

## Situación actual del manejo poscosecha y de enfermedades fungosas del aguacate ‘Hass’ para exportación en Michoacán

Juan Antonio Herrera-González<sup>1, 2</sup>  
Silvia Bautista-Baños<sup>3</sup>  
Samuel Salazar-García<sup>4</sup>  
Porfirio Gutiérrez-Martínez<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Tepic-Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos. Av. Tecnológico 2595, Lagos del Country, Tepic, Nayarit, México. CP. 63175. (juanherreragonzalez@gmail.com). <sup>2</sup>Campo Experimental Uruapan-INIFAP. Av. Latinoamericana 1101, Col. Revolución, Uruapan, Michoacán, México. CP. 60150. <sup>3</sup>Instituto Politécnico Nacional-Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Carretera Yautepec-Jojutla km 6, CEPROBI 8, San Isidro Yautepec, Morelos, México. CP. 62730. (sbautis@ipn.mx). <sup>4</sup>Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. Entronque carretera internacional México-Nogales km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. (salazar.avocado@gmail.com).

§Autor para correspondencia: pguierrez@ittec.edu.mx.

### Resumen

México es el principal productor y exportador mundial de aguacate ‘Hass’. Por sus características nutricionales en la salud humana, el aguacate ‘Hass’ ha ganado gran popularidad alrededor del mundo. El objetivo de esta revisión fue conocer el estado actual del manejo de la cosecha y poscosecha del aguacate, así como, revisar el proceso de infección de los hongos *Colletotrichum* spp. y *Lasiodiplodia theobromae*, causantes de las enfermedades llamadas antracnosis y pudrición peduncular, respectivamente. Estas patologías se manifiestan durante la maduración poscosecha y almacenamiento. Actualmente, el principal medio de control de estos microorganismos es un complejo de los fungicidas azoxystrobin + fludioxonil, cuya aplicación se permite sólo para exportaciones a Estados Unidos de América. En México, sólo el estado de Michoacán puede exportar aguacate a los Estados Unidos de América, pero se busca aumentar las exportaciones hacia otros mercados internacionales e integrar otras regiones productoras, por lo que es necesario buscar alternativas de control de enfermedades en poscosecha. Mediante el conocimiento de los mecanismos intrínsecos de protección del fruto se podrían sentar las bases para desarrollar y evaluar nuevos modelos de control.

**Palabras clave:** *Colletotrichum* spp., *Lasiodiplodia theobromae*, control químico.

Recibido: agosto de 2020

Aceptado: septiembre de 2020

México es el mayor productor mundial de aguacate (*Persea americana* Miller) con un volumen cercano a 2.2 millones de toneladas. El mayor productor es el estado de Michoacán con 77% del total, seguido de Jalisco (9%), Estados de México (4%), Nayarit (3%) y Morelos (2%) (SIAP, 2018b). El principal cultivar es Hass y su demanda se ha incrementado en los últimos años debido a que es un alimento de alto valor nutricional y funcional; además, en los países donde se produce tiene un gran impacto económico (Araújo *et al.*, 2018). El principal destino de exportación del aguacate mexicano es los Estados Unidos de América, aunque también se incrementan las exportaciones a Canadá, Asia, Europa y Centroamérica.

El aguacate es un fruto climatérico (incremento acelerado en la biosíntesis de etileno autocatalítico después de la cosecha, que coincide con un aumento en la respiración del fruto), lo que dificulta su conservación y comercialización a mercados distantes, disminuyendo su calidad de consumo, vida de anaquel y su valor comercial (Ramírez-Gil *et al.*, 2020). Una de las principales causas de pérdidas en postcosecha es debido a enfermedades como la antracnosis y pudrición peduncular, causadas por los hongos *Colletotrichum gloeosporioides* y *Lasiodiplodia theobroame*, respectivamente.

Usualmente el control de estos microorganismos se hace mediante la aplicación de fungicidas sintéticos tanto en pre como en poscosecha, lo cual puede causar resistencia en los patógenos, así como daños a la salud y el medio ambiente.

Aunado a esto, existen mercados con tolerancia baja en los límites máximos permitidos de residuos químicos en el fruto. En este trabajo se da a conocer el estado actual del manejo de la cosecha y postcosecha del aguacate ‘Hass’, con énfasis en el estado de Michoacán, así como revisar el proceso de infección de los principales hongos patógenos que afectan su exportación.

## **Industria del aguacate en México**

Debido a las diferentes condiciones ambientales de las zonas productoras de aguacate en México, éste presenta amplia variabilidad genética y gran adaptabilidad al clima y suelo. Después del arribo de los españoles a México, el aguacate se dispersó a diferentes partes del mundo en donde actualmente se le cultiva debido a que el árbol se adapta a un gran número de ambientes (Barrientos *et al.*, 2008).

Las exportaciones de aguacate a los Estados Unidos de América (86% de la exportación mexicana) se realizan a través de la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (APEAM) la cual se encarga de facilitar los trabajos necesarios para la exportación y conciliar el cumplimiento de las normas fitosanitarias, de inocuidad y certificación de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) que aseguran la producción de fruta sana y de alta calidad. La APEAM cuenta con más de 25 mil socios-productores y 54 empacadoras exportadoras afiliadas, además, patrocina campañas promocionales (Avocados from Mexico, <https://avocadosfrommexico.com/>), así como trabajos de investigación y desarrollo tecnológico, entre otros.

