



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

## **PREBIÓTICO, *Bacillus subtilis* Y FOSFITO DE POTASIO PARA EL CONTROL DE ANTRACNOSIS Y CALIDAD POSTCOSECHA DEL AGUACATE 'MÉNDEZ'**

ELIZETH VIZCAÍNO RÍOS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

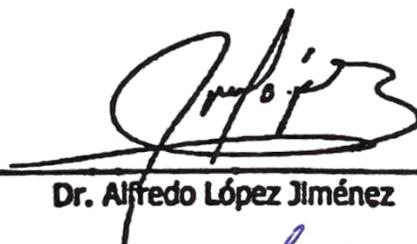
2021

La presente tesis titulada: **Prebiótico, *Bacillus subtilis* y Fosfite de Potasio para el Control de Antracnosis y Calidad Postcosecha del Aguacate 'Méndez'**, realizada por la alumna: **Elizeth Vizcaíno Ríos**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



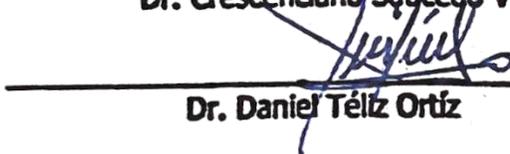
Dr. Alfredo López Jiménez

ASESOR (A)



Dr. Crescenciano Saucedo Veloz

ASESOR (A)



Dr. Daniel Téliz Ortiz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2021

# **PREBIÓTICO, *Bacillus subtilis* Y FOSFITO DE POTASIO PARA EL CONTROL DE ANTRACNOSIS Y CALIDAD POSTCOSECHA DEL AGUACATE 'MÉNDEZ'**

Elizeth Vizcaíno-Ríos, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

## **RESUMEN**

La antracnosis causada por el hongo *Collectotrichum* spp. es una de las principales enfermedades del aguacate. El productor realiza aplicaciones continuas de diferentes fungicidas, lo que afecta la salud humana y el ambiente. Por tal razón se realizó esta investigación en las zonas productoras de Ziracuaretiro (H1) y Salvador Escalante (H2), Michoacán, México. Los tratamientos consistieron en aspersiones foliares: 1) manejo convencional (MC), de acuerdo con la experiencia del técnico; 2) estrategia de manejo integrado del cultivo (MIC), que incluyó a) un prebiótico (BioKakimu ®), b) *Bacillus subtilis*, y c) fosfito de potasio, con base en un Modelo de Pronóstico de Antracnosis; y 3) un testigo absoluto, sin aspersiones foliares. El efecto de los tratamientos se midió en frutos cosechados en madurez fisiológica y las variables a evaluar fueron: severidad de la antracnosis postcosecha, y la calidad de los frutos hasta madurez de consumo. El daño de la enfermedad fue menor al 10 % de la superficie de frutos del cultivar 'Méndez' en el periodo de la evaluación en los tres tratamientos. Sin embargo, el tiempo de maduración se retrasó en el tratamiento MIC en 12.4 días en H1 y 10.6 días en H2. Los frutos del tratamiento MIC perdieron menos peso en H1 (7.6 %) que en H2 (8.48 %) al llegar a madurez de consumo. La firmeza de los frutos en H1 fue superior en los tratamientos MIC y testigo, mientras que en el H2 la firmeza de los tres tratamientos no fue significativamente diferente ( $p>0.05$ ). Durante la maduración, los frutos de los tres

tratamientos en el H1 y H2 presentaron un perfil de índice de color (IC) con tendencia a la disminución. Hubo diferencias en la concentración nutrimental entre tratamientos; sin embargo, el tipo de manejo de cultivo (MC y MIC) no implicó un mayor incremento en la concentración nutrimental del mesocarpio del fruto.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill; *Colletotrichum* spp; *Bacillus subtilis*; prebiótico; fosfito de potasio; calidad postcosecha.

**PREBIOTIC, *Bacillus subtilis* AND POTASSIUM PHOSPHITE FOR THE CONTROL OF ANTHRACNOSE AND POSTHARVEST QUALITY OF AVOCADO**

**‘MÉNDEZ’**

Elizeth Vizcaíno-Ríos, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2021

**ABSTRACT**

Anthracnose caused by the fungus *Collectotrichum* spp. It is one of the main avocado diseases. Farmers continuously spray different fungicides, which could have a harmful effect on human health and on the environmental safety. The objective of this research was the organic management of anthracnose. The work was conducted in two orchards (H1 and H2) located in the state of Michoacán on Hass-Mendez avocado trees. Treatments: 1) Conventional foliar sprays (based on the experience of the field technician, MC); 2) Integrated crop management (MIC), which included: a) prebiotic, b) *Bacillus subtilis* plus c) potassium phosphite based on an anthracnose forest model; and 3) control trees (without any spray). Fruits were harvested at physiological maturity and the variables were: postharvest symptoms severity and fruit quality at consumption maturity. Disease incidence was low (less than 10% of fruits in the two orchards). However, the maturation time was delayed 12.4 days in H1 and 10.6 days in H2 in the MIC treatment. Fruits from the MIC treatment resulted with less weight loss in H1 (7.6%) and H2 (8.48%) at consumption maturity. Fruit firmness in the three treatments was not significantly different ( $p > 0.05$ ). During ripening, the fruits of the three treatments in H1 and H2 presented a color index profile (CI) with a tendency to decrease. There were differences in nutrient concentration between treatments; However, the type of cultivation

management (MC and MIC) did not imply a greater increase in the nutrient concentration of the fruit mesocarp.

**Key words:** *Persea americana* Mill; *Colletotrichum*; *Bacillus subtilis*; probiotic; potassium phosphites; quality.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada.

Al colegio de Posgraduados, por brindarme las facilidades para desarrollarme académicamente.

A los profesores que contribuyeron en mi formación académica y humana.

Al Dr. Alfredo López Jiménez, por todas sus enseñanzas durante estos años.

Al Dr. Daniel Téliz-Ortíz, por el apoyo brindado a esta investigación.

Al Dr. Crescenciano Saucedo-Veloz, por su asesoría durante toda la investigación.

Al Dr. Alfonso Muratalla Lúa, por su disponibilidad para la revisión de esta tesis.

A la Dra. Elisa Durán Peralta, por compartir conmigo sus experiencias y conocimientos.

A la Dra. Nallely Rosas Flores, por su apoyo en el área de laboratorio.

A Arturo Calderón Mora, por sus consejos y enseñarme herramientas útiles para mi tesis.

A Martín Galicia Lucas, por sus valiosas sugerencias.

A la Ing. Ariana Lizet Sánchez Gudiño y al Ing. Luciano Hernández Blanco por su colaboración en los Huertos.

A Sarael España Villalva, por sus evaluaciones en campo.

A empresa Nutryplus, por financiar el prebiótico BioKakimu®.

A mis amigos Elissa, Adriana, Esli, Aminadab, María de Jesús y Saúl con los cuales he crecido y compartido la pasión por la ciencia.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, María del Rosario Ríos Preciado y Juan Manuel Vizcaíno Gutiérrez,

A mis hermanas, Sofía y Jacquelyn

A mis sobrinos, Sofía y Emilio

A mi prometido, Arturo Calderón Mora

A mis amigos

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> .....	ix
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	3
Objetivo general .....	3
Objetivos particulares.....	3
Hipótesis .....	3
<b>III. REVISIÓN LITERARIA</b> .....	4
Importancia del Aguacate en México.....	4
`Hass´ selección Méndez .....	4
Problemas Sanitarios del aguacate .....	6
Antracnosis en el cultivo de aguacate .....	9
Agente causal .....	9
Condiciones para el desarrollo de la enfermedad.....	11
Manejo convencional .....	13
Control químico .....	13
Manejo Integrado del Aguacate .....	16
Control cultural.....	18
Control biológico.....	19
Acción de los fosfitos, y otros agentes promotores de la defensa de las plantas.....	20
Modelos predictivos en cultivos agrícolas .....	23
Manejo postcosecha .....	25
Calidad de Frutos .....	25
Características fisicoquímicas .....	26
Características Fisiológicas .....	29
Conclusiones.....	31
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	33
Ubicación del área de estudio .....	33

<b>Material vegetal</b> .....	34
<b>Tratamientos de campo</b> .....	34
<b>Diseño experimental</b> .....	35
<b>Manejo agronómico</b> .....	36
<b>Muestreo de frutos</b> .....	37
<b>Información climatológica</b> .....	37
<b>Variables de estudio</b> .....	38
<b>Severidad (daño) de Antracnosis</b> .....	38
<b>Patrón de maduración</b> .....	38
<b>Porcentaje de pérdida acumulativa de peso</b> .....	38
<b>Firmeza de la pulpa</b> .....	39
<b>Índice de color</b> .....	39
<b>Estado nutrimental</b> .....	39
<b>Análisis estadístico</b> .....	40
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	40
<b>Municipio: Ziracuaretiro</b> .....	40
<b>Condiciones meteorológicas</b> .....	40
<b>Fenología</b> .....	42
<b>Severidad de antracnosis</b> .....	43
<b>Patrón de maduración</b> .....	48
<b>Pérdida de peso</b> .....	49
<b>Firmeza</b> .....	51
<b>Color externo</b> .....	53
<b>Estado nutrimental</b> .....	56
<b>Conclusiones del H1</b> .....	60
<b>Municipio: Salvador Escalante</b> .....	61
<b>Condiciones Meteorológicas</b> .....	61
<b>Fenología</b> .....	63
<b>Severidad de antracnosis</b> .....	64
<b>Patrón de maduración</b> .....	68
<b>Pérdida de peso</b> .....	69

<b>Firmeza</b> .....	71
<b>Color externo</b> .....	74
<b>Estado nutricional</b> .....	77
<b>Conclusiones del H2</b> .....	81
<b>Discusión General</b> .....	82
<b>VI. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	86
<b>VII. LITERATURA CITADA</b> .....	87
<b>ANEXOS</b> .....	107

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Normas aplicables al cultivo del aguacate en México (Secretaría de Economía, s.f <sup>1,2</sup> ).....	8
<b>Cuadro 2.</b> Listado de fungicidas recomendados para el control de antracnosis en el cultivo de aguacate (APEAM, 2020).....	14
<b>Cuadro 3.</b> Tratamientos precosecha. ....	35
<b>Cuadro 4.</b> Concentración nutrimental en el mesocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' del H1 en base a peso seco. ....	58
<b>Cuadro 5.</b> Relaciones de potasio, calcio y magnesio en frutos (MS) de aguacate 'Méndez' del H1. ....	59
<b>Cuadro 6.</b> Concentración nutrimental en el mesocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' del H2 en base a peso seco. ....	79
<b>Cuadro 7.</b> Relaciones de potasio, calcio y magnesio en frutos (MS) de aguacate 'Méndez' del H2. ....	80

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Lesiones externas en frutos de aguacate causadas por el hongo <i>Colletotrichum</i> spp. A diferente severidad de daño: A) Manchas pequeñas y esparcidas y B) Manchas agrandadas y unidas.....	10
<b>Figura 2.</b> Lesiones internas en frutos de aguacate causadas por el hongo <i>Colletotrichum</i> spp.....	11
<b>Figura 3.</b> Estructuras químicas del: a) fosfato ( $H_2PO_4^-$ ) y b) el fosfito ( $H_2PO_3^-$ ) (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).....	23
<b>Figura 4.</b> H1: “El charco”, ubicado en Ziracuaretiro, Michoacán.....	36
<b>Figura 5.</b> H2: “El Tzutzuki”, ubicado en Salvador Escalante, Michoacán. ....	36
<b>Figura 6.</b> Medias mensuales de humedad relativa, humedad foliar y precipitación desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H1, ubicado en el Municipio de Ziracuaretiro, Mich. ....	41
<b>Figura 7.</b> Medias mensuales de temperatura del aire y punto de rocío, así como temperatura máxima y mínima desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H1, ubicado en el Municipio de Ziracuaretiro, Mich. ....	41
<b>Figura 8.</b> Modelo fenológico propuesto del aguacate ‘Méndez’ del H1. Desarrollos florales: <sup>1</sup> verano-otoño; <sup>2</sup> invierno.....	43
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de severidad postcosecha: daño ligero (DL) y daño moderado (DM) de aguacate ‘Méndez’, con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H1. ....	45
<b>Figura 10.</b> Severidad de ataque de <i>Colletotrichum</i> spp. Con daño ligero (DL) y daño moderado (DM) en: manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y el testigo de aguacate ‘Méndez’ en el H1.....	47
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de la pérdida de peso durante la maduración a $24\pm 2$ °C del fruto de aguacate ‘Méndez’, con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H1 en Ziracuaretiro, Mich.....	51

<b>Figura 12.</b> Comportamiento de la firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate 'Méndez' del H1 almacenados al ambiente a $24\pm 2$ °C. Medias $\pm$ desviación estándar para n=5. ....	53
<b>Figura 13.</b> Cambios de color en el exocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo en el H1, al momento de cosecha y después de 9 días de almacenamiento ( $24\pm 2$ °C) hasta alcanzar la madurez de consumo. ....	55
<b>Figura 14.</b> Comportamiento del índice de color en frutos de aguacate 'Méndez' del H1 madurados directamente a $24\pm 2$ °C. ....	56
<b>Figura 15.</b> Medias mensuales de humedad relativa, humedad foliar y precipitación desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H2, ubicado en el Municipio de Salvador Escalante, Mich. ....	62
<b>Figura 16.</b> Medias mensuales de temperatura del aire y punto de rocío, así como temperatura máxima y mínima desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H2, ubicado en el Municipio de Salvador Escalante, Mich. ....	62
<b>Figura 17.</b> Modelo fenológico propuesto del aguacate 'Méndez' del H2. Desarrollos florales: <sup>1</sup> verano-otoño; <sup>2</sup> invierno. ....	64
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de severidad: daño ligero (DL) y daño moderado (DM) de aguacate 'Méndez', con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H2. ....	66
<b>Figura 19.</b> Severidad de ataque de <i>Colletotrichum</i> spp. Con daño ligero (DL) en: manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y el testigo de aguacate 'Méndez' en el H2. ....	67
<b>Figura 20.</b> Comportamiento de la pérdida de peso durante la maduración a $20\pm 2$ °C del fruto de aguacate 'Méndez', con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H2 en Salvador Escalante, Mich. ....	71
<b>Figura 21.</b> Comportamiento de la firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate 'Méndez' del H2 almacenados al ambiente a $20\pm 2$ °C. Medias $\pm$ desviación estándar para n=5. ....	72

<b>Figura 22.</b> Cambios de color en el exocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo en el H2, al momento de cosecha y después de 9 días de almacenamiento ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) hasta alcanzar la madurez de consumo.....	75
<b>Figura 23.</b> Comportamiento del índice de color en frutos de aguacate 'Méndez' del H2 madurados directamente a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .....	76

## I. INTRODUCCIÓN

En frutos de aguacate la antracnosis en campo se le conoce como “viruela” o “clavo” debido a los síntomas caracterizados por manchas color café oscuro y hundidas en forma de cráter presentes en la superficie del fruto (Zamora-Magdaleno *et al.*, 2001). La infección del fruto en huerta ocurre cuando el conidio del patógeno germina y forma apresorios (Da Silva y Michereff, 2013), pero la enfermedad causada por *Colletotrichum* spp. se vuelve importante durante la postcosecha debido a la quiescencia que presenta el patógeno. Es más grave en la etapa de postcosecha, en la que causa deterioro en la calidad de los frutos, lo cual limita su valor para la exportación y comercialización (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004).

La variación en el porcentaje de superficie infestada, así como la distribución espacial de la antracnosis, se deben a varias circunstancias que dependen, en gran parte, de la biología de la especie. También influyen factores agroecológicos y edafoclimáticos, entre los que se incluyen temperatura, humedad, precipitación, tipo de suelo, etcétera (Rodríguez *et al.*, 2020).

En la actualidad, el control de las especies fúngicas del género *Colletotrichum*, comúnmente se realiza mediante fungicidas químicos los cuales se aplican de manera preventiva o curativa. Sin embargo, el uso indiscriminado de estos fungicidas representa un riesgo a la salud humana (Damalas y Eleftherohorinos, 2011), daños al ambiente (Dong *et al.*, 2013) y los hongos desarrollan resistencia (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2003).

Debido a lo anterior, se puede realizar un manejo adecuado y efectivo de esta enfermedad utilizando alternativas, como son los microorganismos antagonistas que inhiben el crecimiento de fitopatógenos. Estudios previos han demostrado la capacidad que tienen algunas bacterias aisladas del mismo entorno del cultivo o distribuidas en las diferentes partes de la planta donde se presenta el problema, como las encontradas en la filosfera; por ejemplo, en aguacate se demostró que bacterias aisladas de las hojas pertenecientes al género *Bacillus* inhibieron el crecimiento micelial de *C. glosporioides* (Martínez-Sánchez., 2015). La ventaja de las bacterias autóctonas es que están adaptadas a las condiciones ambientales y que han estado previamente interactuando con los patógenos por lo que tienen mayores posibilidades de ejercer efectos antagónicos contra éstos (Moreira *et al.*, 2014). El papel que juegan los prebióticos está ganando un gran interés debido a que estimulan la acción antagónica del microbiota (BioGanar, 2015) y pueden ayudar a controlar la antracnosis y a reducir el uso de pesticidas químicos y la contaminación ambiental (Guardado-Valdivia *et al.*, 2018). Adicional, el uso de fosfitos como inductores de resistencia Adquirida (SAR), el cual consiste en un mecanismo natural desarrollado por las plantas para defenderse del ataque de microorganismos fitopatógenos y de insectos plaga (Daniel y Guest, 2005).

Este trabajo pretende ayudar al sector aguacatero a mejorar el control de la antracnosis del aguacate que, perjudica a la calidad postcosecha del fruto. Además, actualiza el conocimiento de la fenología del aguacate 'Méndez' de dos municipios de Michoacán.

## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivo general

Evaluar la influencia de un Prebiótico, un *Bacillus subtilis* y un Fosfito de Potasio y las condiciones climáticas de dos zonas productoras en el control de la antracnosis y calidad durante la maduración de frutos de aguacate cv. 'Méndez'.

### Objetivos particulares

- Determinar el efecto de las aplicaciones precosecha de fosfito de potasio, *Bacillus subtilis*, más un prebiótico (Biokakimu®) en el control de antracnosis y la calidad postcosecha del fruto cv. 'Méndez'.
- Registrar variables climáticas de dos localidades productoras de aguacate 'Méndez'.
- Proponer un modelo fenológico del aguacate 'Méndez' de los desarrollos florales en dos municipios de Michoacán.

### Hipótesis

Aspersiones foliares de un prebiótico, de *Bacillus subtilis* y un fosfito de potasio de acuerdo con el MPA mejorará el control de antracnosis y la calidad postcosecha del fruto de aguacate.

### III. REVISIÓN LITERARIA

#### Importancia del Aguacate en México

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es la cuarta fruta tropical más importante en el mundo. Presenta un creciente valor en el mercado internacional no solo por su calidad nutritiva sino también por sus usos medicinales y en la industria cosmética (Pérez Álvarez *et al.*, 2015). México es líder mundial en la producción de aguacate, en el 2019 contó con un promedio anual de 2 307 971 toneladas en una extensión de 235 317 hectáreas, obteniendo un rendimiento promedio de 10.63 t/ha<sup>-1</sup>. Michoacán es el principal estado productor de aguacate, con una superficie sembrada de 167 754 ha y con una producción promedio anual de 1 725 213 t (Chanderbali *et al.*, 2013; SIAP, 2019).

#### ‘Hass’ selección Méndez

Se observó por primera vez en 1986, en Uruapan, Michoacán, México, en un huerto con árboles de ‘Hass’, que un árbol poseía morfología similar en cuanto a sus hojas, estructura de la planta y apariencia de la fruta, pero distinto en la época de floración. Este árbol único mostró consistentemente un período de floración atípica, en comparación con los árboles adyacentes. El resultado de esta floración fuera de “temporada” fue un cultivo con alta producción de fruta de calidad que, alcanza la madurez fisiológica con suficiente contenido de aceite y significativamente más temprana. La maduración de esta fruta ocurre en la época de bajo volumen de cosecha, respecto a la floración normal del cv. Hass, pero coincide con la cosecha

de la floración "Loca" del del mismo cultivar Hass. Los frutos de esta floración son altamente deseables porque maduran durante el periodo de altos precios de mercado.

En 1997 se registró en California, Estados Unidos como cultivar Carmen Hass o Méndez. Los derechos legales están asegurados de acuerdo con el expediente No. Brokaw-36564 (Illsley-Granich *et al.*, 2011).

La principal distinción que se puede observar en la floración de 'Méndez' es que las yemas florales son inmediatamente seguidas por yemas foliares, esto permite que las nuevas hojas cubran y protejan el fruto que acaba de amarrar mientras que en el Hass convencional no hay crecimiento foliar en ese periodo para cubrir la nueva fruta. Esto lo hace más vulnerable en sus primeras etapas de desarrollo (Illsley-Granich *et al.*, 2011).

El fruto de aguacate 'Méndez' presenta un crecimiento de tipo simple sigmoide, el tiempo requerido de antesis a madurez fisiológica es de 10 meses (Salazar-García *et al.*, 2019). La madurez fisiológica de 'Méndez', se alcanza con 22.7% de materia seca de la pulpa (MS). Aunque la longitud de los frutos es similar al del cultivar Hass, el diámetro ecuatorial es mayor en 'Méndez' (6.72 cm) que en 'Hass' (6.42 cm). El comportamiento postcosecha de 'Méndez' en términos de cambio de color de la epidermis, producción de etileno, velocidad de respiración, días a madurez de consumo y pérdida de peso del fruto; así como en color, olor, sabor y textura de la pulpa es similar al de 'Hass' cuando los frutos de ambos cultivares son cosechados en madurez fisiológica (Herrera-González *et al.*, 2017).

En climas semicálidos la fenología de 'Méndez' es distinta a la de 'Hass' porque presenta una floración temprana atípica en el verano-otoño. Los frutos de esta floración suelen ser cosechados en los meses de menor producción de 'Hass' (junio-septiembre) (Illsley-Granich *et al.*, 2011).

### **Problemas Sanitarios del aguacate**

Entre los factores que limitan la productividad y longevidad del árbol del aguacate están las enfermedades. Éstas pueden ser causadas por microorganismos como hongos, bacterias y viroides (mancha de sol). Las enfermedades causadas por estos microorganismos son transmisibles, es decir, pueden diseminarse entre árboles y huertos aledaños por medio de injertos, acarreo de suelo contaminado para viveros, el viento, arrastre del agua de riego, insectos, etc. Es difícil establecer qué fitoparásitos del cultivo son lo más importantes en el mundo. La importancia varía dependiendo del país, región productora y del tipo de mercado (nacional o internacional). Además, la importancia puede estar dada por la distribución y severidad de daños que los patógenos ocasionan, o por su importancia cuarentenaria para un país importador, aunque estas plagas no causen daños significativos en el país de origen (Téliz y Mora, 2019).

Entre las enfermedades que destacan por su prevalencia y por los daños ocasionados al cultivo son: la tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinnamomi* Rands) que en cualquier etapa fenológica del cultivo origina decaimiento progresivo del árbol (Gabor *et al.*, 1990; Pagliaccia *et al.*, 2013); la mancha negra o cercospora (*Cercospora purpurea* Cooke) que causa manchas angulares en los márgenes de

las hojas, inicialmente de color marrón y luego de color púrpura, y las lesiones en el fruto aparecen como manchas rodeadas de halos amarillos (Pérez-Jiménez, 2008); el hongo *Fusarium* sp., responsable los síntomas típicos de marchitez y muerte regresiva (Freeman *et al.*, 2012); la roña (*Phaceloma perseae*), cuya enfermedad está directamente relacionada con la incidencia del daño de trips (Avila-Quezada *et al.*, 2002), armilaria (*Armillaria* sp.) que infecta principalmente raíces (Elías-Román *et al.*, 2018); y especies de *Colletrichum* spp. que causan antracnosis (Fuentes-Aragón *et al.*, 2020).

La producción de aguacate con calidad de exportación, bajo las normas de sanidad e inocuidad es altamente competitiva, debido al aumento en los rendimientos, optimización en el uso de los factores de producción y el precio de venta superior (Franco Sánchez *et al.*, 2018). En México existen dos tipos de normas: las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Normas Mexicanas (NMX), las cuales son aplicables tanto para mercado nacional y como para exportación (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Normas aplicables al cultivo del aguacate en México (Secretaría de Economía, s.f.<sup>1,2</sup>).

Clave	Fecha	Descripción
NOM-066-FITO-2002	2005-05-18	Especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate.
NOM-076-FITO-1999	2000-04-03	Sistema preventivo y dispositivo nacional de emergencia contra las moscas exóticas de la fruta.
NOM-128-SCFI-1998	1998-08-31	Información Comercial - Etiquetado de productos agrícolas-aguacate.
NOM-144-SEMARNAT-2004		Establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera.
NMX-FF-016-SCFI-2016	06-01-2017	Productos Alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca-aguacate Hass ( <i>Persea americana</i> mill).

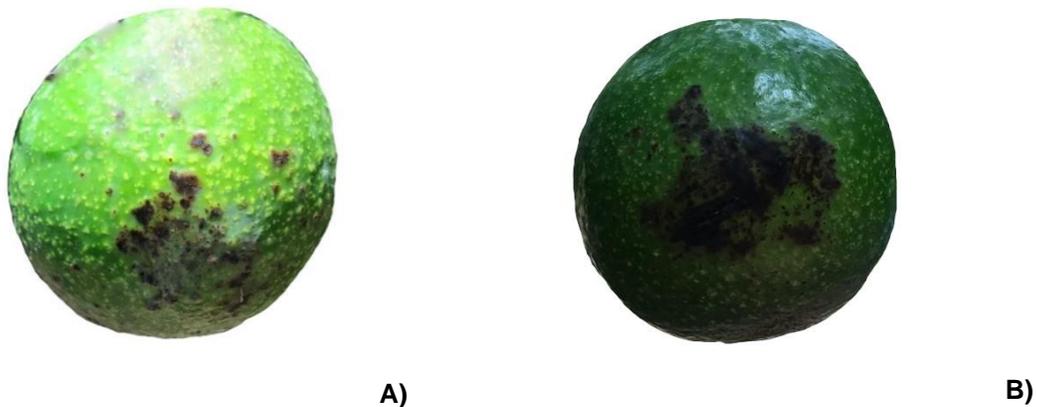
Un factor importante que también constituye un apoyo a los productores es su organización por medio de APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México) que les permite conocer y tener accesibilidad a capacitaciones, certificaciones, promoción del producto, entre otras.

## **Antracnosis en el cultivo de aguacate**

### **Agente causal**

El agente causal de la antracnosis es el hongo ascomiceto *Colletotrichum* spp (Binyamini y Schiffmann-Nadel, 1972). *Colletotrichum* comprende el estado asexual (anamorfo) de *Glomerella* (teleomorfo), el cual pertenece al phylum Ascomycota, clase Sordariomycetes, orden Glomerellales, familia Glomerellaceae (Réblová *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2015). De acuerdo con análisis filogenéticos han identificado complejos de especies del género *Colletotrichum*, los cuales están clasificados en clados, y los responsables de la antracnosis en aguacate son: el clado *C. acutatum* (comprende 29 especies), el clado *C. boninense* (18 especies) (Damm *et al.*, 2012) y clado *C. gloeosporioides* (22 especies) (Weir *et al.*, 2012).

La antracnosis es una infección quiescente, los síntomas son más visibles durante la maduración del fruto, lo cual se debe a los inhibidores de crecimiento fúngico que están presentes en los estados de desarrollo del hospedante, en frutos inmaduros el hongo permanece en latencia en estado de apresorio (Prusky, 1996a; Zamora-Magdaleno *et al.*, 2001). Eventualmente, el apresorio emite su punta infectiva que permanece subcuticularmente hasta que el fruto empieza a madurar, o antes del ablandamiento, que es cuando coloniza el exocarpio y mesocarpio (Binyamini y Schiffmann-Nadel, 1972).



**Figura 1.** Lesiones externas en frutos de aguacate causadas por el hongo *Colletotrichum* spp. A diferente severidad de daño: A) Manchas pequeñas y esparcidas y B) Manchas agrandadas y unidas.

