

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS



CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

FITOPATOLOGÍA

**MODELO DE PRONÓSTICO PARA EL CONTROL DE LA ANTRACNOSIS
DEL AGUACATE EN MICHOACÁN, MÉXICO**

ELISA DURÁN PERALTA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTORA EN CIENCIAS

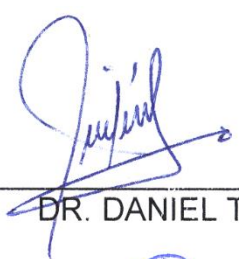
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

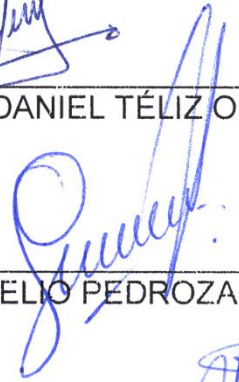
2017


La presente tesis titulada: **MODELO DE PRONÓSTICO PARA EL CONTROL DE LA ANTRACNOSIS DEL AGUACATE EN MICHOACÁN, MÉXICO**, realizada por la alumna: Elisa Durán Peralta bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD - FITOPATOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. DANIEL TÉLIZ ORTÍZ

ASESOR: 
DR. AURELIO PEDROZA SANDOVAL

ASESOR: 
DR. ANTONIO MORA AGUILERA

ASESORA: 
DRA. GRACIELA DOLORES ÁVILA QUEZADA

ASESOR: 
DR. HÉCTOR GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir

A los agricultores de México, quienes son el motivo de formar agrónomos

A CONACYT por el apoyo económico para realizar estudios de Doctorado

A los mexicanos por sus impuestos que se destinan a becas de estudiantes

Al Dr. Daniel Téliz Ortiz por su tiempo y visión para formar profesionistas

Al Dr. Aurelio Pedroza Sandoval por su dirección y asesoría

Al Dr. Antonio Mora por su apoyo en la planeación y seguimiento del trabajo

A la Dra. Graciela Ávila Quezada por su revisión y correcciones

Al Dr. Héctor González Hernández por su apoyo y su orientación constante

A Elvia del laboratorio de Frutipatología por su atención y apoyo

Al personal administrativo de Fitopatología Vero, Hilda, Martha, Erika, Macrina, Juanito, Eduardo y Carlitos por su amable atención y las facilidades brindadas para todos los trámites realizados durante mis estudios

Al Ing. Marroquín Pimentel, Ing. Agustín del Río, Ing. Enrique Audifred, Ing. Gabriel Ávila Sosa, Don Rafael Romero Corona, Beto Ambriz, Fernando Villaseñor Garfias y Don Felipe Villaseñor Reyes, por su gran apoyo en los huertos de aguacate donde se desarrolló el presente trabajo.

DEDICATORIA

A mi hijo Prie, quien es la motivación constante en mi vida.

A Erik mi esposo por su amor y por iluminar cada día con su buen humor.

A mis padres† por darme una niñez feliz.

A mi hermano Isai por ser un ejemplo de constante superación.

A mi hermana Crisbeth por su buena actitud ante las adversidades.

A mi sobrina Dany por ser un buen ejemplo para sus prim@s y herman@s.

CONTENIDO

Página

RESÚMEN	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN GENERAL	5
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
Capítulo I. Marco contextual del cultivo del Aguacate.....	7
1.1 Aguacate	7
1.1.1 Fenología.....	8
1.1.2 Floración.....	9
1.1.3 Factores ambientales	10
1.1.4 Nutrición	11
1.1.5 Factor de predisposición.....	12
1.2 Antracnosis.....	13
1.2.1 <i>C. gloeosporioides</i> , <i>C. acutatum</i> y <i>C. boninense</i>	14
1.2.2 Factor de patogenicidad.....	14
1.2.3 Agroquímicos	15
1.3 Factores ambientales.....	15
1.3.1 Polinización.....	16
1.3.2 Floración	16
1.4. Manejo integrado de Plagas	17
1.4.1 Evaluación del riesgo de plagas mediante mapeo	17
1.4.2 Cálculo de Grados Días Desarrollo.....	18
1.4.3 Monitoreo de la plaga	18
1.4.4 Monitoreo ambiental para el cálculo de Unidades Calor Acumuladas.....	19
1.4.5 Modelos.....	19
1.4.6 Modelos predictivos utilizando NAPPFAST	20
1.4.7 Modelos epidemiológicos	21
1.5 Literatura citada	26
Capítulo II. Patogenicidad y caracterización morfológica de <i>Colletotrichum</i> spp en frutos de aguacate.	35
2.1. Introducción.....	37
2.2. Materiales y métodos	38
2.3 Resultados y discusión	41
2.4 Conclusiones y recomendaciones.....	45
2.5 Literatura	46
Capítulo III. Modelo de pronóstico para el control de la antracnosis del aguacate en Michoacán, México	49
3.1 Introducción.....	51
3.2 Materiales y métodos	52
3.3 Resultados y discusión	56
3.4. Conclusiones	65
3.5 Literatura citada	67

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II

Cuadro 1.	Géneros de hongos aislados de frutos de aguacate <i>P. americana</i> cv. Hass con síntomas de clavo, varicela y antracnosis, en Michoacán, México.	41
Cuadro 2.	Caracterización de 18 aislados monospóricos de <i>Colletotrichum</i> spp obtenidos de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis, clavo y varicela.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1.	Síntomas típicos de clavo (a), y varicela (b), en frutos de aguacate cv Hass.	39
Figura 2.	Colonias en PDA de <i>Colletotrichum</i> spp aisladas de síntomas de varicela, clavo y antracnosis en frutos de aguacate en tres huertos de Michoacán, México.	43

CAPÍTULO III

Figura 1.	Etapas fenológicas del fruto del aguacate en los huertos H1 (A) y H2 (B). Michoacán, México. Etapas: 0=Floración; 1, 2, 3, 4, 5, y 6 = etapas de desarrollo fenológico del fruto (Ávila-Quezada <i>et al.</i> , 2003).	57
Figura 2.	Porcentaje promedio de germinación de conidios de <i>C. gloesporioides</i> , <i>C. acutatum</i> y <i>C. boninense</i> a diferentes temperaturas y humedad relativa de 90%. Texcoco, México. 2015.	59
Figura 3.	Porcentaje promedio de germinación de conidios de <i>C. gloesporioides</i> , <i>C. acutatum</i> y <i>C. boninense</i> a diferente humedad relativa a una temperatura de 25 °C.	59
Figura 4.	Porcentaje promedio de frutos de aguacate cv Hass en etapa fenológica 1 (A) y 6 (B) inoculados con <i>C. gloesporioides</i> , <i>C. acutatum</i> y <i>C. boninense</i> , que presentaron síntoma de antracnosis a diferentes temperaturas con una humedad relativa de 70%. Texcoco, México 2015	60

Figura 5. Comportamiento temporal de la severidad de la antracnosis en frutos de aguacate Hass en el huerto H2. México, 2016.

64

MODELO DE PRONÓSTICO PARA EL CONTROL DE LA ANTRACNOSIS DEL AGUACATE EN MICHOACÁN, MÉXICO.