Aunque la exportación de aguacate está contemplada en el tratado comercial México-Estados Unidos de América-Canadá (T-MEC), el estado de Michoacán es el único que puede exportar fruto a los Estados Unidos de América y sólo aquellos municipios libres de las siguientes plagas

cuarentenarias: barrenador grande del hueso (*Heilipus lauri*), barrenador de ramas (*Copturus aguacatae*), barrenador pequeño del hueso (*Conotrachelus aguacatae* y *C. perseae*) y la palomilla barrenadora del hueso del aguacate (*Stenomacrus catenifer*) (NOM-066-FITO-2002, 2005). El elevado volumen de aguacate exportado de México a Estados Unidos de América se debe a que el tiempo de traslado es entre 48 a 72 h y se realiza en tractocamiones. Sin embargo, el resto de los estados productores (Jalisco, Estado de México y Nayarit) que no pueden exportar a Estados Unidos de América, destina su fruto al mercado interno y exportaciones a mercado más lejanos (Canadá, Japón, Asia, Europa, así como Centro y Sudamérica) que en la mayoría de los casos su transporte es marítimo y con tiempos de traslado de entre 28 y 40 días (SIAP, 2018ab).

La mayoría de las exportaciones de aguacate mexicano se destinan al mercado estadounidense, por lo que es importante seguir fortaleciendo la presencia en este mercado; sin embargo, es necesario hacer lo mismo con otros mercados para diversificar el riesgo económico de concentrarse en un solo mercado.

### Valor nutricional del aguacate

El fruto de aguacate es considerado como alimento ‘funcional’, ya que previene el desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas. Contiene todos los aminoácidos esenciales y en mayor cantidad que otros frutos (1-3% de contenido proteico), así como una mezcla de fibra soluble (2.1%) e insoluble (2.7%) ideal para las dietas (Cowan y Wolstenholme, 2016). La pulpa contiene entre 70% y 78% de agua y de 9-15% de aceite al momento de la cosecha y en madurez de consumo entre 77% y 67% de agua y de 10-19% de aceite (Herrera-González *et al.*, 2013a) y por cada gramo de agua perdida aumenta el contenido de aceite en 1 g (Cowan y Wolstenholme, 2016). La pulpa de aguacate también es rica en ácidos grasos y se componen de: 1) lípidos neutros (tri, di y monoacil-glicerol); 2) fosfolípidos; y 3) glicolípidos y ácidos grasos libres; también, es rico en ácidos grasos mono y poliinsaturados (oleico-C18:1, linoleico-C18:2 y palmitoleico-C16:1) y no contienen colesterol.

Por lo que el consumo de estos ácidos grasos puede reducir enfermedades cardiovasculares, reduciendo los niveles de lipoproteínas de baja densidad en la sangre y aumenta los niveles de lipoproteínas de alta densidad (Krumreich *et al.*, 2018). Dentro de las vitaminas y fitoquímicos que se han reportado en el aguacate se encuentran las vitaminas C (ácido ascórbico), A, B-6, E (alfa tocoferol) y K (filoquinona); además, contiene tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, ácido fólico, colina, betaína, beta caroteno, alfa caroteno, beta criptoxantina, luteína, zeaxantina, beta tocoferol, gama tocoferol y delta tocoferol (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2019). También, la pulpa del aguacate es rica en minerales como P, K, Ca, Mg, Na, Fe y B (Bautista-Baños *et al.*, 2019).

Durante la maduración del aguacate se incrementa el contenido de azúcares como glucosa y fructosa, además se presentan ciertos azúcares inusuales de siete carbonos (D-manohexulosa y su forma reducida perseitol) (Hurtado-Fernández *et al.*, 2018). Por lo que, el consumo de aguacate ayuda a la pérdida de peso corporal, acelerando el metabolismo, reduce los niveles de colesterol de lipoproteína de baja densidad y mantiene los niveles de lipoproteínas de alta densidad. Tiene acción quimiopreventivos en inflamaciones carcinogénesis (cáncer de próstata), artritis y enfermedades cardíacas y está asociado con la reducción del riesgo del síndrome metabólico (presión arterial alta, azúcar en la sangre alta y exceso corporal alrededor de la cintura) (Dreher y Davenport, 2013).

## Cosecha y manejo poscosecha del aguacate para exportación

La norma mexicana NMX-FF-016-SCFI-2006 establece los requisitos mínimos que debe cumplir el fruto de aguacate ‘Hass’ para ser cosechado. Por ejemplo, el contenido mínimo de materia seca en la pulpa debe ser 21.5%, estar enteros, visiblemente sanos, libres de insectos, sin daños por plagas y sin olores y sabores extraños. Aunque la norma sólo contempla al cv. Hass, otros cultivares como ‘Méndez Núm. 1’, se cosechan y almacenan igual que ‘Hass’; sin embargo, la madurez óptima de cosecha de ‘Méndez’ se alcanza con mayor materia seca (22.7% de materia seca) que la de ‘Hass’ (Herrera-González *et al.*, 2017b).

La determinación de materia seca según la norma se realiza por secado en horno de microondas hasta peso constante de la muestra, pero es un método destructivo. También se puede realizar mediante la espectroscopia de infrarrojo cercano, el cual por reflectancia determina el contenido de materia seca del fruto sin destruirlo (Osuna-García *et al.*, 2018).

Los frutos se cosechan con tijeras o ganchos con navajas montadas sobre una pértiga y se colocan en bolsas recolectoras que una vez llenas se vacían en cajas de plástico de 28-30 kg. Posteriormente, el traslado de las cajas a la empacadora se hace en remolques o camiones sellados (Figura 1). Una vez ahí, la fruta se descarga en el área de acopio donde reposa 12 h para que la temperatura del fruto disminuya (Herrera-González *et al.*, 2017c). La selección y empaqueo comienza con el vaciado de los frutos en las bandas y rodillos que los llevan al cepillado, seguido de una selección manual donde se descartan frutos con daños visibles.