Los síntomas en frutos comienzan con puntos pequeños, circulares, de color café a negro, con diámetro aproximado de 6-13 mm y se forman masas de esporas con coloración salmón, rosa o naranja (Dann *et al.*, 2013); las manchas oscuras pueden presentarse esparcidas por todo el fruto como se logra apreciar en la Figura 1A, (Willingham *et al.*, 2000), más daños por ablandamiento y pudrición de la pulpa o mesocarpo (Figura 2) (Kobiler *et al.*, 1993). Aunque, cuando se presentan infecciones severas, las manchas se juntan y forman áreas negras más grandes como se observa en la Figura 1B (Zamora-Magdaleno *et al.*, 2001). Las lesiones oscuras en el fruto se deben a la oxidación de polifenoles depositados en las paredes celulares de las células muertas y espacios intercelulares (Zamora-Magdaleno *et al.*, 2001).



**Figura 2.** Lesiones internas en frutos de aguacate causadas por el hongo *Colletotrichum* spp.

### **Condiciones para el desarrollo de la enfermedad**

*Collectotrichum* spp. es un hongo de distribución cosmopolita y con predominancia en los trópicos y subtropicos (Xiao *et al.*, 2004). El hongo tiene prevalencia en temporadas lluviosas o con humedad relativa alta (80-90%), la enfermedad inicia en condiciones de temperatura media mensual de 10 a 20°C (Avila-Quezada *et al.*, 2002). La alcalinización del árbol y las fuentes de nitrógeno orgánicas e inorgánicas externas predisponen al fruto del ataque y desarrollo de *Collectotrichum* spp. (Drori *et al.*, 2003), es decir, el incremento de pH en el pericarpio del fruto modula la secreción de pectato liasa, una enzima liasa producida por el fitopatógeno e implicada en la desorganización de la pared celular (Yakoby *et al.*, 2000).

La madurez del fruto es condicionante para que se presente la enfermedad, la resistencia de frutos inmaduros de aguacate a *Collectotrichum* spp., depende de la presencia de concentraciones significativas de compuestos antifúngicos (Prusky *et al.*, 1996a). Los cambios bioquímicos que ocurren durante la maduración del fruto se cree que son los que permiten que la infección continúe su curso; como es el aumento de concentraciones de etileno que inducen la formación y germinación de apresorios, estructuras de infección (Flaishman y Kolattukudy, 1994). En aguacate, el cambio de los compuestos antifúngicos llamados dienos (1-acetoxi-2-hidroxi-4-oxo-heneicoso-12,15-dienos), son importantes en la regulación de la quiescencia de la antracnosis (Prusky *et al.*, 1996a; Freeman *et al.*, 1998). Durante el ablandamiento del fruto, germina el apresorio y la hifa penetra el exodermis y mesodermis del fruto. La infección latente puede ocurrir en cualquier etapa de desarrollo del fruto (Binyamini y Schiffmann-Nadel, 1972).

Se han hipotetizado diferentes mecanismos responsables de la resistencia del fruto inmaduro al ataque del hongo durante la quiescencia: (i) la falta de suministro de nutrientes al patógeno en fruta inmadura, (ii) la ausencia de secreción de factores de patogenicidad de los patógenos (iii) la presencia de compuestos antifúngicos preformados y (iv) la producción de fitoalexinas y compuestos inducidos. Estos dos últimos mecanismos se han sugerido como los principales factores que inducen resistencia en el fruto de aguacate (Prusky, 1996b).

La susceptibilidad del fruto a antracnosis varía de acuerdo con las etapas fenológicas basadas en longitud, con valoración escalar: 1= 4-10 mm; 2= 11-23 mm; 3= 24-39 mm; 4= 40-66 mm; 5= 67-82 mm; 6>82 mm (Ávila-Quezada *et al.*, 2003).

## **Manejo convencional**

El principal objetivo del manejo convencional (MC) de la agricultura en la región aguacatera es satisfacer las necesidades inmediatas de productividad, es decir, aumentar rendimientos y cumplir con los estándares de calidad del mercado nacional e internacional, lo cual incluye la alta dependencia de los fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas. Este sistema también se caracteriza por los monocultivos donde existe una menor diversidad de especies (Altieri y Nicholls, 1994).

## **Control químico**

En la actualidad el control de las especies fúngicas del género *Colletotrichum*, comúnmente se realiza mediante fungicidas químicos los cuales se aplican de manera preventiva y curativa. Los ingredientes activos autorizados en los programas para la exportación de frutos de aguacate a los EE. UU. en Michoacán para el control de antracnosis en precosecha, se muestran en el Cuadro 2. aunque son efectivos dichos productos, pueden provocar resistencia del hongo, por lo que se deben aplicar con cuidado (Bill *et al.*,2014).

**Cuadro 2.** Listado de fungicidas recomendados para el control de antracnosis en el cultivo de aguacate (APEAM, 2020).

<b>Nombre Técnico</b>	<b>Clasificación para el manejo de la resistencia</b>	
	<b>Grupo químico</b>	<b>Modo de Acción</b>
Azoxystrobin	Metoxi-acrilatos	Respiración (C3. Complejo III: citocromo bc1 (ubiquinol oxidasa) en el sitio Qo (gen cyt b)
Azufre Elemental	Inorgánicos	Acción de contacto Multi-sitio
Azufre elemental + Oxicloruro de Cobre	Inorgánicas + Sales orgánicas de cobre	Acción de contacto Multi-sitio
Boscalid + Pyraclostrobin	Piridina-carboxamida + Metoxicarbamato	Inibidor del succinato deshidrogenasa + inhibidores de quinona
Cyprodinil+Fludioxonil	Anilinopyrimidina + Fenilpirrol	Actúa inhibiendo la biosíntesis de la metionina + actúa en el transporte asociado a la fosforilación de la glucosa
Folpet	M 04	Acción de contacto Multi-sitio
Fluoxastrobin	Dihidro-dioxazinas	Complejo III del proceso de respiración
Óxido Cúprico	Sales Inorgánicos de cobre	Acción de contacto Multi-sitio
Hidróxido de Cobre	Sales Inorgánicos de cobre	Acción de contacto Multi-sitio
Hidróxido Cúprico + Folpet	Sales Inorgánicos + Ftalimidas	Acción de contacto Multi-sitio
Oxicloruro de Cobre	Sales inorgánicas de cobre	Acción de contacto Multi-sitio
Óxido Cuproso	Inorgánico	Acción de contacto Multi-sitio
Octonoato de Cobre	Inorgánico (electrófilos)	Acción de contacto Multi-sitio

Nombre Técnico	Clasificación para el manejo de la resistencia	
	Grupo químico	Modo de Acción
Pyraclostrobina	Metoxicarbamato	inhibidores de quinona
Propiconazol	Triazoles	biosíntesis del ergosterol
Sulfato de Cobre Pentahidratado	Sales Inorgánicas de cobre	Acción de contacto Multi-sitio
Sulfato de Cobre	Sales inorgánicas de cobre	Acción de contacto Multi-sitio
Tiabenzadol	Bencimidazoles	Inhibidores de la mitosis y la división celular
Cloruro de Calcio Tribásico de Cobre	Inorgánico	Multi sitio
Thiram	Ditiocarbamatos	Actúa sobre los sistemas enzimáticos provocando una acumulación de ácido pirúvico que impide la germinación de las esporas.

Los fungicidas tiabendazol, estrobilurina y prochloraz son eficientes en el control postcosecha de enfermedades causantes de podredumbres (Everett *et al.*, 2005). Sin embargo, debido al aumento de restricciones en el uso de fungicidas en postcosecha, algunos países como Francia no permiten (Fischer *et al.*, 2018). Los fungicidas cúpricos y las estrobilurinas son comúnmente utilizados en el campo para el control de enfermedades en postcosecha, ya que inhiben la germinación de las esporas, en cambio el fluazinam inhibe el crecimiento micelial y la germinación de la espora, pero no actúa eficazmente en campo (Cook, 1996; Everett *et al.*, 2005). Adicionalmente, las mezclas de estrobilurinas y otros grupos de fungicidas, junto

con rotaciones con otros compuestos, son fundamentales para prevenir el desarrollo de cepas del patógeno resistente a estos compuestos (Bartlett *et al.*, 2002). Por esta razón, las mezclas de fungicidas cúpricos y sistémicos son tratamientos prometedores cuando los productores necesitan un efecto curativo.

### **Manejo Integrado del Aguacate**

El Manejo Integrado de Cultivos (MIC), es un enfoque ecológico para el control de plagas y enfermedades mediante la combinación de varias prácticas; por lo que no depende únicamente de productos químicos. MIC tiene un enfoque holístico de la producción de cultivos basados en un conocimiento ecológico sólido (Chowdhury *et al.*, 2009). Incluye prácticas como fertirriego (con diferentes sistemas de riego y dosis de fertilización), podas, control de malezas, control químico de plagas y enfermedades (Hernández *et al.*, 1999). Estos métodos complementarios minimizan impactos en el agroecosistema, teniendo en cuenta las necesidades de los productores, la sociedad en general y el medio ambiente (Kogan, 1998).

MIC no descarta los pesticidas químicos. Actualmente, existe una nueva generación de productos químicos con muy buenas características ambientales y de seguridad humana (Chandler *et al.*, 2008): los promotores de defensa de las plantas, entre estos están los fosfitos.

Algunos de los resultados obtenidos en México y en otros países sobre los tratamientos físicos, químicos y biológicos, aplicados individualmente y en combinación para el control de antracnosis en frutales han sido reportados en: mango cv. Tommy Atkins (*Mangifera indica* L.), se ha evaluado que la combinación

de los tres tratamientos presenta una efectividad de control ligeramente superior que su aplicación en individual (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004); en frutos de papaya Maradol Roja (*Carica papaya*) se ha comprobado la efectividad del control biológico de la antracnosis (*C. gloeosporioides*) mediante bacterias antagonistas y extractos de plantas con propiedades fungitóxicas, entre estos, aislamientos de *Bacillus firmus* y extractos de *Allium sativum* y *Eucalyptus globulus* (Banos-Guevara *et al.*, 2004); también, *B. subtilis* muestra capacidad de inhibición de crecimiento contra el patógeno *C. gloeosporioides* y *C. acutatum* (Korsten *et al.*, 1995; Kupper *et al.*, 2010; Ruiz-Sánchez *et al.*, 2014). Mezclas de diferentes extractos de plantas han mostrado ser eficientes para controlar la antracnosis de persimón (*Diospyros kaki* Thunb) en los sistemas de producción orgánicos y podrían ser utilizadas en sistemas MIC de otros frutales (Jang *et al.*, 2019). En cultivo de limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) MIC ha demostrado ser un potencial económico, ofreciendo a los agricultores incrementar sus rendimientos, una oportunidad para incrementar sus ingresos y rentabilizar la actividad (Ortiz-Vásquez *et al.*, 2020). Además de todas las alternativas biológicas recientes Moral *et al.* (2018) han presentado que la rotación de fungicidas sistémicos, cúpricos y orgánicos (extractos de plantas) es efectiva para el control de la antracnosis del olivo (*Olea europaea* subsp. *Europaea* L.) y para reducir el impacto ambiental.

Investigaciones previas indican que, bajo condiciones de campo, una propuesta de manejo integrado exhibe la mejor reducción de enfermedades y aumento en los rendimientos de frutos de aguacate. Algunas otras propuestas incluyen materia orgánica como componente importante del manejo integrado de

enfermedades de las plantas. En el cultivo de aguacate, existen varios ejemplos del uso de materia orgánica para el control de enfermedades causadas por *P. cinnamomi*, incluido el estiércol de bovino (Ramírez-Gil *et al.*, 2017; Ramírez-Gil, 2018; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2020).

Recientemente, Ramírez-Gil y Morales-Osorio (2020) proponen una serie de estrategias de de MIC para el control de *Phytophthora cinnamomi*, , que consiste en: inyección al tronco de fosfito de potasio(Agrifos®; aspersion foliar de fosetyl aluminio (Alliete WG®); adición de una capa de 15 cm de residuos de plantas y hongos; inoculación de diferentes poblaciones microbianas benéficas, entre estas, *Bacillus* sp., *Trichoderma* sp.; incorporación de materia orgánica, sustrato compostado de estiércol bovino y enmienda mineral, que no solo tiene un efecto positivo en los microorganismos sino también en la conservación del suelo; aplicaciones edáficas de auxina (ácido 1-naftalenacético); además una fuente de energía para mejorar la interacción microorganismos-hospedero (1000 g de sacarosa en 5 L de agua). Con esta propuesta incremento la cantidad y calidad de la fruta, y mejoró la relación costo/beneficio, lo que indica una mejor ganancia para los agricultores.

### **Control cultural**

El control cultural, incluye prácticas como: poda de ramas, eliminación de frutos momificados, eliminación de hojas muertas de la copa del árbol; que reducen el inóculo y crean condiciones inadecuadas para la infección, en particular en áreas de alta precipitación (Marais, 2004). La poda es una excelente medida preventiva

para el control de la antracnosis y otras enfermedades que atacan a la flor y al fruto, ya que se garantizan las aspersiones foliares y aplicaciones vía edáfica, es decir, el árbol recibe de forma homogénea el producto para el control de plagas y enfermedades, y la fertilización (Garrido Ramírez *et al.*, 2014).

### **Control biológico**

Los microorganismos utilizados en el control biológico cuentan con diversos mecanismos de acción para inhibir el crecimiento de los fitopatógenos, incluyen, entre otros: competición de nutrientes y espacio, la antibiosis, y producción de enzimas líticas, compuestos volátiles y fitohormonas. Cabe destacar, que algunos de los microorganismos pueden tener la capacidad de presentar más de uno de estos mecanismos de acción para ejercer algún efecto antagónico y suele poseer un mayor efecto, por lo que su probabilidad de sobrevivir es mayor con respecto a los otros que están presentes en su entorno (Köhl *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2013; Khabbaz *et al.*, 2015).

Varias bacterias antagónicas que secretan enzimas líticas son capaces de disolver la pared celular fúngica, resultando tener actividad depredadora de patógenos fúngicos (Xu *et al.*, 2014). Las bacterias antagonistas tienen un gran potencial para incrementar la inocuidad en fruta cosechada. El papel de los sobrenadantes libres de células en el biocontrol postcosecha de antracnosis en aguacate, reduce la severidad e incidencia de la enfermedad en fruta de aguacate cosechada (Guardado-Valdivia *et al.*, 2018).

Los prebióticos han surgido recientemente como alternativa de biocontrol en el manejo de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos. Los oligosacáridos son parte de este grupo de sustancias conocidas como prebióticos, su principal función es servir como fuente de energía al conjunto de microorganismos benéficos que se encuentran en el organismo (Luengas-Gómez *et al.*, 2012). Se han reportado organismos presentes en las hojas del árbol de aguacate asociados con el control de antracnosis y la pérdida de rendimiento del cultivo, como *Wickerhamomyces anomalus* o *Candida intermedia* (Campos-Martínez *et al.*, 2016). Por otro lado, existen estudios incipientes del uso de prebióticos para el control de *Colletotrichum* en árbol de tomate, utilizando BioKakimu® más fertilización con potasio al suelo, obteniendo resultados satisfactorios (Luengas-Gómez *et al.*, 2012).

### **Acción de los fosfitos, y otros agentes promotores de la defensa de las plantas**

Una estrategia, dentro del manejo integrado del cultivo, es el uso de compuestos químicos biocompatibles que mejoran la resistencia a las enfermedades en las plantas a través de la resistencia inducida (RI), tanto a nivel de campo como invernadero, e inclusive se registran efectos positivos a nivel de postcosecha, entre estos están: los compuestos fenólicos, los oligosacáridos, los fosfitos, el ácido  $\beta$ -aminobutírico (Daayf *et al.*, 2000; Shibuya y Minami, 2001; Altamiranda *et al.*, 2008; Machinandiarena *et al.*, 2012; Lopes. *et al.*, 2017; Ramírez-Gil y Morales-Osorio, 2020).

Los fosfitos recientemente se han catalogado como un fungicida de origen inorgánico, debido a que estas aplicaciones se han vuelto problemáticas a causa de

las frecuentes superaciones del nivel máximo de residuos (MRL, por sus siglas en inglés de maximum residue level) de ácido fosfónicos (fosfito) en la fruta, de acuerdo con lo permitido por Unión Europea (UE) (EFSA *et al.*, 2020). A nivel mundial, el MRL para los productos de ácido fosfónico en el aguacate varían ampliamente, desde estar exentos de tolerancia en los Estados Unidos de América, hasta 25 mg/Kg en Canadá (EPA, 2018); y para La Unión Europea y Sudáfrica los fosfitos en aguacate corresponden a una concentración de 50 mg/Kg (EFSA *et al.*, 2020). A pesar de los múltiples reportes, aún no existe un consenso en las concentraciones de fosfitos para evitar las superaciones del MRL, sin embargo, Masikane *et al.* (2020) demostraron que los residuos de fosfitos usados para el control de *Phytophthora cinnamomi* se pueden reducir mediante el uso de métodos específicos de aplicación (aspersiones foliares en vez de inyecciones al tronco) y los momentos de aplicación (otoño en lugar de verano).

El efecto negativo del uso intensivo de los fosfitos es la presión de selección que ejercen sobre las poblaciones de patógenos generando una sensibilidad reducida a las moléculas químicas o incluso una resistencia completa a ellas (Dobrowolski *et al.*, 2008). Adicionalmente, ocasionan alteración de las poblaciones microbianas en el suelo que pueden proteger a aguacate contra patógenos (Ramírez Gil *et al.*, 2013). Además, el uso continuo y altas dosis de fosfito de potasio inyectado en el tallo induce toxicidad en plantas de aguacate (Ramírez-Gil, 2018).

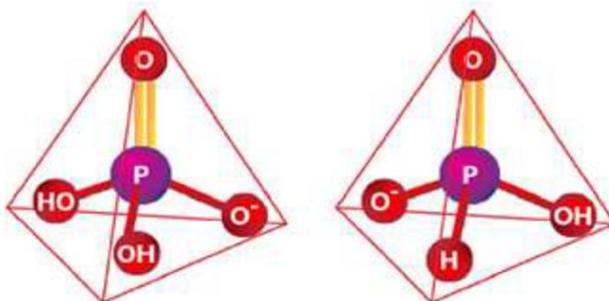
Los fosfitos son compuestos resultantes de la reacción del ácido fosforoso con iones de metales alcalinos como el K, Ca, Mg y Na, considerados como fuente importante de nutrimentos para los cultivos. Los fosfitos de potasio monobásico

( $\text{KH}_2\text{PO}_3$ ) y dibásico ( $\text{K}_2\text{HPO}_3$ ) se caracterizan por ser más solubles en agua y móviles en la planta, que los fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) (Monsalve *et al.*, 2012).

Muchos de los trabajos con fosfitos publicados están relacionados con el control de oomycetes. Y en algunos de estos se ha encontrado que hay un eficiente control en otros patógenos de cultivos frutícolas y hortícolas, como son *Colletotrichum* spp (Ogoshi *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2018). Sin embargo, hasta el momento nada se ha reportado en aguacate. Gisi y Sierotzki (2008), proponen la aplicación alternada de productos a base de fosfitos con fungicidas, con el fin de prevenir o reducir la aparición de resistencia de organismos fungosos.

La acción fungicida de los fosfitos puede ser explicada mediante dos vías. Un efecto indirecto relacionado con el incremento de la resistencia de la planta, ya que los fosfitos intervienen en el metabolismo de la planta como elicitores, estimulando la vía del ácido shiquímico, lo cual promueve la formación de metabolitos secundarios: terpenos, alcaloides, fenoles, peroxidasas, fitoalexinas y la acumulación de polímeros fenólicos, además de lignina, en el sitio de infección (Eshraghi *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2018). Otra vía de acción de los fosfitos es el efecto directo, es decir el fosfito absorbido por el hongo compete con el fosfato en diversas rutas metabólicas catalizadas por enzimas fosforilativas, pero no cumple plenamente su función debido a las diferencias en su estructura tridimensional (Figura 3), afectando la germinación conidial, inhibiendo la formación del apresorio

y mostrando una reducción del crecimiento micelial del patógeno (Lovatt y Mikkelsen, 2006; Ávila *et al.*, 2011; Ogoshi *et al.*, 2013).



**Figura 3.** Estructuras químicas del: a) fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y b) el fosfito ( $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ) (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).

### Modelos predictivos en cultivos agrícolas

La relación entre las variables meteorológicas y el desarrollo de cultivos, plagas y enfermedades se ha estudiado. En particular, la incidencia y severidad de enfermedades en función a variables de temperatura y humedad. La temperatura afecta todas las fases de la enfermedad de la planta, mientras la humedad es importante para el proceso de infección (germinación y penetración) y liberación de esporas. Las variables de humedad involucran a la humedad relativa (HR), a la duración de la humedad foliar (HF) y a la precipitación (Gillespie y Sentelhas, 2008). Las variables de temperatura incluyen temperatura ambiental y punto de rocío ( $^{\circ}\text{C}$ ).

En la actualidad, el estudio de la relación entre las variables meteorológicas y el desarrollo de plagas y enfermedades para predecir eventos de importancia

agrícola forma parte de un manejo integrado (Badnakhe *et al.*, 2018; De Oliveira Aparecido *et al.*, 2020). El pronóstico de la enfermedad en días o semanas antes de que una epidemia ocurra, permite que los productores respondan de manera oportuna y eficiente ajustando las prácticas de manejo de cultivos. Las mediciones o estimaciones de la duración de las variables meteorológicas permiten a los fitopatólogos diseñar esquemas de aspersiones calendarizadas que a menudo reducen el número de aspersiones necesarias para controlar las enfermedades de las plantas, lo que reduce costos y beneficia al medio ambiente. Los modelos meteorológicos también proporcionarán a los productores advertencias de pronóstico de posibles brotes venideros de enfermedades, lo que mejorará aún más la contribución de la agrometeorología al manejo de enfermedades de las plantas (Gillespie y Sentelhas, 2008). Además, una predicción de bajo riesgo de ocurrencia de la enfermedad puede favorecer un uso reducido de plaguicidas, y menores consecuencias económicas y ambientales (De Wolf y Isard, 2007).

Otra ventaja que se puede obtener de la información meteorológica en conjunto con las etapas fenológicas registradas y relacionadas es predecir la ocurrencia de eventos fisiológicos importantes del árbol. La fenología es la relación entre el clima y los fenómenos biológicos periódicos (Whiley *et al.*, 1988). Esto ayudaría a técnicos y productores a mejorar la respuesta del cultivo que incluye recomendaciones de selección de variedad, fertilización, manejo sanitario y riego, de acuerdo con las condiciones de clima y suelo de cada región (Reyes-Alemán *et al.*, 2015).

## **Manejo postcosecha**

Entre los métodos de control postcosecha se encuentran el uso de aire caliente, tratamientos hidrotérmicos, atmósferas modificadas (Gutiérrez-Alonso *et al.*, 2004; Karabulut y Baykal, 2004), tratamientos que usan la irradiación UV-C (Andrade y Moreno, 2010), ozono (Ong y Ali, 2015) extractos de plantas (Bautista-Baños *et al.*, 2003; Ademe, 2013). El control postcosecha usando agentes microbianos ha sido reportado como una alternativa eficiente, al uso de fungicidas sintéticos para el manejo del decaimiento de la fruta (Spadaro y Gullino, 2004; Droby *et al.*, 2009); microorganismos como: *Rodhotorula minuta*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Saccharomyces cerevisiae* (Vivekananthan *et al.*, 2004; Kefialew y Ayalew, 2008; Ruangwong *et al.*, 2012) y *Trichoderma* spp., entre otros (Valenzuela *et al.*, 2015).

## **Calidad de Frutos**

La calidad del aguacate se relaciona con diversos factores y puede tener distintos significados en las distintas etapas de la manipulación de la fruta en postcosecha. El consumidor percibe la calidad en términos de apariencia, sabor y precio. Por otro lado, el empacador, el distribuidor y el revendedor pueden percibir la calidad en términos de la facilidad de manipulación, uniformidad de embalaje y ausencia de defectos físicos, fisiológicos y patológicos. En cambio, el productor define el concepto de calidad como la ausencia total de defectos, una óptima distribución de tamaños y la distribución general de calibres (Arpia *et al.*, 2004).

El aguacate se cultiva en diferentes microclimas, que en conjunto con factores como manejo precosecha, variedad y portainjerto inciden en la calidad final de los frutos de aguacate en almacenamiento, particularmente en las características fisicoquímicas y fisiológicas durante la etapa de postcosecha (López-López y Cajuste-Bontemos, 1999; Herrera-González *et al.*, 2013).

### **Características fisicoquímicas**

Los estados de madurez, las condiciones edafoclimáticas de la zona y el manejo agronómico influyen directamente sobre las características fisicoquímicas del fruto. Los factores físicos como el peso, color y firmeza son parámetros que definen directamente la calidad de los frutos, debido a que se considera que interfiere con características como sabor, intensidad y sanidad (Moreno y Oyola, 2016).

El peso es un parámetro de selección que tiene influencia en la intención de comprar de los consumidores. El peso después de la cosecha es agrupado por determinados calibres definidos por la normatividad del país de destino (Secretaría de Economía, s.f.<sup>1,2</sup>; Escobar *et al.*, 2019). El peso de los frutos de aguacate depende del manejo del cultivo o variaciones ambientales de cada huerto a pesar de tener los mismos índices de madurez. En cuanto a la pérdida fisiológica de peso, los frutos de aguacate presentan un comportamiento continuo creciente durante toda la etapa de postcosecha (Márquez *et al.*, 2017). La pérdida de agua por transpiración es una de las causas de la pérdida de peso que se genera en el período de postcosecha. El principal componente de este frutal es el agua (72 % de

su peso) (Dreher y Davenport, 2013) y su pérdida no sólo trae como consecuencia una disminución del peso, sino también la formación de un producto flácido, poco atractivo y con disminución notable de la calidad comercial (Nunes *et al.*, 2009).

El aguacate es un fruto climatérico, es decir, carece de capacidad para madurar en el árbol; la maduración del fruto está asociado con un incremento en la respiración, regulada por la actividad de pirofosfato: fructosa-6-fosfato fosfotransferasa por un aumento de fructosa 2,6-bisfosfato (Bennett *et al.*, 1987). Durante la maduración ocurren varios cambios, entre ellos, la disminución de la clorofila y carotenoides y un aumento en el contenido de antocianinas en la cáscara (cianidina 3-O- glucósido) (Ashton *et al.*, 2006), lo que da como resultado el cambio de color de la piel de verde a púrpura oscuro (Cox *et al.*, 2004); este cambio ha sido utilizado para la clasificación subjetiva del aguacate, según su grado de madurez (Arzate-Vázquez *et al.*, 2011). Los pigmentos son importantes contribuyentes a la apariencia y a las propiedades saludables de los frutos de aguacate y de los aceites extraídos de los frutos (Ashton *et al.*, 2006). Sin embargo, el contenido de materia seca es el estándar mundial aceptado que determina el momento de la cosecha, momento que se alcanza la madurez fisiológica (Lee *et al.*, 1983).

Otro indicador del estado fisiológico requerido para el inicio del proceso de maduración es el contenido de agua que contiene el fruto al ser cosechado, sin embargo, después de la cosecha la pérdida de agua y el contenido de ABA estimulan y regulan la maduración (Blakey *et al.*, 2009).

El ablandamiento es el rasgo más característico del proceso de maduración de frutos de aguacate, se considera un criterio de referencia para evaluar la vida postcosecha (Ochoa-Ascencio *et al.*, 2009). Está bien establecido que el ablandamiento del fruto de aguacate es el resultado de la relación que existe entre la actividad de enzimas degradadoras de la pared celular, como son las poligalacturonasas, las pectinmetilesterasas y las celulasas junto con el aumento de la respiración y la producción de etileno en los primeros eventos de maduración de la fruta (Awad y Young, 1979; Bower y Cutting, 2011).

Sefu *et al.* (2015) han estudiado en frutos de mango (*Mangifera indica* L) como la incidencia y severidad de *C. gloeosporioides* afectan directamente algunos parámetros de calidad, como: la pérdida de peso, los sólidos solubles totales, la acidez titulable, el pH, la firmeza, la relación de sólidos solubles totales a acidez titulable. Los autores sugieren tratar la fruta con aceites esenciales para disminuir la pérdida de peso y ralentizar la pérdida de firmeza, debido a que estos tratamientos inhiben el crecimiento micelial en los frutos.

Recientemente los aceites esenciales han sido estudiados para ser incorporados en MIC, por ejemplo, el aceite de tomillo ha mostrado ser el mejor extracto para controlar el crecimiento micelial de *Colletotrichum musae* en plátano (*Musa acuminata*); además los extractos tienen implicaciones en la calidad del fruto, ya que reduce la pérdida de peso, mantiene el color y la firmeza, y conserva las propiedades organolépticas del fruto después del almacenamiento (Vilaplana *et al.*, 2018).

Por otro lado, otro método de control de enfermedades son las bacterias antagonicas del género *Bacillus*, que participan en la protección del fruto contra antracnosis, no alterar la calidad del aguacate (Guerrero-Barajas *et al.*, 2020).

