avocadosource.com/Journals/AustJournBioSci/AustJournBioSci\\_1959\\_12\\_4\\_45-454.pdf](https://www.avocadosource.com/Journals/AustJournBioSci/AustJournBioSci_1959_12_4_45-454.pdf)
- Del Pilar, I. M., Fischer, G., & Corredor, G. (2007, junio 6). Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (Passiflora edulis Sims.). *Agronomía Colombiana*, 25(1), 83–95.  
[https://www.researchgate.net/publication/256475458\\_Determinacion\\_de\\_los\\_estados\\_de\\_madurez\\_del\\_fruto\\_de\\_la\\_gulupa\\_Passiflora\\_edulis\\_Sims](https://www.researchgate.net/publication/256475458_Determinacion_de_los_estados_de_madurez_del_fruto_de_la_gulupa_Passiflora_edulis_Sims)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). Productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca-aguacate hass (Persea americana Mill)-especificaciones (cancela a la NMX-FF-016-SCFI-2006). <https://gotomexico.today/media/doc/nmx-ff-016-scfi-2016.pdf>
- Establés, B. A. (2008). *Estudio transcriptómico de los mecanismos implicados en la tolerancia inducida por el curado al daño de frío y por el etileno al colapso de la corteza en los frutos cítricos* [Universidad Politécnica de Valencia].  
<https://riunet.upv.es/handle/10251/3782>

- FAO. (1987). *Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas*. <https://www.fao.org/3/x5055s/x5055S00.htm>
- FAO. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo- Alcance, causas y prevención*. FAO. <https://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>
- Gaikwad, K. K., Singh, S., & Negi, Y. S. (2020, marzo 1). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters*, 18(2), 269–284. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00938-1>
- Garbanzo, M. (2011). *Manual de aguacate Buenas Prácticas de Cultivo Variedad Hass* (2 ed). Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-4259.pdf>
- García, J. c, Balaguera, H. E., & Herrera, A. O. (2012, julio 3). Conservación del fruto de banano bocado (Musa AA Simmonds) con la aplicación de permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 161–171. <https://doi.org/10.17584/rcch.2012v6i2.1974>
- Gil, A., Martínez de Victoria, E., & Ruiz, M. D. (2019). *Nutrición y Salud Conceptos esenciales*. Editorial Medica Panamericana. <http://www.medicapanamericana.com.pbidi.unam.mx:8080/VisorEbookV2/Ebook/9788491101482#{%22Pagina%22:%22III%22,%22Vista%22:%22Buscador%22,%22Busqueda%22:%22DOI%22}>
- Herrera, J. A., Bautista, S., Salazar, S., & Gutiérrez, P. (2020, septiembre 28). Situación actual del manejo poscosecha y de enfermedades fungosas del aguacate “Hass” para exportación en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1647–1660. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2402>
- Kader, A. A. (1980, marzo). Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technology*, 51–54. <https://ucanr.edu/datastoreFiles/234-398.pdf>
- Kader, A. A. (2013). Postharvest Technology of Horticultural Crops-An Overview from Farm to Fork. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 1, 1–8. [https://ucanr.edu/sites/Postharvest\\_Technology\\_Center\\_/files/231724.pdf](https://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/files/231724.pdf)
- Kou, X., & Wu, M. (2018). Characterization of climacteric and non-climacteric fruit ripening. En Y. Guo (Ed.), *Plant Senescen: Methods in Molecular Biology* (Vol. 1744, pp. 89–102). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7672-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7672-0_7)
- Kyriacou, M. C., & Rouphael, Y. (2018, abril 14). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. *Scientia Horticulturae*, 234, 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>