**Figura 1. A) frutos de aguacate en el árbol; B) cosecha con gancho y tijera; C) corte del pedúnculo (pedicelo) y colocación en bolsa; D) cajas de acarreo de 28-30 kg; E) traslado en remolque del lugar de cosecha al camión; y F) estibado de cajas y transporte a la empacadora (Herrera-González *et al.*, 2017c).**

Los frutos sanos siguen su ruta a la etiquetadora y a la seleccionadora por calibres, la cual los deja caer en las tolvas de empaqueo, donde la persona realiza una rápida inspección a cada fruto y si cumple con la calidad los colocan en cajas de cartón (Figura 2). Cuando se completa el lote, éste se pasa a un cuarto de pre-enfriado (8-10 °C) durante 12 h (para evitar el choque térmico) antes de pasar a las cámaras de almacenamiento (4-5 °C), donde esperarán entre 12 y 48 h para que se complete el embarque (NMX-FF-016-SCFI-2016, 2016; Osuna-García *et al.*, 2017; Herrera-González y Salazar-García, 2018).



Figura 2. Etapas del proceso de selección y empaqueo de aguacate ‘Hass’ para exportación: A) vaciado de frutos; B) cepillado; C) selección manual; D y E) automática; F) etiquetado; G) caída a la tolva; y H) empaqueo (Herrera-González y Salazar-García, 2018).

### Tecnología durante el almacenamiento

La refrigeración es la tecnología de conservación utilizada en el aguacate. La temperatura óptima para ‘Hass’ es 6 °C con humedad relativa de 90-95%; sin embargo, la temperatura puede disminuir hasta 2 °C cuando el fruto tiene alto contenido de materia seca (>30%) y aceite (final de la temporada de producción, >15% donde la incidencia de daño por frío es menor) (Osuna-García *et al.*, 2017). Para los destinos más distantes (Europa y Asia) la refrigeración se complementa con el uso de atmósferas controladas, en la cual se reduce la concentración de O<sub>2</sub> (2-5%) y se incrementa la de CO<sub>2</sub> (3-10%). Estas concentraciones deben mantenerse durante el transporte. Las atmósferas controladas disminuyen la velocidad de respiración, la producción de etileno autocatalítico, la actividad enzimática y mantiene la firmeza (Prabath-Pathirana *et al.*, 2011; Bill *et al.*, 2014).

Otra alternativa a la refrigeración y comúnmente usada en México son los absorbentes de etileno, como el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>). Por ser el aguacate un fruto climatérico, la producción de etileno se incrementa en el almacenamiento, por lo que en cada caja del lote (700-1 100 cajas de 11 kg) se incluye una bolsita de KMnO<sub>4</sub>, que es relativamente económico (<USD \$0.25 por bolsita) (Kant, 2018; Perato *et al.*, 2018). Sin embargo, tanto la refrigeración como las atmósferas controladas reducen procesos fisiológicos del fruto, pero no la presencia de patógenos (Figura 3).

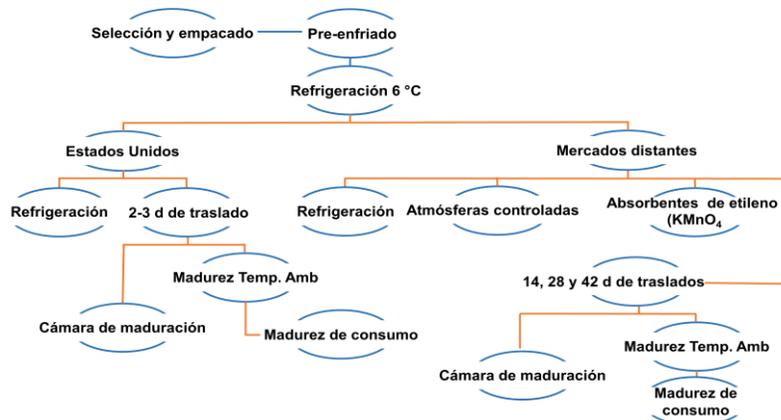
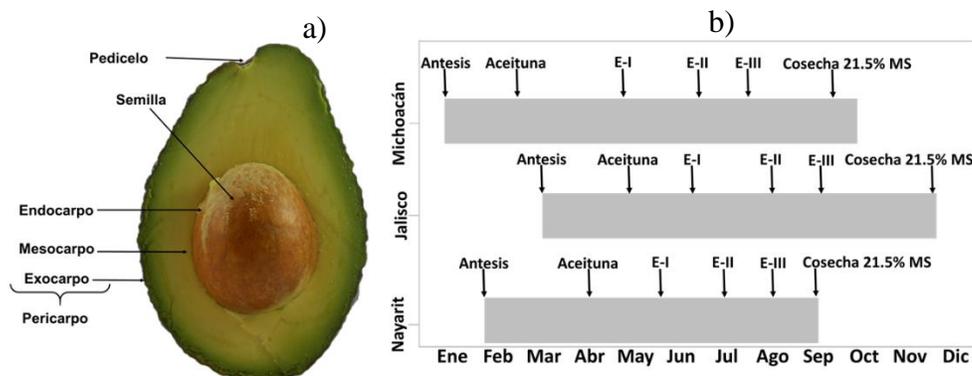


Figura 3. Proceso que siguen los frutos de aguacate ‘Hass’ después del empaqueo y almacenamiento.