Elisa Durán Peralta

Colegio de Postgraduados, 2017

RESÚMEN

C. acutatum, *C. gloeosporioides* y *C. boninense* aislados de frutos de aguacate con síntomas de clavo, varicela y antracnosis de los municipios de Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Salvador Escalante, Michoacán fueron identificados morfológica y molecularmente. El umbral de infección artificial de frutos en cámara bioclimática fué 17 °C y 70 % HR y en campo fue de 15 °C y 67 % HR. Los síntomas de frutos infectados naturalmente en campo se presentaron a 13° C, 60 % de HR o humedad de hoja de 4 horas. Se diseñó un Modelo de Pronóstico de Antracnosis (MPA) para la detección temprana del inicio de infección. La eficacia del modelo se validó midiendo la incidencia y severidad de síntomas monitoreadas durante 2014-2016 en tres huertos comerciales, en cada huerto se aplicaron tres tratamientos: T1) aplicación de fungicidas basada en el MPA, T2) aplicación de fungicidas basada en la experiencia del productor y T3) sin aplicación de fungicidas (testigo). Los síntomas se observaron periódicamente en 8 frutos de 10 árboles dentro de cada uno de los tres tratamientos. Las variables meteorológicas del modelo fueron: temperatura (T) mayor a 17 °C; humedad relativa (HR) mayor a 65 %; punto de rocío (PPR) mayor a 14° C; humedad de hoja (PHH) mayor a 40 min; y precipitación (PP) mayor a 5 mm en las últimas 12 horas. El MPA fué = $-2.091627611 + 0.0080094 \cdot T_0 + 0.0211358 \cdot T_1 + 0.015909 \cdot T_2 + 0.0042576 \cdot T_3 + 0.00749967 \cdot HR_0 + 0.01859905 \cdot HR_1 + 0.01952115 \cdot HR_2 + 0.005213089 \cdot HR_3 + 0.47500516 \cdot PP + 0.0045496686 \cdot PHH + 0.049749418 \cdot PR$ ($R^2=0.85$). Sí MPA es mayor a cero existen condiciones meteorológicas para el inicio de síntomas de la antracnosis. El MPAp

correspondiente al modelo con uso de datos meteorológicos pronosticados fue más eficiente en T1 con una ABCPE (Área Bajo la Curva de Pronóstico de la Enfermedad) de 2.4 %-días de enfermedad, respecto al (T2), que registró una mayor ABCPE de 34 %-días de enfermedad. La productividad total de fruta en T1 fue de 10 ton/ha, con 7.5 ton de fruta sana = U\$D 5150; T2 produjo 2.5 ton/ha de fruta sana = U\$D 1700 (26.3%) y 0.44 ton/ha = U\$D 300 (4%) en T3 (testigo). El MPA resultó en una ganancia de fruto sano de U\$D 3450 respecto al manejo con la experiencia del productor, que aunado al ahorro en costo de U\$D 300 de tres aplicaciones que se redujeron resultó en una ganancia de U\$D 3750/ha/ciclo. En un huerto de 10 ha esta ganancia representaría U\$D 37,500.

Palabras clave: *Persea americana*, *Colletotrichum* spp., Epidemiología agrícola, Pronóstico de enfermedades.

ANTHRACNOSE FORECASTING MODEL FOR CONTROL OF AVOCADO ANTHRACNOSE IN MICHOACÁN, MEXICO

Elisa Durán Peralta
Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

C. acutatum, *C. gloeosporioides* and *C. boninense* isolated from avocado fruits with clove, varicella and anthracnose symptoms collected in Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Salvador Escalante, Michoacán, México were morphologically characterized. The threshold of artificial infection of fruits in bioclimatic camera was 17 ° C and 70% RH. When artificially inoculating fruits in the field, symptoms of anthracnose occurred at 15 ° C and 67% RH. Naturally in the field, the disease was present at 13 ° C and from 60% RH or leaf moisture of 4 hours. An Anthracnose Forecasting Model (AFM) to early detect of onset of infection was developed. The AFM effectiveness was validated measuring incidence and severity of the disease monitored during 2014-2016 in three groves with three treatments. T1: sprays of organic fungicides based on the AFM; T2: sprays based on the grower experience; T3: Control trees (without any fungicide). The symptoms were monitored on 8 fruits of 10 trees within each of the three treatments. The weather variables in the model were: temperature (T) > 17 °C, Relative Humidity (RH) > 65%, Dew Point (DP) > 14°C, leaf humidity (ALH) > 40 min, and precipitation (PP) > 5 mm in the last 12 hours. The AFM was: $AFM = -2.091627611 + 0.0080094 \cdot T_0 + 0.0211358 \cdot T_1 + 0.015909 \cdot T_2 + 0.0042576 \cdot T_3 + 0.00749967 \cdot HR_0 + 0.01859905 \cdot HR_1 + 0.01952115 \cdot HR_2 + 0.005213089 \cdot HR_3 + 0.47500516 \cdot PP + 0.0045496686 \cdot PHH + 0.049749418 \cdot PR$. ($R^2=0.85$). If $AFM > 0$ anthracnose develops. AFM with pronosticated meteorological data (T1) was more efficient with an AUDPC of 2.4%-disease days, compared with T2 (sprays based on grower experience) with an

AUDPC of 34 %-disease days. AFM resulted in 7.5 ton/ha of healthy fruit equivalent to U\$D 5150 (77.1 %); compared with T2 which yielded 2.5 ton/ha= U\$D 1700 (26.3 %) and T3 (control trees) with 0.44 ton/ha = U\$D 300 (4%). AFM resulted in a profit of U\$D 3450 compared with T2, with the additional difference of U\$D 300, cost of 3 fungicide sprays with a final profit of U\$D 3750/ha/yield cycle. This difference would equal U\$D 37,500 in a 10 ha grove.

Keywords: *Persea americana*, *Colletotrichum* spp. Epidemiology, Disease forecasting.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La antracnosis es un problema fitosanitario severo en Michoacán, su incidencia puede llegar al 74% (Téliz y Mora, 2007). Esta enfermedad es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Bailey, 1992; Prusky *et al.*, 2000; Dodd *et al.*, 1992.), *C. acutatum* (Ávila-Quezada *et al.*, 2007) y *C. boninense* (Silva-Rojas and Ávila-Quezada, 2011).

El patógeno puede atacar las hojas del aguacate donde causa pequeñas manchas café claro. En ramas tiernas origina exudados de color blanco, conocidos como “sarampión”, que se expresa secando las puntas de las ramas (“marchitez de puntas”) (INIFAP, 2005). También causa caída de flores y aborto de frutos.

El fruto de aguacate presenta manchas redondas, pequeñas y rojizas, que se tornan de color negro y consistencia áspera, seca y prominente, conocida como “viruela”, “clavo” o “pepper spot” (Willingham *et al.*, 2000). Estas lesiones pueden incrementar su número sobre el fruto (Ávila Quezada, 2002). Este síntoma es importante debido a que daña la pulpa y afecta su calidad de exportación.

Las infecciones más severas ocurren de junio a agosto cuando se presentan condiciones de alta humedad por las lluvias y en menor grado de febrero a marzo. La mayoría de esporas del hongo se liberan de 6:00 a 8:00 am., con temperaturas de 13 a 14°C y humedad relativa >80% (INIFAP, 2005). El clima que favorece a la enfermedad es el cálido durante el día con 18° a 30 °C y fríos nocturnos en zonas húmedas con > 60% de humedad relativa. La nubosidad durante 4 a 6 horas diarias y precipitaciones pluviales > 1500 mm anuales también le favorecen. El daño en

frutos se manifiesta de mayo a octubre, con mayor severidad en agosto y octubre (INIFAP, 2005). Actualmente el control de la antracnosis se realiza mediante la aplicación empírica de fungicidas, en base a la presencia de síntomas.