- Lee, S. K., Young, R. E., Schiffman, P. M., & Coggins, C. W. (1983). Maturity Studies of Avocado Fruit Based on Picking Dates and Dry Weight. En *J. Amer. Soc. Hort. Sci* (Vol. 108, Número 3).
- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. W., & Lu Arpaia, M. (1999). "Hass" avocado carbohydrate fluctuations. II. Fruit growth and ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(6), 676–681.  
<https://doi.org/10.21273/jashs.124.6.676>
- López, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. FAO.  
<https://www.fao.org/3/y4893s/y4893s06.htm#TopOfPage>
- Maftoon, N. (2007). *Evaluation of edible films and coatings for extending the postharvest shelf life of avocado* [McGill University].  
<https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/jm214t40r>
- Márquez, C. J., Yepes, D. P., Sanchez, L., & Osorio, J. A. (2014, febrero 21). Cambios Físico-Químicos del Aguacate (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") en Poscosecha para dos Municipios de Antioquia. *Temas Agrarios*, 19(1), 32–47.
- Martínez, M. E., Balois, R., Alia, I., Cortes, M. A., Palomino, Y. A., & López, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 4075–4057. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153823018>
- Ortega, M. A. (2003). Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate hass. *Proceedings V World Avocado Congress*, 741–748.  
[https://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5\\_p741.pdf](https://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p741.pdf)
- Osorio, G. T. (2013). *Evaluación del efecto de dos niveles de pH en la capacidad antioxidante de la semilla de aguacate criollo (Persea americana Mill.)* [Escuela Agrícola Panamericana]. [https://bdigital.zamorano.edu/bitstreams/db017b17-cc1d-49a0-88ba-1442fe41b2df/download#:~:text=La%20pulpa%20de%20aguacate%20\(pH,acidez%20natural%20\(pH%206.8\)\)](https://bdigital.zamorano.edu/bitstreams/db017b17-cc1d-49a0-88ba-1442fe41b2df/download#:~:text=La%20pulpa%20de%20aguacate%20(pH,acidez%20natural%20(pH%206.8)))
- Osuna, J. A., Nolasco, Y., Herrera, J. A., Guzmán, S. H., & Álvarez, A. (2017). Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate 'Hass'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 19, 3911–3921.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153823006>
- Palou, L., Crisosto, C. H., Garner, D., & Basinal, L. M. (2003). Effect of continuous exposure to exogenous ethylene during cold storage on postharvest decay development and quality attributes of stone fruits and table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 243–254. [www.elsevier.com/locate/postharvbio](http://www.elsevier.com/locate/postharvbio)

- Parfitt, J., Barthel, M., & MacNaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065–3081. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>
- Pastor, C., & González, C. (2018). Determinación de los sólidos solubles de un alimento con un alto y un bajo contenido en agua. En *Universidad Politécnica de Valencia*. <http://hdl.handle.net/10251/102969>
- Pathak, N. (2019). Photocatalysis and vacuum ultraviolet light photolysis as ethylene removal techniques for potential application in fruit storage [Universidad Técnica de Berlín]. En *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22330-5>
- Pathak, N., Caleb, O. J., Geyer, M., Herppich, W. B., Rauh, C., & Mahajan, P. V. (2017, junio 1). Photocatalytic and Photochemical Oxidation of Ethylene: Potential for Storage of Fresh Produce—a Review. *Food and Bioprocess Technology*, 10(6), 982–1001. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1889-0>
- Prabath, P., Sekozawa, Y., Sugaya, S., & Gemma, H. (2011). Effect of combined application of 1-MCP and low oxygen treatments on alleviation of chilling injury and lipid oxidation stability of avocado (*Persea americana* Mill.) under low temperature storage. *Fruits*, 66(3), 161–170. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011023>
- Rivera, A. (2020). *Aplicación de absorbentes de etileno a escala doméstica: Estudio de la vida útil y calidad de frutas y verduras* [Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/327293/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rosas, C. (2011). *Contenido de compuestos bioactivos y su contribución a la capacidad antioxidante durante la maduración de piña cv. “Esmeralda”*. [https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/179/1/Rosas%20Dominguez\\_2011\\_MC.pdf](https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/179/1/Rosas%20Dominguez_2011_MC.pdf)
- SAGARPA. (2015). *Plan rector estatal sistema producto aguacate michoacán 2015*. <https://docplayer.es/75711942-Plan-rector-2015-sistema-producto-aguacate-de-michoacan-plan-rector-estatal-sistema-producto-aguacate-michoacan-2015.html>
- SAGARPA. (2017). *Planeación agrícola nacional AGUACATE Mexicano*. chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>
- Salamanca, F. A., Balaguera, H. E., & Herrera, A. O. (2014). Effect of potassium permanganate on some postharvest characteristics of Tomato “Chonto” Fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Horticulturae*, 1016, 171–176. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2014.1016.24>