## Desarrollo del fruto y maduración

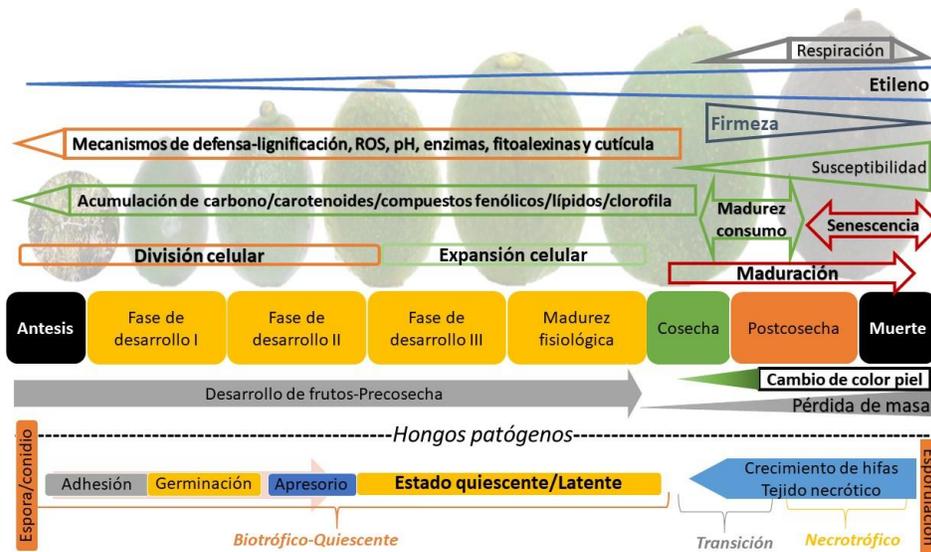
El fruto de aguacate es una drupa, de tejido esclerificado en la semilla y su pericarpo está compuesto por endocarpo, exocarpo y mesocarpo (Figura 4a) (Barrientos *et al.*, 2008). El desarrollo del fruto comienza en la antesis, aunque para su monitoreo en campo se ha dividido en varias etapas de desarrollo, E-I: el fruto tiene diámetro de 35-45 mm; E-II: la actividad predominante es la división celular y se desarrollan mecanismos de defensa del fruto, el cual tiene un diámetro de 50-60 mm; E-III: se incrementa el tamaño del fruto (diámetro 60-70 mm) por la elongación celular, además, en esta fase se produce gran cantidad de antioxidantes en el exocarpo y en menor grado, en el mesocarpo, donde también se acumula aceite; finalmente se alcanza la madurez fisiológica (>70 mm de diámetro, 21.5% de materia seca para ‘Hass’) (Tesfay *et al.*, 2010; Medina-Carrillo *et al.*, 2017) (Figura 4b).



**Figura 4. a) partes del fruto de aguacate ‘Hass’; y b) etapas de desarrollo (aceituna, I, II, III y cosecha) del fruto en tres regiones productoras del Pacífico de México (adaptado de Medina-Carrillo *et al.*, 2017).**

Para cosechar el fruto de aguacate en México se requieren entre 7 y 10 meses desde antesis hasta la madurez fisiológica, aunque el inicio de esta fase puede variar según el clima, la altitud, condición de humedad de suelo, manejo precosecha de la zona productora de aguacate (Salazar-García *et al.*, 2018), la demanda del mercado y el tamaño (calibre) de fruto requerido.

La madurez poscosecha del fruto de ‘Hass’ es un proceso complejo de cambios fisiológicos, bioquímicos, genéticos y enzimáticos, que llevan al fruto de la madurez fisiológica a la senescencia. Estos procesos metabólicos son los responsables de las características y atributos de calidad del fruto. Durante la maduración, el cambio en la textura y firmeza de la pulpa son la consecuencia de los cambios en el metabolismo de las paredes celulares por las enzimas celulasa, poligalacturonasa, pectinesterasa y  $\beta$ -galactosidasa, así como la acumulación de azúcares, reducción de ácidos orgánicos, degradación de pigmentos de la piel para virar a negro (acumulación de antocianinas), producción de compuestos volátiles y aroma, además del incremento en la respiración y producción de etileno (Figura 5) (Handa *et al.*, 2012; Cowan y Wolstenholme, 2016; Hao *et al.*, 2017; Pedreschi *et al.*, 2019).



**Figura 5. Procesos en el desarrollo del fruto de aguacate ‘Hass’ desde antesis hasta senescencia en postcosecha y el proceso de infección y desarrollo de hongos patógenos en el fruto.**

### Pérdidas poscosecha

El deterioro poscosecha del aguacate es causado principalmente por la incidencia de enfermedades fungosas. Entre las más importantes se mencionan a la antracnosis y la pudrición peduncular, cuyos síntomas se manifiestan principalmente durante el proceso de maduración y se potencian debido a los daños mecánicos, desórdenes fisiológicos, temperatura inadecuada de almacenamiento, largos periodos de refrigeración, época de cosecha y edad del fruto, entre otros (Arpaia *et al.*, 2018; Bowen *et al.*, 2018). Estas enfermedades son la fuente principal de pérdidas y ocurren en la mayoría de las zonas productoras de aguacate del mundo (Silva-Rojas y Ávila-Quezada, 2011).

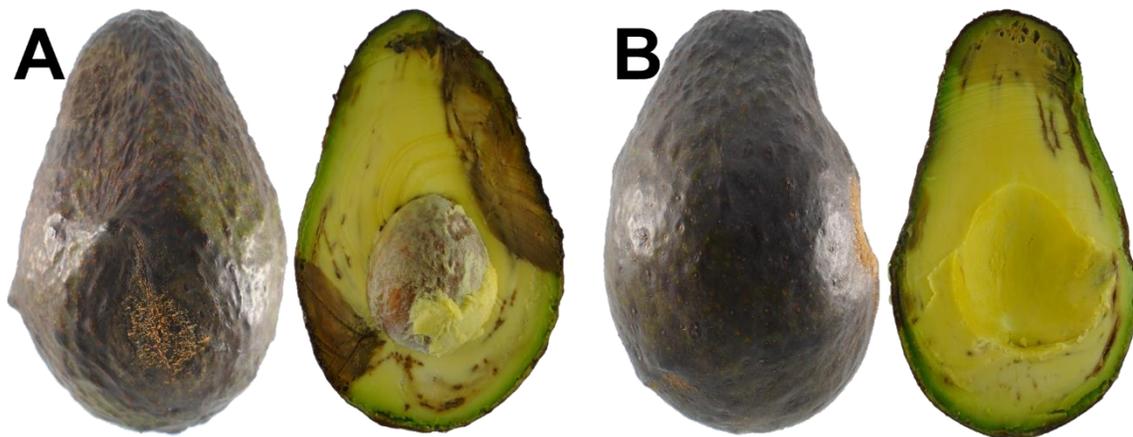
En un experimento realizado por Herrera-González *et al.* (2017d) la aplicación de fungicidas días antes de la cosecha redujo a menos de 10% la incidencia de la antracnosis y pudrición peduncular, comparado con el testigo (sin fungicida) que presentó hasta 60% de incidencia de estas enfermedades. La pérdida por pudriciones del fruto tiene un fuerte impacto económico, ya que el precio por kilogramo de aguacate convencional para Estados Unidos de América oscila entre 24 y 42 pesos (USD \$1 a 2.50), para Japón entre 26 y 38 pesos (USD \$1 a 2) y el orgánico para cualquier mercado entre 37 y 42 pesos (USD \$1.50 a 2.50). Por lo tanto, el rechazo de fruta es importante cuando pierde las características estéticas y/o atributos de calidad, demeritando los precios comerciales. La pérdida anterior se suma a las que ocurren durante la cosecha y empaçado, que es cercana a 6% por tonelada de fruta cosechada (Berry *et al.*, 2017; Bustos y Moors, 2018; Ramírez-Gil *et al.*, 2020).