### **Características Fisiológicas**

El estado nutricional de la planta tiene un efecto inmediato en la calidad del fruto y en la susceptibilidad a enfermedades, y esto se ha aprovechado para la reducción de la severidad de antracnosis (Marques *et al.*, 2006; Nam *et al.*, 2006). Por lo tanto, es necesario conocer el efecto de los nutrientes sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas en cada etapa fenológica y manejarlos en cada condición particular (Sánchez *et al.*, 2009).

Todas las plantas, incluyendo los árboles de aguacate, requieren de 17 elementos esenciales, estos macronutrientes, que se requieren en elevadas cantidades son: hidrógeno (H), carbono (C), oxígeno (O), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y azufre (S); y micronutrientes, requeridos en pequeñas cantidades: cloro (Cl), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y níquel (Ni) (Lovatt, 2013).

Las flores y frutos demandan altas concentraciones de P, K, Ca, B, Fe y S, en cambio, en hojas el Mg, Ca, Fe y S se encuentra en altas cantidades. El Boro favorece la germinación y el crecimiento del tubo polínico, la viabilidad del óvulo y la división celular durante los primeros estados de desarrollo del fruto. Las primeras etapas de formación del fruto requieren Ca y al final del desarrollo de este el Ca y

el K. La etapa de mayor crecimiento está relacionada con un aumento en N, P, K y B (Lovatt, 2013).

Estudios en frutales han demostrado correlaciones entre la concentración de nutrimentos, la calidad del fruto y la severidad de la antracnosis. Como en el caso de fresa, Choi *et al.* (2000) mostraron que a medida que disminuye el contenido de N en los tejidos, aumenta en la fresa los contenidos de Ca y Mn, que tienen un papel directo en el metabolismo fenólico. El Mn puede aumentar la síntesis de productos de defensa del hospedero y, por lo tanto, reducir la incidencia y/o severidad de la enfermedad (Huber y McCay-Buis, 1993), mientras que se ha demostrado que el Ca inhibe la antracnosis causada por *C. gloeosporioides* o *C. acutatum* en manzanas (Biggs, 1999) y disminuye desarrollo de enfermedades postcosecha en fresa (Chéour *et al.*, 1990). Elevadas concentraciones de N y K en la solución del fertilizante aumentan la severidad de antracnosis en contraste con el P y el Ca (Nam *et al.*, 2006). Además, concentraciones elevadas de N determinan la severidad de decoloración del mesocarpio del fruto de aguacate.

La disminución de las concentraciones de Cu, Mg y B durante la precosecha también contribuyen al desarrollo del trastorno (Van Rooyen y Bower, 2005). El Cu es necesario para la actividad metabólica normal de las plantas, ayudando a la formación de clorofila y manteniendo un equilibrio adecuado entre el nitrógeno y la reducción del contenido de azúcar de las plantas (Marschner, 1995). El Zn, el Cu, el Fe y el Mn son componentes importantes de las enzimas desintoxicantes, y algunos elementos están directamente involucrados en la cadena de transporte de

electrones fotosintética. La fotólisis del agua está mediada por una enzima que contiene Mn unida al fotosistema II (Marschner, 1995).

Los portainjertos y variedad influyen sobre la calidad interna del fruto de aguacate ya que estos pueden tener diferente capacidad de absorber y transportar nutrimentos, así como compuestos orgánicos a la copa del árbol (Herrera-González *et al.*, 2013)

En varios informes, han revelado efectos de los nutrientes sobre la severidad de las enfermedades (Dordas, 2008; Veresoglou *et al.*, 2013). Por ejemplo, *B. subtilis* y *C. gloeosporioides* pueden utilizar varios carbohidratos y aminoácidos como únicas fuentes de carbono y nitrógenos, respectivamente. Havenga *et al.* (1999) mostraron que la disponibilidad de carbohidratos específicos (ácido cítrico, D (+) galactosa, piruvato y benzoato) y aminoácidos (L (+) asparagina y ácido L-aspartico) es crucial para el desempeño efectivo de *B. subtilis* como antagonista. Para el caso de *C. gloeosporioides*, la fructosa es la mejor fuente de carbono para el crecimiento y esporulación de la mayoría de los aislamientos (Kumara y Rawal, 2010). De esta forma, la nutrición tiene un impacto significativo en interacciones patógeno-antagonista.

## **Conclusiones**

Dada la importancia creciente del cultivar 'Méndez' es necesario desarrollar tecnología de producción apropiada para este cultivar de aguacate. Las enfermedades del aguacate afectan la productividad, y una de las más importantes por su prevalencia en postcosecha es: la antracnosis causada por el hongo

*Colletotrichum* spp. que se encuentra distribuida en todos los municipios donde se cultiva este frutal en el estado de Michoacán. Hay métodos de control de antracnosis disponibles que pueden reducir la incidencia y severidad; sin embargo, no se aplican de manera constante y oportuna. Además, los agricultores en la región aguacatera utilizan productos químicos de manera repetitiva, como MC.

Un adecuado manejo de huerto consiste en la realización oportuna de prácticas agrícolas basadas en la fenología de la planta, el monitoreo de plagas y enfermedades observando su interacción con el clima y el suelo de cada sitio (Reyes-Alemán *et al.*, 2015). El MIC incluye una amplia gama de métodos de control disponibles, los cuales son: control químico, cultural, biológico, resistencia de la planta huésped y herramientas para la toma de decisiones, como son los modelos de pronóstico de enfermedades (Chandler *et al.*, 2008). Diferentes estudios sugieren que los métodos de control individuales no son tan efectivos como cuando se aplican en combinación (J. G. Ramírez-Gil *et al.*, 2017; Campo-Arana *et al.*, 2019). Por tal motivo, se hace una revisión de las diferentes estrategias de manejo del cultivo para el control de enfermedades tanto en aguacate y otros frutales de relevancia económica.

En el futuro, el desarrollo de tecnología agrícola inteligente se centrará en la recopilación de variables meteorológicas, incluyendo información ambiental histórica y el monitoreo en tiempo real para optimizar toda la cadena de valor de la industria agrícola. Aún queda mucho por implementar en el MIC, es necesario desarrollar modelos de predicción con una cooperación más estrecha entre las tecnologías de comunicación, redes y software (Kim *et al.*, 2018).

Las variables en postcosecha dependen de diversos factores, entre los que se destacan los genéticos, climáticos y agro culturales (típicos de cada cultivo y región). En un sistema de producción agrícola: la inocuidad del fruto afecta la aceptabilidad, calidad y tiempo de almacenamiento; y la nutrición del cultivo, ya sea un elemento en exceso o deficiente limita el óptimo desarrollo de la planta y afecta directamente su rendimiento y calidad (Sánchez *et al.*, 2009).

La revisión de literatura en este documento deriva del desarrollo y ejecución, por varios años, de proyectos de investigación, lo cual son una fuente confiable de reportes (resultados) obtenidos en México o en otros países sobre aguacate u otros frutales estudiados sobre el manejo de antracnosis y la calidad de frutos.

#### **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **Ubicación del área de estudio**

El área de estudio se realizó en dos huertos comerciales ubicadas en el Estado de Michoacán, México. El huerto uno (H1) “El Charco”, ubicado en el municipio de Ziracuaretiro (19° 23′ 33″ N y 101° 51′ 37″ O), a una altura de 1,510 msnm, clima de tipo semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A)C(w<sub>2</sub>)(w) con temperatura de 18-22 °C, precipitación anual 1000-1500 mm anuales, humedad relativa del 70 al 90%, con 1-4 granizadas anuales y posibilidad de 0-10 heladas anuales (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010). El huerto dos (H2) “El Sapo Verde” en la localidad de Jujucato, municipio de Salvador Escalante (19° 25′ 47″ N y 101° 47′

15´ O), a una altura de 1960 msnm, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano C(w<sub>2</sub>)(w) (García, 1964), con temperatura media anual de 16-20 °C, precipitación anual de 1200-1500 mm anuales, humedad relativa del 70 al 90%, con 4 granizadas anuales y posibilidad de 1-20 heladas anuales (Gutiérrez-Contreras *et al.*, 2010).

### **Material vegetal**

EL H1 lo conforman árboles de 18 años y el H2 árboles de 10 años, ambos con variedad 'Méndez', todos injertados sobre raza mexicana originados por semilla, establecidos bajo un sistema de plantación marco rectangular, con una distancia entre árboles de 9x6 m y 8x6 m en H1 y H2, respectivamente.

### **Tratamientos de campo**

Se aplicaron las dosis recomendadas por el producto comercial (cuadro 3). Para el caso de manejo convencional (MC) la frecuencia de las aspersiones fue con un intervalo de 15 a 20 días; y las aspersiones del tratamiento manejo integrado del cultivo (MIC) se basaron en el Modelo de Pronóstico contra Antracnosis (Durán-Peralta *et. al.* 2017), el cual se basa en condiciones climáticas necesarias para el inicio de infección de *Colletotrichum* spp.

**Cuadro 3.** Tratamientos precosecha.

Tratamiento	Fosfito <sup>W</sup> de K	Prebiótico <sup>X</sup>	<i>Bacillus subtilis</i> <sup>Y</sup>	Fungicida <sup>Z</sup>	Frecuencia de aplicación
	[2.0 L/Ha]	[2.0 L/Ha]	[2.0-4.0 g/L]	[0.5-0.75 L/Ha]	
Testigo		-		-	-
MC		-		X	De acuerdo con la experiencia del Técnico
MIC	X	X	X	X	De acuerdo con MPA

<sup>W</sup> Nutriphite<sup>®</sup>; <sup>X</sup>BioKakimu<sup>®</sup>; <sup>Y</sup> FungiFree-AB; <sup>Z</sup>Fungicidas sintéticos recomendados por APEAM.

### Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con 4 unidades experimentales homogéneas (árboles de la misma edad, variedad, manejo agronómico) por tratamiento que están constituida por nueve árboles y una unidad de observación (Figura 4 y 5).

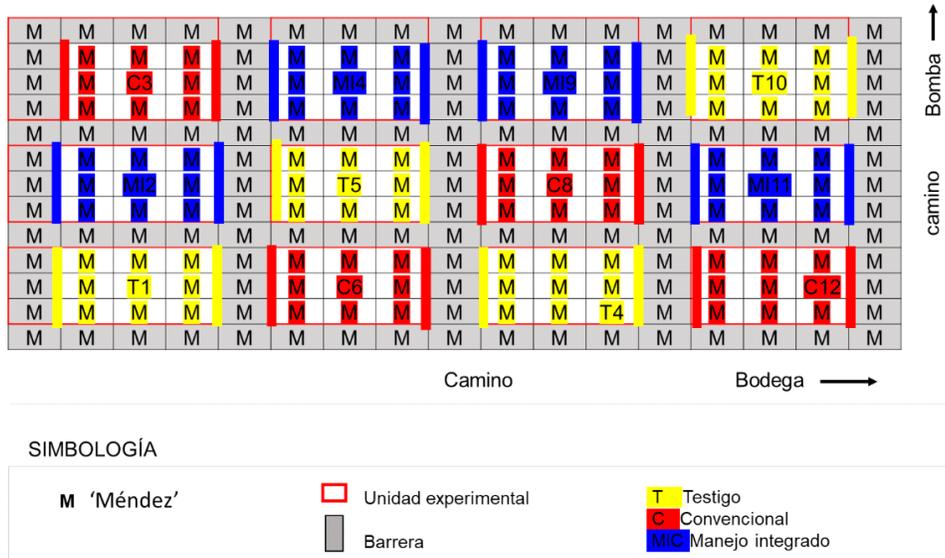


Figura 4. H1: “El charco”, ubicado en Ziracuaretiro, Michoacán.

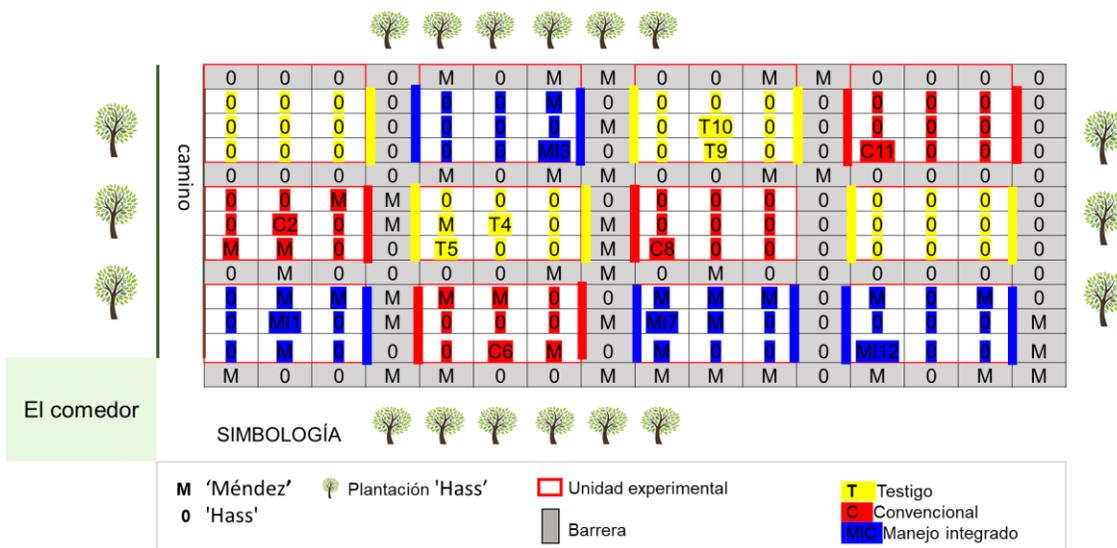


Figura 5. H2: “El Tzutzuki”, ubicado en Salvador Escalante, Michoacán.

### Manejo agronómico

El manejo agronómico en ambos huertos incluye: fertilización química, orgánica, deshierbes, control de plagas, enfermedades y podas. Los huertos se

manejan bajo condiciones de riego con sistema por microaspersión, durante los meses de enero a mayo.

### **Muestreo de frutos**

Para la determinación del efecto de los tratamientos, los frutos del H1 ( $270.4 \pm 34.33$  g y  $26.15 \pm 0.62$  % de materia seca) y H2 ( $273.78 \pm 41.04$  g y  $29.06 \pm 1.87$  % de materia seca) se cosecharon en madurez fisiológica, correspondientes a la temporada de producción 2019. De cada tratamiento se cosecharon un total de 75 frutos de cada huerto, de los cuales se utilizaron: 10 frutos para determinar la materia seca (%), se marcaron 20 frutos para medir la severidad, otros 10 frutos para determinar color externo, pérdida de peso y patrón de maduración, se ocuparon 30 frutos para realizar medidas de firmeza de la pulpa y los 5 frutos restantes se dejaron para realizar en análisis nutrimental. El total de los frutos se almacenaron en las siguientes condiciones ambientales: el H1 a  $24 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $65 \pm 5$  % HR y, el H2 a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $60 \pm 5$  % HR; hasta que se alcanzó la madurez de consumo. Posteriormente, los frutos se trasladaron al Laboratorio Postcosecha del Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo.

### **Información climatológica**

Los datos climáticos de temperatura (T), precipitación (PP), humedad de la hoja (HH), humedad relativa (HR) y punto de rocío (PR) fueron colectados del servicio meteorológico ([www.fieldclimate.com](http://www.fieldclimate.com)), información correspondiente a la última climatología (2019-2020) la cual se calculó con los registros diarios de cada variable.

## **Variables de estudio**

### **Severidad (daño) de Antracnosis**

Se realizó por medio de una cuantificación porcentual del área afectada por la enfermedad, en cada una de las frutas por repetición. De cada tratamiento se cosecharán 20 frutos de aguacate en madurez fisiológica. Para ello se utilizó una escala hedónica, donde daño ligero= menos del 10% de la superficie del fruto presenta síntomas, es decir, hay lesiones oscuras y pudrición; daño moderado= entre el 10-20% de la superficie del fruto tiene daño; y daño severo= más del 20% de la superficie del fruto.

### **Patrón de maduración**

Se llevó a cabo el registro de datos con base al tiempo requerido para alcanzar la madurez de consumo y fue realizado mediante cambios al tacto. Esta determinación refiere a un atributo de dureza, la escala (de intensidad) se definió en tres grados: duros (frutos en madurez fisiológica), cambiantes (en proceso de ablandamiento) y suaves (madurez de consumo).

### **Porcentaje de pérdida acumulativa de peso**

Esta variable se evaluó mediante una báscula digital ALSEP EY-2200 al inicio y durante el almacenamiento a temperatura ambiente hasta que los frutos alcanzaron su madurez de consumo. La pérdida de peso se expresó como el porcentaje de la diferencia de peso con respecto al peso inicial, para lo cual se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \left( \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \right) * 100$$

### **Firmeza de la pulpa**

La firmeza se determinó con un texturómetro chantillón (Wagner Force Five modelo FDV-30), con puntal cónico de 7 mm, retirando la cáscara de la zona ecuatorial del fruto y midiendo la fuerza necesaria para penetrar la pulpa. Los valores se reportaron en Newtons (N).

### **Índice de color**

Para determinar el color en exocarpio se usó un colorímetro de reflexión Hunter Lab, Reston Virginia modelo D25, con el sistema CIELab, para determinar los valores triestímulo en el espacio L\*, a\* y b\*. Dichos valores se usaron para calcular el índice de color (-10ab/L) propuesto por Zarazúa-Escobar *et al.* (2005).

### **Estado nutrimental**

La determinación de las concentraciones de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B se realizó en el extracto resultante de la digestión húmeda de material vegetal seco con ácido sulfúrico, ácido perclórico y peróxido de hidrógeno (1.3:0.7:1, v:v:v), de acuerdo con lo descrito por Alcántar y Sandoval (1999). Los extractos fueron leídos en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma (Agilent 725 Series ICP-OES).

La concentración de N se determinó en una alícuota de 10 mL del digestado antes descrito, mediante destilación de la muestra y valoración mediante titulación con ácido sulfúrico.

### **Análisis estadístico**

Los datos de cada huerto se analizaron mediante un análisis de varianza para las variables evaluadas y después una comparación de medias entre los tratamientos según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con el paquete estadístico SAS V9.0, 2002 (Statistical Analysis System, versión 9.00).

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

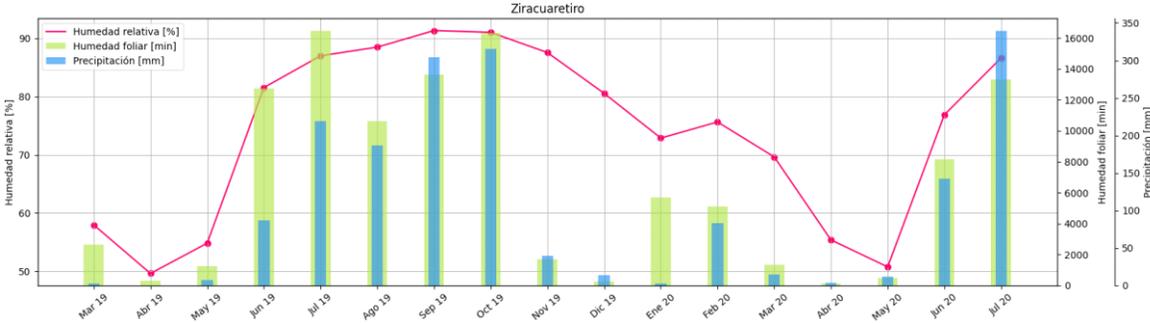
### **Municipio: Ziracuaretiro**

#### **Condiciones meteorológicas**

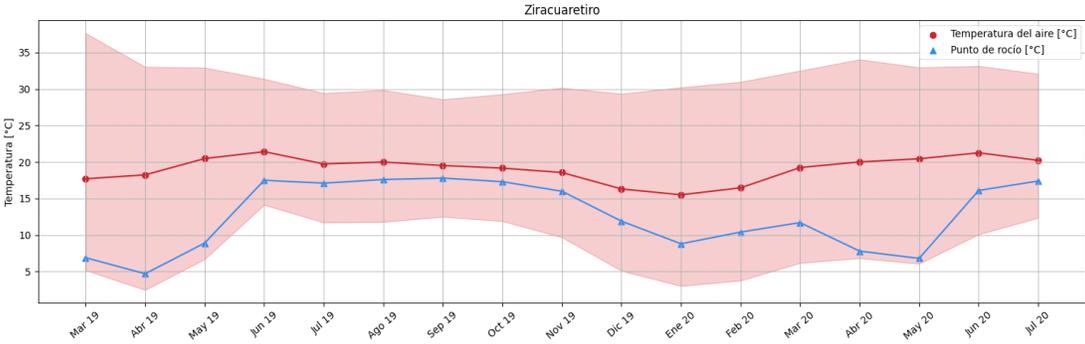
La precipitación anual en el año de estudio fue de 1263 mm, concentrada entre junio-octubre. La humedad relativa más alta (91%) fue en septiembre y octubre y la más baja (50%) en abril. (Figura 6). Las temperaturas ambientales máximas y mínimas promedio de los meses más calientes (mayo y junio) y fríos (enero y febrero), fueron 20, 21 y 15, 16 °C, respectivamente. Se encontró que la media mensual de temperatura de punto de rocío fue entre 4.7°C y 17.8°C, correspondientes a los meses abril y septiembre (Figura 7).

Las diferencias entre las condiciones climáticas de las regiones productoras de aguacate de México son de gran magnitud que podrían incidir en la fenología y

calidad del fruto (Salazar-garcía *et al.*, 2016). Asimismo, el ambiente de precosecha puede tener un impacto físico sobre la calidad de la fruta: por ejemplo, las cicatrices causadas por el viento y las granizadas pueden reducir el porcentaje de fruta en la clasificación comercial (Arpaia *et al.*, 2004).



**Figura 6.** Medias mensuales de humedad relativa, humedad foliar y precipitación desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H1, ubicado en el Municipio de Ziracuaretiro, Mich.



**Figura 7.** Medias mensuales de temperatura del aire y punto de rocío, así como temperatura máxima y mínima desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H1, ubicado en el Municipio de Ziracuaretiro, Mich.

## Fenología

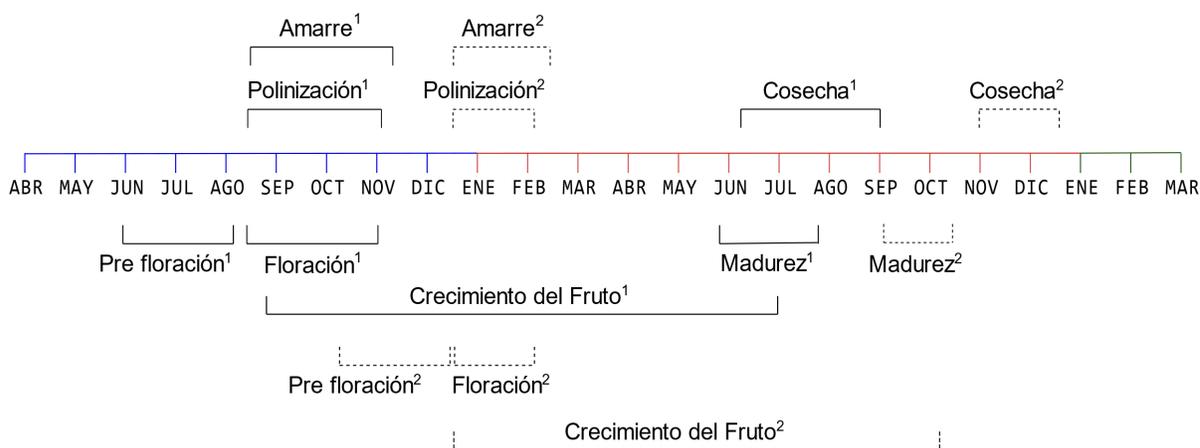
El aguacate 'Méndez' presenta dos flujos de crecimiento vegetativo: verano e invierno. Los brotes de verano producen la floración de invierno y los de invierno la de verano (Salazar-García *et al.*, 2018).

Las observaciones del desarrollo floral de verano-otoño, (desde yema vegetativa hasta antesis) comenzaron en agosto y continuó hasta noviembre 2019. El desarrollo del fruto comenzó cuando estos emergieron (agosto-noviembre), para entonces la temperatura ambiental había iniciado su descenso (19.52 °C, media mensual). La floración de invierno comenzó a mediados de diciembre 2019 y se extendió hasta febrero 2020, en este periodo la temperatura mensual fue menor a 16.46 °C (Figura 8). El efecto del descenso de la temperatura en brotes vegetativos de 'Hass' en desarrollo fue mencionado por Rocha-Arroyo *et al.*, (2011).

El cultivo del aguacate 'Méndez' presenta diversas fases del desarrollo o fenológicas durante el ciclo de producción, tales como desarrollos florales y del fruto. Los ritmos de crecimiento anual varían con el tipo de clima y las condiciones del cultivo, por lo cual se han elaborado diagramas fenológicos para el aguacate 'Méndez' (Salazar-García *et al.*, 2018). Los frutos de la floración de verano-otoño e invierno alcanzaron la madurez fisiológica en junio-julio y septiembre-octubre, respectivamente; requiriendo 10 meses para alcanzar la madurez fisiológica (Figura 8).

Debido a la variabilidad de las condiciones agroclimáticas de las regiones y la heterogeneidad de procedencia del material propagativo y al manejo proporcionado, la expresión fenológica del aguacate puede presentar

características de traslape, eventualidad y/o variabilidad en los eventos fenológicos (Reyes-Alemán *et al.*, 2015) como sucede con el aguacate 'Méndez' del H1; hay frutos en diferente etapa de desarrollo y al mismo tiempo se presenta la floración (Figura 8). Los flujos florales, tienen una duración e intensidad diferente, lo cual implica floraciones sucesivas (Bernal-Estrada *et al.*, 2017). Modelar la fenología del huerto es importante para determinar con mejor aproximación algunas respuestas del cultivo que coadyuven en su manejo (Reyes-Alemán *et al.*, 2015).



**Figura 8.** Modelo fenológico propuesto del aguacate 'Méndez' del H1. Desarrollos florales: <sup>1</sup>verano-otoño; <sup>2</sup>invierno.

### Severidad de antracnosis

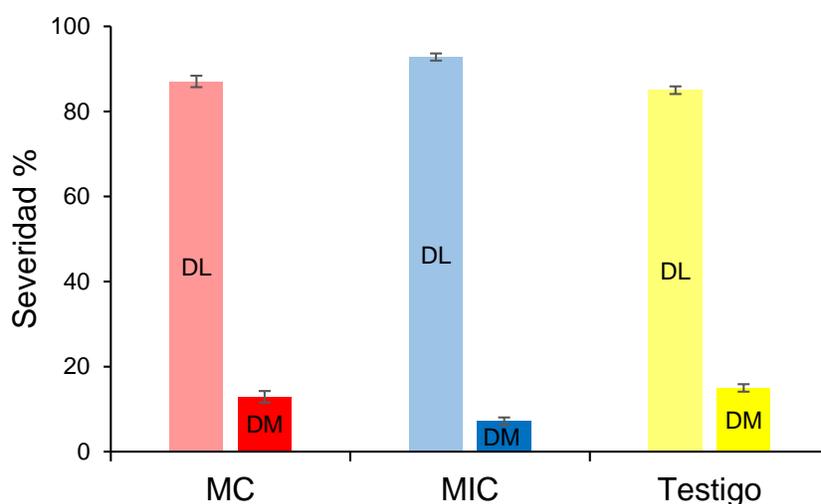
De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 9) se observó que la severidad de DL provocado por *Colletotrichum* spp., fue en un rango de 85 % a 92.8 % del total de frutos; mientras que DM está entre 7.2 y 15 %, en los tres tratamientos, sin diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), por lo que se descarta que sea un efecto de

tratamiento la baja severidad de la enfermedad en este huerto. El tratamiento de MIC fue el que superó ligeramente el resto de los tratamientos, obteniendo un porcentaje de 92.8 de DL, es decir, tuvo un menor porcentaje de fruta dañada por esta enfermedad. La sintomatología observada fue poco notoria al llegar a madurez fisiológica, en virtud de que los frutos de aguacate 'Méndez', maduran en color negro, por lo que la apariencia externa de los frutos no visibiliza los daños de esta enfermedad. Este cambio de color en la epidermis de 'Méndez', de verde a completamente negro coincide con lo reportado por Herrera-González *et al.* (2017).