Objetivo general

Contribuir al conocimiento y generación de tecnología para un mejor manejo de la antracnosis del aguacate en el estado de Michoacán, México.

Objetivos específicos

Caracterizar morfológica y molecularmente aislamientos de hongos obtenidos a partir de frutos con síntomas de clavo, varicela y antracnosis del aguacate.

Generar y validar un modelo de predicción del inicio de la infección de la antracnosis del aguacate, que permita un manejo preventivo para un control más eficiente, económico y menos contaminante.

Hipótesis

Ho: Los diferentes aislamientos de hongos obtenidos a partir de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis, no difieren morfológicamente.

Ha: Al menos uno de los aislamientos de hongos obtenidos a partir de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis, es diferente morfológicamente.

Ho: La predicción de las condiciones meteorológicas favorables para la infección de frutos de aguacate por *Colletotrichum* spp, no impacta sobre el control eficaz de la enfermedad

Ha: La predicción de las condiciones meteorológicas favorables para la infección de frutos de aguacate por *Colletotrichum* spp, impacta sobre el control eficaz de la enfermedad.

Capítulo I. Marco contextual del cultivo del Aguacate.

1.1 Aguacate

El centro de origen del aguacate es México. Los restos fósiles de aguacate encontrados en la cueva de Coxcatlan del Valle de Tehuacán, Puebla, Méx. tienen una antigüedad de 8000 años (Smith, 1996). Nuevos árboles de aguacate fueron reproducidos por semilla y se promovió una gran diversidad genética que facilitó la adaptación a diversas regiones (Campos, 2012).

La familia Lauraceae es uno de los grupos de angiospermas más antiguos (Renner, 1999). Existen dos subgéneros: *Persea* el de los verdaderos aguacates tiene ambas caras de los sépalos pubescente, y *Eriodhapne* el de frutos pequeños de tamaño aceituna que tienen la cara interna sin pubescencia (Kopp, 1966).

Dentro de *P. americana* se reconocen 3 razas: la Mexicana resistente al frío, y fruto con alto contenido de aceite; la guatemalteca con fruto que presenta cascara gruesa formada por tejidos esclerificados bastante duros que no permiten saber con facilidad al tacto si los frutos ya están en madurez de consumo; y la Antillana que se adapta a clima tropical y como portainjerto es más tolerante a la salinidad (Téliz, 2007). El aguacate se adapta desde el nivel del mar hasta los 3000 m de altitud. La raza mexicana se establece en altitudes de 1500 a 3000 msnm; la guatemalteca de 1000 a 2000 m y la antillana desde 0 a 1000 msnm (Ruiz *et al.*, 1999).

Los cultivares más importantes a nivel mundial son Fuerte y Hass. En México y California, EUA el principal cultivar establecido es el Hass, mientras que en Israel y Sudafrica Fuerte es el que domina en superficie plantada. Los cultivares con genes de la raza Mexicana y Guatemalteca dominan en el subtrópico, mientras que los cultivares con combinaciones entre la raza Antillana y Guatemalteca dominan en los tropicales (Téliz *et al.*, 2007).

1.1.1 Fenología

La fenología es el estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas (Volpe, 1992). Para Whiley *et al* (1988) la fenología es la relación entre el clima y los procesos biológicos periódicos. Los árboles frutales manifiestan diversas fases fenológicas conforme pasan las estaciones del año (Wolstenholme y Whiley, 1989). La presencia y duración de las fases fenológicas se pueden registrar y relacionan con información meteorológica, y con ello se puede predecir la ocurrencia de cambios importantes en el desarrollo del árbol.

De acuerdo con Cossio-Vargas (2008), las etapas fenológicas principales del aguacate son: flujos de crecimiento vegetativo, desarrollo floral, crecimiento del fruto, y producción de raíces. La susceptibilidad del fruto a antracnosis varía de acuerdo a 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).

El conocimiento de la fenología del aguacate permite la adecuada planeación y ejecución de las prácticas de manejo agronómico de los huertos, como las podas, la fertilización, y los riegos (Whiley *et al.*, 1988). La presencia de flujos vegetativos en distintas épocas podría favorecer una floración recurrente abundante que incrementa las posibilidades de obtener una mejor cosecha, minimizando la alternancia productiva causada por la falta de sitios de fructificación (Cossio *et al.*, 2008). La fenología del fruto de aguacate en Michoacán incluye la floración principal de invierno y secundarias 'loca' (de fin del verano), 'adelantada' (de otoño) y 'marceña' (primavera) (Salazar-García, 2000). El flujo vegetativo de primavera es el primero que se observa y es el de mayor importancia para el crecimiento del cv. Hass (Whiley *et al.*, 1990).

Cossio *et al* (2008) describieron los ciclos de crecimiento de árboles Hass cultivados sin riego. El cv. Hass con dos flujos de crecimiento vegetativo: invierno y verano de mayor y menor intensidad respectivamente. El desarrollo floral de yema cerrada a anthesis en brotes del flujo vegetativo de invierno fue de 11.5 meses y verano de 7.5 meses. La mayor producción de raíces se presentó en agosto. La caída de fruto fue

con mayor intensidad durante las primeras lluvias de verano (junio). El fruto registró crecimiento durante ocho meses desde el amarre en marzo hasta la cosecha en noviembre. Los promedios de temperaturas del aire máximas anuales fluctuaron de 26.8 a 33.4 °C y las mínimas de 9.3 a 20.4 °C. Las temperaturas máximas mensuales promedio del suelo se mantuvieron entre 20.1 y 24.5 °C, y las mínimas entre 18.5 y 23.4 °C todo el año. La humedad del suelo fue $\geq 85\%$ desde la estación lluviosa de junio hasta diciembre; posteriormente disminuyó hasta 65% en mayo.

1.1.2 Floración

Existe un rango de temperatura neutra entre 23°C - 18°C y 29°C - 25°C donde no ocurre la floración del aguacate ni el desarrollo vegetativo (Chaikiattiyos *et al.*, 1994). El desarrollo de la inflorescencia y temperaturas nocturnas inferiores a 15°C presentan una buena correlación, pero no se considera ésta temperatura como inductiva, sino que juega un rol como promotora de la expresión floral (Salazar-García *et al.*, 1998). El estímulo floral se atribuye a temperaturas bajas, días cortos y estrés hídrico; y se produce alrededor de dos meses antes de la floración (Gaillard, 1987). La inducción floral dispara la transcripción y expresión de genes de la floración, antes de la iniciación floral (Davenport, 1986).

Ácido giberélico aplicado a árboles de aguacate en las primeras etapas de desarrollo de la inflorescencia estimula la producción de brotes vegetativos, a expensas de las inflorescencias (Salazar-García y Lovatt, 2000). En general las fitohormonas participan activamente en la transmisión de la señal de estrés (Tadeo, 2000).

1.1.2.1 Polinización

Cuando en el día no hace mucho frío pero baja la temperatura en la noche, esto ocasiona la muerte del tubo polínico, el polen no alcanza a llegar al ovario para fecundar al óvulo y no se da el cuajado (Gardiazabal, 1997 citado por Vallejos 2002). La temperatura óptima para el crecimiento del tubo polínico, es de 25°C para la mayoría de los cultivares, demora 3 h aproximadamente en llegar hasta la base del estilo de la flor; La penetración de éste en el ovario para alcanzar el óvulo ocurre después de 18 a 24 h de la polinización (Gardiazabal, 1998). La fertilización floral es

afectada por bajas temperaturas que disminuyen la viabilidad del óvulo y aumentan el periodo que toma al tubo polínico en crecer desde el estigma al óvulo. El período de polinización efectivo es acortado y el cuajado reducido (Lovatt, 2001).