### Hongos Patógenos del fruto durante el manejo poscosecha

Se ha mencionado que las principales enfermedades del fruto de aguacate son la antracnosis y la pudrición peduncular, las cuales pueden ser causadas por varios microorganismos. En general, los principales patógenos son *C. gloeosporioides* y *L. theobromae* (Twizeyimana *et al.*, 2013; Galsurker *et al.*, 2018).

En México, se ha encontrado a *C. gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. boninense*, *C. godetiae*, *C. karstii* y *C. fructicola* como las especies causantes de la antracnosis, mientras que para la pudrición peduncular se ha identificado a *L. theobromae* y *Botryosphaeria dothidea* (Silva-Rojas y Ávila-Quezada, 2011; Fuentes-Aragón *et al.*, 2018).

En otros países productores, como Kenia, se reportó como agentes causales de la antracnosis a *C. gloeosporioides* y *C. boninense* y de la pudrición peduncular y antracnosis a *Pestalotiopsis* (Kimaru *et al.*, 2018), en Israel se aisló e identificó a *C. aenigma*, *C. alienum*, *C. fructicola*, *C. gloeosporioides sensu stricto* (epitipo), *C. karstii*, *C. nupharicola*, *C. siamense*, *C. theobromicola* y *C. perseae*, como agentes causales de la antracnosis (Sharma *et al.*, 2017). Los síntomas de la antracnosis en poscosecha se desarrollan como lesiones circulares de color café claro, las cuales se van alargando y hundiéndose, cambiando a colores más oscuros conforme avanza la maduración (Figura 6).



**Figura 6. A) Frutos con síntomas de antracnosis; y B) pudrición peduncular ocasionado por *Colletotrichum* spp. y *Lasiodiplodia theobromae*, respectivamente.**

Las lesiones se extienden rápidamente por la piel y pulpa del fruto conduciendo a una pudrición, lo que lo hace difícil de observar, debido a que el aguacate ‘Hass’ cambia de coloración verde a negro cuando llega a madurez de consumo (Kimaru *et al.*, 2018). Con relación a la pudrición peduncular, ésta inicia en el área de inserción del pedicelo, la cual se ablanda y se dispersa rápidamente hacia el interior del fruto, la pulpa se decolora y se asocia al oscurecimiento vascular (White *et al.*, 2005). La severidad de la pudrición peduncular se incrementa conforme aumenta el tiempo de almacenamiento. Los frutos que maduran rápidamente tienen menos probabilidades de ser afectados por la pudrición peduncular que los frutos que maduran más lento (Alama *et al.*, 2006; Maftoonazad *et al.*, 2007).

### **Estado latente de *C. gloeosporioides* y *L. theobromae***

Aunque los síntomas de daños por *C. gloeosporioides* y *L. theobromae* se observan en poscosecha, la infección suele ocurrir en precosecha, desde las primeras etapas de desarrollo del fruto (Figura 6). *C. gloeosporioides* puede penetrar los tejidos mediante tres rutas: 1) aberturas naturales (estomas, lenticelas y pedicelo); 2) heridas; y 3) ruptura directa de la cutícula de la piel del fruto (Slippers *et al.*, 2005; Prusky *et al.*, 2013).

En Australia se ha observado que *C. gloeosporioides* infecta el fruto y queda en forma latente desde seis meses antes de la cosecha, mientras que en Israel hasta tres meses antes de la cosecha (Everett, 2019b) en periodos calidos (18-27 °C) y de alta humedad relativa y periodos. En México, aunque se ha estudiado el proceso de infección por *C. gloeosporioides* en el fruto (Rojo-Báez *et al.*, 2017), no se cuenta con información sobre el proceso de infección en precosecha.

Aunque *L. theobromae* puede penetrar al fruto por las rutas ya mencionadas, éste penetra casi exclusivamente por las aberturas naturales (estomas y lenticelas), cuando el fruto o la planta están bajo estrés o condiciones no óptimas de crecimiento, tales como desnutrición, estrés hídrico, temperaturas mayores a 30 °C, cosechas tardías, exceso de producción, falta de poda y daños ocasionados por granizo o heladas. También, es común su presencia en plantaciones establecidas en condiciones no adecuadas (suelo, temperatura y altitud), lo que estimula su ataque ya que es un hongo oportunista.

Una vez que los conidios de *L. theobromae* germinan y producen el tubo germinativo, de una o ambas terminaciones del conidio, crece sobre la superficie del fruto hasta encontrar una abertura natural. *L. theobromae* también puede penetrar con y sin formación de apresorio, cuando las aberturas naturales no están disponibles (Ki-Woo *et al.*, 1999; Slippers *et al.*, 2005; Slippers y Wingfield, 2007).