Una explicación al DL postcosecha de antracnosis en los tres tratamientos tiene que ver con los antecedentes del huerto, donde se incluían prácticas de manejo integrado previas al experimento: fertirriego (riego por microaspersión), podas, control de maleza, control químico y biológico de plagas y enfermedades, fertilización química y orgánica, sin limitación en el uso de insumos y con asesoría técnica permanente; se trata de un huerto tipificado como de alta tecnificación (Ramírez-Legarreta y Jacobo-Cuéllar, 2002). Aunado al manejo, el huerto presenta 3 años de bitácora completa de aspersiones foliares de plaguicidas, microorganismos de biocontrol, fertilizantes, adherentes y acidificantes; incluyendo en el registro información sobre el producto utilizado (marca comercial e ingrediente activo), dosis, fecha e importe de la aspersión. Además, se tiene calendarizados los principales problemas de plagas y enfermedades en cada etapa fenológica (Anexo 9). La unidad experimental cuenta con antecedentes de alta tecnificación, el cual utiliza una mayor cantidad de recursos en el manejo de enfermedades respecto a un huerto de baja o media tecnificación, que en ocasiones presentan restricción de

agua, recursos limitados para el uso de insumos y asesoría técnica ocasional. Muchas de las causas de afectaciones de calidad postcosecha y desórdenes fisiológicos suelen ser atribuidos al manejo precosecha (Ferguson *et al.*, 1999); lo cual explica la calidad y control de antracnosis postcosecha en frutos del huerto de estudio.

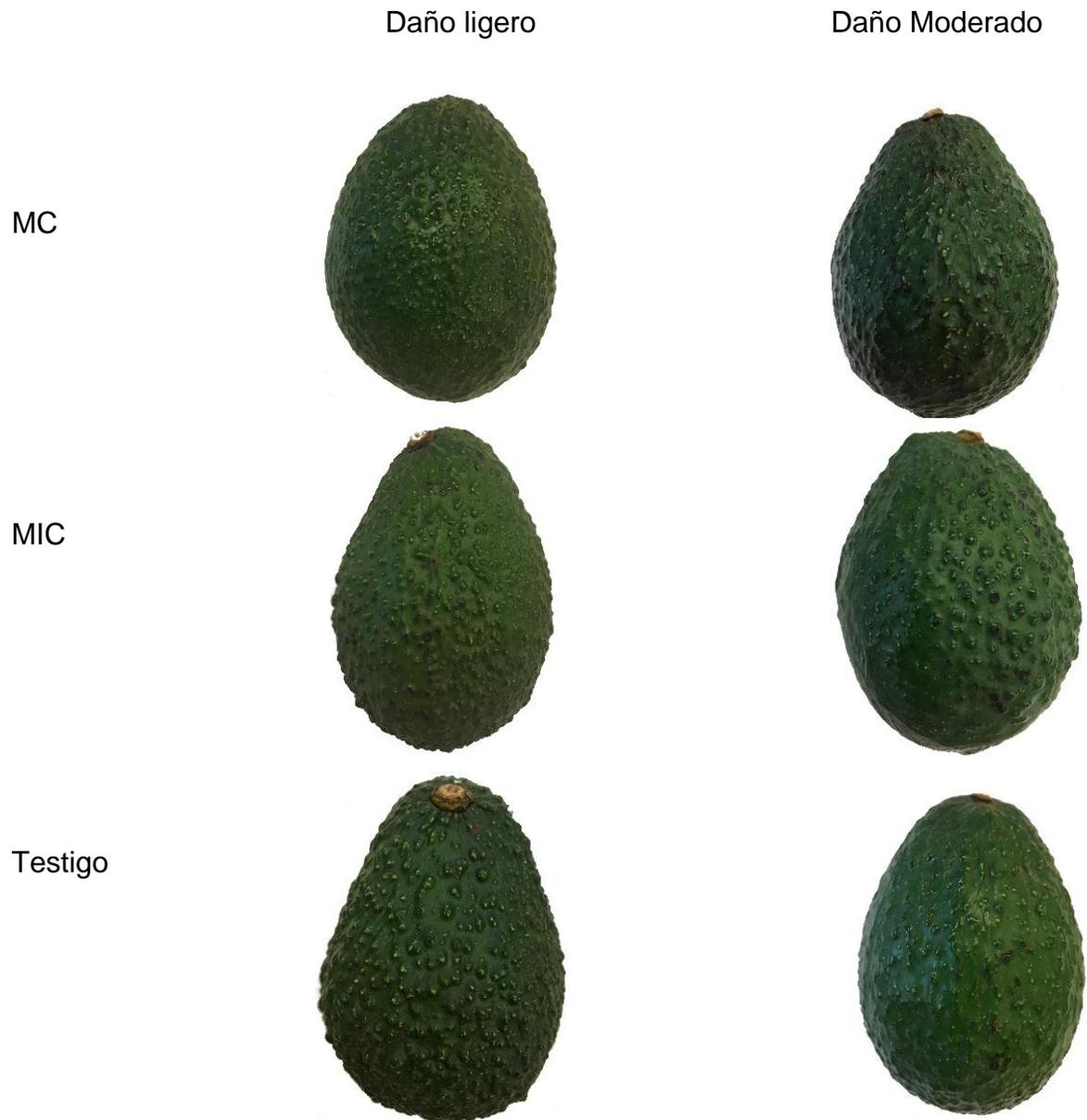
**Figura 9.** Porcentaje de severidad postcosecha: daño ligero (DL) y daño moderado (DM) de aguacate 'Méndez', con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H1.



Otra razón por la que se observó que en el cultivar 'Méndez' de este municipio el daño postcosecha de antracnosis fue predominantemente ligero en los tres tratamientos, se debió a que los frutos no estuvieron expuestos por un tiempo prolongado a las condiciones meteorológicas propicias para el desarrollo del hongo, ya que las primeras alertas de predicción de antracnosis se presentaron a inicios de junio y se cosechó el primero de julio; junto con el comienzo de las lluvias

constantes, la alerta de predicción de antracnosis fue continua, sin distinguir momentos puntuales para hacer aspersión de tratamientos, por lo que se siguió el criterio de monitoreo visual. Noriega Cantú *et al.* (2017) realizaron observaciones sobre la fluctuación de esporas en árboles de mango y su relación con el medio ambiente, donde encontraron un incremento en la dispersión de esporas de *Colletotrichum* spp. cuando la temperatura de punto de rocío es entre 18.2 y 23.7 °C lo que provoca la saturación de humedad en el aire, formando el rocío y/o neblina sobre la superficie del árbol, esto favorece la infección y dispersión de las esporas; lo que reporta el autor es superior a la media máxima mensual del H1 (17.8 °C).

El costo de control de enfermedades depende del grado de tecnificación de los huertos; en huerto de alta tecnificación para el MC se destinó el 24% de los costos totales, esto incluye aspersiones foliares de fungicidas, insecticidas, fertilizantes foliares, coadyuvantes y acidificantes y 52% para el MIC (Anexo 5 y 6). Asimismo, la cantidad y frecuencia del uso de plaguicidas depende también del grado de monitoreo, ya sea por un criterio visual o por modelo de predicción. Estos resultados preliminares pueden anunciar que son meses en los que se puede prescindir de aspersiones con fungicidas de tipo sistémicos, lo que representa un ahorro en la economía del productor y en el impacto ambiental.



**Figura 10.** Severidad de ataque de *Colletotrichum* spp. Con daño ligero (DL) y daño moderado (DM) en: manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y el testigo de aguacate 'Méndez' en el H1.

El costo de producción es un tema de gran importancia para cualquier organización, ya que constituye una guía básica para la planificación, el control y la toma de decisiones. En la empresa agrícola el costo ocurrido para convertir los insumos en productos terminados se conoce como costo de producción agrícola (Molina, 2009). En atención a la importancia que tiene este costo para el productor, se reconoce al MC eficaz tanto para garantizar una calidad y una reducción de costos en el manejo de la antracnosis. Sin embargo, habría que cuestionarse sobre el impacto ambiental que tiene a largo plazo, estudiar la inducción a la resistencia de enfermedades, y prestar atención al número sugerido de aplicaciones con sistémicos permitidos en el ciclo para evitar consecuencias negativas.

### **Patrón de maduración**

El patrón de maduración mostró que los frutos del tratamiento MC alcanzaron la madurez de consumo en 13.3 d, los frutos del tratamiento MIC requirieron 12.4 d, mientras que los testigos tomaron 11.8 d.

Para asegurar la calidad del fruto en postcosecha y proporcionar un fruto de máxima calidad al consumidor el contenido de materia seca de los frutos cosechados el primero de julio superan el mínimo acordado en Michoacán (23 % MS) (Salazar-García *et al.*, 2005), en los tres tratamientos: MC (26.84 %), MIC (25.96 %) y Testigo (25.65 %); estimar el contenido de materia seca (MS) permite al agricultor cosechar la fruta con la madurez adecuada y reducir el rechazo en los centros de acopio (Cerdas-Araya *et al.*, 2014). Este método ha sido usado con éxito en las condiciones climáticas y de manejo de Michoacán. Además, Zauberman y

Jobin-Decor (1995) indican que a mayor grado de madurez del fruto de aguacate 'Hass' al momento de cosecha, el tiempo para alcanzar la madurez de consumo disminuye.

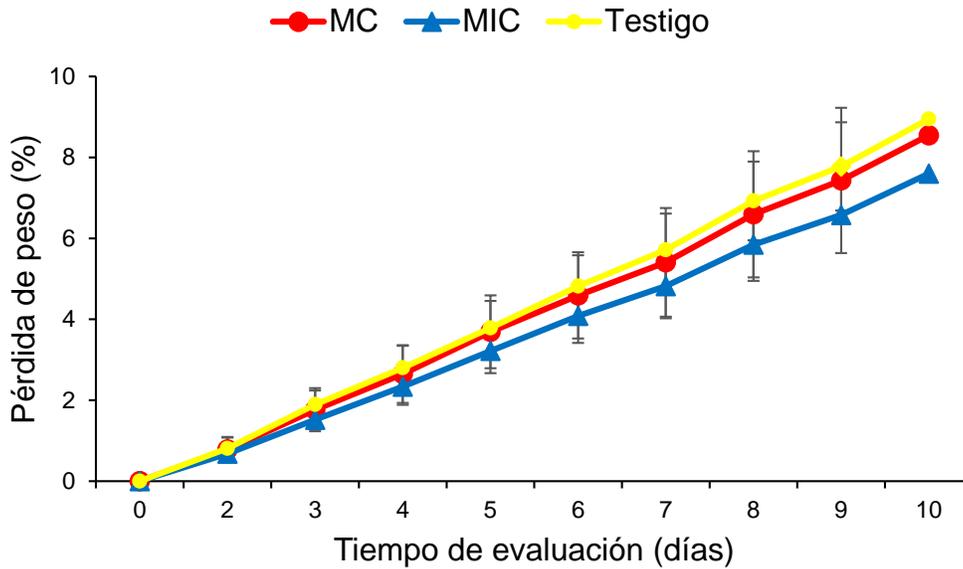
El contenido de MS atiende la recomendación de Cerdas-Araya *et al.* (2014) quienes señalan que se requiere un 23% de MS para cosechar los frutos. Ya que los frutos cosechados con un porcentaje de MS inferior al recomendado maduran de forma irregular y no desarrollan completamente los atributos de calidad (Wu *et al.*, 2011).

### **Pérdida de peso**

En la figura 11. se muestra la pérdida de peso de los tres tratamientos, la cual se incrementó conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento: en los frutos del tratamiento MC se alcanzó una pérdida de peso al llegar a la madurez de consumo (10 d) de 8.6%, en los frutos del tratamiento MIC fue de 7.6%, y 8.9% en los frutos del tratamiento Testigo, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos a partir del día cinco hasta madurez de consumo ( $p > 0.05$ ); sin embargo, este último tratamiento fue el más propenso a una pérdida de peso con 1.01% por día. En condiciones de almacenamiento parecidas y similar contenido de MS al momento de cosecha, se ha reportado la pérdida de peso en aguacate 'Méndez' al llegar a madurez de consumo de hasta 8.6% (Flores *et al.*, 2016), semejante a los valores obtenidos en frutos de los tres tratamientos. No obstante, los valores encontrados son mayores que los reportados por Lallum *et al.* (2004) quienes encontraron para frutos de aguacate 'Hass' almacenados a 20°C y

96% de humedad relativa, pérdidas fisiológicas de peso de 6.7% en la etapa de madurez de consumo. Los frutos almacenados por 10 d del tratamiento MC presentaron pérdidas de peso de 0.97% por día, mientras que los tratamientos de MIC y Testigo mostraron pérdidas de peso de 0.86 y 1.01 (%/d), respectivamente, sin diferencias significativas entre tratamientos ( $p>0.05$ ) (Anexo 1).

Estos resultados manifiestan una menor sensibilidad de los frutos del tratamiento MIC a las pérdidas de agua hasta el cuarto día de postcosecha, lo cual podría atribuirse al tipo de manejo precosecha que influencia tanto la tasa de desarrollo como la tasa de maduración de la fruta (Arpaia *et al.*, 2004). De acuerdo con Walton y Kolattukudy (1972), en frutos el grosor de la epidermis y el tipo de su superficie (lisa, surcada o rugosa), afectan el intercambio de gases y vapor de agua de estos; situación que podría estar influyendo en dicha respuesta. La pérdida de agua de los frutos es considerada la causa principal de deterioro y se incrementa como consecuencia de la transpiración después de la cosecha; además, no solo se relaciona con disminución de peso, también con la textura y la calidad nutricional (Jiménez-Cuesta *et al.*, 1982; Saucedo-Hernández *et al.*, 2005). La pérdida de peso y deshidratación durante el almacenamiento y la maduración, determinan la vida útil y calidad del aguacate maduro (Escobar *et al.*, 2019).



**Figura 11.** Comportamiento de la pérdida de peso durante la maduración a  $24\pm 2$  °C del fruto de aguacate 'Méndez', con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H1 en Ziracuaretiro, Mich.

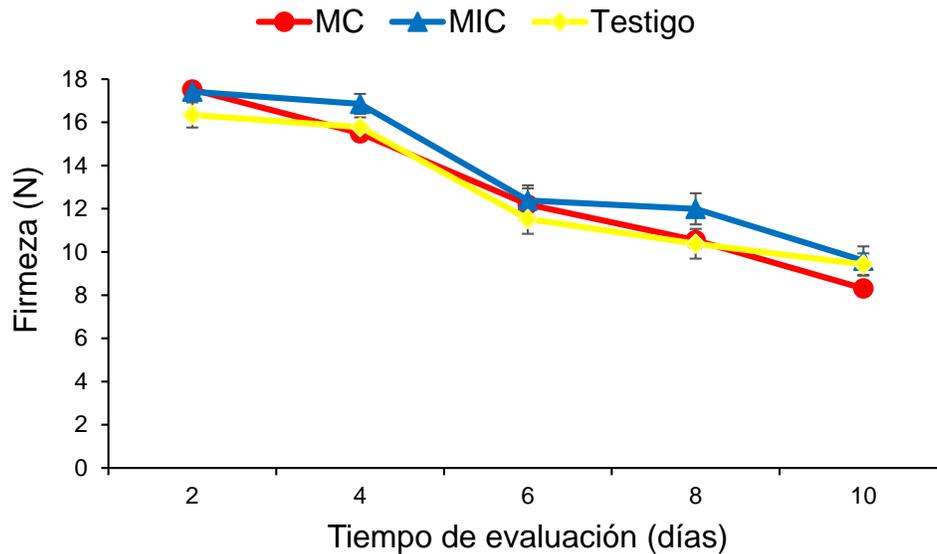
### Firmeza

Al momento de cosecha, la firmeza de la pulpa resultó menor en los frutos del tratamiento testigo con un valor de 16.34 N que en los tratamientos MC y MIC con 17.52 y 17.42 N, respectivamente ( $p < 0.05$ , Figura 12, Anexo 2). Se muestra una tendencia de mayor firmeza de la pulpa en los frutos con MC y MIC; se asume en general que la fruta menos madura tiene una estructura más compleja en la pared celular que la fruta más suave y que estos cambios en firmeza indican el avance en la maduración (Toivonen y Beveridge, 2005).

En los frutos de los tres tratamientos la firmeza de la pulpa disminuyó conforme avanzó el proceso de maduración. Después de 10 d de maduración a  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ , los frutos del MC disminuyeron más su firmeza (gasta 8.31 N), en MIC hasta 9.60 N y en el testigo hasta 9.42 N. De acuerdo con los días requeridos para alcanzar una textura suave al tacto, los valores de firmeza correspondieron a 13.3 d para convencional, 12.4 para MIC y 11.8 para testigo, lo que se sugiere un mayor avance del proceso de maduración en los frutos del tratamiento MC.

Durante la maduración, la firmeza disminuye debido a alteraciones en la pared celular, compuesta por sustancias pécticas y celulosa principalmente, las cuales, son degradadas por incremento de la actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasas, provocando ablandamiento en los frutos (Zauberman y Schiffmann-Nadel, 1972; Galarza *et al.*, 2002). Pesis *et al.* (1978) mencionan que el incremento en la biosíntesis de etileno está acompañado por una serie de cambios bioquímicos, incluyendo el incremento en la actividad de las enzimas que producen un ablandamiento del fruto.

Witney *et al.*, (1990b) han demostrado el impacto de los niveles de Ca de la fruta sobre la firmeza en período de maduración de la fruta. Estos autores encontraron una interacción significativa entre ambas variables: frutos con alto contenido de Ca demoran más tiempo en ablandarse; un comportamiento similar se reporta en esta investigación: la concentración de Ca reportada fue significativamente mayor en el tratamiento testigo y MIC, mismos que presentan mayor firmeza en relación con frutos de MC ( $p < 0.05$ , Cuadro 4).



**Figura 12.** Comportamiento de la firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate 'Méndez' del H1 almacenados al ambiente a  $24\pm 2$  °C. Medias  $\pm$  desviación estándar para  $n=5$ .

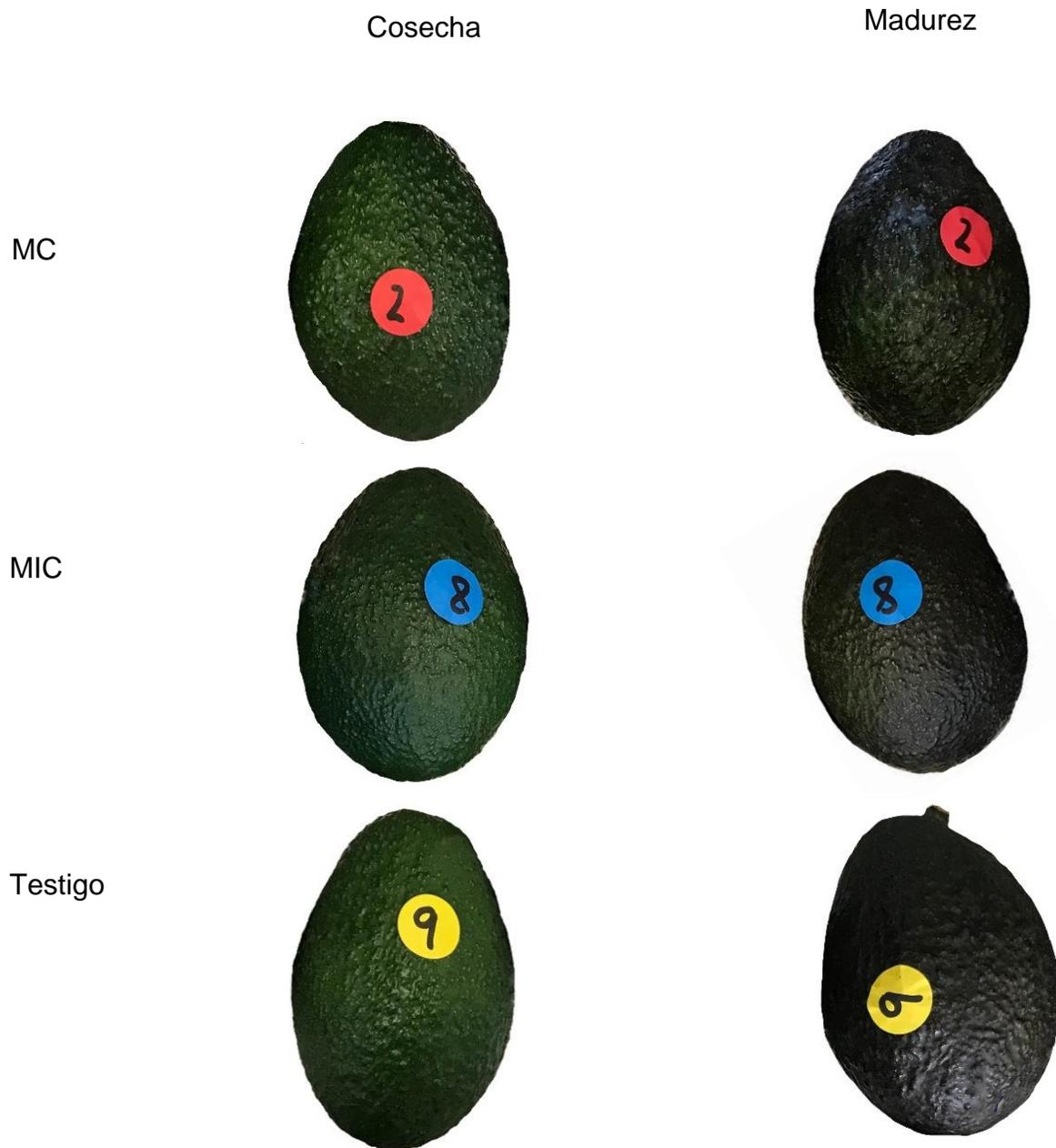
### Color externo

Durante la maduración a  $24\pm 2$ °C, los frutos de los tres tratamientos presentaron un perfil de índice de color (IC) con tendencia a la disminución (Figura 14). En este sentido, los frutos de MC cambiaron de un valor de 32.20 al inicio hasta 6.45 a la madurez de consumo, mientras que los frutos de MIC evolucionaron de 34.45 al momento de cosecha hasta 6.93 en los frutos maduros; los frutos del testigo iniciaron con 35.38 y alcanzaron 7.36 al madurar. Estos resultados coinciden con los reportados por Flores *et al.* (2016) quienes obtuvieron una disminución del IC en el exocarpio de frutos de aguacate cv. 'Méndez' de: 37.06 a 2.17, durante la maduración.

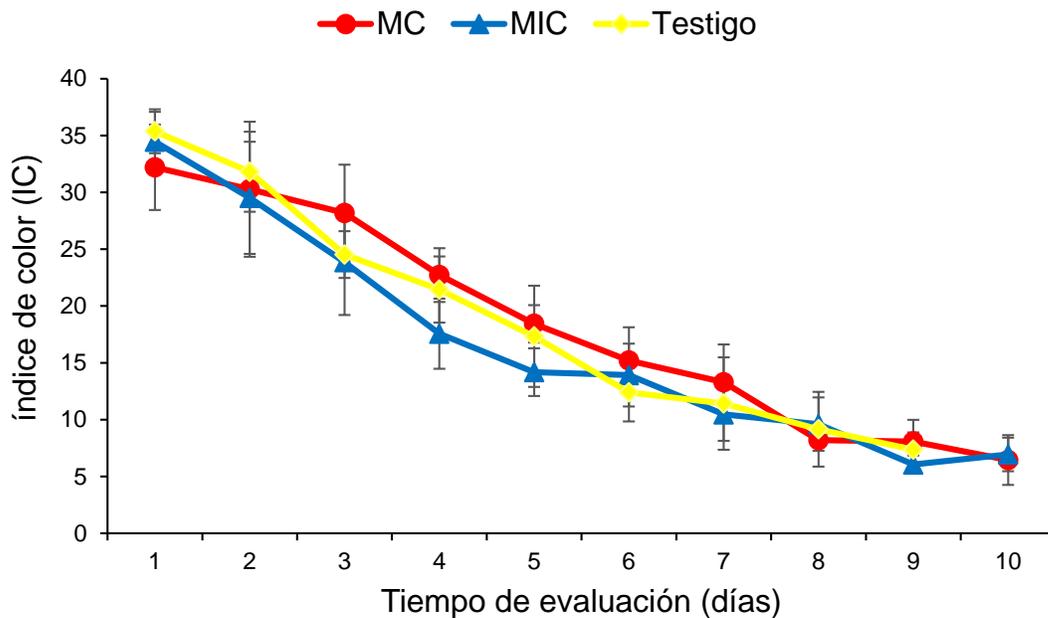
Estos valores del IC describen en los días experimentales el cambio de color en el epicarpio, García-Taín *et al.* (2011) resaltan la importancia de conocer que los cambios en el color, toda vez que van indicando diferentes estados de maduración en las frutas. Por otro lado, las observaciones del cambio de color coinciden con la disminución del IC en los tres tratamientos.

La Figura 13. muestra los resultados del cambio de la coloración, de una tonalidad verde a negra en el exocarpio del fruto, la cual se alcanzó después de almacenarlos por 9 d en condiciones de maduración a  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Al respecto, Cerdas-Araya *et al.* (2014) señalan que el desarrollo de color púrpura oscuro de la cáscara es un indicador de que el aguacate ha alcanzado la madurez de consumo.

El color verde en exocarpio de aguacates es debido principalmente a la clorofila y conforme madura se torna de color oscuro al presentarse un incremento en el contenido de antocianinas (Ashton *et al.*, 2006). El clima también influye sobre la concentración de fitoquímicos (compuestos fenólicos totales y clorofila) en la piel de los frutos de aguacate (Salazar-garcía *et al.*, 2016a). Según, Cox *et al.* (2004), el ambiente en el cual los frutos crecen y son cultivados, ocasiona que en la maduración pase a una coloración purpura o directamente negra la cáscara del aguacate a madurez de consumo.



**Figura 13.** Cambios de color en el exocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo en el H1, al momento de cosecha y después de 9 días de almacenamiento ( $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) hasta alcanzar la madurez de consumo.



**Figura 14.** Comportamiento del índice de color en frutos de aguacate 'Méndez' del H1 madurados directamente a  $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

### Estado nutricional

En el mesocarpio (pulpa) no hubo diferencia significativa para los elementos N, K, Mn y B, si lo hubo para P, Ca, Mg, Fe, Cu y Zn. El P y Mg fue significativamente mayor en el tratamiento MIC, respecto a MC y testigo, Ca y Zn resultó mayor en los frutos del testigo, en relación con MC y MIC, en tanto Fe fue mayor en los tratamientos MC y MIC, en comparación a testigo ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 4).

De acuerdo con Salazar-García, *et al.* (2011) la composición nutricional de las partes del fruto es influida por el clima. En frutos de aguacate de clima semejante (semicálido subhúmedo) reportaron mayores valores de P, K y Mg (0.38, 1.64 y 0.12

%) en pulpa que lo señalado en los tratamientos MC, MIC y testigo. Al contrario, el contenido de N y Ca que los autores reportan (1.05 y 0.04%) es menor a lo reportado en el H1 (Cuadro 4). Los autores señalan contenidos de Fe ( $30.2 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ) menores que en MC y MIC, y contenidos de B ( $28.2 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ) menores que en los tres tratamientos señalados en el Cuadro 4, mientras que lo indicado para Cu ( $11.8 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ) es mayor. Comparando los tres tratamientos, el testigo exhibió mayor Zn, y también se distingue con lo encontrado por los autores ( $18 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ). Los contenidos de Mn fueron iguales entre los tres tratamientos ( $6 \text{ mg/kg}^{-1}$ ), y mayores comparándolo con lo señalado por Salazar-García, *et al.* (2011) ( $5.1 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ).

Solis-Fraire *et al.* (1998) reportaron contenidos de 0.034% de Ca en mesocarpio de frutos de aguacate cv. Hass, inferiores a los valores obtenidos en aguacate 'Méndez'; niveles de N y K de 0.51 a 0.59% y 0.85 a 0.97%, respectivamente, lo cual no coincide con nuestros resultados, donde se observa valores de N y K de 1.12- 1.27% y 0.58 a 0.70%, respectivamente, en los tres tratamientos. Esto puede deberse a las condiciones ecológicas donde se realizó dicho estudio. Los resultados obtenidos de Ca en el mesocarpio son superiores de acuerdo con los descritos como normales por Haas (1937), el cual reportó cantidades promedio de 0.028% de peso seco en pulpa del cv. Fuerte. El Ca es uno de los elementos indispensables para mantener la integridad y estabilidad de la pared y membrana celular, la deficiencia de este elemento causa desórdenes postcosecha de aguacate (Ginsberg, 1985). El contenido de Fe de acuerdo con Haas (1937) en el cv. Fuerte es entre 48-71%, el cual es superior al reportado en el aguacate 'Méndez' del presente estudio (Cuadro 4). El mismo autor señala valores

de Mn entre 3.6-11.7%, lo cual encontramos que los tres tratamientos del presente estudio se encuentran en este intervalo. Cabe mencionar que los contenidos nutrimentales pueden ser modificados por las condiciones ambientales y por los procedimientos de preparación de muestras para su determinación (Solis-Fraire *et al.*, 1998).