1.1.2.2 Amarre de fruto

Los factores que causan de retención o caída del fruto son: la presencia de las enfermedades durante la floración y el amarre, así como desordenes hormonales (Sanchez *et al.*, 2001); la disponibilidad de agua posterior al periodo de floración; la competencia en el inicio del periodo vegetativo del árbol y el crecimiento del fruto; la sensibilidad del frutito a temperaturas extremas (Téliz, 2000). La aplicación de Biogib (hormona vegetal), Bactrimicin (bactericida), y Benlate (fungicida) + Bactrimicin favorecen el amarre del fruto en las fases iniciales de su desarrollo (Acosta, 2007).

1.1.3 Factores ambientales

La floración puede ser favorecida por la temperatura, el fotoperiodo, la irradiación y la nutrición, (De la Isla, 1987). Diversos asimilatos y fitohomonas conocidas participan en la inducción floral (Bernier, 1993 citado por Téliz, 2000).

Los requerimientos de agua varían con respecto a la fenología y el estado de desarrollo de un cultivo. La evapotranspiración real del cultivo de aguacate es 650 a 1000 mm al año. De acuerdo Ruiz *et al* (1999). Los requerimientos de precipitación media anual de la raza Antillana son de 1100 a 3300 mm, la Guatemalteca de 800 a 3400 y la Mexicana de 650 a 2200 mm. Por ello en ambientes más secos se requiere de sistemas de irrigación.

Los requerimientos de unidades calor (u.c.) se determinaron para el cultivo de aguacate en Michoacán. Se tomó como base 10 y 30 °C en las distintas fases fenológicas del cultivo y se encontró que en la floración normal (diciembre-enero) se requieren 270 u.c. y en la formación del fruto (enero-octubre) 1800 u.c. (Tapia, 2006). Por lo anterior las cosechas pueden adelantarse o atrasarse en diferentes zonas de producción del cultivo.

Por otra parte, Martínez (1988) y Benacchio (1982), determinaron como umbrales de temperatura mínima y máxima para el cultivo de aguacate 10 y 35 °C respectivamente. La resistencia al frío de la variedad Hass es -1.1 °C. La temperatura en época de floración menor a 20 °C en el día y 10° C en la noche, pueden provocar reducción en el cuajado de frutos (Gardiazabal, 1990).

El amarre de fruto aguacate variedad Hass requiere temperaturas en un rango mínimo entre 12-17° C y un máximo de 28-33° C (Whiley y Winston, 1987). Un mayor amarre de frutos de aguacate ocurre con temperaturas entre 20 y 25° C, en tanto que temperatura superior a 28° C provoca la caída de flores individuales (Lovatt, 1990). Human y De Jager (1987) determinaron que el aguacate tiene un requerimiento climático de temperatura máxima de 31° C en el verano y mínima 4° C durante el invierno; mientras que, la asimilación de nutrientes y la fertilidad de polen se reducen a temperaturas superiores a 32° C (Lomas, 1988).

1.1.4 Nutrición

La floración comienza en forma conjunta con el crecimiento vegetativo de primavera, periodo de traslape y competencia fuerte por carbohidratos, elementos minerales y agua en el árbol (Wolstennhome and Whiley 1989). El Boro favorece el crecimiento del tubo polínico; la división mitótica necesaria para producir el esperma y huevo; y la división celular durante los primeros estados de desarrollo del fruto. Las flores demandan altas concentraciones de P, B, Fe y S. Flores y frutos presentan mayor demanda que hojas de K y el B, en cambio el Mg, Ca, Fe y S, se encuentra en mayores cantidades en hojas y después en flores y frutos. Las primeras etapas de formación del fruto requieren Ca y al final del desarrollo del mismo el Ca y el K. La etapa de mayor crecimiento del fruto de marzo a julio está relacionada con un aumento en N, P, K y B (Lovatt, 2001). Durante la floración y el desarrollo vegetativo, el cultivo del aguacate requiere de cantidades altas de nitrógeno. Los frutos presentan concentraciones más altas de N que las hojas en el desarrollo vegetativo, alto contenido de N en frutos se relaciona con una disminución en el contenido del mismo elemento en hojas y viceversa (Palacios, 1986). Del 15 al 30% de la inversión anual es destinado a la fertilización en el cultivo del aguacate en Michoacán (Bárcenas, 2003).

1.1.5 Factor de predisposición

La predisposición es la tendencia derivada de condiciones no genéticas, que actúan antes de la infección y que afectan la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades. Es el resultado de los cambios que inducen diversos factores en el hospedante antes de que ocurra la infección. Yarwood (1959) menciona entre los factores predisposicionales más importantes la edad, cambios diurnos y estacionales y condiciones ambientales:

Edad. La susceptibilidad de las plantas respecto a determinadas enfermedades, varía de acuerdo con la edad.

Transición de susceptible a resistente. El follaje tierno y brotes jóvenes son más susceptibles que los maduros. El Mildiu del tabaco, la roya del tallo del trigo en berberis, la antracnosis del frijol, y el cancro de los cítricos son algunos ejemplos.

Transición de resistente a susceptible. La susceptibilidad aumenta con la edad como en el caso de la cenicilla de la lechuga.

Resistencia intermedia. Las plantas jóvenes y maduras son más susceptibles, como en el caso de ciertas variedades de trigo al ataque de la roya del tallo.

Susceptibilidad intermedia. Las plantas jóvenes y las maduras son resistentes, mientras que la susceptibilidad se presenta en la etapa intermedia de la vida de la planta, como en el caso de la pierna negra de la papa.

Wheeler (1977), demostró que la susceptibilidad de las plantas de avena se incrementa bruscamente cuando estas tienen 12 días de edad. Todas las alteraciones en resistencia están asociadas con los cambios en la eficiencia de los mecanismos de defensa de la planta, que varía con su estado de desarrollo. Como explicaciones probables se señala que los tejidos jóvenes producen más rápidamente o mayor cantidad de fitoalexinas; y en los tejidos maduros se dan transformaciones de índole bioquímica como la cantidad en el contenido de

reguladores de crecimiento, que producen un sustrato más o menos favorables para el patógeno.

Cambios diurnos y estacionales. Durante el transcurso del día varían las funciones de las plantas superiores. Como ejemplos pueden considerarse: la apertura y cierre estomatal, turgidez de las hojas, movimientos foliares y contenidos de ciertos compuestos cuya cantidad fluctúa de acuerdo con la hora del día (Ácidos orgánicos, carbohidratos y proteínas). Los cambios bioquímicos se correlacionan claramente en algunos casos, con la severidad de la infección. Así tratándose de enfermedades virales, el inocular por la tarde resulta en una mejor infección que en caso de hacerlo por la mañana. En forma similar, se ha establecido que existe cierta influencia de las estaciones del año en relación al ataque de algunos hongos fitopatógenos (De la Isla, 1987)

Condiciones ambientales. De todos los factores que predisponen a la infección, las condiciones ambientales son, tal vez, los más importantes. Las variaciones en temperatura, humedad, presión atmosférica, luz, ejercen su influencia sobre el desarrollo y fisiología de la planta. En condiciones de campo, el efecto individual de cualquiera de los factores ambientales puede aumentar o disminuir cuando se combinan varios de ellos, como ocurre normalmente (De la Isla, 1987).