- Salceso, A. (2014). *Evaluación de absorbedores de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (Solanum lycopersicum L.)* [Universidad Nacional de Colombia].  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52474?locale-attribute=en>
- Salgado, T., & Martínez, R. del P. (2006). *Relación entre la intensidad respiratoria y las propiedades fisicoquímicas del banano (Musa sapientum L) var. criollo, tomate de árbol (Solanum betaceum) var. morada y mango (Mangife indica L) var. azúcar* [Universidad La Salle].  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos)  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/127](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/127)
- Sammi, S., & Masud, T. (2007). *Effect of Different Packaging Systems on Storage Life and Quality of Tomato (Lycopersicon esculentum var. Rio Grande) during Different Ripening Stages*.  
[https://www.researchgate.net/publication/265873217\\_Effect\\_of\\_Different\\_Packaging\\_Systems\\_on\\_Storage\\_Life\\_and\\_Quality\\_of\\_Tomato\\_Lycopersicon\\_esculentum\\_var\\_Rio\\_Grande\\_during\\_Different\\_Ripening\\_Stages](https://www.researchgate.net/publication/265873217_Effect_of_Different_Packaging_Systems_on_Storage_Life_and_Quality_of_Tomato_Lycopersicon_esculentum_var_Rio_Grande_during_Different_Ripening_Stages)
- SIAP. (2018). *Atlas Agroalimentario 2012-2018* (Primera edición). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).  
[https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)
- SIAP. (2021). *Panorama Agroalimentario 2021*.  
[https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/)
- Taiti, C., Costa, C., Menesatti, P., Caparrotta, S., Bazihizina, N., Azzarello, E., Petrucci, W. A., Masi, E., & Giordani, E. (2015). Use of volatile organic compounds and physicochemical parameters for monitoring the post-harvest ripening of imported tropical fruits. *European Food Research and Technology*, 241(1), 91–102. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2438-6>
- Tripathi, K., Pandey, S., Malik, M., & Kaul, T. (2015). Fruit ripening of climacteric and non climacteric fruit. *Journal of Environmental and Applied Bioresearch*, 4, 27–34.  
[https://www.researchgate.net/publication/317640858\\_FRUIT\\_RIPENING\\_OF\\_CLIMACTERIC\\_AND\\_NON\\_CLIMACTERIC\\_FRUIT](https://www.researchgate.net/publication/317640858_FRUIT_RIPENING_OF_CLIMACTERIC_AND_NON_CLIMACTERIC_FRUIT)
- Vijay, P., & Rakesh, P. (2014). Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability - A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1223–1250.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0583-x>

Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., & Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry*, 337. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750>

Wills, R. B. H., & Warton, M. A. (2004). Efficacy of Potassium Permanganate Impregnated into Alumina Beads to Reduce Atmospheric Ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(3), 433–438. <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/129/3/article-p433.xml>

## **VI. ANEXO 1**

NORMA MEXICANA

NMX-FF-016-SCFI-2016

**PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA USO  
HUMANO - FRUTA FRESCA-AGUACATE HASS (*Persea americana Mill*) -  
ESPECIFICACIONES (CANCELA A LA NMX-FF-016-SCFI-2006)**

*NON INDUSTRIALIZED FOOD PRODUCTS FOR HUMAN CONSUMPTION - FRESH FRUIT  
HASS AVOCADO (*Persea americana Mill*) -  
SPECIFICATIONS*

SINEC-20161020174655704

ICS:67.080.01

## PREFACIO

El Comité Técnico de Normalización Nacional de Industrias Diversas de la Secretaría de Economía, es el responsable de la elaboración de la presente Norma Mexicana NMX-FF-016-SCFI-2016 Productos alimenticios no industrializados para uso humano - Fruta fresca - Aguacate Hass (*Persea americana Mill*) - Especificaciones.

La presente Norma Mexicana cancela a la NMX-FF-016-SCFI-2006 Productos alimenticios no industrializados para uso humano - Fruta fresca - Aguacate (*Persea americana Mill*) - Especificaciones; en virtud de que la cadena productiva del aguacate Hass nacional ha realizado trabajos para innovar métodos de prueba de mayor precisión, y con el objetivo de incrementar la competitividad del aguacate nacional frente a la apertura comercial.

En la elaboración de la presente Norma Mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

ASOCIACION DE PRODUCTORES Y EMPACADORES EXPORTADORES DE AGUACATE DE MEXICO, A.C. (APEAM, A.C.)

COMITE TECNICO DE NORMALIZACION NACIONAL DE PRODUCTOS AGRICOLAS Y PECUARIOS.

CONFEDERACION NACIONAL DE PROPIETARIOS RURALES, A.C.

SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION  
Dirección General de Fomento a la Agricultura.