**Cuadro 4.** Concentración nutrimental en el mesocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' del H1 en base a peso seco.

Nutrimento	MC	MIC	Testigo
	%		
N	1.13 a (M)	1.27 a (M)	1.12 a (M)
P	0.19 b (M)	0.24 a (M)	0.17 b (M)
K	0.70 a (B)	0.68 a (B)	0.58 a (B)
Ca	0.09 b (M)	0.08 b (M)	0.10 a (M)
Mg	0.08 b (M)	0.09 a (M)	0.07 b (M)
	mg/kg <sup>-1</sup>		
Fe	38 a (B)	36 a (B)	30 b (B)
Cu	4 b (B)	7 a (B)	5 a (B)
Zn	17 b (M)	19 b (M)	25 a (M)
Mn	6 a (M)	6 a (M)	6 a (M) 59 a (A)
B	101 a (A)	50 a (A)	

Tratamiento con letras iguales dentro de cada fila no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=4$ .

Interpretación de laboratorio: A: alto; M: medio; B: bajo.

**Cuadro 5.** Relaciones de potasio, calcio y magnesio en frutos (MS) de aguacate 'Méndez' del H1.

Tratamiento	K+Mg/Ca	K/Ca	Ca+Mg/K
Convencional	8.61 a	7.73 a	0.24 b
MIC	8.35 a	7.38 a	0.27 b
Testigo	6.42 b	5.68 b	0.31 a

Tratamientos con letras iguales dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=4$ .

Los nutrimentos analizados en este estudio desempeñan una función importante en el desarrollo y calidad del fruto, tanto en pre como en postcosecha. Por ejemplo, en la epidermis, el N puede aumentar o disminuir la susceptibilidad al ataque de plagas (Téliz y Marroquín, 2007) y enfermedades (Hofman *et al.*, 2002); el Ca está involucrado en la manifestación de desórdenes fisiológicos del fruto, como es el rápido ablandamiento después de la madurez (Wills y Tirmazi, 1982), aspersiones precosecha de Ca disminuyen las lesiones inducidas por frío (Chaplin y Scott, 1980) y la gravedad de la enfermedad postcosecha (Conway *et al.*, 1994); y el K y el Mg también han estado implicados en desórdenes fisiológicos del aguacate, posiblemente a través de interacciones con Ca durante la absorción por las raíces (Witney *et al.*, 1990a). Estas interacciones se han identificado en aguacate (Koen *et al.*, 1990). Una concentración incorrecta de minerales en un período crítico de crecimiento del fruto podría ser perjudicial para la calidad del fruto después de la cosecha (Van Rooyen y Bower, 2005).

Las relaciones K+Mg/Ca y K/Ca, fueron estadísticamente mayores en los frutos de los tratamientos MC y MIC, en relación con el testigo, con una tendencia a incrementarse en el tratamiento MC (Cuadro 5). Para el caso de Ca+Mg/K, la relación fue mayor en el tratamiento testigo, que con MC y MIC ( $p < 0.05$ ). Las interacciones entre minerales podrían ser más importantes para determinar la calidad que evaluar elementos individuales (Van Rooyen y Bower, 2005). Existe en la literatura poca información sobre la relación más adecuada entre estos tres cationes para este cultivo.

### **Conclusiones del H1**

En el municipio de Ziracuaretiro el aguacate 'Méndez' presenta dos flujos de crecimiento vegetativo: verano-otoño e invierno; y requieren 10 meses para alcanzar la madurez fisiológica.

El daño postcosecha de antracnosis fue predominantemente ligero, en los tres tratamientos.

Respecto a la pérdida de peso durante la maduración a  $24 \pm 2$  °C del fruto de aguacate 'Méndez', no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos a partir del día cinco hasta madurez de consumo. Se presentaron a los diez días valores entre 7-9 % para los frutos de la localidad Ziracuaretiro.

La variable firmeza va disminuyendo a medida que el fruto madura. Después de 10 d de maduración a  $24 \pm 2$  °C, los frutos de MIC y del testigo mostraron una mayor

firmeza, mismo que presentaron mayor concentración de Ca en relación con frutos de MC.

Los índices de color (IC) fueron similares a los reportados para aguacate 'Méndez' producidos en otras localidades.

Los análisis nutrimentales muestran que los frutos del tratamiento MIC tiene las más altas concentraciones de P, Mg y Fe en mesocarpio. Las concentraciones de Ca y Zn resultaron mayores en los frutos del testigo.

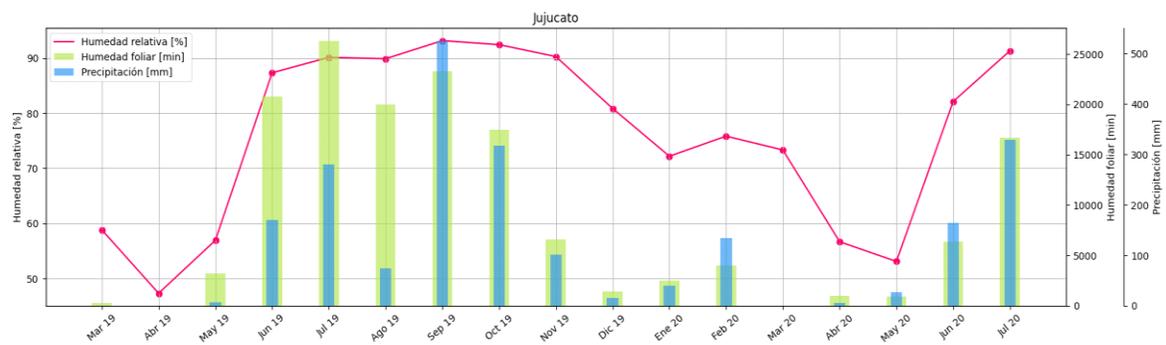
## **Municipio: Salvador Escalante**

### **Condiciones Meteorológicas**

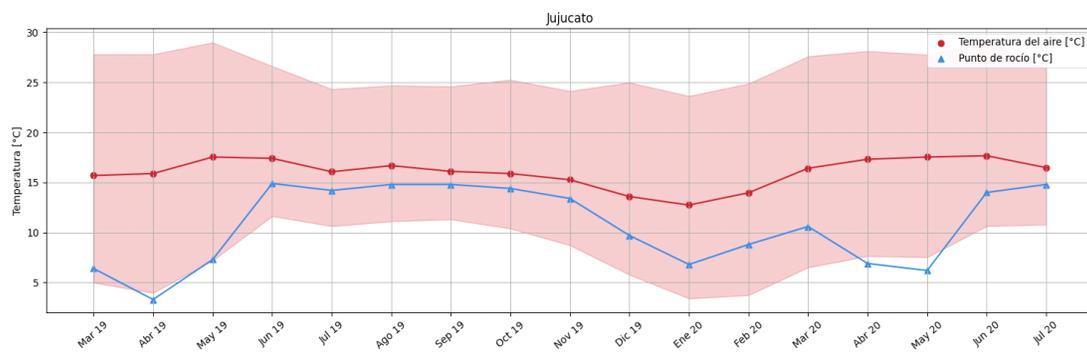
La lluvia anual fue de 1666.2 mm, concentrada entre junio-octubre. La humedad relativa más alta (93.16%) fue en septiembre y la más baja (47.34%) en abril (Figura 15). Las temperaturas ambientales máximas y mínimas promedio de los meses más calientes (mayo y junio) y fríos (enero y febrero), fueron 17.5, 17.4 y 12.7, 14 °C, respectivamente. La media mensual de temperatura de punto de rocío fue entre 3.3 y 14.9 °C, correspondientes a los meses de abril y junio (Figura 16).

Las condiciones ambientales bajo las cuales crece el aguacate en México influyen en la fenología y fisiología del cultivo (Salazar-garcía *et al.*, 2016b; Álvarez Bravo y Salazar García, 2017; Salazar-García *et al.*, 2018). Además, el factor climático-ambiental ayuda a explicar la calidad de postcosecha de la fruta (Arpaia *et al.*, 2004). De acuerdo con Salazar-garcía *et al.* (2011) el clima donde se

desarrollan los árboles modifica la composición nutrimental del fruto; y también influye en la inocuidad de los frutos, ejemplo: la temperatura favorable para el desarrollo de la antracnosis varía dentro del rango de 12 a 36 °C bajo condiciones de campo con porcentajes de humedad relativa cercanos al 80 % (Reyes y Morales, 2007).



**Figura 15.** Medias mensuales de humedad relativa, humedad foliar y precipitación desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H2, ubicado en el Municipio de Salvador Escalante, Mich.



**Figura 16.** Medias mensuales de temperatura del aire y punto de rocío, así como temperatura máxima y mínima desde marzo de 2019 hasta junio de 2020 del H2, ubicado en el Municipio de Salvador Escalante, Mich.

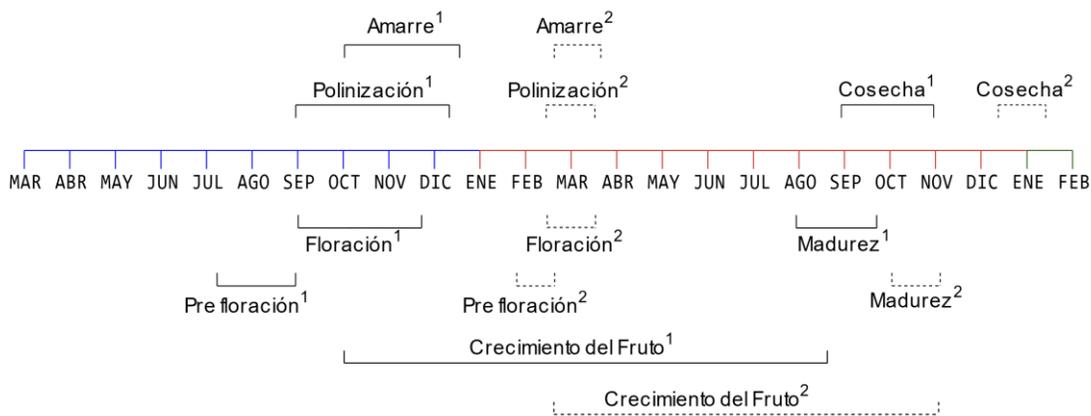
## Fenología

El modelo fenológico propuesto para el cultivar 'Méndez' del H2, está basada en observaciones del desarrollo floral de verano-otoño e invierno 2019-2020, presentándose un leve traslape en las etapas de desarrollo del fruto (Figura 17).

El flujo de floración verano-otoño inició en septiembre de 2019 y terminó en noviembre de 2019, con un traslape de las etapas de desarrollo del fruto, lo que dificultó la distinción de los flujos de floración contiguos y de sus respectivos frutos; el comienzo del desarrollo del fruto comenzó en octubre, hasta que la temperatura descendió (15.89 °C, media mensual). El desarrollo floral de invierno comenzó en febrero, fue más atrasada esta floración que la del H1, y continuó hasta marzo 2020, cuando la temperatura volvió a subir (16.42°C, media mensual). La fruta del periodo de floración verano-otoño fue cosechada en septiembre, cuya cosecha coincide con la época de baja producción de 'Hass'. Los períodos de cosecha fueron diciembre-enero para el de la floración de invierno (Figura 17), sin embargo, la madurez fisiológica se alcanzó desde octubre-noviembre. De acuerdo con Salazar-García *et al.* (2018) los frutos de 'Méndez' resultantes de la floración de verano-otoño requieren 10 meses para alcanzar la madurez fisiológica (22.7%); resultados similares se observan en el H2. Mientras que los frutos de la floración de invierno requieren 9 meses.

Además de documentar la fenología, resulta relevante conocer las etapas de mayor vulnerabilidad al ataque de hongos en árboles de aguacate que permita un

ajuste de las aplicaciones de fungicidas, disminuyendo los impactos negativos en la salud de los jornaleros, de los consumidores y el medio ambiente.



**Figura 17.** Modelo fenológico propuesto del aguacate 'Méndez' del H2. Desarrollos florales: <sup>1</sup>verano-otoño; <sup>2</sup>invierno.

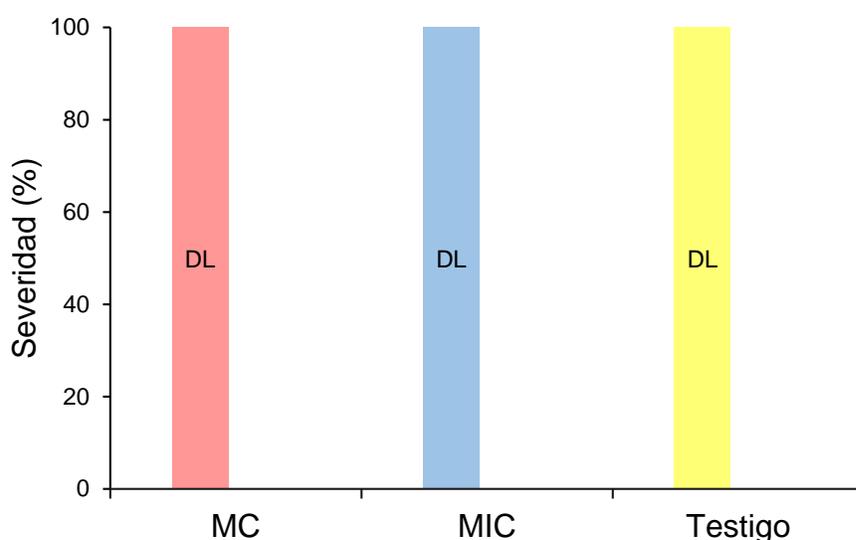
### Severidad de antracnosis

La incidencia de la enfermedad en los frutos 'Méndez' del H2 fue ligera o prácticamente nula. En la Figura 18. se observa que el 100% de los frutos en los tres tratamientos presentan DL, provocados por *Colletotrichum* spp. Los factores que afectan la susceptibilidad del fruto a presentar desórdenes fisiológicos y patológicos durante la postcosecha son más importantes, pero más difíciles de cuantificar (Arpaia *et al.*, 2004); por lo que esta clasificación subjetiva de los frutos puede diferir con otros observadores.

La frecuencia de las aspersiones del tratamiento MIC se basó en las condiciones meteorológicas que favorecen el inicio de la infección, y en el tiempo que dura el efecto de los productos (intervalos de 15 a 20 días) y no en la aparición de síntomas. Lo que permitió al productor hacer aplicaciones preventivas del tratamiento MIC. Cabe mencionar que en el MC las aspersiones se realizaron tomando el mismo criterio, con intervalos de 15 a 20 días, a modo de prevenir síntomas. Las predicciones de la enfermedad podrían ayudar a los productores a decidir cuándo asperjar y qué cantidad. Podría ayudarles también a programar la fertilización, la irrigación, la rotación de cultivos, y otras prácticas culturales (De Wolf e Isard, 2007).

Un posible efecto de tratamientos en frutos fue descartado dado que no hubo diferencias significativas en la severidad de antracnosis en los tres tratamientos. La ausencia de DM y DS en los frutos 'Méndez' pudo deberse a que el fruto no estuvo expuesto el tiempo suficiente a las condiciones ambientales que favorecieran el desarrollo del hongo. Avila-Quezada *et al.*, (2002) mencionan que se requieren las condiciones ambientales favorables por cuatro horas continuas para que la infección por *Colletotrichum gloeosporioides* ocurra. En el H2, la humedad relativa media mensual fue superior al 80 % en los meses previos a la cosecha (junio, julio, agosto y septiembre), sin embargo, la temperatura no se cumplió, la media mensual no superó los 17 °C, y la máxima mensual no fue mayor a 24.6 °C (Figura 15 y 16). De acuerdo con Da Silva Bruce y Michereff (2013) la intensidad de la enfermedad ha sido severa con temperaturas de 24 a 28 °C y alta humedad relativa, lo que podría explicar el DL encontrado en los frutos de este municipio.

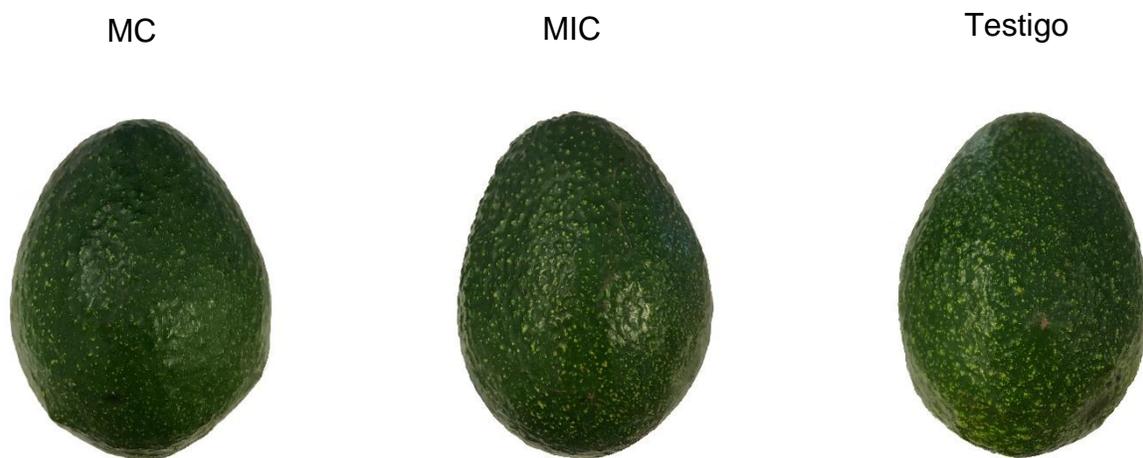
Se sabe que el establecimiento de umbrales económicos es importante para el esquema de manejo de enfermedades de las plantas, y los enfoques de modelos son importantes para predecir enfermedades en las plantas (Holt y Chancellor, 1997; Zhang y Holt, 2001; Jeger *et al.*, 2004). Es importante conocer el umbral de tolerancia económica de *Colletotrichum* spp., en este municipio y para esta variedad de aguacate.



**Figura 18.** Porcentaje de severidad: daño ligero (DL) y daño moderado (DM) de aguacate 'Méndez', con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H2.

Por otro lado, el H2 donde se presentó un DL podría estar relacionado con la alta tecnificación del huerto comercial (H2), similar que el H1, que además incluye: registros de las principales plagas y enfermedades del cultivo (Anexo 10). En el H2, el costo de insumos para el control de enfermedades causadas por hongos (fungicidas), de acuerdo con el MC, fue un 31.37 % de los gastos destinados a

aspersiones foliares (fungicidas, insecticidas, fertilizante, coadyuvante y acidificante), siendo mayor los costos del control de plagas (35.36 %) (Anexo 8). Mientras que en MIC, el gasto en control de enfermedades fue mayor (61 %) comparado al MC (Anexo 7). Sánchez *et al.* (2018) señalan que, en una unidad de producción para mercado de exportación y alto nivel tecnológico, se caracteriza por: el uso de fertilización química y orgánica, aplicación de plaguicidas, podas de formación y saneamiento, sistema de riego; el principal componente de los costos de producción por hectárea de aguacate en Michoacán, excluyendo la tierra son los plaguicidas, los cuales representan el 40.8%. Los Fertilizantes son el segundo concepto más importante dentro de los costos variables, el cual representa el 15.1%, mientras que la mano de obra el 6.2%.



**Figura 19.** Severidad de ataque de *Colletotrichum* spp. Con daño ligero (DL) en: manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y el testigo de aguacate 'Méndez' en el H2.

El control de plagas en los tratamientos MC y MIC también explica la baja incidencia de la enfermedad, como lo señala Fitzell (1987), los daños provocados en la epidermis (insectos o mecánicos) están asociados con las lesiones de *C. gloeosporioides* y los síntomas en frutos de aguacate se presentan a los 5 días después de tener heridas.

### **Patrón de maduración**

El patrón de maduración de los frutos 'Méndez' expuestos directamente a  $20 \pm 2$  °C mostró que los frutos de MC alcanzaron la madurez de consumo en 8.9 días, los frutos del tratamiento MIC requirieron 10.6 d, mientras que los testigos tomaron 7.8 d.

Contenido de materia seca al momento de cosecha no mostró diferencias significativas en el contenido de materia seca (MS) (29.37 % en MC, 30.74 % en MIC y 27.05 % en testigo) ( $p > 0.05$ ), la cual fue superior a la sugerida para 'Méndez' (22.7%) (Herrera-González *et al.*, 2017). La MS es un parámetro importante del aguacate. Su contenido se puede asociar directamente con la resistencia del fruto al marchitamiento (Travers *et al.*, 2014; Ncama *et al.*, 2018). El contenido de materia seca se cuantifica como la relación entre la masa seca y la masa fresca de una porción de mesocarpio muestreada (Kaur *et al.*, 2017).

Los días requeridos para alcanzar la madurez de consumo fueron similares a los obtenidos por Flores *et al.* (2016), excepto el contenido de MS al momento de cosecha, estos autores reportaron que frutos de aguacate 'Méndez' cosechados con 24.3% de MS necesitaron 10.5 d para alcanzar la madurez de consumo. López-

López y Cajuste-Bontemps (1999) quienes hallaron en aguacate 'Hass' que el tiempo de vida postcosecha se presentó a los 11 días para frutos producidos en zonas a una altitud de 2100 msnm. El proceso de maduración varía en función del contenido de materia seca; además, el tiempo para alcanzar la madurez de consumo se ve influenciado por las condiciones de maduración (Rodríguez y Henao, 2016). La MS del H2 fue mayor en los tres tratamientos, respecto al H1 ( $p < 0.05$ ), debido a un mayor tiempo de desarrollo del fruto, aumentando el contenido de sólidos no grasos y aceites (Escobar *et al.*, 2019). La MS es un método ampliamente aceptado en el mundo como índice de cosecha, debido a la relación directa entre porcentaje de MS y contenido de aceite (Lee *et al.*, 1983; Carvalho *et al.*, 2015). Desde los años ochenta, productores de California empezaron a usar el 11,2 de porcentaje mínimo de aceite para cosechar el aguacate 'Hass' (Lee *et al.*, 1983).

Rivera *et al.* (2017), postulan que predecir el comportamiento postcosecha del aguacate 'Hass' usando una sola variable precosecha como materia seca o contenido de calcio podría ser una simplificación engañosa de la realidad porque varios factores, incluidos el clima/medio ambiente, el manejo agronómico y las variables fisiológicas influyen en el comportamiento de maduración de las frutas de aguacate 'Hass'.

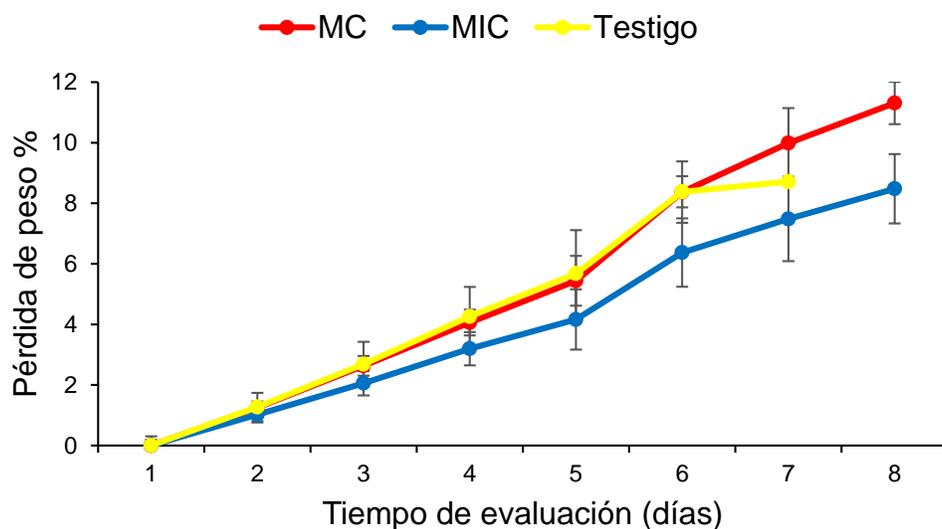
### **Pérdida de peso**

La muestra de los tres tratamientos estuvo conformada por frutos de pesos entre 211 a 266 g, lo que corresponde a clasificaciones extra y súper extra (NMX,

2006). Los frutos de los tres tratamientos mostraron una pérdida continua de peso durante la maduración, de 11.31% (8.9 d) en MC, diferente ( $p < 0.05$ ) en relación con los frutos del tratamiento MIC (8.48%, 10.6 d), y testigo (8.71%, 7.8 d) (Figura 20). Al contrario del tratamiento MC, Cajuste *et al.* (1994) han reportado más tiempo requerido para madurez de consumo y una pérdida máxima de peso del 11 % en frutos de aguacate almacenados durante 12 días a 20 °C. Mientras que López-López y Cajuste-Bontemps (1999) reportan en aguacate 'Hass' un porcentaje de 8.32 de pérdidas acumulativas de peso hasta el día once, semejante al tratamiento MIC. De acuerdo con Flores *et al.* (2016) las menores pérdidas de 'Méndez' están relacionadas con el menor tiempo requerido para maduración, lo cual se constata en este municipio donde se observa una menor sensibilidad de los frutos del tratamiento MIC a las pérdidas de peso hasta el séptimo día de postcosecha. Además, las condiciones de maduración de consumo de los frutos ejercen un efecto sobre la pérdida de peso, duración de la maduración, defectos internos y externos del fruto, siendo la maduración a condiciones ambientales la que más promueve deshidratación y defectos (Rodríguez y Henao, 2016).

Los frutos almacenados por 8 d del tratamiento MC y MIC presentaron pérdidas de peso de 1.67% y 1.24% por día, respectivamente, mientras que los frutos del testigo almacenados por 7 d mostraron pérdidas de peso de 1.48 (%/d), sin diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ) (Anexo 3). De acuerdo con López-López y Cajuste-Bontemps (1999), la pérdida fisiológica de peso se asocia con el tipo de floración y la altitud, siendo las altitudes media y alta (1700 y 2100msnm) de floración aventajada las que reportan mayor pérdida de peso, misma

que se relaciona a una menor vida postcosecha de la fruta. Otros autores se lo atribuyen a las condiciones de manejo del cultivo, los cuales tienen impacto en el crecimiento vegetativo y características nutricionales (Hofman *et al.*, 2002). El peso de los frutos de aguacate depende de las condiciones de cultivo o variaciones ambientales de cada finca a pesar de tener los mismos índices de madurez (Escobar *et al.*, 2019).

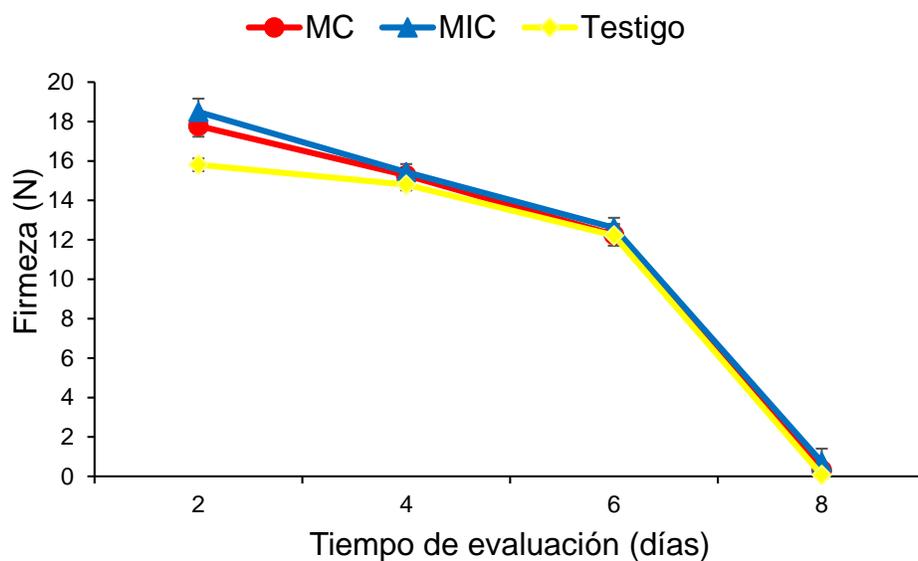


**Figura 20.** Comportamiento de la pérdida de peso durante la maduración a  $20\pm 2$  °C del fruto de aguacate 'Méndez', con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo del H2 en Salvador Escalante, Mich.