1.2 Antracnosis.

La aptitud epidémica es la adaptación de un patógeno al hospedante, al clima y al manejo, para causar una epidemia (APS, 2016). La aptitud del patógeno para causar epifitas es decir, su potencial epidémico como lo denomina Gauman (1950) está determinado por sus genes. De acuerdo a Ávila (2002) para el control de la antracnosis en aguacate se recomienda: 1. Proteger los frutos en etapa fenológica susceptible con funguicidas de contacto como Caldo Bordelés, lo cual funciona cuando no hay síntomas visibles; el propósito es proteger al fruto antes de que el hongo llegue a él y germine en la superficie; 2. Registrar la humedad relativa. Cuando se combinan humedad relativa mayor de 80% y frutos de la etapa fenológica 4 o más grandes se corre el riesgo de que inicie la infección; 3. Monitorear 10 frutos en una rama de la parte sur del árbol, en 5 a 10 árboles por hectárea seleccionados al azar

y si se detecta un daño de la clase 1 de acuerdo a las escalas generadas por Ávila-Quezada *et al* (2002), en los frutos de un árbol entonces la enfermedad ha iniciado. En este caso es necesario un funguicida sistémico debido a que el hongo ha invadido el tejido interno del fruto; 4. Eliminar los frutos caídos, ya que son fuente de inóculo, estos frutos se pueden enterrar en una fosa, cubrir con cal y tapar con la misma tierra.

1.2.1 *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense*

Guillén (2007) realizó un análisis de 60 aislados de *Colletotrichum* sp., a partir de frutos de aguacate colectados en 22 municipios de la franja aguacatera de Michoacán. Los resultados indicaron la presencia de dos especies: *C. gloeosporioides* y *C. acutatum*.

Posteriormente se determinó que la antracnosis en aguacate es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Bailey & Jeger, 1992; De Wolf & Isard, 2007) *C. acutatum* (Ávila-Quezada *et al.*, 2007), y *C. boninense* (Silva Rojas & Ávila Quezada, 2011). La antracnosis en huertos de aguacate puede alcanzar hasta el 74 % de incidencia (Téliz, 2007).

1.2.2 Factor de patogenicidad

El término “**factor de patogenicidad**” y “factor de virulencia” son usados como sinónimo por algunos autores (Schaechter, 1993), mientras que otros hacen énfasis en una clara distinción entre ellos. El término "**patogenicidad**" define la capacidad de una agente para causar enfermedad, mientras que "virulencia" es la medida o grado de patogenicidad de cualquier especie (Podschun, 1998). La patogenicidad puede ser definida como la interferencia del parásito con una o más de las funciones esenciales de las plantas. Los patógenos más dañinos son aquellos muy prolíficos que pueden producir varias generaciones durante un ciclo biológico muy corto como ocurre en diversas especies de oídium y de mildiu, bajo una amplia gama de condiciones ambientales (Mendoza, 1983).

1.2.3 Agroquímicos

El proceso de desarrollo de resistencia en las poblaciones de plagas o enfermedades, se debe básicamente al hecho de que se ejerce una presión de selección, provocada por el uso continuo de plaguicidas del mismo grupo químico. La resistencia se expresa en parte por mecanismos metabólicos, a través de los cuales los individuos sobrevivientes (resistentes) poseen niveles superiores de enzimas que los individuos susceptibles; esto les permite desdoblar las moléculas del plaguicida, convirtiéndolos en productos menos tóxicos. Las aplicaciones en exceso de agroquímicos seleccionan a los organismos más resistentes de una población, disminuye y acaba con los enemigos naturales, incrementa la presencia de residuos tóxicos en el producto e incrementando el riesgo a la salud humana. Es importante verificar que los plaguicidas que se van a incluir en el cuadro básico, han sido autorizados para su empleo por la Dirección General de Sanidad Vegetal (SENASICA-SAGARPA). Para los productos de exportación al mercado norteamericano, se deberán verificar los niveles de tolerancia establecidos por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) en los productos registrados. Por lo anterior, la aplicación de mezclas debe basarse en las siguientes consideraciones: a) la degradación de los componentes debe ser similar en el ambiente; b) no debe existir antagonismo; c) usarse cuando dos plagas o más hayan rebasado el umbral de acción y que un solo insecticida nos sea efectivo; d) los casos en que se justifiquen el uso de mezclas, ésta deberá hacerse a nivel de campo ya que las mezclas formuladas de fábrica solo aumentan la anarquía en el uso de plaguicidas, se propicia el desarrollo de la resistencia múltiple (Bujanos *et al.*, 2009).

Para antracnosis en el cultivo del aguacate se recomiendan aspersiones al inicio de la floración, hasta dos o tres semanas después de cuajamiento del fruto, con fungicidas a base de Oxiclورو de Cobre, Hidróxido Cúprico, Carbendazim, Tiabendazol y Procloraz (APEAM, 2016).

1.3 Factores ambientales

La fertilización se ve afectada por bajas temperaturas, las cuales disminuyen la viabilidad del óvulo y aumentan el periodo que toma el tubo polínico en crecer desde el estigma al óvulo. Posteriormente, el período efectivo de polinización es acortado

y el cuajado reducido (Lovatt, 2001). La temperatura óptima para el crecimiento del tubo polínico es 25°C y tarda tres h aproximadamente en llegar hasta la base del estilo de la flor; la penetración del tubo polínico en el ovario para alcanzar el óvulo, tarda 18 a 24 horas después de la polinización (Gardiazabal, 1998).

1.3.1 Polinización

Cuando el polen está maduro se presenta la *antesis*. Las anteras abren y los granos de polen escapan, esta etapa concluye con la “floración completa”. El estigma es receptivo temprano cuando está cubierto con un exudado azucarado que permite que los granos de polen puedan germinar. El tiempo de receptividad depende de la flor y factores climáticos (Jackson, 1999).

1.3.2 Floración

Las temperaturas irregulares y frías al inicio de primavera prolongan la floración, provocando cuajado y maduración de frutos con diferencias de dos a tres meses en su edad. En áreas cálidas el crecimiento de los frutos es más rápido (Gardiazabal 1997). Altas temperaturas durante la floración favorecen crecimiento vegetativo que causa competencia, baja intensidad lumínica necesaria para la iniciación de la yema floral, y aborto de frutos recién cuajados (Jackson 1999). Las bajas temperaturas ocasionan que un gran porcentaje de flores no abra o sólo lo harán al estado femenino o masculino, perdiéndose una gran cantidad de ellas (Gardiazabal, 1997). Existe un rango de temperatura neutra entre 23°C/18°C y 29°C/25°C donde no ocurre la floración ni el desarrollo vegetativo del aguacate (Chaikiattiyos *et al.*, 1994).

Los estudios epidemiológicos en algunos patosistemas se han basado en conocer el comportamiento de los patógenos en el tiempo, la asociación de los factores relacionados al progreso de las epidemias, y modelos de predicción (Zhang *et al.*, 2000). Desafortunadamente, poco se ha estudiado sobre predicción de antracnosis y roña en frutos de aguacate (Morales, 2000).