Tanto *C. gloeosporioides* como *L. theobromae* llegan al fruto en forma de esporas o conidios para así germinar, crecer y finalmente esporular; para lo cual desarrollan estrategias de infección. Al llegar la spora o conidio al fruto, realiza un proceso de reconocimiento, adhesión y fijación al fruto. Para la ruptura directa la spora de *C. gloeosporioides* produce un tubo germinativo, el cual desarrolla un apresorio, de forma asimétrica polarizada, con una cúpula superior y un poro basal complejo, que sintetiza enzimas que degradan ceras epicuticulares; después genera presión y se fija fuertemente a las células de la piel del fruto y comienza a sintetizar enzimas (celulasa, quitinasa) que degradan pared celular.

Una vez realizado este paso, el apresorio mantiene contacto directo con el hospedero vivo y produce la hifa de infección, la cual permanece en estado latente hasta que el fruto madura después de la cosecha. En precosecha, ambas enfermedades (antracnosis y pudrición peduncular) son asintomáticas hasta que el fruto inicia el proceso de maduración en poscosecha, donde ocurre un proceso de transición que va aumentando hasta llegar al necrotrofismo. Todo esto es posible debido a que los mecanismos de defensa del fruto van disminuyendo (Prusky *et al.*, 2013).

### **Control químico de enfermedades**

Debido a que la mayor pérdida en la comercialización del aguacate ocurre en postcosecha es importante el control químico de hongos patógenos para mantener la calidad durante el proceso de empaque, almacenamiento y transporte, hasta su consumo, basándose principalmente en la exclusión y erradicación del inóculo en el fruto. Aunque la mayoría de los fungicidas sintéticos está dirigida a la precosecha, su uso en postcosecha es escaso y de poca eficiencia. Esto último puede deberse a que se desconoce el patógeno que causa la enfermedad y a las regulaciones existentes para su uso en el aguacate de exportación (Cavalcante *et al.*, 2014; Everett, 2019a).

En México, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) y la APEAM han elaborado un listado de agroquímicos recomendados para el cultivo del aguacate, donde aparecen fungicidas como Azoxystrobin, Azoxystrobin+fludioxonil, Piraclostrobina, Sulfato de cobre y Tiabendazol para el control de antracnosis (*C. gloeosporioides*) en pre y poscosecha (APEAM, 2016). Aunque *L. theobromae* no está incluido en este listado, estos fungicidas también se utilizan para su control. Sólo un complejo de fungicidas sintéticos está autorizado para su aplicación en poscosecha en exportaciones a los Estados Unidos de América: azoxystrobin + fludioxonil (nombre comercial Bankit Gold®) en dosis de 0.75 - 1.5 ml L<sup>-1</sup> de agua.

Por otro lado, los productores de aguacate, la industria, las agencias reguladoras, la comunidad científica y los consumidores tienen gran interés en producir y comercializar frutos libres de residuos de fungicidas sintéticos, por lo tanto, es necesario integrar sistemas alternativos al control químico en pre y poscosecha que sean de bajo costo, efectivos y con información sobre la dosis, tiempo de exposición, época y número de aplicaciones, así como el sitio y modo de acción en los patógenos (Kuck y Gisi, 2008; Feliziani y Romanazzi, 2016).

## Conclusiones

El fruto del aguacate se encuentra distribuido y se comercializa y consume en todo el mundo por su valor nutricional, compuestos bioactivos y beneficios a la salud. Esta tendencia global seguirá en los próximos años. Una vez que se cosecha, el fruto comienza una etapa crítica debido a que la calidad debe mantenerse; sin embargo, la presencia de los hongos patógenos causantes de la antracnosis y pudrición peduncular conduce a graves pérdidas económicas.

Por la baja eficiencia de los fungicidas que actualmente se utilizan y a las regulaciones y prohibiciones en su uso en los países importadores de aguacate, es necesario que en México se desarrollen otras alternativas, con bajo riesgo a la salud, bajo costo y a la vez efectivas en el control de estas enfermedades, de tal forma que se vuelvan parte de las prácticas culturales en precosecha y etapas rutinarias en la poscosecha. El conocimiento de los mecanismos de protección inherentes al fruto podría permitir establecer nuevas alternativas de inhibición de *C. gloeosporioides* y *L. theobromae* que puedan incorporarse en alguna de las etapas del manejo poscosecha del aguacate.

## Literatura citada

- Alama, I.; Maldonado, E. and Rodríguez-Galvez, E. 2006. *Lasiodiplodia theobromae* affect the cultivation of Palto (*Persea americana*) under the conditions of Piura, Peru. *Universalia*. 11(2):4-13.
- APEAM. 2016. Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México. Listado de plaguicidas recomendado para el cultivo del aguacate. Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México (Eds.). Michoacán, México. 81 p.
- Araújo, R. G.; Rodríguez-Jasso, R. M.; Ruiz, H. A.; Pintado, M. M. E. and Aguilar, C. N. 2018. Avocado by-products: nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*. 80(1):51-60.
- Arpaia, M. L.; Collin, S.; Sievert, J. and Obenland, D. 2018. 'Hass' avocado quality as influenced by temperature and ethylene prior to and during final ripening. *Postharvest Biol. Technol.* 140(1):76-84.