### Firmeza

La firmeza inicial de la pulpa resultó menor en los frutos del tratamiento testigo con un valor de 15.81 N, que en los tratamientos MC y MIC con 17.78 y 18.49 N, respectivamente ( $p < 0.05$ ). Durante la maduración ( $20\pm 2$  °C), la firmeza del

mesocarpio (pulpa) disminuyó en los frutos del MC, MIC y testigo en el día ocho hasta 0.31 N, 0.73 N y 0.07 N, respectivamente, de acuerdo con los días requeridos para alcanzar una textura suave al tacto (8.9 d para convencional, 10.6 para MIC y 7.8 para testigo), sin diferencias significativas entre tratamientos ( $p>0.05$ ); estos últimos valores de firmeza pueden definir la madurez de consumo de los tres tratamientos (Figura 21, Anexo 4). Flores *et al.* (2016) quienes encontraron una disminución en la firmeza de 45.6 N a 7.6 N en frutos de aguacate cv. 'Méndez' cosechados con 24.3 % de MS, almacenados a  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante 11 d. Sin embargo, en madurez de consumo se han registrado valores de firmeza cercanos a cero (Magwaza y Tesfay, 2015).



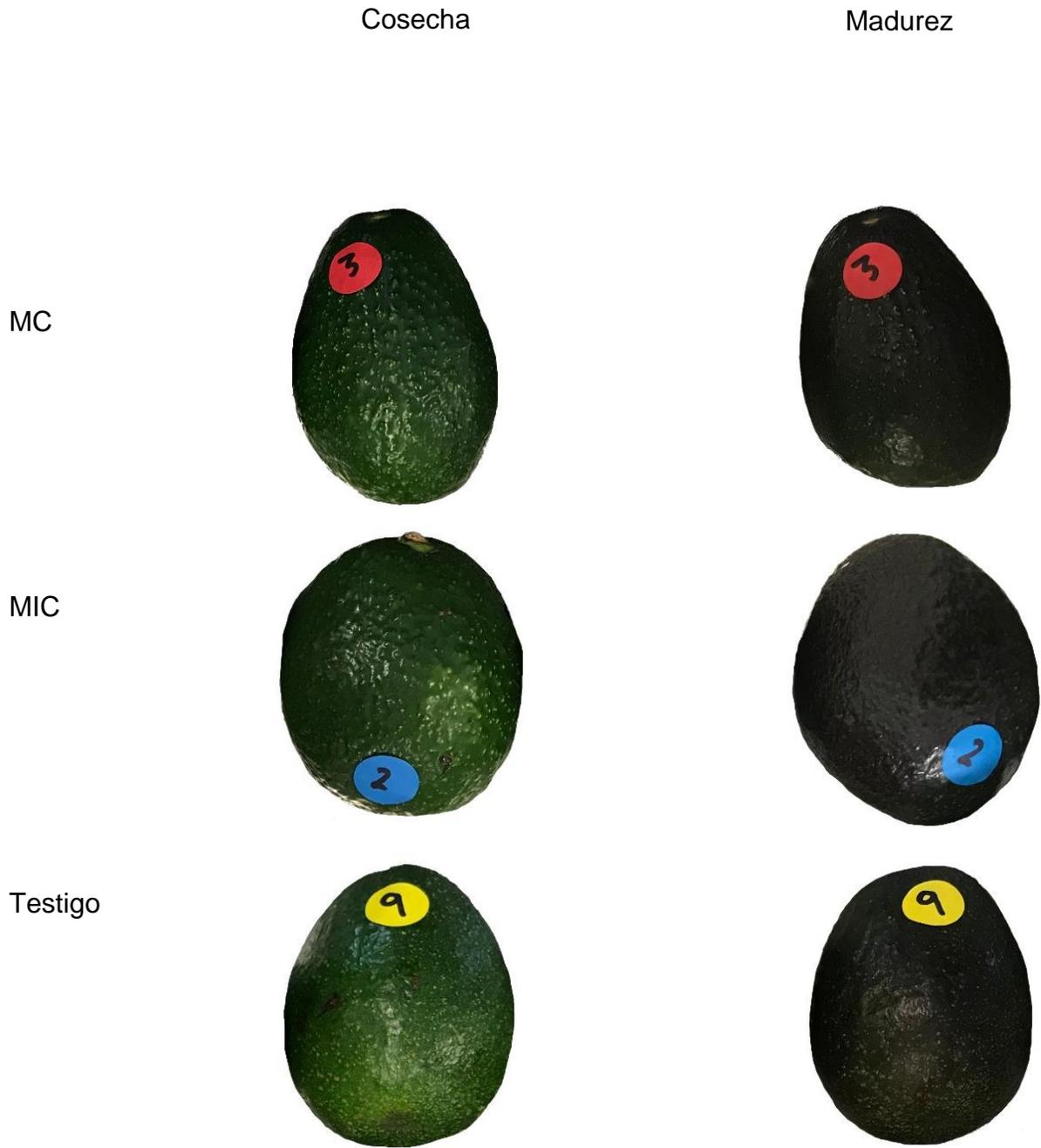
**Figura 21.** Comportamiento de la firmeza, durante el proceso de maduración, en frutos de aguacate 'Méndez' del H2 almacenados al ambiente a  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Medias  $\pm$  desviación estándar para  $n=5$ .

Las diferencias de firmeza encontradas entre tratamientos al momento de cosecha probablemente están relacionadas con concentraciones de Ca como se observó en el tratamiento MIC (0.11%), el cual fue superior al MC y al testigo (Cuadro 6), se observa un efecto del Ca sobre la firmeza de la epidermis, ya que (López y Cajuste, 1996) indica que las aplicaciones de Ca en precosecha ejercen influencia positiva en la firmeza del fruto. El Ca tiene la capacidad de disminuir la permeabilidad de las membranas celulares, el patrón respiratorio y la producción de etileno (Barrientos-Priego *et al.*, 2016), así produce un efecto positivo en la firmeza (Castellano *et al.*, 2006).

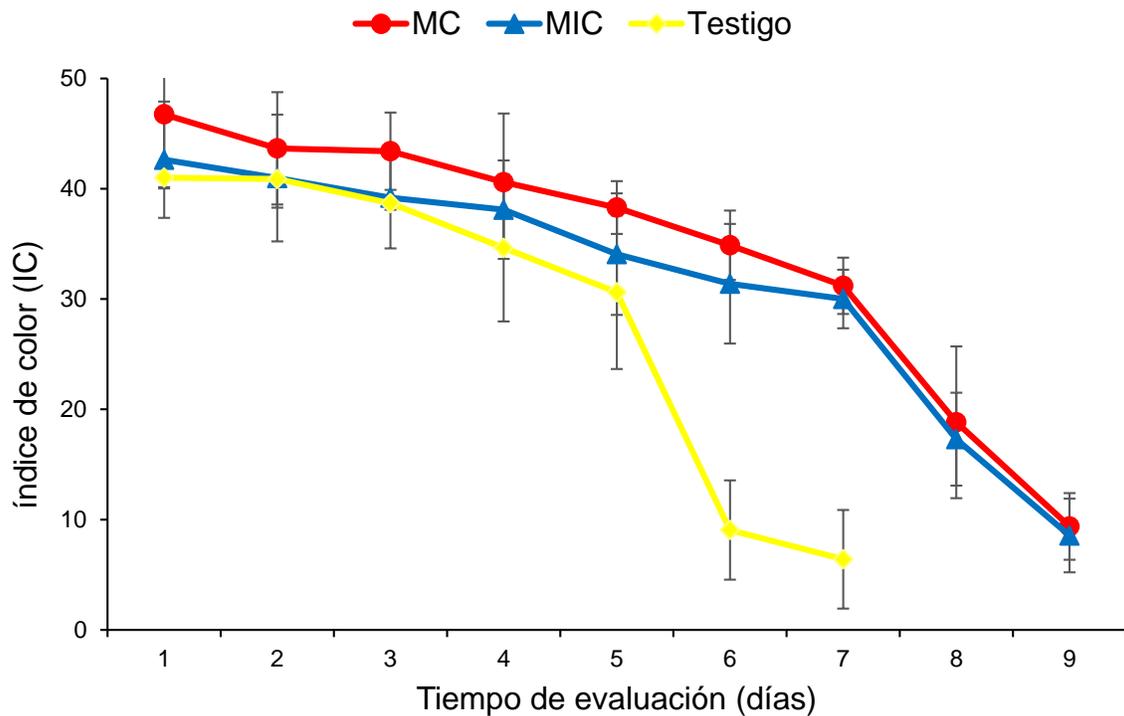
La firmeza de la pulpa se determina en función de la fuerza de cohesión entre las pectinas, y la maduración en los aguacates es promovida por la acción de enzimas pectinolíticas, especialmente celulasa, poligalacturonasa y pectinmetilesterasa, que transforman la pectina insoluble en pectina soluble y promueven el ablandamiento de la fruta (Seymour y Tucker, 1993). Esta respuesta manifiesta ablandamiento más acelerado en frutos del H2, procedente de una mayor altitud (1960 msnm), y perdieron más firmeza en el día 8 que los del H1 (1510 msnm); estos resultados difieren con lo señalado por López-López y Cajuste-Bontemps (1999), quienes aseguran que la altitud es un factor que ejerce un efecto en la firmeza de los frutos, prevaleciendo valores más alto de firmeza conforme se incrementa la altitud.

## Color externo

Los cambios en el color mostraron en los tres tratamientos una disminución significativa del IC, desde el inicio del almacenamiento ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) hasta la madurez de consumo. En frutos del tratamiento MC disminuyó de 46.74 al momento de cosecha hasta 9.38 en madurez de consumo, en tanto que los frutos de MIC cambiaron de 42.63 a 8.56, y en los frutos del testigo los valores disminuyeron de 41 a 6.41 en los mismos estados fisiológicos (Figura 23). Estos resultados coinciden con los mencionados por López-López y Cajuste-Bontemps (1999) quienes obtuvieron un IC en el exocarpio de frutos de aguacate 'Hass' de: 50 a 0, conforme los frutos logran su madurez de consumo; estos valores son en función a la procedencia de los frutos y tipo de floración. No se detectó efecto significativo de tratamientos sobre la variable color en el exocarpio del aguacate ( $p>0.05$ ). El color se considera una propiedad física básica de los productos agroalimentarios y puede correlacionarse con otros atributos de calidad, como defectos nutricionales y visuales o no visuales (Pathare *et al.*, 2013; Sanaeifar *et al.*, 2016).



**Figura 22.** Cambios de color en el exocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' con manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo en el H2, al momento de cosecha y después de 9 días de almacenamiento ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) hasta alcanzar la madurez de consumo.



**Figura 23.** Comportamiento del índice de color en frutos de aguacate 'Méndez' del H2 madurados directamente a  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

En la piel de frutos de aguacate se han identificado diversos pigmentos, principalmente carotenoides, clorofilas y antocianinas (Donetti y Terry, 2012). En frutos de aguacate 'Méndez', el cambio típico en el color externo durante la maduración es de verde a negro (Figura 22). Según, Cox *et al.* (2004) en este intervalo de tiempo se presenta un incremento de antocianinas totales en el exocarpio, principalmente el compuesto cianidina 3-O-glucósido, mientras que la clorofila decrece después de la cosecha; cambios que pueden asumirse similar en el cultivar 'Méndez' (Herrera-González *et al.*, 2017). La clorofilasa se ha relacionado no sólo con la hidrólisis del enlace éster del fitol, sino también con el metabolismo

de la clorofila (Trebitch *et al.*, 1993; Jacob-Wilk *et al.*, 1999). Los autores también señalan que la concentración del compuesto de antocianinas depende de la temperatura a la que la fruta está sometida durante la maduración; cuando la temperatura es elevada las concentraciones de cianidina 3-O-glucósido son mayores (Cox *et al.*, 2004).

### **Estado nutrimental**

En cuanto al análisis nutrimental, no se encontró diferencia significativa para los elementos Fe, Cu, y B, no así para N, P, K, Ca, Mg, Zn y Mn. El K fue mayor en los tratamientos MC y testigo, en comparación con MIC, mientras que el N fue significativamente mayor en el tratamiento MC, respecto a MIC y testigo. El P resultó mayor en los frutos del testigo, en relación con MC y MIC, en tanto Ca, Mg y Zn fue mayor en el tratamiento MIC ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 6).

Salazar-garcía *et al.* (2011) reportaron valores de N, P, K y Mg (1.14, 0.23, 1.84 y 0.12 %) en pulpa de aguacate de frutos provenientes de clima templado subhúmedo mayores a lo señalado en los tratamientos MC, MIC y testigo. El contenido de Ca que los autores reportan (0.06%) es menor a lo presentado en el Cuadro 6. Los valores de micronutrientes también difieren en aguacate 'Hass' a lo indicado en el Cuadro 6, los autores reportan: contenidos de Fe ( $34.8 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ) menores; de Cu ( $13.7 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ) mayores; y valores de B ( $28.4 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ) similares. El B es el nutriente que suele ser el más deficiente en aguacate (Whiley *et al.*, 1996), sin embargo, no se presenta deficiencia de dicho elemento en el H2. Comparando los tres tratamientos, MIC exhibió mayor Zn ( $p < 0.05$ ), y también es superior a lo

encontrado por los autores ( $17.4 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ). Los contenidos de Mn fueron superiores en los tratamientos MIC y testigo en relación con MC, incluso comparándolo con lo señalado por Salazar-garcía *et al.* (2011) ( $5.8 \text{ mg/Kg}^{-1}$ ).

De acuerdo con otro autor (Perkins *et al.*, 2020), el contenido de Fe en el aguacate 'Hass' es de  $13.3$  a  $19.7 \text{ mg/Kg}^{-1}$ , inferior que en 'Méndez'; y en cuanto al contenido de K y Cu en pulpa es entre  $2.47$  a  $2.66 \%$  y  $7.5$  a  $7.6 \text{ mg/Kg}^{-1}$ , respectivamente, lo cual es superior a lo encontrado en MC, MIC y testigo. El contenido bajo de K, Fe y Cu en los tres tratamientos sugiere la necesidad de incorporar nutrientes en concentraciones moderadamente bajas a bajas para mejorar la fertilidad del fruto (Cuadro 6). En adicción, se ha mostrado que aspersiones precosecha decrece la severidad de enfermedades postcosecha (Conway y Sams, 1987).

En cuanto al contenido de Ca en pulpa, se observaron diferencias entre los tratamientos evaluados, donde los valores más altos corresponden a MIC, referido a  $0.11 \%$  (Cuadro 6); los valores son superiores a los encontrados en el aguacate 'Hass' por Barrientos-Priego *et al.* (2016), quienes obtuvieron de  $0.078$  a  $0.084 \%$  de Ca; dicho tratamiento presentó mayores valores de firmeza y menor pérdida de peso. Lo anterior coincide con lo señalado por Rivera *et al.* (2017), quienes mostraron una relación inversa de la variable concentración de Ca con el ablandamiento y una relación de Ca con el K y el N en la firmeza de la fruta en almacenamiento; y por Barrientos-Priego *et al.* (2016), quienes afirman que aspersiones de Ca disminuyen la pérdida de peso. El Ca tiene efecto sobre la estabilización de los componentes de la pectina para el fortalecimiento de la pared

celular vegetal (Sams, 1999; Balic *et al.*, 2014). En general, las diferencias de calidad postcosecha han sido relacionadas a la fertilización (Ginsberg, 1985; Koen *et al.*, 1990).

La dinámica de la acumulación de nutrientes en el mesocarpio de 'Méndez' es similar a la descrita para 'Hass' (Salazar-García *et al.*, 2019). Las concentraciones de N y Ca en el mesocarpio son importantes para la calidad de la fruta postcosecha. Se ha encontrado que concentraciones altas de nitrógeno en los tejidos de la planta puede resultar en paredes celulares más delgadas, lo que explicaría la firmeza de los frutos del H2, ya que la concentración de N es media (Van Rooyen y Bower, 2005) (Cuadro X.). Además, el N en relación con el Mn son de los que más contribuyen al desarrollo del trastorno de decoloración (Van Rooyen y Bower, 2005).

**Cuadro 6.** Concentración nutrimental en el mesocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' del H2 en base a peso seco.

Nutrimento	MC	MIC	Testigo
		%	
N	0.84 a (M)	0.71 b (M)	0.70 b (M)
P	0.16 ab (M)	0.12 b (M)	0.18 a (M)
K	0.58 a (B)	0.50 b (B)	0.55 a (B)
Ca	0.09 c (M)	0.11 a (M)	0.10 b (M)
Mg	0.07 ab (M)	0.08 a (M)	0.07 b (M)
		mg/kg <sup>-1</sup>	
Fe	44 a (B)	45 a (B)	54 a (B)
Cu	5 a (B)	5 a (B)	5 a (B)
Zn	16 b (M)	23 a (M)	16 b (M)
Mn	5 b (B)	8 a (M)	7 a (M)
B	32 a (M)	32 a (M)	28 a (M)

Tratamiento con letras iguales dentro de cada fila no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=4$ . Interpretación de laboratorio: A: alto; M: medio; B: bajo.

**Cuadro 7.** Relaciones de potasio, calcio y magnesio en frutos (MS) de aguacate 'Méndez' del H2.

Tratamiento	K+Mg/Ca	K/Ca	Ca+Mg/K
Convencional	7.35 a	6.51 a	0.28 b
MIC	5.28 c	4.54 c	0.39 a
Testigo	6.22 b	5.51 b	0.31 b

Tratamiento con letras dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=4$ .

Las relaciones K+Mg/Ca y K/Ca, fueron estadísticamente diferentes, siendo mayores en los frutos del tratamiento MC y menor en MIC ( $p < 0.05$ ). En el caso de Ca+Mg/K, la relación fue mayor en el tratamiento MIC, en relación con MC y testigo ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 7). Los nutrimentos juegan un rol importante en la calidad del aguacate. Interacciones similares han observado Hofman *et al.* (2002), una relación positiva entre las concentraciones de Ca y (Ca+Mg) /K en pulpa; además, han reportado que frutos de aguacate 'Hass' con altos contenidos de Ca, Mg y alta relación Ca+Mg/K, presentan un retardo en la maduración y altas concentraciones de Ca disminuye la severidad de antracnosis. Esta es una posible explicación a la baja severidad de antracnosis en el H2. También se ha observado que el cultivar del aguacate y las prácticas de manejo influyen la concentración de nutrientes en la fruta (Salazar-García *et al.*, 2019) y esto influye en la inocuidad del fruto.

## Conclusiones del H2

En el municipio de Salvador Escalante el aguacate 'Méndez' presenta dos flujos de crecimiento vegetativo: verano-otoño e invierno, los cuales requieren para alcanzar la madurez fisiológica 10 y 9 meses, respectivamente.

La incidencia de la enfermedad en los frutos 'Méndez' de Salvador Escalante fue ligera o prácticamente nula. Un posible efecto de tratamientos en frutos fue descartado dado que no hubo diferencias significativas en la severidad de antracnosis en los tres tratamientos.

Respecto a la pérdida de peso durante la maduración a  $20\pm 2$  °C del fruto de aguacate 'Méndez', se presentaron menores pérdidas en frutos del tratamiento MIC al llegar a madurez de consumo, además, fue mayor el tiempo requerido para madurar.

La firmeza inicial de la pulpa resultó menor en los frutos del tratamiento testigo. Sin embargo, después de 8 d de maduración a  $20\pm 2$ °C, los frutos de MC, MIC y del testigo registraron valores cercanos a cero, sin diferencias entre tratamientos.

Los cambios en el color mostraron en los tres tratamientos una disminución significativa del IC, desde el inicio del almacenamiento ( $20\pm 2$ °C) hasta la madurez de consumo. No se detectó efecto significativo de tratamientos sobre la variable color en el exocarpio del aguacate.

Los análisis nutrimentales muestran que los frutos del tratamiento MIC tiene las más altas concentraciones de Ca, Mg y Zn en mesocarpio. Las concentraciones de K y N resultaron mayores en los frutos del MC.

Las relaciones K+Mg/Ca y K/Ca, fueron mayores en los frutos del tratamiento MC. En el caso de Ca+Mg/K, la relación fue mayor en el tratamiento MIC.

### **Discusión General**

Las frutas son afectadas en su calidad e inocuidad por diferentes factores durante el proceso productivo. Entre ellos se puede citar, el manejo y las condiciones edafoclimáticas. A fin de determinar la influencia del manejo y condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras, se investigó, cómo estos factores influyen en la calidad del aguacate. Se seleccionaron dos principales zonas productoras de aguacate en Michoacán, con clima diferente.

En los dos municipios el periodo de lluvias inició en mayo. Salvador Escalante presentó mayor precipitación anual (1666.2 mm) que Ziracuaretiro (1263 mm). Septiembre fue el mes de mayor HR para ambos municipios, se registró 91.35% y 93.16%, promedio mensual, respectivamente. Respecto a la temperatura, Ziracuaretiro obtuvo el registro mensual más alto en la máxima promedio (21.41 °C). El promedio mensual más bajo de temperatura mínima (12.5 °C) ocurrió en Salvador Escalante. La variabilidad climática de las regiones productoras de aguacate puede afectar la producción y calidad del fruto de aguacate (Lobell *et al.*, 2007).

El tiempo de duración del fruto desde floración a cosecha, varía considerablemente dependiendo del tiempo de duración del medio ambiente donde está establecido el cultivo (Bernal-Estrada *et al.*, 2017). De acuerdo con Bernal-Estrada *et al.* (2017), existe una influencia ambiental sobre el comportamiento fenológico del aguacate 'Hass'. El descenso de la temperatura ambiental como factor que promueve el desarrollo floral en aguacate ha sido documentado tanto en aguacate 'Hass' como en 'Méndez' (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 1999; Salazar-García *et al.*, 2006, 2018). En los dos huertos evaluados, el flujo floral verano-otoño fue el de mayor intensidad y más importante para la producción de brotes florales.

El efecto del MIC en la calidad y severidad de antracnosis en dos municipios del Estado de Michoacán que son productores de aguacate 'Méndez' se hizo partiendo de frutos que presentaban el mismo manejo agronómico, sin embargo, con condiciones climáticas contrastantes. En este estudio se pudo corroborar que tanto la temperatura como la precipitación y la humedad relativa mensual son factores de gran importancia en la incidencia de antracnosis. Se observó que este hongo fitopatógeno no presenta daños importantes en frutos en época de estiaje, ya que las primeras alertas de pronóstico de antracnosis se presentaron una vez iniciado el periodo de lluvias. El daño de antracnosis en los aguacates de ambos huertos es menor al 10 % de la superficie del fruto, en los tres tratamientos ( $p < 0.05$ ).

Kruger *et al.* (1999), estudiaron cómo influye el clima en la calidad postcosecha de los aguacates cultivados en África del Sur, señalaron que la temperatura y la precipitación tienen gran influencia en la acumulación de aceite. El

contenido de aceite se incrementa a una tasa mayor en los años en que se registran precipitaciones más altas. Esto se constata entre los dos huertos del presente estudio, es decir, el porcentaje de la MS fue mayor en frutos del H2 (29 %) que en los del H1 (26 %), sin embargo, entre tratamientos no se presentan diferencias estadísticas en el contenido de MS ( $p > 0.05$ ).

Las condiciones climáticas de cultivo, que definen las propiedades o atributos de los frutos en la recolección, determinan también el comportamiento de estos durante la postcosecha. La calidad de los frutos en la cosecha y durante la postcosecha dependen de las condiciones climáticas de cultivo. En el H2, la pérdida de peso y firmeza fue mayor en los tres tratamientos al llegar a madurez de consumo, en contraste con el H1; es decir, a mayor porcentaje de MS y mayor altitud, los frutos presentan más pérdida de peso y de firmeza, y menos durabilidad. Estos resultados difieren de los señalados Fischer *et al.* (2019) quienes infieren que los frutos producidos a altitud mayor tienen mayor peso, presentando en postcosecha menor pérdida de peso y firmeza.

El H2 tuvo el más alto porcentaje de pérdidas acumulativas de peso al octavo día, en los tres tratamientos. Aun cuando la pérdida de peso en H2 fue mayor que en el H1, la apariencia de los frutos de cada uno de los tratamientos, en madurez de consumo presentaron una apariencia externa e interna sin daños y además no hubo fruta con síntomas de deshidratación.

Uarrota *et al.* (2020) señalan que la firmeza se correlaciona bien con la madurez del aguacate, ya que está disminuye progresivamente desde la cosecha

hasta una textura suave de la pulpa. Lo anterior explica porque los frutos cosechados en el H2 maduraron en menos días que los del H1; ya que, a mayor grado de madurez fisiológica del fruto de aguacate al momento de cosecha, el tiempo para alcanzar la madurez de consumo disminuye (Zauberman y Jobin-Decor, 1995).

Los datos obtenidos de la variable color externo (IC) muestran que al momento del corte los frutos provenientes del H2 presentan valores más altos que el H1, es decir, frutos con un mayor valor cromático, los cuales también tuvieron un mayor contenido de aceite. Según, Escobar *et al.* (2019), la variabilidad del color por finca está ligada a las zonas de cultivo y condiciones precosecha; Fuentealba *et al.* (2017) dan cuenta de ello y sugieren que es importante agrupar los frutos por índice de madurez para disminuir la heterogeneidad del color durante la maduración de los frutos. En este experimento no se observaron cambios importantes en otros parámetros de color (hue o ángulo de tono, luminosidad y croma o índice de saturación) entre los tratamientos aplicados de ambos huertos.

La calidad postcosecha del fruto de aguacate es influenciada por la concentración de algunos nutrimentos al momento de la cosecha (Arpaia, 1994). Los análisis en el mesocarpio de frutos de aguacate 'Méndez' muestran que en ambos huertos el K, Fe y Cu se encuentran a un nivel bajo; el Mn está bajo en MC del H2 y normal en el H1, pero el Mn está normal en los tratamientos MIC y testigo de ambos huertos. El B, es un microelemento que se encuentra alto en el H1. En sentido general, los niveles de N, P, Ca, Mg y Zn son favorables al cultivo de aguacate y son muy similares en ambas zonas. La variación en las condiciones

agronómicas, la estación del año, factores climáticos, disponibilidad de agua y la luz (intensidad, calidad y duración) se sabe que afectan significativamente el contenido y el perfil de los fitoquímicos (Björkman *et al.*, 2011).

La temperatura media del aire es la variable meteorológica más asociada con las diferencias físicas y químicas del fruto (Salazar-garcía *et al.*, 2016b). Sin embargo, existen muchos otros factores que podrían ser responsables de que la mayoría de los huertos de aguacate no alcancen el potencial productivo. La continua interacción entre la constitución genética propia del árbol y su medioambiente en constante cambio determina el destino de muchos de los procesos que ocurren durante el crecimiento y desarrollo del fruto (Bernal-Estrada *et al.*, 2017).

## **VI. CONCLUSIONES GENERALES**

Los frutos de aguacate 'Méndez' derivados de la floración de verano-otoño de Ziracuaretiro y Salvador Escalante requieren 10 meses para alcanzar la madurez de cosecha.

En el municipio de Ziracuaretiro y Salvador Escalante, el flujo floral verano-otoño fue el de mayor intensidad y más importante para la producción de brotes florales.

Los frutos de aguacate 'Méndez' de los municipios de Ziracuaretiro y Salvador Escalante no presentan daño de antracnosis en época de estiaje. Además, el hongo fitopatógeno escapa a las condiciones propicias para su desarrollo, ya que

cuando los frutos son cosechados, se emiten las primeras alertas de pronóstico de antracnosis.

En los frutos aguacate 'Méndez' de Salvador Escalante, la pérdida de peso y firmeza fue mayor en los tres tratamientos al llegar a madurez de consumo, en contraste con los frutos de Ziracuaretiro. Se observó que, a mayor porcentaje de MS y mayor altitud, los frutos presentan más pérdida de peso y firmeza.

Durante la maduración, los frutos de los tres tratamientos en el H1 y H2 presentaron un perfil de índice de color (IC) con tendencia a la disminución.

Los niveles de N, P, Ca y Zn en mesocarpio son favorables al cultivo de aguacate y son muy similares en ambas zonas. Mientras que, el K, Fe y Cu se encuentran a un nivel bajo.

## VII. LITERATURA CITADA

- Ademe, A., Ayalew, A., and Woldetsadik, K. 2013. Evaluation of antifungal activity of plant extracts against papaya anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 4(10), 207-210.
- Alcántar, G. G., y M. V. Sandoval 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México. 156 p.
- Altamiranda, E. A. G., Andreu, A. B., Daleo, G. R., and Olivieri, F. P. 2008. Effect of  $\beta$ -aminobutyric acid (BABA) on protection against *Phytophthora infestans* throughout the potato crop cycle. *Australasian Plant Pathology*, 37(4), 421-427.
- Altieri, M. A., and C. I. Nicholls. 1994. Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Food Products Press®. Imprint of The Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford. 253 p.