1.4. Manejo integrado de Plagas

Un programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP) requiere monitoreo de las plagas, de los enemigos naturales, del cultivo, del clima; modelos fenológicos tanto de las plagas como de lo cultivo; y sistemas de información y extensión agrícola. Los métodos de muestreo y recolección de datos proporcionan la información necesaria para ejecutar modelos fenológicos; hacer predicción de plagas y organismos benéficos; determinar la relación con el cultivo y el clima; decidir las acciones de manejo de la plaga o enfermedad requeridas (Bujanos *et al.*, 1993).

En el estudio de epidemias se requieren observaciones, mediciones, fórmulas matemáticas y estadísticas, así como programas computacionales, que permiten representar la dinámica de una enfermedad. La descripción cuantitativa de las epifítias proporciona mucha información relacionada con la cantidad y eficiencia del inoculo inicial, los efectos del clima, la resistencia del hospedero, los sistemas de predicción y la eficiencia de las estrategias de manejo del cultivo (Achicanoy, 2000).

1.4.1 Evaluación del riesgo de plagas mediante mapeo

Las herramientas para evaluar riesgo climático mediante mapeo pueden ser a través de enfoques deductivos o inductivos (Baker, 2002). Los enfoques deductivos se basan en datos experimentales para crear modelos biológicos que predican la distribución de un patógeno en el tiempo. Los enfoques inductivos estiman la distribución futura de la plaga al comparar el clima donde se ha desarrollado usualmente una plaga con el clima en las zonas donde ésta aún no se presenta. Las técnicas deductivas funcionan mejor cuando existe una adecuada información disponible de los requerimientos climáticos biológicos de la plaga. Enfoques deductivos como grados día o modelos de infección, son útiles, ya que los modelos también se pueden utilizar para predecir la fenología de las plagas. Esto puede ser útil para la programación de actividades de detección de las plagas mediante trampeo. Los enfoques inductivos son mejores cuando se conoce la distribución actual de la plaga, pero puede haber una falta de información del aspecto biológico (SIAFEG, 2010).

1.4.2 Cálculo de Grados Días Desarrollo

Las tasas de crecimiento de las plantas, invertebrados y microorganismos están directamente relacionadas con el clima. Por ello a partir del cálculo de calor acumulado a que ha sido expuesta una plaga a través del tiempo se pueden hacer predicciones precisas de su desarrollo. Los días grados acumulados son estimados usando modelos matemáticos elaborados para cada plaga. Cada especie de planta, insecto o microbio tiene un umbral de desarrollo mínimo y máximo. Los modelos de grados día asumen que no ocurre desarrollo debajo del umbral mínimo.

De acuerdo a SIAFEG (2010), la tasa de incremento de desarrollo del organismo entre el umbral mínimo y máximo es aproximadamente lineal a medida que aumenta la temperatura. Los modelos de grados día para algunas plagas presentan un corte horizontal, el cual asume que a temperaturas por abajo del umbral máximo la tasa de desarrollo permanece constante. Otros modelos de grados día tienen un corte vertical el cual asume que el crecimiento se detiene para temperaturas por debajo del umbral máximo. Los días grados pueden ser estimados con las temperaturas mínimas y máximas diarias para generar una curva al graficar temperatura contra tiempo, y posteriormente se puede calcular el área bajo la curva entre los umbrales máximo y mínimo de desarrollo para cada organismo. Si es usado un método de corte horizontal para estimar los grados día, se asume que la tasa de desarrollo del organismo permanece constante por debajo del umbral máximo. En el método de corte vertical se asume que el desarrollo se detiene por abajo del umbral máximo.

1.4.3 Monitoreo de la plaga

El monitoreo de las poblaciones de una plaga consiste en el registro continuo de cada una de sus etapas biológicas, sus enemigos naturales y la fenología del cultivo. Las fechas de muestreo dependen de las condiciones meteorológicas predominantes y la densidad de población registrada. Los umbrales dependen de la etapa fenológica del cultivo. El uso más común de estos datos sirve para determinar la presencia o ausencia de esta plaga, los cambios en su densidad de población y determinar los patrones de emergencia (Bujanos *et al.*, 1993).

1.4.4 Monitoreo ambiental para el cálculo de Unidades Calor Acumuladas

La importancia de la información climática, pasada y actual, radica en que por medio de ésta es posible predecir la dinámica de población de plagas y enfermedades que ocurren en el agroecosistema del cultivo. Los factores climáticos y el estado del tiempo, que mayor influencia tienen en la reproducción y abundancia de las especies insectiles, son: temperatura, precipitación, humedad, luz, viento (velocidad y dirección) y presión barométrica (SIAFEG, 2010).

A nivel regional, se puede utilizar la red de estaciones meteorológicas del servicio meteorológico Nacional. La desventaja consiste en que cada cultivo tiene su propio microclima, por lo que la información climática de una estación situada a varios kilómetros del predio, solo proporciona una aproximación de las condiciones del microclima del mismo. El monitoreo biológico da seguimiento al efecto de las acciones de control llevadas a cabo, se actualizan, se alimentan y validan los modelos fenológicos y las predicciones de dichos modelos. El ahorro que los productores pueden tener utilizando solo el número necesario de aspersiones, representa uno de los principales beneficios económicos para efectuar el monitoreo biológico. Además de reducir los costos de producción, se promueve el efecto de la fauna benéfica sobre los organismos plaga. El ciclo de vida de organismos plaga, está regulado por las “Unidades Calor” (Bujanos *et al.*, 1993).

1.4.5 Modelos

Las actividades de investigación se pueden agrupar en: A) Investigación básica encaminada a la caracterización de los enemigos biológicos y los factores que determinan su adaptación y el desarrollo de modelos predictivos, tanto del comportamiento de los organismos dañinos, como del crecimiento y desarrollo de los cultivos. B) Investigación aplicada enfocada al diseño de aplicaciones para apoyar el monitoreo de problemas fitosanitarios. Estas aplicaciones se basan en el uso de modelos de simulación y bases de datos climáticas. También se pueden usar métodos y procedimientos para la evaluación del daño ocasionado por los organismos plaga (SIAFEG, 2010). La simulación es la herramienta que permite observar y analizar las interacciones entre el cultivo, el ambiente físico (representado por el suelo y el clima) y los organismos plaga (INIFAP, 2009).

1.4.6 Modelos predictivos utilizando NAPPFAS

El Centro de Ciencias de la Salud Vegetal y Tecnología de la Universidad de Carolina del Norte, EUA desarrollo el sitio web NAPPFAS (sistema de predicción de plagas de plantas de la Universidad de Carolina del Norte/ El Servicio de Inspección Sanitaria Animal y Vegetal de los Estados Unidos) una herramienta que usa modelos biológicos simples para la Detección y Predicción de plagas fitofagas. Es un sistema disponible en Internet para generar Mapas Georreferenciados a una resolución de 10 km²; Predicción del comportamiento estacional de las Plagas de Plantas utilizando datos meteorológicos; y Evaluaciones de Riesgos Epidemiológicos de Plagas (Magarey 2007). Es un trabajo conjunto entre APHIS (Sanidad Animal y Vegetal del Servicio de Inspección), NCSU (Universidad de Carolina del Norte) y la compañía de tecnología de información ZedX Inc. NAPPFAS funciona "llenando plantillas en blanco " para modelar y generar mapas de eventos biológicos como el desarrollo de insectos, períodos de infección de patógenos de plantas, evaluación de varios tipos de fórmulas y climas variables. NAPPFAS actualmente cuenta con datos sobre el clima de más de 3700 estaciones meteorológicas de toda América del Norte. El sistema genera gráficos de estaciones de informes individuales o múltiples, y mapas a una resolución de 10 km² (Barnes, 1973). Los mapas de predicción se pueden hacer de 10, 20 o 30 años de datos diarios del clima o de determinados períodos históricos en los últimos 35 años. Los mapas se imprimen como un archivo o importar en un SIG. NAPPFAS también se ha utilizado para los eventos siguientes: Modelación aerobiológica y climatológica de roya de la soya (Livingston *et al.*, 2004); para crear los mapas estacionales y anuales para *Phytophthora ramorum*; y en muerte repentina de los robles

El sitio web de MAPview fué creado para el modelado de plagas, en ésta interfaz los mapas pueden ser vistos por APHIS. Actualmente hay aproximadamente 30 modelos están disponibles. Éste sitio web se ha vinculado a la base de datos Mundial de Plagas y Enfermedades y a los sitios web de la NAPIS y del APHIS PPQ. La tecnología permite que los modelos de predicciones puedan ser descargados en celulares y computadoras para el análisis en tiempo real de las plagas, mediante software como los Programas ISIS y Scouter ZedX (Magarey 2007).