- Barrientos, A.; Muñoz, R.; Reyes, J. C.; Borys, M. y Martínez, M. T. 2008. Taxonomía, cultivares y portainjertos. In: Téliz, D. y Mora, A. (Eds.). El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prens México. 29-62 pp.
- Bautista-Baños, S.; Ventura-Aguilar, R. I. and Ramos-García, M. D. L. 2019. Avocado. In: Palou, L. J. and Smilanick, L. (Eds.). Postharvest pathology of fresh horticultural produce. CRC Press. 227-256 pp.
- Berry, T. M.; Fadji, T. S.; Defraeye, T. and Linus, U. 2017. The role of horticultural carton vent hole design on cooling efficiency and compression strength: a multi-parameter approach. *Postharvest Biology and Technology*. 124(1):62-74.
- Bill, M.; Sivakumar, D.; Thompson, A. K. and Korsten, L. 2014. Avocado fruit quality management during the postharvest supply chain. *Food Reviews International*. 30(3):169-202.
- Bowen, J.; Billing, D.; Connolly, P.; Smith, W.; Cooney, J. and Burdon, J. 2018. Maturity, storage and ripening effects on anti-fungal compounds in the skin of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 146(1):43-50.
- Bustos, C. A. and Moors, E. H. M. 2018. Reducing post-harvest food losses through innovative collaboration : Insights from the Colombian and Mexican avocado supply chains. *J. Cleaner Produc.* 199(1):1020-1034.
- Cavalcante, R. D.; Lima, W. G.; Martins, R. B.; Tovar-Pedraza, J. M.; Michereff, S. J. and Câmara, M. P. S. 2014. Thiophanate-methyl sensitivity and fitness in *Lasiodiplodia theobromae* populations from papaya in Brazil. *Eur. J. Plant Pathol.* 140(2):251-259.
- Contreras-Pérez, M.; Santoyo-Pizano, G.; De los Santos-Villalobos, S.; Gutiérrez-García, M. A.; Orozco-Mosqueda, M. D. C. y Rocha-Granados, M. D. C. 2019. Primer reporte de *Lasiodiplodia* en plantas de zarzamora (*Rubus subgénero Eubatus*) en el estado de Michoacán, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 37(3):1-7.
- Cowan, A. K. and Wolstenholme, B. N. 2016. Avocado. In: *Encyclopedia of food and health*. Elsevier. 294-300 pp.
- 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.
- Everett, K. R. 2019a. Alternative postharvest chemicals for use on avocado. In: XI World Avocado Congress. Medellín, Colombia. 1-10 pp.
- Everett, K. R. 2019b. Control of postharvest diseases in the orchard and after harvest. In: XI World Avocado Congress. Medellín, Colombia. 11-13 pp.
- Feliziani, E. and Romanazzi, G. 2016. Postharvest decay of strawberry fruit: etiology, epidemiology, and disease management. *J. Berry Res.* 6(1):47-63.
- Fuentes-Aragón, D.; Juárez-Vázquez S.; Vargas-Hernández, M. and Silva-Rojas, H. V. 2018. *Colletotrichum fructicola*, a member of *Colletotrichum gloeosporioides sensu lato*, is the causal agent of anthracnose and soft rot in avocado fruits cv. 'Hass'. *Mycobiology*. 46(2):92-100.
- Galsurker, O.; Diskin, S.; Maurer, D.; Feygenberg, O. and Alkan, N. 2018. Fruit stem-end rot. *Horticulturae*. 4(50):1-16.
- Handa, A. K.; Tiznado-Hernández, M. E. and Mattoo, A. K. 2012. Fruit development and ripening: a molecular perspective. In: *plant biotechnology and agriculture*. Altman A. and Hasegawa, P. M. (Eds.). Oxford: Academic Press. 405-424 pp.
- Hao, D.; Sun, X.; Ma, B.; Zhang, J. S. and Guo, H. 2017. Ethylene. In: *hormone metabolism and signaling in plants*. Li, J.; Li, C. and Smith S. M. Academic Press. 203-241 pp.

- Herrera-González, J. A. y Salazar-García, S. 2017. Impactos al fruto de aguacate ‘Hass’ en la línea de empaquetado y efecto en la calidad postcosecha. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 19(1):4049-4061.
- Herrera-González, J. A.; Salazar-García, S.; Gutiérrez-Martínez, P. y González-Duran, I. J. L. 2013a. El comportamiento poscosecha de frutos de aguacate ‘Hass’ es influenciado por el portainjerto. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(1):19-32.
- Herrera-González, J. A.; Salazar-García, S.; Martínez-Flores, H. E. y Ruiz-García, J. E. 2017b. Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate Méndez. *Rev. Fitotec. Mex.* 40(1):55-63.
- Herrera-González, J. A.; Venegas-González, E. y Madrigal-Huendo, L. 2017c. Proporciones de daños mecánicos y su efecto en calidad postcosecha de aguacate ‘Hass’. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 19(1):3897-3909.
- Herrera-González, J. A.; Zapien-Ramos, J. E.; Vite-Hernández, M. y Mercado-Silva, E. 2017d. Aplicaciones precosecha de fungicidas para el control de enfermedades postcosecha de aguacate ‘Hass’ en Michoacán. *In: V Congreso Latinoamericano del Aguacate.* Jalisco, México. 126-134 pp.
- Hurtado-Fernández, E.; Fernández-Gutiérrez, A. and Carrasco-Pancorbo, A. 2018. Avocado fruit-*Persea americana*. *In: exotic fruits.* Rodrigues, S.; de Oliveira-Silva E. and Sousa, E. (Eds.). Academic Press. 37-48 pp.
- Kant, K. 2018. Ethylene vis-a-vis fruit ripening. *Inter. J. Sci. Environ. Technol.* 7(5):1721-1725.
- Kimaru, S. K.; Monda, E.; Cheruiyot, R. C.; Mbaka, J. and Alakonya, A. 2018. Morphological and molecular identification of the causal agent of anthracnose disease of avocado in Kenya. *Inter. J. Microbiol.* Article: ID 4568520. 10 p.
- Ki-Woo, K.; Eun-Woo, P. and Kyng-Ku, A. 1999. Pre-penetration behavior of *Botryosphaeria dothidea* on apple fruit. *Plant Pathol.* 15(4): 223-227.
- Krumreich, F. D.; Borges, C. D.; Mendonça, C. R. B.; Jansen-Alves, C. and Zambiasi, R. C. 2018. Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chem.* 257(1):376-381.
- Kuck, K.-H. and Gisi, U. 2008. FRAC Mode of action classification and resistance risk of fungicides. *In: modern crop protection compounds.* Krämer, W. and Schirmer, U. (Eds.). Weinheim, Germany. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 415-432 pp.
- Maftoonazad, N.; Ramaswamy, H. S.; Moalemiyan, M. and Kushalappa, A. C. 2007. Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasioidiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers.* 68(2):341-349.
- Medina-Carrillo, R. E.; Salazar-García, S.; Bonilla-Cárdenas, J. A.; Herrera-González, J. A.; Ibarra-Estrada, M. E. and Álvarez-Bravo, A. 2017. Secondary metabolites and lignin in ‘Hass’ avocado fruit skin during fruit development in three producing regions. *HortScience.* 52(6):852-858.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-066-FITO-2002). 2005. Especificaciones para el manejo fitosanitario y movilización del aguacate. *Diario Oficial de La Federación.* Secretaría de Economía. 21 p.
- Norma Mexicana (NMX-FF-016-SCFI-2016). 2006. Productos alimenticios no industrializados para uso humano-fruta fresca-Aguacate (*Persea americana* Mill.). Especificaciones. *Diario Oficial de La Federación.* Secretaría de Economía. SINEC-20161020174655704. 10 p.
- Osuna-García, J. A.; Nolasco-González, Y.; Herrera-González, J. A. y Guzmán-Maldonado, S. H. 2017. Influencia del clima y rugosidad sobre la tolerancia a refrigeración del aguacate ‘Hass’. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 19(1):3911-3921.