- Álvarez-Bravo, A., y Salazar-García, S. 2017. Las condiciones ambientales determinan la rugosidad de la piel del fruto de aguacate 'Hass'. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE19), 4063-4073.
- Andrade, M. J., y Moreno, C. 2010. Influencia del tratamiento UV-C sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada. *Enfoque UTE*, 1(1), 01-11.
- Arpaia, M. L. 1994. Preharvest factors influencing postharvest quality of tropical and subtropical fruit. *HortScience*, 29(9), 982-985.
- Arpaia, M., Zeldá Van Rooyen, J. P., Hofman, P. J., y Woolf, A. B. 2004. Las prácticas culturales influyen sobre la calidad de la fruta en post cosecha. Arpaia, M., Van Rooyen, Z., Bower JP, Hofman, PJ and Woolf, AB, 2, 1-10.
- Arzate-Vázquez, I., Chanona-Pérez, J. J., de Jesús Perea-Flores, M., Calderón-Domínguez, G., Moreno-Armendáriz, M. A., Calvo, H., and Gutiérrez-López, G. 2011. Image processing applied to classification of avocado variety Hass (*Persea americana* Mill.) during the ripening process. *Food and Bioprocess Technology*, 4(7), 1307-1313.
- Ashton, O. B., Wong, M., McGhie, T. K., Vather, R., Wang, Y., Requejo-Jackman, C., and Woolf, A. B. 2006. Pigments in avocado tissue and oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10151-10158.
- Asociación de Productores y Exportadores de Aguacate de México (APEAM). 2020. Listado De plaguicidas autorizados para el cultivo del aguacate. En línea: <http://www.apeamac.com/eventos/>. Fecha de consulta: 17 de julio de 2020.
- Ávila, F. W., Faquin, V., Araujo, J. L., Marques, D. J., Júnior, P. M. R., da Silva Lobato, A. K., and Baliza, D. P. 2011. Phosphite supply affects phosphorus nutrition and biochemical responses in maize plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), 646.
- Ávila-Quezada, G. D., Téliz-Ortiz, D., Hernández, D. G., Huerta, H. V., Chávez, H. T., Naime, L. J., y Guzmán, R. M. 2002. Dinámica espacio-temporal de la roña (*Elsinoe perseae*), el daño asociado a trips y antracnosis (*Glomerella cingulata*) del aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología (México)* 20 (1): 77-87.
- Ávila-Quezada, G. D., Téliz-Ortiz, D., Mora-Aguilera, G., Vaquera-Huerta, H., and Tijerina-Chávez, L. 2003. Spatial and temporal dynamics of scab (*Sphaceloma perseae* Jenk.) on avocado (*Persea americana* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 152–160.
- Awad, M., and Young, R. E. 1979. Postharvest variation in cellulase, polygalacturonase, and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology*, 64(2), 306-308.

- Badnakhe, M. R., Durbha, S. S., Jagarlapudi, A., and Gade, R. M. 2018. Evaluation of Citrus Gummosis disease dynamics and predictions with weather and inversion-based leaf optical model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 130-141.
- Balic, I., Ejsmentewicz, T., Sanhueza, D., Silva, C., Peredo, T., Olmedo, P., and Prieto, H. 2014. Biochemical and physiological study of the firmness of table grape berries. *Postharvest Biology and Technology*, 93, 15-23.
- Barrientos-Priego, A. F., Martínez-Damián, M. T., Vargas-Madríz, H., and Lázaro-Dzul, M. O. 2016. Effect of preharvest calcium spraying on ripening and chilling injury in 'Hass' (*Persea americana* Mill.) avocado. *Revista Chapingo Serie horticultura*, 22(3), 145-159.
- Bartlett, D. W., Clough, J. M., Godwin, J. R., Hall, A. A., Hamer, M., and Parr-Dobrzanski, B. 2002. The strobilurin fungicides. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 58(7), 649-662.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., and Wilson, C. L. 2003. Effect of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides* anthracnose level and quality of papaya fruit. *Crop Protection*. 22:1087-1092.
- Bennett, A. B., Smith, G. M., and Nichols, B. G. 1987. Regulation of climacteric respiration in ripening avocado fruit. *Plant Physiology*, 83(4), 973-976.
- Bernal-Estrada, J., Vázquez-Gallo, L., and Valenzuela, C. 2017. Fenología del aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia, Colombia. In *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate* (pp. 04-07).
- Biggs, A. R. 1999. Effects of calcium salts on apple bitter rot caused by two *Colletotrichum* spp. *Plant disease*, 83(11), 1001-1005.
- Bill, M., Sivakumar, D., Korsten, L., and Thompson, A. K. 2014. The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Protection*, 64, 159-167.
- Binyamini, N., and Schiffmann-Nadel, M. 1972. Latent infection in avocado fruit due to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Phytopathology*, 62(6), 592-594.
- BioGanar. 2015. Hoja técnica BioKakimu, Prebiótico foliar. Tocancipá, Bogota.
- Björkman, M., Klingen, I., Birch, A. N., Bones, A. M., Bruce, T. J., Johansen, T. J., and Stewart, D. 2011. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health—Influences of climate, environment and agronomic practice. *Phytochemistry*, 72(7), 538-556.
- Blakey, R. J., Bower, J. P., and Bertling, I. 2009. Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the

- prediction of water content using Near Infrared Spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1-2), 72-76.
- Bower, J. P., and Cutting, J. G. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *Horticultural reviews*, 10(1982), 229-271.
- Cajuste, B., Saucedo, V., Colinas, L., y Ma, T. 1994. Comportamiento postcosecha de fruto de aguacate (cv. Hass) en función de la época de corte. *Revista Fitociencia Mexicana*, 17(1), 94-102.
- Campo-Arana, R. O., Esquivel, N. U., and Pérez-Polo, D. 2019. Integrated management of *Colletotrichum gloeosporioides* in yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(2), 87-94.
- Campos-Martínez, A., Velázquez-del Valle, M. G., Flores-Moctezuma, H. E., Suárez-Rodríguez, R., Ramírez-Trujillo, J. A., and Hernández-Lauzardo, A. N. 2016. Antagonistic yeasts with potential to control *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. and *Colletotrichum acutatum* JH Simmonds on avocado fruits. *Crop Protection*, 89, 101-104.
- Carvalho, C. P., Velásquez, M. A., y Van Rooyen, Z. 2015. Porcentaje mínimo de materia seca para una cosecha adecuada del aguacate cv. Hass en Colombia. In VIII World Avocado Congress (pp. 13-18).
- Castellano, G., Quijada, O., Ramírez, R., y Sayago, E. 2006. Efecto de la fertilización con calcio y el estado de madurez sobre la calidad de la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 109-113.
- Cerdas-Araya, M. D. M., Montero Calderón, M., and Somarribas Jones, O. 2014. Verification of dry matter content as indicator of harvest for Hass avocado fruits (*Persea americana*) grown in intermediate elevation production areas at Los Santos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 207-214.
- Chanderbali, A. S., Soltis, D. E., Soltis, P. S., and Wolstenholme, B. N. 2013. Taxonomy and botany. *The Avocado: Botany, Production and Uses*, 2nd Edn, eds BA Schaffer, BN Wolstenholme, and AW Whaley (Oxfordshire: CABI), 31-50.
- Chandler, D., Davidson, G., Grant, W. P., Greaves, J., and Tatchell, G. M. 2008. Microbial biopesticides for integrated crop management: an assessment of environmental and regulatory sustainability. *Trends in Food Science & Technology*, 19(5), 275-283.
- Chaplin, G. R., and Scott, K. J. (1980). Association of calcium in chilling injury susceptibility of stored avocados. *HortScience*, 15(4), 514-515.
- Chen, H., Ma, Y., Zhang, W. F., Ma, T., and Wu, H. X. 2015. Molecular phylogeny of *Colletotrichum* (Sordariomycetes: Glomerellaceae) inferred from multiple gene sequences. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 13649-13662.

- Cheour, F., Willemot, C., Arul, J., Desjardins, Y., Makhlof, J., Charest, P. M., and Gosselin, A. 1990. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(5), 789-792.
- Choi, J., Jeong, S., Cha, K., Chung, H., and Seo, K. 2000. Deficiency symptom, growth characteristics, and nutrient uptake of Nyoho's strawberry as affected by controlled nitrogen concentrations in fertilizer solution. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science*, 41(4), 339-344.
- Chowdhury, M. N. A., and Rahim, M. A. 2009. Integrated crop management to control anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) of mango. *Journal of Agriculture & Rural Development*, 115-120.
- Contreras, M. G., Lara-Chávez, M. B. N., Andrade, H. G., y Bárcenas, A. T. C. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 35(9), 647-653.
- Conway, W. S., Sams, C. E., and Kelman, A. 1994. Enhancing the natural resistance of plant tissues to postharvest diseases through calcium applications. *HortScience*, 29(7), 751-754.
- Conway, W. S., and Sams, C. E. 1987. The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness, respiration, and ethylene production in apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(2), 300-303.
- Cook, L. K. N. 1996. Optimizing culturing conditions for *Bacillus subtilis*. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 19, 54-58.
- Costa, B. H. G., de Resende, M. L. V., Monteiro, A. C. A., Ribeiro Júnior, P. M., Botelho, D. M. D. S., and Silva, B. M. D. 2018. Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. *Journal of Phytopathology*, 166(2), 95-102.
- Cox, K. A., McGhie, T. K., White, A., and Woolf, A. B. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(3), 287-294.
- Da Silva, C. D. F. B., and Michereff, S. J. 2013. Biology of *Colletotrichum spp.* and epidemiology of the anthracnose in tropical fruit trees. *Revista Caatinga*, 26(4), 130-138.
- Daayf, F., Ongena, M., Boulanger, R., El Hadrami, I., and Bélanger, R. R. 2000. Induction of phenolic compounds in two cultivars of cucumber by treatment of healthy and powdery mildew-infected plants with extracts of *Reynoutria sachalinensis*. *Journal of Chemical Ecology*, 26(7), 1579-1593.

- Damalas, C. A., and Eleftherohorinos, I. G. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1402-1419.
- Damm, U., Cannon, P. F., Woudenberg, J. H. C., and Crous, P. W. 2012. The *Colletotrichum acutatum* species complex. *Studies in mycology*, 73, 37-113.
- Daniel, R., and Guest, D. 2005. Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora*-challenged *Arabidopsis thaliana*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 67(3-5), 194-201.
- Dann, E. K., Ploetz, R. C., Coates, L. M., and Pegg, K. G. 2013. Foliar, Fruit and Soilborne Diseases. *The avocado: botany, production and uses*, 380-422.
- De Oliveira Aparecido, L. E., de Souza Rolim, G., De, J. R. D. S. C., Costa, C. T. S., and de Souza, P. S. 2020. Machine learning algorithms for forecasting the incidence of *Coffea arabica* pests and diseases. *International Journal of Biometeorology*, 1-18.
- De Wolf, E. D., and Isard, S. A. 2007. Disease cycle approach to plant disease prediction. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 45, 203-220.
- Dobrowolski, M. P., Shearer, B. L., Colquhoun, I. J., O'brien, P. A., and Hardy, G. S. 2008. Selection for decreased sensitivity to phosphite in *Phytophthora cinnamomi* with prolonged use of fungicide. *Plant pathology*, 57(5), 928-936.
- Donetti, M., and Terry, L. A. 2012. Investigation of skin colour changes as non-destructive parameter of fruit ripeness of imported Hass avocado fruit. Sweden. *Acta Horticulturae*. 945:189-196.
- Dong, F., Li, J., Chankvetadze, B., Cheng, Y., Xu, J., Liu, X., and Zanasi, R. 2013. Chiral triazole fungicide difenoconazole: absolute stereochemistry, stereoselective bioactivity, aquatic toxicity, and environmental behavior in vegetables and soil. *Environmental science technology*, 47(7), 3386-3394.
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28(1), 33-46.
- Dreher, M. L., and Davenport, A. J. 2013. Hass avocado composition and potential health effects. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(7), 738-750.
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarasin, D., and Wilson, C. 2009. Twenty years of postharvest biocontrol research: is it time for a new paradigm?. *Postharvest biology and technology*, 52(2), 137-145.
- Drori, N., Kramer, H., Haimovch, Rollins, J., Dinoor, A., Ocoton Y., Pines, O., and Prusky, D. 2003. External pH and nitrogen source affect secretion of pectate lyase by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Applied and Environmental Microbiology* 69:3258–3262.
- Durán-Peralta, E., Téliz-Ortíz, D., Pedraza-Sandoval, A., Mora-Aguilera, A. Ávilla-Quezada, G.D., y González-Hernández, H. 2017. Modelo de pronóstico para

- el control de la antracnosis del aguacate en Michoacán, México. Tesis de Doctorado. Colegio Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Fitosanidad, Programa de Fitopatología.
- Elías-Román, R. D., Medel-Ortiz, R., Alvarado-Rosales, D., Hanna, J. W., Ross-Davis, A. L., Kim, M. S., and Klopfenstein, N. B. 2018. *Armillaria mexicana*, a newly described species from Mexico. *Mycologia*, 110(2), 347-360.
- Environmental protection agency (EPA). 2018. Calcium Salts of Phosphorous Acid; Exemption from the Requirement of a Tolerance. 83 FR 3605. En línea: <https://www.federalregister.gov/documents/2018/01/26/2018-01494/calcium-salts-of-phosphorous-acid-exemption-from-the-requirement-of-a-tolerance>. Fecha de consulta: 31 de octubre de 2020.
- Escobar, J. V., Rodríguez, P., Cortés, M., y Correa, G. 2019. Influencia de la materia seca como índice de madurez de cosecha y tiempo de almacenamiento en frío sobre la calidad del aguacate cv. Hass producido en la región del trópico alto. *Información tecnológica*, 30(3), 199-210.
- Eshraghi, L., Anderson, J., Aryamanesh, N., Shearer, B., McComb, J., Hardy, G. S., and O'Brien, P. A. 2011. Phosphite primed defence responses and enhanced expression of defence genes in *Arabidopsis thaliana* infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology*, 60(6), 1086-1095.
- European Food Safety Authority (EFSA), Anastassiadou, M., Bernasconi, G., Brancato, A., Carrasco Cabrera, L., Greco, L., Jarrah, S., Kazocina, A., Leushner, R., Oriol Magrans, J., Miron, I., Nave, S., Pedersen, R., Reich, H., Rojas, A., Sacchi, A., Santos, M., Stanek, A., Theobald, A., Vagenende, B., and Verani, A. 2020. Modification of the existing maximum residue levels for fosetyl/phosphonic acid in various crops. *EFSA Journal*, 18(1), e05964.
- Everett, K. R., Owen, S. G., and Cutting, J. G. M. 2005. Testing efficacy of fungicides against postharvest pathogens of avocado (*Persea americana* cv Hass). *New Zealand Plant Protection*, 58, 89-95.
- Ferguson, I., Volz, R., and Woolf, A. 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 255-262.
- Fischer, G., Tamayo, J. H. C., y Parra-Coronado, A. 2019. Influencia de las condiciones climáticas de cultivo en la calidad en cosecha y en el comportamiento postcosecha de frutos de Feijoa. *Tecnología en Marcha*, 32(2), 86-92.
- Fischer, I. H., Moraes, M. F. D., Palharini, M. C. D. A., Fileti, M. D. S., Cruz, J. C. S., and Firmino, A. C. 2018. Effect of conventional and alternative products on postharvest disease control in avocados. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(1).
- Fitzell, R. D. 1987. Epidemiology of anthracnose disease of avocados. *South African Avocado Grower's Association Yearbook*, 10, p. 113-116.

- Flaishman, M. A., and Kolattukudy, P. E. 1994. Timing of fungal invasion using host's ripening hormone as a signal. *Proceedings of the national academy of sciences*, 91(14), 6579-6583.
- Flores, N. R., Veloz, C. S., Osorio, C. G., y Reyes, D. S. 2016. Producción de etileno y cambios asociados a la maduración de frutos de aguacate 'Hass' y 'Carmen Hass'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1), 24-29.
- Franco Sánchez, M. A., Leos Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., Acosta Ramos, M., y García Munguía, A. 2018. Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 391-403.
- Freeman, S., Katan, T., and Shabi, E. 1998. Characterization of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose disease of various fruits. *Plant disease* 82: 596-605.
- Freeman, S., Protasov, A., Sharon, M., Mohotti, K., Eliyahu, M., Okon-Levy, N., and Mendel, Z. 2012. Obligate feed requirement of *Fusarium* sp. nov., an avocado wilting agent, by the ambrosia beetle *Euwallacea* aff. *fornicata*. *Symbiosis*, 58(1-3), 245-251.
- Fuentealba, C., Pedreschi, R., Hernández, I., and Saavedra, J. (2016). A statistical approach for assessing the heterogeneity of Hass avocados subjected to different postharvest abiotic stresses. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 43(3), 356-365.
- Fuentes-Aragón, D., Silva-Rojas, H. V., Guarnaccia, V., Mora-Aguilera, J. A., Aranda-Ocampo, S., Bautista-Martínez, N., and Téliz-Ortíz, D. 2020. *Colletotrichum* species causing anthracnose on avocado fruit in Mexico: current status. *Plant Pathology*.
- Gabor, B. K., Guillemet, F. B., and Coffey, M. D. 1990. Comparison of field resistance to *Phytophthora cinnamomi* in twelve avocado rootstock. *HortScience*, 25(12), 1655-1656.
- Galarza, L. A., Veloz, C. S., Ramírez, E. B., y Hernández, H. G. 2002. Maduración de frutos de aguacate hass tratados con radiación gamma. *Agrociencia*, 36(6), 667-673.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF. México. Instituto de Geografía. Serie libros Núm. 6. 98 p.
- García-Taín, Y., García Pereira, A., Hernández Góme, A., y Pérez Padrón, J. 2011. Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, 20(4), 12-16.
- Garrido-Ramírez, E. R., Noriega-Cantú, D., Pereyda-Hernández, J., Jiménez-Guillén, R., y Cruzaley-Sarabia, R. 2014. Manejo integrado de la antracnosis

- y caída de frutos de mango ataulfo en las costas de Guerrero. INIFAP, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Iguala, Folleto Técnico Núm. 22, Iguala de la Independencia, Guerrero, México. 28 p.
- Gillespie, T. J., and Sentelhas, P. C. 2008. Agrometeorology and plant disease management: a happy marriage. *Scientia Agricola*, 65(spe), 71-75.
- Ginsberg, L. 1985. Post-harvest physiological problems of avocados. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 8, 8-11.
- Gisi, U., and Sierotzki, H. 2008. Fungicide modes of action and resistance in downy mildews. *European Journal of Plant Pathology*. 122(1): 157-167.
- Gómez-Merino, F. C., and Trejo-Téllez, L. I. 2015. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 82-90.
- Guardado-Valdivia, L., Tovar-Pérez, E., Chacón-López, A., López-García, U., Gutiérrez-Martínez, P., Stoll, A., and Aguilera, S. 2018. Identification and characterization of a new *Bacillus atrophaeus* strain B5 as biocontrol agent of postharvest anthracnose disease in soursop (*Annona muricata*) and avocado (*Persea americana*). *Microbiological research*, 210, 26-32.
- Guerrero-Barajas, C., Constantino-Salinas, E. A., Amora-Lazcano, E., Tlalapango-Ángeles, D., Mendoza-Figueroa, J. S., Cruz-Maya, J. A., and Jan-Roblero, J. 2020. *Bacillus mycoides* A1 and *Bacillus tequilensis* A3 inhibit the growth of a member of the phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides* species complex in avocado. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Gutiérrez -Alonso, J. G., Gutiérrez Alonso, O., Nieto Ángel, D., Téliz Ortiz, D., Zavaleta Mejía, E., Delgadillo Sánchez, F., y Vaquera Huerta, H. 2003. Evaluación de Resistencia a Imazalil, Prochloraz y Azoxystrobin en Aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y Control de la Antracnosis del Mango. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3).
- Gutiérrez Alonso, J. G., Nieto Ángel, D., Téliz Ortiz, D., Zavaleta Mejía, E., Vaquera Huerta, H., y Delgadillo Sánchez, F. 2004. Manejo integrado de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc.] del mango (*Mangifera indica* L.) durante la postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(3), 395-402.
- Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., y Chávez-Bárcenas, A. T. 2010. Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*, 35(9), 647-653.
- Haas, A. R. C. 1937. Distribution of inorganic constituents in avocado fruits. *Calif. Avocado Assoc. Ybk*, 133-139.
- Havenga, W., De Jager, E. S., and Korsten, L. 1999. Factors affecting biocontrol efficacy of *Bacillus subtilis* against *Colletotrichum gloeosporioides*. *S. Afr. Avocado Growers' Assoc. Yearb*, 22, 12-20.

- Hernández, H. G., Ramos, A. M., De la Paz, A. V., y González, M. 1999. Selección de trampas de color y fluctuación poblacional de trips del aguacate en Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 287-290.
- Herrera-González, J. A., Salazar-García, S., Gutiérrez-Martínez, P., y González-Durán, I. J. L. 2013. El comportamiento postcosecha de frutos de aguacate 'Hass' es influenciado por el portainjerto. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(1), 19-32.
- Herrera-González, J. A., Salazar-García, S., Martínez-Flores, H. E., y Ruiz-García, J. E. 2017. Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate Méndez. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(1), 55-63.
- Hofman, P. J., Vuthapanich, S., Whiley, A. W., Klieber, A., and Simons, D. H. 2002. Tree yield and fruit minerals concentrations influence 'Hass' avocado fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 92(2), 113-123.
- Holt, J., and Chancellor, T. C. B. 1997. A model of plant virus disease epidemics in asynchronously-planted cropping systems. *Plant Pathology*, 46(4), 490-501.
- Huber, D. M., and McCay-Buis, T. S. 1993. A multiple component analysis of the take-all disease of cereals. *Plant Disease*, 77(5), 437-447.
- Illsley-Granich, C., Brokaw, R., and Ochoa-Ascencio, S. 2011. Hass Carmen<sup>®</sup>, a precocious flowering avocado tree. In *Proceedings VII World Avocado Congress*, pp. 5-9.
- Jacob-Wilk, D., Holland, D., Goldschmidt, E. E., Riov, J., and Eyal, Y. 1999. Chlorophyll breakdown by chlorophyllase: isolation and functional expression of the Chlase1 gene from ethylene-treated Citrus fruit and its regulation during development. *The Plant Journal*, 20(6), 653-661.
- Jang, S. J., Kim, S. S., and Kuk, Y. I. 2019. Effect of plant extracts and emulsifiers on control of anthracnose (*Colletotrichum coccodes*) in persimmon trees. *Biological Agriculture & Horticulture*, 35(2), 123-131.
- Jeger, M. J., Holt, J., Van Den Bosch, F., and Madden, L. V. 2004. Epidemiology of insect-transmitted plant viruses: modelling disease dynamics and control interventions. *Physiological Entomology*, 29(3), 291-304.
- Jiménez-Cuesta, M., Cuquerella, J., and Martínez-Javaga, J. M. 1982. Determination of a color index for citrus fruit degreening. In *Proceedings of the International Society of Citriculture/[International Citrus Congress, November 9-12, 1981, Tokyo, Japan; K. Matsumoto, editor]*. Shimizu, Japan: International Society of Citriculture, 1982-1983.
- Karabulut, O. A. and Baykal, N. 2004. Integrated control of postharvest disease of peaches with a yeast, hot water and modified atmosphere packaging. *Crop Protection* 23:431-435.

- Kaur, H., Künnemeyer, R., and McGlone, A. 2017. Comparison of hand-held near infrared spectrophotometers for fruit dry matter assessment. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 25(4), 267-277.
- Kefialew, Y., and Ayalew, A. 2008. Postharvest biological control of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) on mango (*Mangifera indica*). *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 8-11.
- Khabbaz, S. E., Zhang, L., Cáceres, L. A., Sumarah, M., Wang, A., and Abbasi, P. A. 2015. Characterisation of antagonistic *Bacillus* and *Pseudomonas* strains for biocontrol potential and suppression of damping-off and root rot diseases. *Annals of Applied Biology*, 166(3), 456-471.
- Kim, S., Lee, M., and Shin, C. 2018. IoT-based strawberry disease prediction system for smart farming. *Sensors*, 18(11), 4051.
- Kobiler, I., Prusky, D., Midland, S., Sims, J. J., and Keen, N. T. 1993. Compartmentation of antifungal compounds in oil cells of avocado fruit mesocarp and its effect on susceptibility to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 43(5), 319-328.
- Koen, T. J., Du Plessis, S. F., and Terblanche, J. H. 1989. Nutritional factors involved in physiological post-harvest fruit disorders of avocados (cv. Fuerte). In *International Symposium on the Culture of Subtropical and Tropical Fruits and Crops 275* (pp. 543-550).
- Kogan, M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual review of entomology*, 43(1), 243-270.
- Köhl, J., Postma, J., Nicot, P., Ruocco, M., and Blum, B. 2011. Stepwise screening of microorganisms for commercial use in biological control of plant-pathogenic fungi and bacteria. *Biological control*, 57(1), 1-12.
- Korsten, L., De Jager, E. S., De Villiers, E. E., Lourens, A., Kotze, J. M., and Wehner, F. C. 1995. Evaluation of Bacterial Epiphytes Isolated from Avocado Leaf and Fruit Surfaces. *Plant Disease*, 79(11), 1149.
- Kruger, F. J., Claassens, N. J. F., Kritzinger, M., and Claassens, V. E. 1999. A short review of recent research on the impact of climatic conditions on the postharvest quality of South African export avocados. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 58(5), 339-345.
- Kumara, K. L., and Rawal, R. D. 2010. Influence of carbon, nitrogen, temperature and pH on the growth and sporulation of some Indian isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease of papaya (*Carrica papaya* L). *Tropical Agricultural Research and Extension*, 11.
- Kupper, K. C., Wickert, E., Aukar, A. P. A., Rivas, E., and Goes, A. D. 2010. Genetic diversity of *Bacillus subtilis* isolates with potential to biological control of

*Colletotrichum acutatum* and *Guignardia citricarpa*. Summa Phytopathologica, 36(3), 195-202.

- Lallum, N., Punter, M., Haynes, G., Pidakala, P., and Burdon, J. 2004. Role of water loss in ripening of 'Hass' avocados. New Zealand Avocado Growers Association Annual Research Report, 4, 70-79.
- Lee, S. K., Young, R. E., Schiffman, P. M., and Coggins, C. W. 1983. Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight. J. Amer. Soc. Hort. Sci, 108(3), 390-394.
- Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S., and Liu, Y. 2013. Utilization of antagonistic yeasts to manage postharvest fungal diseases of fruit. International journal of food microbiology, 167(2), 153-160.
- Lopes, L. F., Cruz, A. F., Barreto, M. L. D. A., Vasconcelos, T. M. M. D., and Blum, L. E. B. 2017. Post-harvest treatment with Ca-phosphite reduces anthracnose without altering papaya fruit quality. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 1-7.
- López L, L., y Cajuste B, J. F. (1996). Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate 'Fuerte'. *Memorias de la Fundación Sánchez Colín-CICTAMEX, SC Coatepec Harinas, México*, 23-29.
- López-López, L., y Cajuste-Bontemps, J. F. 1999. Comportamiento postcosecha de fruta de aguacate cv. Hass con base en la altitud de producción y tipo de floración. Revista Chapingo Serie Horticultura, 5, 365-371.
- Lovatt, C. 2013. Hass avocado nutrition research in California. Avocado Society Yearbook, 96, 74-105.
- Lovatt, C. J., and Mikkelsen, R. L. 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do. Better crops, 90(4), 11-13.
- Luengas-Gómez, C. A., Roa-Vásquez, M. D., and Orrego-Vásquez, J. D. 2012. Evaluation of a prebiotic and potassium for the control of anthracnose in the tree tomato. Agronomía Colombiana, 30(2), 230-235.
- Machinandiarena, M. F., Lobato, M. C., Feldman, M. L., Daleo, G. R., and Andreu, A. B. 2012. Potassium phosphite primes defense responses in potato against *Phytophthora infestans*. Journal of Plant Physiology, 169(14), 1417-1424.
- Magwaza, L. S., and Tesfay, S. Z. 2015. A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity. Food and bioprocess technology, 8(10), 1995-2011.
- Marais, L. J. 2004. Avocado diseases of major importance worldwide and their management. In Diseases of Fruits and Vegetables: Volume II (pp. 1-36). Springer, Dordrecht.