SECRETARIA DE ECONOMIA  
Dirección General de Normas

SECRETARIA DE TURISMO  
Dirección General de Normalización y Calidad Regulatoria Turística

UNION DE EMPACADORES DE AGUACATE DE PERIBAN A.C. (UEAPAC)

UNION DE EMPACADORES Y COMERCIALIZADORES DE AGUACATE DE MICHOACAN A.C. (UDECAM)

## NORMA MEXICANA NMX-FF-016-SCFI-2016

### PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA USO HUMANO - FRUTA FRESCA-AGUACATE HASS (*Persea americana Mill*) - ESPECIFICACIONES (CANCELA A LA NMX-FF-016-SCFI-2006)

#### NON INDUSTRIALIZED FOOD PRODUCTS FOR HUMAN CONSUMPTION - FRESH FRUIT HASS AVOCADO (*Persea americana Mill*) - SPECIFICATIONS

#### 1. Objetivo y campo de aplicación

##### 1.1 Objetivo

La presente Norma Mexicana establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el aguacate (*Persea americana Mill*) perteneciente a la familia de las Lauraceas, variedad Hass, para ser consumido en estado fresco, después de su acondicionamiento y envasado.

##### 1.2 Campo de aplicación

La presente Norma Mexicana aplica al producto que se produce o comercializa en el territorio nacional. Se excluye el producto destinado al proceso industrial.

El aguacate Hass que procede de cultivos orgánicos además de la presente Norma Mexicana, también debe cumplir con la Ley de Productos Orgánicos y su Reglamento.

#### 2. Referencias normativas

La presente Norma Mexicana se complementa con los siguientes documentos normativos vigentes, o los que los sustituyan:

- 2.1 Ley de Productos Orgánicos. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación en 2006-02-07
- 2.2 Reglamento de la Ley de Productos Orgánicos. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación en 2010-04-01.
- 2.3 NMX-FF-008-1982 Productos alimenticios no industrializados para uso humano - Fruta fresca - Determinación de tamaño con base al peso unitario. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación en 1982-06-10.

#### 3. Términos y definiciones

Para la correcta aplicación de la presente Norma Mexicana, se establecen las siguientes definiciones:

##### 3.1 aguacate de la variedad Hass

es el fruto de *Persea americana Mill*, cuya cascara es de textura rugosa a semirrugosa; esta característica es uniforme en toda la superficie, su forma es desde semiredonda hasta aperada. Su color característico del verde mate al negro. Su pulpa es verde amarillento, suave y de textura no fibrosa (tipo mantequilla).

### 3.2 envase

cualquier recipiente en el cual está contenido el producto para su distribución o venta.

### 3.3 etiqueta

es el rótulo, inscripción, imagen u otra materia descriptiva o gráfica, escrita, impresa, marcada, grabada en alto o bajo relieve o adherida al envase del aguacate.

## Designación y clasificación del producto

### 3.1 Designación

El aguacate (*Persea americana* Mill) perteneciente a la familia de las Lauraceas, es un fruto de forma ovoide o aperada de color que va desde el verde mate a negro, de pulpa verde amarillento, suave y de textura no fibrosa.

Los aguacates se designan de acuerdo a su calibre (ver Tabla 1).

## Clasificación

El producto objeto de esta Norma Mexicana, se clasifica en los tres grados siguientes y cada grado corresponde a la variedad Hass:

- a) Clase Extra (Suprema);
- b) Clase I;
- c) Clase II;

## Especificaciones

### 5.1. Requisitos mínimos generales

Para los grados de clasificación Clase Extra (Suprema), Clase I y Clase II, incluidos en esta Norma Mexicana, independientemente de las disposiciones especiales para cada grado y las tolerancias permitidas, los frutos deben:

- a) estar enteros;
- b) estar visiblemente sanos, exentos de podredumbre o deterioro, que les permita ser aptos para el consumo;
- c) estar limpios, prácticamente exentos de cualquier material extraño visible; estar
- d) libres de insectos y daños causados por plagas;
- e) estar exentos de cualquier olor o sabor extraño.

5.1.1. La fruta debe haber alcanzado su grado de madurez fisiológica, equivalente a un contenido mínimo de materia seca del fruto del 21 %. El contenido de materia seca se determina de acuerdo con 7.3.

5.1.2. La recolección de la fruta debe ser manual, cortada con tijera y el auxilio de un gancho con red, depositada en caja limpia de plástico para ser transportada. La fruta no debe tener contacto con el suelo, por lo que el tijeado debe realizarse en el árbol, dejando el pedúnculo a ras de la cascara.