- Osuna-García, J. A.; Olivares-Figueroa, J. D.; Herrera-González, J. A.; Toivonen, P. M.; Salazar-García, S. y Goenaga, R. 2018. Uso de un espectrómetro portátil para determinar materia seca de manera no destructiva en Aguacate ‘Hass’. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Santiago Ixcuintla Nayarit, México. Folleto técnico núm. 36. 44 p.
- Pedreschi, R.; Uarrota, V.; Fuentealba, C.; Alvaro, J. E.; Olmedo, P.; Defilippi, B. G.; Meneses, C. and Campos-Vargas, R. 2019. Primary metabolism in avocado fruit. *Frontiers in Plant Science*. 10(1):795-811.
- Perato, S. M.; Martínez-Zamora, M. G.; Salazar, S. M. and Díaz-Ricci, J. C. 2018. The elicitor AsES stimulates ethylene synthesis, induce ripening and enhance protection against disease naturally produced in avocado fruit. *Sci. Hort.* 240(1):288-292.
- Prabath-Pathirana, U. A.; Sekozawa, Y.; Sugaya, S. and Gemma, H. 2011. Effect of combined application of 1-MCP and low oxygen treatments on alleviation of chilling injury and lipid oxidation stability of avocado (*Persea americana* Mill.) under low temperature storage. *Fruits*. 66(3):161-170.
- Prusky, D.; Alkan, N.; Mengiste, T. and Fluhr, R. 2013. Quiescent and necrotrophic lifestyle choice during postharvest disease development. *Annual Rev. Phytopathol.* 51(1):155-176.
- Ramírez-Gil, J. G.; López, J. H. and Henao-Rojas, J. C. 2020. Causes of Hass avocado fruit rejection in preharvest, harvest, and packinghouse: economic losses and associated variables. *Agronomy*. 10(8):1-13.
- Rojo-Báez, I.; Álvarez-Rodríguez, B.; García-Estrada, R. S.; León-Félix, J.; Sañudo-Barajas, A. y Allende-Molar, R. 2017. Situación actual de *Colletotrichums* spp. en México: Taxonomía, caracterización, patogénesis y control. *Rev. Mex. Fitopatol.* 35(3):549-570.
- Salazar-García, S.; Ibarra-Estrada, M. E. y González-Valdivia, J. 2018. Fenología del aguacate ‘Méndez’ en el sur de Jalisco, México. *Agrociencia*. 52(7):991-1003.
- Sharma, G.; Maymon, M. and Freeman, S. 2017. Epidemiology, pathology and identification of *Colletotrichum* including a novel species associated with avocado (*Persea americana*) anthracnose in Israel. *Scientific Reports*. 7(15839):1-16.
- SIAP. 2018a. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Atlas Agroalimentario 2012-2018. Igarss 2014. 1<sup>st</sup>. (Ed.). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 23-25 pp.
- SIAP. 2018b. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. (<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>).
- Silva-Rojas, H. V. and Ávila-Quezada, G. D. 2011. Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel causal agent of anthracnose in avocado. *Plant Pathol.* 60(5):899-908.
- Slippers, B.; Johnson, G. I.; Crous, P. W.; Coutinho, T. A.; Wingfield, B. D. and Wingfield, M. J. 2005. Phylogenetic and morphological re-evaluation of the *Botryosphaeria* species causing diseases of *Mangifera indica*. *Mycologia*. 97(1):99-110.
- Slippers, B. and Wingfield, M. J. 2007. *Botryosphaeriaceae* as endophytes and latent pathogens of woody plants: diversity, ecology and impact. *Fungal Biology Reviews*. 21(2-3):90-106.
- Tesfay, S. Z.; Bertling, I. and Bower, J. P. 2010. Anti-oxidant levels in various tissues during the maturation of ‘Hass’ avocado (*Persea americana* Mill.). *The J. Hort. Sci. Biotechnol.* 85(2):106-112.
- Twizeyimana, M.; Förster, H.; McDonald, V.; Wang, D. H.; Adaskaveg, J. E. and Eskalen, A. 2013. Identification and pathogenicity of fungal pathogens associated with stem-end rot of avocado in California. *Plant Dis.* 97(12):1580-1584.

U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2019. FoodData Central. SR Legacy-NDB number 9038. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/171706/nutrients>.

White, A.; Woolf, A. B. and Arpaia, M. L. 2005. The international avocado quality manual. HortResearch. 75 p.