- Marques, J. R., Hofman, P. J., and Wearing, A. H. 2006. Between-tree variation in fruit quality and fruit mineral concentrations of Hass avocados. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(9), 1195-1201.
- Márquez, C. J., Yepes, D. P., Sanchez, L., y Osorio, J. A. 2017. Cambios físico-químicos del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. "Hass") en postcosecha para dos municipios de Antioquia.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, San Diego, CA, USA. 889 pp.
- Martínez Sánchez, Y. 2015. Identificación y caracterización de bacterias antagonistas del patógeno de aguacate: *Colletotrichum gloeosporioides*. Tesis de Maestría. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec, Morelos.
- Masikane, S. L., Novela, P., Mohale, P., and McLeod, A. 2020. Effect of phosphonate application timing and-strategy on phosphite fruit and root residues of avocado. *Crop Protection*, 128, 105008.
- Molina de P, O. R. 2009. La papa: Diversos elementos que intervienen en la cuantificación de su costo de producción. *Actualidad Contable Faces*, 12(18).
- Monsalve, J. V., Rosero, S. E. V., Cárdenas, N. J. R., y Duarte, F. O. T. 2012. Efectos del fosfito de potasio en combinación con el fungicida metalaxyl+ mancozeb en el control de mildew veloso (*Peronospora destructor* Berk) en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 65(1), 6317-6325.
- Moral, J., Agustí-Brisach, C., Agalliu, G., de Oliveira, R., Pérez-Rodríguez, M., Roca, L. F., and Traperó, A. 2018. Preliminary selection and evaluation of fungicides and natural compounds to control olive anthracnose caused by *Colletotrichum* species. *Crop Protection*, 114, 167-176.
- Moreira, R. R., Nesi, C. N., y De Mio, L. L. M. 2014. *Bacillus spp.* and *Pseudomonas putida* as inhibitors of the *Colletotrichum acutatum* group and potential to control Glomerella leaf spot. *Biological control*, 72, 30-37.
- Moreno, B. L., y Oyola, Y. A. D. 2016. Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (*Rubus alpinus* Macfad). *Acta Agronómica*, 65(2), 130-136.
- Nam, M. H., Jeong, S. K., Lee, Y. S., Choi, J. M., and Kim, H. G. 2006. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on strawberry anthracnose. *Plant Pathology*, 55(2), 246-249.
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Poblete-Echeverría, C. A., Nieuwoudt, H. H., Tesfay, S. Z., and Mditshwa, A. 2018. On-tree indexing of 'Hass' avocado fruit by non-destructive assessment of pulp dry matter and oil content. *Biosystems Engineering*, 174, 41-49.

- NMX - Norma Mexicana de Calidad. 2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano - fruta fresca – Aguacate (*Persea americana* Mill.). Especificaciones. dirección General de Normas, Mexico.
- Noriega-Cantú, D. H., Pereyda-Hernández, J., and Garrido-Ramírez, E. R. 2017. Efecto de factores climatológicos sobre la fluctuación de esporas en árboles de mango cv. Ataulfo en Guerrero, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(2), 227-241.
- Nunes, M. C. N., Emond, J. P., Rauth, M., Dea, S., and Chau, K. V. 2009. Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste. *Postharvest Biology and Technology*, 51(2), 232-241.
- Ochoa-Ascencio, S., Hertog, M. L., and Nicolaï, B. M. 2009. Modelling the transient effect of 1-MCP on 'Hass' avocado softening: A Mexican comparative study. *Postharvest Biology and Technology*, 51(1), 62-72.
- Ogoshi, C., de Abreu, M. S., da Silva, B. M., Neto, H. S., Júnior, P. M. R., and De Resende, M. L. V. 2013. Potassium phosphite: a promising product in the management of diseases caused by *Colletotrichum gloeosporioides* in coffee plants. *Bioscience Journal*, 29(5).
- Ong, M. K., and Ali, A. 2015. Antifungal action of ozone against *Colletotrichum gloeosporioides* and control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 113-119.
- Ortiz, R. V., Noriega-Cantú, D. H., Guerra, M. M., Hinojosa, J. R. C., Cruz, E. S., y Sánchez, J. M. 2020. Rentabilidad del sistema de producción manejo integrado de limón mexicano en copalillo, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1247-1257.
- Pagliaccia, D., Pond, E., McKee, B., and Douhan, G. W. 2013. Population genetic structure of *Phytophthora cinnamomi* associated with avocado in California and the discovery of a potentially recent introduction of a new clonal lineage. *Phytopathology*, 103(1), 91-97.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., and Al-Said, F. A. J. 2013. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. *Food and bioprocess technology*, 6(1), 36-60.
- Pérez Álvarez, S., Ávila Quezada, G., y Coto Arbelo, O. 2015. El aguacatero (*Persea americana* Mill). *Cultivos Tropicales*, 36(2), 111-123.
- Pérez-Jiménez, R. M. 2008. Significant avocado diseases caused by fungi and oomycetes. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2(1), 1–24.
- Perkins, M. L., Usanase, D., Zhang, B., Joyce, D. C., and Coates, L. M. 2020. Impact Injury at Harvest Promotes Body Rots in 'Hass' Avocado Fruit upon Ripening. *Horticulturae*, 6(1), 11.

- Pesis, E., Fuchs, Y., and Zauberman, G. 1978. Cellulase activity and fruit softening in avocado. *Plant Physiology*, 61(3), 416-419.
- Prusky, D. 1996a. Pathogen quiescence in postharvest diseases. *Annual review of Phytopathology*, 34(1), 413-434.
- Prusky, D., Wattad, C., and Kobilier, I. 1996b. Effect of ethylene on activation of lesion development from quiescent infections of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado fruits. *Molecular plant-microbe interactions: MPMI (USA)*.
- Ramírez Gil, J. G., Castañeda Sánchez, D. A., and Morales Osorio, J. G. 2013. Dinámica microbiana del suelo asociada a diferentes estrategias de manejo de *Phytophthora cinnamomi* Rands en aguacate. *Revista Ceres*, 60(6), 811-819.
- Ramírez-Gil, J. G. 2018. Avocado wilt complex disease, implications and management in Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(2), 8525-8541.
- Ramírez-Gil, J. G., Castañeda-Sánchez, D. A., and Morales-Osorio, J. G. 2017. Production of avocado trees infected with *Phytophthora cinnamomi* under different management regimes. *Plant Pathology*, 66(4), 623-632.
- Ramírez-Gil, J. G., and Morales-Osorio, J. G. M. 2020. Integrated proposal for management of root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* in avocado cv. Hass crops. *Crop Protection*, 105271.
- Ramírez-Legarreta, M. R., y Jacobo-Cuéllar, J. L. 2002. Impacto ambiental del uso de plaguicidas en huertos de manzano del noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20(2), 168-173.
- Réblová, M., Gams, W., and Seifert, K. A. 2011. *Monilochaetes* and allied genera of the *Glomerellales*, and a reconsideration of families in the *Microascales*. *Studies in Mycology*, 68, 163-191.
- Reyes-Alemán, J. C., Montigudo-Rodríguez, O. R., Urbina-Sánchez, E., Aguilar-Medel, S., y Mejía-Carranza, J. 2015. Fenología del aguacate Hass, una herramienta para la planificación del cultivo en el estado de México. In *Actas-Proc. VIII Congr. Mund. La Palta 2015 VIII World Avocado Congr. 2015* (pp. 371-376).
- Rivera, S. A., Ferreyra, R., Robledo, P., Selles, G., Arpaia, M. L., Saavedra, J., and Defilippi, B. G. 2017. Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long term storage. *Scientia Horticulturae*, 216, 29-37.
- Rocha-Arroyo, J. L., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A. E., González-Durán, I. J., y Cossio-Vargas, L. E. 2011. Fenología del aguacate'Hass' en Michoacán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 303-316.
- Rodríguez, A. T., Dávila, J. F. R., Siclán, M. L. S., Vildózola, Á. C., Zamora, F. I. M., y Díaz, A. V. L. 2020. Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum*

- gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. Revista Argentina de Microbiología, 52(1), 72-81.
- Rodríguez, P., y Henao, J. 2016. Maduración del Aguacate (*Persea Americana* Mill cv. Hass) y calidad de los Frutos. Agronomía Colombiana, 1(1).
- Ruangwong, O. U., Chang, C. I., Lamine, S. A., and Liang, W. J. 2012. Identification of antifungal compound produced by *Bacillus subtilis* LB5 with ability to control anthracnose disease caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. African Journal of Microbiology Research, 6(16), 3732-3738.
- Ruiz-Sánchez, E., Mejía-Bautista, M. Á., Cristóbal-Alejo, J., Valencia-Botín, A., y Reyes-Ramírez, A. 2014. Actividad antagónica de filtrados de *Bacillus subtilis* contra *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(7), 1325-1332.
- Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., Ibarra-Estrada, M. E., and Mellado-Vázquez, A. 2019. Accumulation of nutrients during the development of 'Méendez' avocado fruit. Revista Terra Latinoamericana, 37(4), 469-478.
- Salazar-García, S., Cossio-Vargas, L. E., Lovatt, C. J., González-Durán, I. J., and Pérez-Barraza, M. H. 2006. Crop Load Affects Vegetative Growth Flushes and Shoot Age Influences Irreversible Commitment to Flowering of Hass' Avocado. HortScience, 41(7), 1541-1546.
- Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., y Tapia-Vargas, L. M. 2011. Influencia del clima, humedad del suelo y época de floración sobre la biomasa y composición nutrimental de frutos de aguacate 'Hass' en Michoacán, México. Revista Chapingo. Serie horticultura, 17(2), 183-194.
- Salazar-García, S., Ibarra-Estrada, M. E., y González-Valdivia, J. 2018. Fenología del aguacate 'Méendez' en el sur de Jalisco, México. Agrociencia, 52(7), 991-1003.
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E., y Álvarez-Bravo, A. 2016a. Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(SPE13), 2565-2575.
- Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R. E., y Álvarez-Bravo, A. 2016b. Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate 'Hass' producido en tres regiones de México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 7(2), 277-289.
- Salazar-García, S., y Lazcano-Ferrat, I. 1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. Revista Chapingo Serie Horticultura, 5(especial).
- Salazar-García, S., Zamora-Cuevas, L., y Vega-López, R. J. 2005. Actualización sobre la industria del aguacate en Michoacán, México. California Avocado Society, Yearbook, 87, 45-54.

- Sams, C. E. 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 249-254.
- Sanaeifar, A., Bakhshipour, A., and De la Guardia, M. 2016. Prediction of banana quality indices from color features using support vector regression. *Talanta*, 148, 54-61.
- Sánchez, G., P., Molinos Da Silva, C., Alcántar, G., G., y Sandoval, V., M. 2009. Diagnóstico nutrimental en plantas. pp. 202-247. n: *Nutrición de Cultivos*. Alcántar, G., G., Trejo-Téllez, L. I. (eds.). Mundi-Prensa. México.
- Sánchez, M. A. F., Rodríguez, J. A. L., González, J. M. S., Ramos, M. A., y Munguía, A. G. 2018. Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 391-403.
- Saucedo-Hernández, L., Martínez-Damián, M. T., Colinas-León, M. T., Barrientos-Priego, A. F., y Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio en la maduración y daños por frío en aguacate 'Fuerte'. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 149-157.
- Secretaría de Economía. (s.f.)<sup>1</sup>. NOM'S. En línea: [www.economianoms.gob.mx/consultasAction.do](http://www.economianoms.gob.mx/consultasAction.do). Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2020.
- Secretaría de Economía. (s.f.)<sup>2</sup>. NMX. En línea: <http://www.economiamx.gob.mx/normasmx/consulta.nmx>. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2020.
- Sefu, G., Satheesh, N., and Berecha, G. 2015. Effect of essential oils treatment on anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) disease development, quality and shelf life of mango fruits (*Mangifera indica* L). *American-Eurasian J Agric & Environ Sci*, 15(11), 2160-2169.
- Seymour, G.B., and Tucker, G.A. 1933. Avocado. In: Seymour, G.B.; Taylor, J.E.; Tucker, G.A. *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall. pp.53-76.
- Shibuya, N., and Minami, E. 2001. Oligosaccharide signalling for defence responses in plant. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 59(5), 223-233.
- SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. En línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Fecha de consulta: 16 de mayo de 2019.
- Solís-Fraire, J. J., Barrientos-Priego, A. F., Pérez-Mercado, C. A., Rubí-Arriaga, M., Martínez-Damián, M. T., y Reyes-Alemán, J. C. 1998. Aplicaciones foliares de nitrato de calcio, su efecto en el contenido nutrimental de hoja y mesocarpio en aguacatero (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 4(2), 11

- Spadaro, D., and Gullino, M. L. 2004. State of the art and future prospects of the biological control of postharvest fruit diseases. *International journal of food microbiology*, 91(2), 185-194.
- Téliz, D., y Marroquín P., F. J. 2007. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. pp 1–28. *In: El Aguacate y su Manejo Integrado*. Téliz, D., y Mora, A. (coord.). Mundiprensa. D.F., México.
- Téliz, O. D., y Mora, A. A. 2019. Enfermedades del aguacate. *El Aguacate y su Manejo Integrado*. Editorial Mundi Prensa. México, DF, 173 pp. Gabor, B. K., Guillemet, F.
- Travers, S., Bertelsen, M. G., Petersen, K. K., and Kucheryavskiy, S. V. 2014. Predicting pear (cv. Clara Frijs) dry matter and soluble solids content with near infrared spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1107-1113.
- Trebitsh, T., Goldschmidt, E. E., and Riov, J. 1993. Ethylene induces de novo synthesis of chlorophyllase, a chlorophyll degrading enzyme, in citrus fruit peel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(20), pp. 9441-9445.
- Uarrotá, V. G., Hernández, I., Ponce Guequen, E., Vidal Cruz, J., Fuentealba, C., Defilippi, B. G., and Pedreschi, R. 2020. Unravelling factors associated with 'blackspot' disorder in stored Hass avocado (*Persea americana* Mill) fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1-12.
- Van Rooyen, Z., and Bower, J. P. 2005. The role of fruit mineral composition on fruit softness and mesocarp discoloration in 'Pinkerton' avocado (*Persea Americana* Mill.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(6), 793-799.
- Veresoglou, S. D., Barto, E. K., Meneses, G., and Rillig, M. C. 2013. Fertilization affects severity of disease caused by fungal plant pathogens. *Plant Pathology*, 62(5), 961-969.
- Vilaplana, R., Pazmiño, L., and Valencia-Chamorro, S. 2018. Control of anthracnose caused by *Colletotrichum musae*, on postharvest organic banana by thyme oil. *Postharvest Biology and Technology*, 138, 56-63.
- Vivekananthan, R., Ravi, M., Ramanathan, A., and Samiyappan, R. 2004. Lytic enzymes induced by *Pseudomonas fluorescens* and other biocontrol organisms mediate defence against the anthracnose pathogen in mango. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(3), 235-244.
- Walton, T. J., and Kolattukudy, P. E. 1972. Determination of the structures of cutin monomers by a novel depolymerization procedure and combined gas chromatography and mass spectrometry. *Biochemistry*, 11(10), 1885-1897.
- Weir, B. S., Johnston, P. R., and Damm, U. 2012. The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. *Studies in mycology*, 73, 115-180.

- Whiley, A. W., Saranah, J. B., Cull, B. W., and Pegg, K. G. 1988. Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. Queensland agricultural journal, 114(1), 29-36.
- Whiley, A. W., Saranah, J. B., and Wolstenholme, B. N. 1992. Effect of paclobutrazol bloom sprays on fruit yield and quality of cv. Hass avocado growing in subtropical climates. In Proc. Of Second World Avocado Congress (pp. 227-232).
- Whiley, A. W., Smith, T. E., Wolstenholme, B. N., and Saranah, J. B. 1996. Boron nutrition of avocados. South African Avocado Growers' Association Yearbook, 19, 1-7.
- Willingham, S. L., Cooke, A. W., Coates, L. M., and Pegg, K. G. 2000. Pepper spot: a new preharvest *Colletotrichum* disease of avocado cv. Hass. Australasian Plant Pathology: AAP, 29(2), 151.
- Wills, R. B. H., and Tirmazi, S. I. H. 1982. Inhibition of ripening of avocados with calcium. Scientia Horticulturae, 16(4), 323-330.
- Witney, G. W., Hofman, P. J., and Wolstenholme, B. N. 1990a. Mineral distribution in avocado trees with reference to calcium cycling and fruit quality. Scientia Horticulturae, 44(3-4), 279-291.
- Witney, G. W., Hofman, P. J., y Wolstenholme, B. N. 1990b. Effect of cultivar, tree vigour and fruit position on calcium accumulation in avocado fruits. Scientia Horticulturae, 44(3-4), 269-278.
- Wu, C. T., Roan, S. F., Hsiung, T. C., Chen, I. Z., Shyr, J. J., and Wakana, A. 2011. Effect of harvest maturity and heat pretreatment on the quality of low temperature storage avocados in Taiwan. J. Fac. Agric. Kyushu Univ, 56, 255-262.
- Xiao, C. L., MacKenzie, S. J., and Legard, D. E. 2004. Genetic and pathogenic analyses of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from strawberry and noncultivated host. Phytopathology. 94: 446-453.
- Xu, S. J., Hong, S. J., Choi, W., and Kim, B. S. 2014. Antifungal activity of *Paenibacillus kribbensis* strain T-9 isolated from soils against several plant pathogenic fungi. The plant pathology journal, 30(1), 102.
- Yakoby, N., Kobilier, I., Dinoor, A., and Prusky, D. 2000. pH regulation of pectate lyase secretion modulates the attack of *Colletotrichum gloeosporioides* on avocado fruits. Applied and Environmental Microbiology, 66(3), 1026-1030.
- Zamora-Magdaleno, T., Cárdenas-Soriano, E., Cajuste-Bontemps, J. F., and Colinas-León, M. T. 2001. Anatomía del daño por rozamiento y por *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. en fruto de aguacate 'Hass'. Agrobiencia, 35(2), 237-244.
- Zarazúa-Escobar, J. A., Martínez-Damián, M. T., Colinas-León, M. T., Barrientos-Priego, A. F., y Aguilar-Melchor, J. J. 2005. Frigoconservación y atmósferas

- modificadas en frutos de aguacate mínimamente procesado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 143-148.
- Zauberman, G., and Jobin-Decor, M. P. 1995. Avocado (*Persea americana* Mill.) quality changes in response to low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 5(3), 235-243.
- Zauberman, G., and Schiffmann-Nadel, M. 1972. Pectin methylesterase and polygalacturonase in avocado fruit at various stages of development. *Plant physiology*, 49(5), 864.
- Zhang, X. S., and Holt, J. 2001. Mathematical models of cross protection in the epidemiology of plant-virus diseases. *Phytopathology*, 91(10), 924-934.
- Lobell, D. B., Cahill, K. N., and Field, C. B. (2007). Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic change*, 81(2), 187-203.
- Toivonen, P. M., and Beveridge, T. H. (2005). Maturity, Ripening and Quality Relationships. *Produce Degradation: Pathways and Prevention*. Taylor & Francis, 55-77.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Comportamiento de la pérdida de peso (%) en frutos de aguacate 'Méndez' del H1, en respuesta al manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo, durante su maduración a 24±2 °C.

Tratamiento	Día (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MC	0	0.8 ab	1.8 ab	2.7 ab	3.7 a	4.6 a	5.4 a	6.6 a	7.4 a	8.6 a
MIC	0	0.7 b	1.5 b	2.3 b	3.2 a	4.1 a	4.8 a	5.8 a	6.6 a	7.6 a
Testigo	0	0.8 a	1.9 a	2.8 a	3.8 a	4.8 a	5.7 a	6.9 a	7.8 a	8.9 a

Tratamiento con letras dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=10$ .

**Anexo 2.** Comportamiento de la pérdida de firmeza (N) en frutos de aguacate 'Méndez' del H1, en respuesta al manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo, durante su maduración a 24±2 °C.

Tratamiento	Día (N)				
	2	4	6	8	10
MC	17.52 a	15.50 b	12.20 a	10.55 b	8.31 b
MIC	17.42 a	16.85 a	12.38 a	11.99 a	9.60 a
Testigo	16.34 b	15.78 b	11.53 a	10.38 b	9.42 a

Tratamiento con letras dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=5$ .

**Anexo 3.** Comportamiento de la pérdida de peso (%) en frutos de aguacate 'Méndez' del H2, en respuesta al manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo, durante la maduración a 20±2 °C.

Tratamiento	Día (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
MC	0	1.25 a	2.63 a	4.06 a	5.44 a	8.37 a	9.99 a	11.31 a
MIC	0	1.02 a	2.06 b	3.20 b	4.16 b	6.37 b	7.48 ab	8.48 b
Testigo	0	1.27 a	2.69 a	4.26 a	5.68 a	8.38 a	8.71 b	

Tratamiento con letras dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=10$ .

**Anexo 4.** Comportamiento de la pérdida de firmeza (N) en frutos de aguacate 'Méndez' del H2, en respuesta al manejo convencional (MC), manejo integrado del cultivo (MIC) y testigo, durante la maduración a 20±2 °C.

Tratamiento	Día (N)			
	2	4	6	8
Convencional	17.78 a	15.28 a	12.26 a	0.31 a
MIC	18.49 a	15.43 a	12.61 a	0.73 a
Testigo	15.81 b	14.80 a	12.22 a	0.07 a

Tratamiento con letras dentro de cada columna no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) con  $n=5$ .

**Anexo 5.** Costos por hectárea de insumos para aspersiones foliares con el tratamiento MIC en aguacate 'Méndez' en el H1, municipio de Ziracuaretiro, Mich.

INSUMO		\$/ha						
MES	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
Fungicida	\$3,731.1 5	\$2,181.6 5	\$2,181.6 5	\$2,181.6 5	\$3,410.6 5	\$2,181.6 5	\$2,181.6 5	\$18,050.0 5
Fertilizante	\$337.56	\$0.00	\$929.52	\$653.00	\$1,615.5 8	\$755.43	\$1,590.2 9	\$5,881.38
Insecticida	\$1,125.0 0	\$447.50	\$1,610.4 0	\$2,242.4 3	\$1,064.7 1	\$1,050.0 0	\$1,372.6 0	\$8,912.64
Adherente	\$384.00	\$192.00	\$96.00	\$192.00	\$384.00	\$192.00	\$384.00	\$1,824.00
Total	\$5,577.7 1	\$2,821.1 5	\$4,817.5 7	\$5,269.0 8	\$6,474.9 4	\$4,179.0 8	\$5,528.5 4	\$34,668.0 7

**Anexo 6.** Costos por hectárea de insumos para aspersiones foliares con el tratamiento MC en aguacate 'Méndez' en el H1, municipio de Ziracuaretiro, Mich.

INSUMO		\$/ha					
MES	Febrero	Marzo	Abril	Junio	Julio	Agosto	Total
Fungicida	\$1,364.00	\$450.00	\$1,250.00	\$1,612.00	\$780.00	\$390.00	\$5,846.00
Fertilizante	\$2,208.52	\$623.00	\$1,684.95	\$1,615.57	\$1,392.72	\$953.00	\$8,477.76
Insecticida	\$1,082.83	\$465.50	\$3,834.64	\$933.01	\$2,100.00	\$322.60	\$8,738.58
Adherente	\$384.00	\$96.00	\$192.00	\$288.00	\$335.75	\$96.00	\$1,391.75
Total	\$5,039.35	\$1,634.50	\$6,961.59	\$4,448.58	\$4,608.47	\$1,761.60	\$24,454.09

**Anexo 7.** Costos por hectárea de insumos para aspersiones foliares con el tratamiento MIC en aguacate 'Méndez' en el H2, municipio de Salvador Escalante, Mich.

INSUMO		\$/ha							
MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
Fungicida	\$3,731. 15	\$4,363. 30	\$2,181. 65	\$2,181. 65	\$2,181. 65	\$2,181. 65	\$2,181. 65	\$2,181. 65	\$21,184. 34
Fertilizante	\$337.5 7	\$623.0 0	\$1,026. 27	\$538.0 7	\$755.4 3	\$192.0 0	\$1,282. 97	\$500.0 0	\$5,255.3 2
Insecticida	\$1,125. 00	\$1,454. 00	\$681.0 0	\$481.5 0	\$481.5 0	\$583.7 0	\$1,242. 00	\$645.6 8	\$6,694.3 8
Adherente	\$290.0 0	\$384.0 0	\$192.0 0	\$192.0 0	\$192.0 0	\$192.0 0	\$192.0 0	\$192.0 0	\$1,826.0 0
Total	\$5,483. 72	\$6,824. 30	\$4,080. 92	\$3,393. 22	\$3,610. 58	\$3,149. 34	\$4,898. 62	\$3,519. 33	\$34,960. 04

**Anexo 8.** Costos por hectárea de insumos para aspersiones foliares con el tratamiento MC en aguacate 'Méndez' en el H2, municipio de Salvador Escalante, Mich.

INSUMO		\$/ha							
MES	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
Fungicida	\$1,392.00	\$1,618.00	\$600.00	\$585.00	\$1,229.00	\$1,676.00	\$780.00	\$1,178.00	\$9,058.00
Fertilizante	\$2,031.37	\$688.70	\$1,043.30	\$790.07	\$755.43	\$690.10	\$1,053.70	\$953.00	\$8,005.67
Insecticida	\$2,127.02	\$2,057.90	\$2,026.75	\$481.50	\$1,236.60	\$583.70	\$546.10	\$1,122.00	\$10,181.56
Adherente	\$384.00	\$384.00			\$192.00		\$192.00	\$192.00	\$1,632.00
	0	0	\$96.00	\$96.00	0	\$96.00	0	0	0
Total	\$5,934.39	\$4,748.60	\$3,766.05	\$1,952.57	\$3,413.03	\$3,045.80	\$2,571.80	\$3,445.00	\$28,877.23

**Anexo 9.** Monitoreo de incidencia de plagas y enfermedades en un huerto comercial de aguacate 'Méndez' en Ziracuaretiro, Mich.

MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Etapa fenológica	Prefloración											
				Floración/amarre								
	Madurez					Desarrollo del Fruto						
Roña ( <i>Sphaceloma perseae</i> )			•• ☺	•• ☺								
Chapopote ( <i>Phyllachora gratissima</i> )									•☺	•☺		
Antracnosis ( <i>Colletotrichum</i> spp.)			•☺	•☺								
Araña Roja ( <i>Oligonychus punicae</i> )									Ad •• ☺	Ad •• ☺	Ad • ☺	Ad • ☺
Araña cristalina ( <i>Oligonychus perseae</i> )											Ad •• ☹	
Trips ( <i>Scirtothrips perseae</i> y <i>Frankliniella bruneri</i> )				Ad • ☺	Ad • ☺			Ad • ☺	Ad •• ☹	Ad •• ☹		
Mosquita blanca ( <i>Tetraleurodes perseae</i> )							Ad • ☺	Ad • ☺				
Chicharrita (Cicadellidae)				Ad • ☺								
Gusano medidor ( <i>Trichoplusia</i> spp.)	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺					
Gusano soldado ( <i>Spodoptera</i> spp.)		Lv • ☺	Lv • ☺									
Gusano telarañero ( <i>Amorbia cuneana</i> )	Lv • ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺								

**Simbología**

- Hu estadio huevo
- Lv estadio larva
- Ni estadio ninfa
- Ad estadio adulto
- grado bajo de infestación
- grado medio de infestación
- grado alto de infestación
- ☹ monitoreo intensivo
- ☺ menor monitoreo intensivo

**Anexo 10.** Monitoreo de incidencia de plagas y enfermedades en un huerto comercial de aguacate 'Méndez' en Salvador Escalante, Mich.

MES	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Etapa fenológica	Prefloración			Floración/amarre								
	Madurez			Desarrollo del Fruto								
Roña ( <i>Sphaceloma perseae</i> )				••• ☺	•• ☺							
Chapopote ( <i>Phyllachora gratissima</i> )										•☺	•☺	•☺
Antracnosis ( <i>Colletotrichum</i> spp.)	•☺		•☺				•☺					
Araña roja ( <i>Oligonychus punicae</i> )											Ad •• ☹	
Araña cristalina ( <i>Oligonychus perseae</i> )										Ad •• ☹		
Trips ( <i>Scirtothrips perseae</i> y <i>Frankliniella bruneri</i> )				Ad • ☺				Ad • ☺	Ad •• ☹	Ad •• ☹	Ad •• ☹	
Chicharrita (Cicadellidae)				Ad ••• ☺	Ad •• ☺	Ad •• ☺						
Gusano medidor ( <i>Trichoplusia</i> spp.)	Lv ••• ☹	Lv ••• ☹	Lv ••• ☹	Lv ••• ☹	Lv •• ☺		Lv •• ☺				Lv •• ☺	Lv ••• ☹
Gusano soldado ( <i>Spodoptera</i> spp.)	Lv • ☺		Lv • ☺									
Gusano telarañero ( <i>Amorbia cuneana</i> )	Lv •• ☺	Lv •• ☺	Lv •• ☺									

**Simbología**

Hu estadio huevo  
Lv estadio larva  
Ni estadio ninfa  
Ad estadio adulto

- grado bajo de infestación
- grado medio de infestación
- grado alto de infestación
- ☹ monitoreo intensivo
- ☺ menor monitoreo intensivo

S