Se debe abstener de cosecharse cuando este lloviendo o cuando la fruta se encuentre muy húmeda. El transporte de la fruta de la huerta al empaque debe realizarse en vehículos cubiertos

con Iona, de acuerdo con lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-066-FITO (ver 11.4).

**5.1.3.** Cuando un aguacate se corte antes de su grado de madurez fisiológica o ha sido dañado por bajas temperaturas atmosféricas (heladas), no debe ser comercializado para consumo humano.

## **5.2 Requisitos por grados de clasificación**

El producto debe de cumplir con las siguientes especificaciones según su grado de clasificación.

### **5.2.1 Clase Extra (Suprema)**

Los aguacates de este grado deben ser de la mejor apariencia en cuanto a la forma, el desarrollo y coloración típicos de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño.

Se requiere que no tengan defectos, salvo defectos superficiales muy leves en no más de 2 cm<sup>2</sup> en total, causados por roña, trips, granizo y rozaduras, siempre y cuando no afecten el aspecto general del producto, su calidad, y su conservación.

Los productos deben estar libres de los defectos conocidos como "varicela", "viruela" o "clavo", quemaduras causadas por el sol o por heladas, daños mecánicos y dados causados por larvas.

### **5.2.2 Clase I**

Los productos de este grado deben presentar un buen aspecto general del producto, relativo a la forma, el desarrollo y coloración típicos de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño.

Con leves defectos tales como raspaduras, rozaduras, costras, manchas o quemaduras de sol, siempre y cuando no afecten el aspecto y la conservación del fruto.

Pueden presentar defectos superficiales leves en no más de 6 cm<sup>2</sup> causados por roña, trips, varicela seca, granizo y rozaduras. Pueden permitirse hasta 5 pústulas de viruela seca por fruto.

No se permiten defectos conocidos como "clavo", quemaduras causadas por el sol o por heladas, además de estar libre de daños mecánicos y dados causados por larvas.

En ningún caso los defectos citados deben afectar a la pulpa de la fruta.

### **5.2.3 Clase II**

Los productos de este grado deben presentar la forma, el desarrollo y coloración típicos de la variedad. Deben ser uniformes en cuanto al grado de madurez, coloración y tamaño.

Se permiten dados superficiales que afecten un máximo del 50 % de la superficie del fruto causados por roña, trips, varicela seca, granizo y rozaduras, siempre y cuando los aguacates conserven sus características esenciales de calidad, estado de conservación y su presentación. Deben estar libres de dados mecánicos que afecten severamente la pulpa del fruto. Pueden permitirse los siguientes defectos:

- a) Hasta 3 pústulas de "clavo" de un tamaño máximo de 1,0 cm de diámetro cada una;
- b) Un máximo de 10 pústulas de viruela seca;
- c) Quemaduras de sol en no más de 30 % de la superficie del fruto, siempre y cuando sea solo de color amarillo.

### 5.3 Calibre

El calibre del aguacate se determina con base en el peso unitario del fruto, o al número de frutos contenidos en el envase.

Considerando las prácticas del mercado mexicano, los aguacates se designan y calibran de acuerdo a lo establecido en la Tabla 1. Estas determinaciones se deben realizar acorde a lo indicado en el 7.1 de la presente Norma Mexicana, así como a lo establecido en la Norma Mexicana NMX-FF-008 (ver 2.3).

**Tabla 1 - Especificaciones de calibre**

Calibre	Nombre coloquial	Peso unitario en 2: ramos
A	Super	Mayor de 265
B	Extra	211-265
C	Clase I	171 - 210
D	Mediano	136-170
E	Comercial	85 - 135
F	Canica	Menos de 85

### 5.4 Tolerancias

Las tolerancias de calidad o de calibre se calculan en porcentaje del lote, en número de frutos, o por peso acorde a lo establecido en 7.1.

#### 5.4.1 Tolerancias de calidad

##### 5.4.1.1 Clase Extra (Suprema)

Se permite un 5 % de frutos de aguacate que no reúnan los requisitos de este grado de clasificación, pero que satisfagan los del grado Clase I.

##### 5.4.1.2 Clase I

Se permite un 10 % de frutos de aguacate que no reúnan los requisitos de este grado de clasificación, pero que satisfagan los del grado Clase II.

##### 5.4.1.3 Clase II

Se permite un 10 % de frutos de aguacate que no reúnan los requisitos de esta clasificación, siempre que cumplan los requisitos del punto 5.1.