1.4.7 Modelos epidemiológicos

Cuando se precisa tomar una decisión de manejo de un cultivo para optimizar su rendimiento, esta debe enmarcarse en el contexto de las condiciones genotípicas y ambientales en las que será realizada la práctica de manejo. En estos casos, la aproximación pragmática más frecuente consiste en la utilización de un modelo de respuesta zonal. Que representa la respuesta del rendimiento a la práctica de manejo que se considera. En toda parte del mundo se invierten importantes recursos públicos y privados, en la generación de este tipo de modelos, sugiriendo la enorme utilidad de los mismos (Satorre *et al.*, 2010).

Los modelos se usan frecuentemente como instrumento para evaluar diversas actividades de manejo de enfermedades. El valor de los modelos epidemiológicos reside en su capacidad de estudiar hipótesis y de hacer que los responsables de tomar decisiones sepan de antemano qué consecuencias tendrá el desarrollo de las enfermedades y qué impacto tendrán las estrategias de control. Para que sean útiles, los modelos deben ajustarse al propósito buscado y deben ser verificados y validados de modo apropiado. Los modelos son sólo un instrumento para obtener una recomendación con bases científicas y sus resultados deben ser evaluados junto con los datos obtenidos con estudios experimentales, la experiencia práctica y los conocimientos científicos. La validación de los modelos epidemiológicos es importante para confiar en los resultados obtenidos con ellos, por ello es necesario elaborar, pero además verificar, validar y aplicar modelos para manejo de enfermedades (Dubé *et al.*, 2007). Los modelos proporcionan un encuadre para desarrollar y comunicar ideas sobre el comportamiento de un sistema particular (Keeling *et al.*, 2005). Así pues, los modelos constituyen una base lógica y de bajo costo para estudiar las interacciones entre la planta, el patógeno y el ambiente, evaluar sus impactos y ensayar las respuestas a las intervenciones. Ante un problema nacional puede ser muy útil vincular los modelos económicos con los epidemiológicos.

Dube (2007) define a los modelos epidemiológicos como una representación matemática o lógica de la epidemiología del contagio de la enfermedad y de los procesos que van asociados con ella. Estos modelos cuantitativos dan una representación de la dinámica del contagio de las enfermedades entre las plantas o

entre grupos plantas, en el tiempo o en el espacio, o ambas cosas. Por consiguiente, un modelo epidemiológico facilita la evaluación de la eficacia de las medidas potenciales de control y calcula la futura magnitud, duración y el alcance geográfico de una enfermedad, dada la aplicación de medidas de control específicas. Sin embargo, en relación con el manejo de la enfermedad, los modelos epidemiológicos podrían definirse de modo más amplio para incluir una serie de modelos estadísticos o matemáticos, que no se limitan necesariamente a describir la propagación de la enfermedad. El uso de un modelo matemático en epidemiología ha sido estudiado por Kranz (1974) y la siguiente clasificación está basada en su sistema. A) **Modelos descriptivos**, los cuales se refieren a descripciones matemáticas de la curva de desarrollo de la enfermedad. Cuando el avance de una enfermedad, estimado como el porcentaje del número total de plantas afectadas o como la cantidad total de tejido infectado (porcentaje del área foliar total afectada), se grafica contra el tiempo, la curva obtenida tiene por lo general la forma de S. esta curva se conoce como curva de desarrollo de la enfermedad. La trayectoria de las curvas describe el avance de una epidemia, pero no da información sobre los factores causales participantes. Se han utilizado varias expresiones matemáticas para describir estas curvas: suelen ser empíricas, por lo que carecen de significado biológico. B) **Modelos predictivos**, los cuales lógicamente no necesitan estar basados en variables biológicamente importantes, pero en la práctica tienden a dar predicciones más confiables. Estos modelos por lo general se basan en ecuaciones de regresión en la cuales la variable dependiente es el nivel de enfermedad y la variable independiente parámetros tales como factores meteorológicos. Algunas veces se utilizan también ecuaciones diferenciales. Dichos modelos muy frecuentemente permiten hacer buenas predicciones siempre y cuando los factores ambientales permanezcan dentro del límite encontrado cuando se generaron los datos necesarios para construirlos. Sin embargo, en una estación experimental cuando se encuentran los valores fuera de dicho límite, el modelo puede no permitir hacer predicciones precisas. C) **Modelos conceptuales**, los cuales representan la interacción de todos los factores, ya sea que estén basados en el patógeno, el hospedero o el ambiente, lo cual permite esquematizar un patrón epidemiológico. Estos modelos, si están bien fundamentados dan una definición completa de los diferentes factores causales que intervienen en el proceso y de la forma en la cual interactúa (Waggoner, 1978). Con datos suficientes, un modelo conceptual permite hacer predicciones precisas en

todas las circunstancias. Sin embargo, en la práctica nunca es posible obtener estimaciones precisas de todos los parámetros pertinentes, por lo que tienen que hacerse estimaciones más o menos precisas con base en conocimientos incompletos y que tienen que corregirse empíricamente a la luz de la experiencia. Algunos de estos modelos son simuladores y en ellos se construye un modelo más o menos completo del sistema. En caso de que sea imposible obtener información coherente sobre todas las variables, se seleccionan ciertos elementos centrales (Patten, 1972). En un modelo de monitoreo se establece una situación promedio del desarrollo epidémico y se estudia el efecto que tienen diferentes niveles de variables particulares sobre dicho modelo (Zadoks, 1971).