#### 5.4.2 De calibre

De acuerdo a su grado de clasificación, en el producto objeto de esta Norma Mexicana, se permite un 10 % de frutos que no satisfagan los requisitos de calibre siempre que se ajusten al inmediato superior o inferior.

## 4. Muestreo

**4.1** Tamaño de muestra para determinar defectos extremos y especificaciones de calibre. La muestra mínima debe representar el 0.3 % del lote.

**4.2** Tamaño de muestra para determinar defectos internos y materia seca. De la muestra obtenida en el 6.1, se toma una unidad por cada envase.

Cuando el cargamento este integrado por más de un lote, el muestreo se realiza por cada lote.

## 5. Método de Prueba

### 5.1 Cálculo de porcentajes para determinación de defectos extremos y calibres de tamaño

Cuando se conoce el número de unidades contenidas en el envase, el cálculo de porcentajes se debe determinar con base en un conteo de frutos. Cuando las unidades contenidas en el envase se desconocen, el cálculo se debe determinar con base en el peso neto de los frutos en la muestra con relación al peso neto del envase o por otro método equivalente.

### 5.2 Determinación de defectos internos

Se corta el fruto y si presenta fibra de color negro, olor avinagrado o sabor amargo el lote se rechaza en cualquier categoría.

## 7.3 Determinación de la materia seca

### 7.3.1 Materiales

- a) Homo de microondas;
- b) Balanza granataria o digital con sensibilidad de 0,01g y capacidad de 2 kg;
- c) Papel filtro o crisol;
- d) Pelapapas y cuchillo; Tabla
- e) de corte.

### 7.3.2 Procedimiento

Se anota el número de lote y el nombre del productor en la hoja de "cálculo de materia seca". Se toma una muestra al azar de 5 frutos por lote. Se pesa el papel y se anota su peso. Cada fruto se corta por la parte superior a 1 o 2 cm del pedúnculo para apoyarlo en la tabla de cone, posteriormente se cona longitudinalmente en mitades. A una de las mitades se le quita la cascara, se remueve el hueso y la cutícula que quede adherida a la pulpa. Con un pelapapas se cortan rebanadas delgadas longitudinales y se esparcen en el papel filtro o crisol, hasta alcanzar un peso de por lo menos 10 g Se registra el peso húmedo neto de la muestra. Se debe cuidar de no mezclar la pulpa de los diferentes frutos, manteniendo una muestra separada por cada uno de los frutos.

Una vez que se tienen las muestras (5), se colocan en el homo de microondas y se ponen a deshidratar por 10 minutos, usando del 60 al 75 % de la potencia del homo, sin que llegue a carbonizarse el tejido de la muestra.

Se saca cada una de las muestras del homo, se pesan y se ponen otro minuto adicional para comprobar el peso constante y posteriormente se anota en el apartado de peso seco.

Se calcula el porcentaje de la materia seca realizando la operación siguiente:

$$\% \text{ de materia seca por fruta} = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso del papel} \times 100}{\text{Peso húmedo neto}}$$

Si alguna de los 5 frutos esta por abajo del 21 % de materia seca, pero por arriba de 19 %, se repite el procedimiento utilizando esta vez una muestra de 10 frutos. Si en el primer muestreo hay algún fruto por debajo de 19 %, o en el segundo muestreo se vuelve a presentar algún fruto con un porcentaje menor al 21 %, se rechaza el lote en cualquier clasificación.

Se considera el 21% en contenido de materia seca de cada fruto como el mínimo aceptable para la autorización de corte y proceso.

**7.4** Para la determinación del peso unitario se requiere de una balanza granataria (con resolución de 0.1 gramo) o un dinamómetro ("Romana", con resolución de 5 gramos).

Los resultados deben expresarse en gramos en ambos casos. El resultado final será la media aritmética de las determinaciones realizadas y con base en este se podrá designar el calibre al que corresponda de acuerdo a la Tabla 1.

## **8. Marcado, Etiquetado, Envase y Embalaje**

### **8.1. Marcado o etiquetado**

Cada envase debe llevar en el exterior de uno de los extremos, la impresión o etiqueta permanente, con caracteres legibles e indelebles redactados en español (sin perjuicio de que además se expresen en otro idioma), conteniendo como mínimo los siguientes datos:

- a) Nombre y dirección del productor o emparador;
- b) La leyenda "Producido en México" o país de origen;
- c) Nombre genérico del producto: aguacate;
- d) Grado de calidad y calibre contenida en el envase, y;
- e) Fecha de empaque.

### **8.2. Envase**

Cada envase debe reunir las siguientes características:

- a) Los materiales usados para el envase del aguacate deben ser limpios y libres de cualquier material extraño;
- b) El envase debe satisfacer las características de resistencia y ventilación adecuada a la fruta;
- c) Los envases pueden ser de canon, madera, madera-cartón u otros materiales convenientes, de las dimensiones que se adapten a las necesidades de mercadeo y transportación nacional o internacional, según el caso;
- d) Se permite en el envase, el uso de tintas, materiales de papel o etiquetas impresas y que las tintas y pegamentos no presenten ninguna toxicidad, y;
- e) El contenido de cada envase debe ser homogéneo y contener únicamente aguacates del mismo origen, variedad, fecha de empaque, calidad y calibre (ver Capítulo 5).

### **8.3. Embalaje**

El material del embalaje debe ser resistente, de tal manera que garantice el buen manejo y conservación del producto. El acomodo del aguacate dentro de los envases en el embalaje debe realizarse cuidadosamente para evitar ser dañado.

## **9. Vigencia**

La presente Norma Mexicana entrara en vigor a los 60 días naturales siguientes al día de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

## 10. Concordancia con normas internacionales

La presente Norma Mexicana es modificada (MOD) conforme a la Norma Internacional CODEX STAN-197-1995 *Norma del CODEX para el aguacate*, y difiere en los siguientes puntos.

Capitulo/Inciso al que aplica la diferencia	Desviación técnica /Justificación
1	Se aplica exclusivamente al aguacate de la variedad Hass, que es la variedad predominante en la producción y el mercado de México.
1.2	Se incorpora una indicación aplicable al producto orgánico.
2	Se incluye el capítulo de Referencias normativas de acuerdo a la NMX-Z-013-SCFI-2015.
5.2.1	La Norma Codex denomina "Extra" a la clasificación superior de calidad, para efectos de la presente Norma Mexicana se adiciona el termino coloquial "Suprema" de uso común en el territorio nacional.
5.3	La categorización de calibres de la Norma Codex esta desalTollada para un envase de 4 kilogramos netos de fruta por caja, apegándose a la práctica comercial de Europa.
7.3.2	Se incluye un procedimiento específico para la determinación del contenido de materia seca.

## Bibliografía

**a.** NOM-066-FITO-2002

Especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación en 2055-05-18.

**b.** NMX-Z-013-SCFI-2015

Guía para la estructuración y redacción de Normas Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación en 2015-11-18.

**c.** CODEX STAN-197-1995

Norma del CODEX para el aguacate

Ciudad de México, a  
El Director General de Normas

Lie. Alberto Ulises Esteban Marina

## **VII. ANEXO 2**

Tabla 12. Comparación de media de pérdida de peso fresco de frutos de aguacate Hass

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)								
	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	2.4Ae	4.9Ade	5.6Ade	9.9Acd	12.8Abc	13.3Abc	13.5Abc	19.2Aab	21.9Aa
2	2.4Ae	5.6Ade	5.2Ade	6.9Acde	13.0Aabc	10.8Abcd	12.7Aabc	17.8Aa	16.0Aab
3	2.0Ab	3.2Aab	4.4Aab	12.5Aa	10.4Aab	11.1Aa	14.2Aa	14.2Aa	16.5Aa
4	2.7Ae	5.2Ae	5.9Ade	10.0Acde	13.2Abc	12.7Abcd	13.6Abc	19.4Aab	22.2Aa

Tratamientos: testigo sin permanganato de potasio (1); permanganato de potasio más óxido de aluminio (2); permanganato de potasio más vermiculita (3); permanganato de potasio (4). Las cifras representan el promedio de 4 repeticiones. Letras mayúsculas iguales en cada columna indican medias sin diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P < 0.05$ ). Letras minúsculas diferentes en cada fila indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P < 0.05$ ).

Tabla 13. Comparación de media de tasa respiratoria de frutos de aguacate Hass.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)								
	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	0.009Abc	0.005Ab	0.007Abc	0.011Cb	0.006Bbc	0.007Abc	0.025Aa	0.007Abc	0.009Abc
2	0.008ABcd	0.004Ad	0.006Acd	0.018Bb	0.010Bc	0.006Acd	0.030Aa	0.007Acd	0.009Acd
3	0.005BCc	0.005Ac	0.010Abc	0.019Bb	0.010Bbc	0.008Ac	0.034Aa	0.005Ac	0.009Abc
4	0.005Cd	0.005Ad	0.006Acd	0.026Aab	0.016Abc	0.009Acd	0.028Aa	0.012Acd	0.014Acd

Tratamientos: testigo sin permanganato de potasio (1); permanganato de potasio más óxido de aluminio (2); permanganato de potasio más vermiculita (3); permanganato de potasio (4). Las cifras representan el promedio de 4 repeticiones. Letras mayúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P < 0.05$ ). Letras minúsculas diferentes en cada fila indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P < 0.05$ ).

Tabla 14. Comparación de media de porcentaje materia seca de frutos de aguacate Hass.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)								
	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	20.75a	19.75a	17.5a	20a	17.75a	17.5a	19.5a	17.5a	20.75a
2	19.25a	19.75a	17.5a	15.5a	20a	21.5a	20a	17.75a	19.5a
3	19a	19.75a	18.5a	20.25a	17.75a	17.25a	20a	18.5a	19.5a
4	19a	19.25a	19.75a	22.75a	18.25a	20a	19.75a	22a	21.75a

Tratamientos: testigo sin permanganato de potasio (1); permanganato de potasio más óxido de aluminio (2); permanganato de potasio más vermiculita (3); permanganato de potasio (4). Las cifras representan el promedio de 4 repeticiones. Letras diferentes en la tabla, indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Tabla 15. Comparación de media firmeza de frutos de aguacate Hass.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)											
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
1	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	5.1c	5.2bc
2	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	5.6bc	10.9a
3	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	10.1ab	3.8c
4	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	12a	3.7c	2.8c

Tabla 16. Comparación media Grados Brix de frutos de aguacate Hass.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)								
	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	0.11Abc	0.08Ac	0.24Abc	0.14Abc	0.11Abc	0.22Abc	0.21Abc	0.22Abc	0.2 Abc
2	0.11 A b	0.11 A b	0.17 A b	0.23 A b	0.11 A b	0.24 A b	0.16 A b	0.18 A b	0.15 A b
3	0.10 A b	0.22Aab	0.21 Ab	0.19Aab	0.10 Ab	0.19Aab	0.12 A b	0.12 A b	0.16 A b
4	0.15 A c	0.20Abc	0.29Aabc	0.21Abc	0.21Abc	0.21Abc	0.21Abc	0.21Abc	0.22Abc

Tratamientos: testigo sin permanganato de potasio (1); permanganato de potasio más óxido de aluminio (2); permanganato de potasio más vermiculita (3); permanganato de potasio (4). Las cifras representan el

promedio de 4 repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Tabla 17. Comparación media ac. titulable de frutos de aguacate Hass.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)								
	3	6	9	12	15	18	21	24	27
1	0.11Aab	0.08Ab	0.24Aa	0.14Aab	0.11Aab	0.22Aa	0.21Aa	0.22Aa	0.21Aa
2	0.11Ab	0.11Ab	0.17Aab	0.23Aa	0.11Ab	0.24Aa	0.16Aab	0.18Aab	0.15Aab
3	0.10 Aa	0.22 Aa	0.21 Aa	0.19 Aa	0.10 Aa	0.19 Aa	0.12 Aa	0.12 Aa	0.16 Aa
4	0.15 Aa	0.20 Aa	0.29 Aa	0.21 Aa	0.22 Aa				

Tratamientos: testigo sin permanganato de potasio (1); permanganato de potasio más óxido de aluminio (2); permanganato de potasio más vermiculita (3); permanganato de potasio (4). Las cifras representan el promedio de 4 repeticiones. Letras mayúsculas iguales en las columnas indican medias sin diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P < 0.05$ ). Letras minúsculas diferentes en las filas indican diferencias significativas de acuerdo a Tukey ( $P < 0.05$ ).

Tabla 18. Escala de severidad de antracnosis en los frutos de aguacate Hass.

Daño visible por patógenos	Grado de severidad
	1) Sin síntomas de pudrición, ni signos del patógeno
	2) Sin síntomas de pudrición, con signos del patógeno limitados a la zona del pedúnculo
	3) Con síntoma de pudrición y signos del patógeno en la zona adyacente al pedúnculo.
	4) Con síntomas avanzados de pudrición y signos del patógeno cubriendo un área mayor que en el nivel anterior.

Fuente: Elaboración propia.