1.4.7.1. Panorama de los modelos epidemiológicos

De acuerdo a Dubé *et al* (2007) todos los modelos son, intrínsecamente, simplificaciones de sistemas más complejos. El enfoque adoptado variará entre un modelo matemático determinista y una simulación estocástica, compleja y espacialmente explícita, con todos los matices que caben entre ambos extremos. El tipo de modelo que resultará más apropiado para una situación dada dependerá del tipo de problema que se estudie, por ejemplo, los modelos deterministas, que se basan en promedios o en parámetros supuestos, pueden ser útiles para entender la dinámica básica de las infecciones, pero tienen una utilización más limitada como instrumento de pronóstico, ya que cada epidemia es única y es poco probable que siga una pauta “media” (Garner *et al.*, 2007). No obstante, cuando se dispone de conocimientos epidemiológicos y de datos de calidad, es posible desarrollar modelos más elaborados que proyecten una gama de epidemias posibles. Las computadoras son cada vez más sofisticadas y cada vez se conoce mejor la importancia de los elementos espaciales para la propagación de las enfermedades. Además, las estrategias delimitadas en el espacio, despiertan interés, lo que significa que los modelos que tienen componentes espaciales están cobrando mayor importancia en los estudios epidemiológicos (Garner *et al.*, 2005). Asimismo, los modelos basados en redes son relativamente recientes pero cada vez se recurre más a ellos para estudiar la propagación de las enfermedades por redes de contacto (Keeling and Eames, 2005). Para construir un modelo, hay que empezar haciendo preguntas específicas que ayudarán a fijar su demarcación. La selección del modelo dependerá

de lo bien que se conozca la epidemiología de la enfermedad, de la cantidad y calidad de los datos disponibles. El grado de complejidad que debe darse al modelo es todo un arte, tanto como una ciencia. Añadir elementos puede aumentar la complejidad sin necesariamente mejorar la calidad. Pero, por otro lado, ignorar factores que son claramente importantes para la epidemiología de una enfermedad puede hacer que el funcionamiento del modelo sea erróneo (Garner *et al.*, 2007). Una etapa crucial en el desarrollo de un modelo es el proceso de verificación y validación, para comprobar que se comporta igual que el sistema que debe representar. La verificación se define como el proceso que garantiza que la lógica, las fórmulas y los códigos informáticos del modelo reproducen correctamente el marco lógico concebido por el diseñador (Taylor, 2003). La validación consiste en comprobar que el modelo es “tan real como la vida misma” (Taylor, 2003). Lo que implica que los supuestos subyacentes en el modelo son correctos y que la representación que hace el modelo del sistema estudiado es razonable para el propósito perseguido. De modo más completo, se considera que la “validez de los datos” trata la exactitud de los datos empleados para construir y parametrizar el modelo, que la “validez conceptual” considera la lógica matemática y epidemiológica sobre la que se ha construido el modelo y que la “validez operativa” es la aptitud del modelo, al ser aplicado, para producir resultados de exactitud suficiente.

1.4.7.2 Aplicación de los modelos epidemiológicos

Recurrir a los modelos en el campo es sobre todo beneficioso si se emplean, entre una epidemia y la siguiente, como instrumento para facilitar el análisis retrospectivo, o bien durante una epidemia, para entender mejor su evolución (Kitching, 2006). Así se pueden combinar grandes cantidades de información, estructurándolas, y se pueden desarrollar hipótesis para comparar distintas estrategias y su aplicación a diferentes situaciones. De esta manera, los responsables de tomar decisiones dispondrán de directrices en las que pueden basarse para tomar medidas de control y que pueden combinarse con la experiencia y los conocimientos de los productores, pero no reemplazarlos. Los modelos pueden contribuir a controlar mejor las enfermedades (Taylor, 2003). Los modelos pueden emplearse retrospectiva o prospectivamente (Woolhouse, 2004). En el primer caso, se trata de hacer cuadrar ecuaciones matemáticas con los datos epidemiológicos y de proceder a una interpretación cuantitativa de los datos. Los modelos prospectivos pueden ser

predictivos si emplean datos sobre la situación actual o datos pronosticados como base para predecir el curso de una enfermedad, o bien exploratorios, si elaboran una serie de hipótesis epidemiológicas en lugar de focalizarse sobre un incidente en particular.

Dubé *et al* (2007) mencionan que existen publicaciones científicas donde los modelos epidemiológicos y económicos están reconocidos como instrumentos valiosos que pueden auxiliar a los investigadores para identificar y evaluar enfoques alternativos para controlar enfermedades. Los modelos epidemiológicos diseñados de modo apropiado pueden ser usados para estudiar el impacto de las enfermedades, para la evaluación de riesgos, para ayudar a diseñar programas de control y vigilancia con una buena relación costo/eficacia y pueden contribuir a la planificación. Los modelos son especialmente valiosos porque permiten estudiar de antemano hipótesis sobre el desarrollo de las enfermedades y su control. Por ejemplo, se pueden simular los resultados que se obtendrían a partir de diferentes supuestos en lo relativo a los tipos de estrategia, la disponibilidad de recursos, las inversiones del gobierno, empresas o grupos de productores y, de esta manera, es más fácil identificar las condiciones en que cada enfoque puede ser benéfico o no. Es importante que los modelos utilizados para conformar las políticas de control de las enfermedades sean utilizados de modo apropiado (Garner *et al.*, 2007). En general se reconoce el valor que tienen los modelos para apoyar el desarrollo de las orientaciones políticas mediante los análisis retrospectivos y la planeación, pero está menos claro el papel de los modelos predictivos como apoyo a las decisiones tácticas en caso de enfermedad real. La validez de todo modelo depende, de que los datos sobre los que se basa sean exactos y completos (Kao, 2002). Es importante que los autores de modelos no estén aislados y que se comprenda que los modelos sólo son un medio de facilitar asesoramiento científico (Garner *et al.*, 2007). Ninguna conclusión debe ser considerada por separado de los estudios experimentales y de la colecta y análisis de los datos epidemiológicos. Es necesario demostrar la validez de cualquier modelo antes de que se use para conformar las decisiones. La comunicación de los resultados a los que toman decisiones también es una muy importante. Los resultados obtenidos con los estudios de modelos deben ir acompañados de una publicación de todos los supuestos utilizados y de todas las limitaciones del enfoque (Taylor, 2003)

1.5 Literatura citada

Acosta, D. C., Pineda, F. M., Tejacal, I. A., Andrade, R. M., Acosta, P. D., Villegas, T. O. (2007). Agroquímicos para incrementar el amarre de fruto de aguacate (*Persea americana* Mill) cv Hass, en Morelos, México. Facultad de ciencias agropecuarias, Universidad Autónoma del estado de Morelos.

American Phytopathological Society (APS) (2016). <http://www.apsnet.org/Pages/default.aspx>.

Ávila Quezada, G. D., Téliz Ortiz, D., Mora Aguilera, G., González Hernández, H., Vaquera Huerta, H., Tijerina Chávez, L., & Johansen Naime, R. (2002). Distribución espacio-temporal de la roña, antracnosis y daño por trips en aguacate (*Persea americana*) en Michoacán, México. TESIS. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Fitosanidad, Programa de Fitopatología.

Ávila-Quezada, G. D., Silva-Rojas, H. V., Téliz – Ortiz, D. (2007). First report of the anamorph of *Glomerella acutata* causing anthracnose on avocado fruit in México. Plant Disease 91:1200.

Ávila-Quezada, G. D., Téliz-Ortiz, D., Mora-Aguilera, G., Vaquera-Huerta, H., & Tijerina-Chávez, L. (2003). Spatial and temporal dynamic of scab (*Sphaceloma perseae* Jenk.) on avocado (*Perseae americana* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología, 21: 2.

Achicanoy L. H. (2000). Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Revista Facultad Nacional Agrícola de Medellín. Vol. 53, No. 1, p. 941-968.

APEAM, Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán (2016). <http://plaguicidas.apeamac.com/ArchivoPDF.aspx> Consultado febrero 2017.

Bailey, J. A. and Jeger, M. J. (1992). *Colletotrichum*: biology, pathology and control. CAB International. Willingford, Uk. 388 pp.

Baker, R. H. A. (2002). Predicting the limits to the potential distribution of alien crop pest. Pages 208-241 in: Invasive Arthropods in agriculture, G. J. Hallman and C. P. Schwalbe, Eds. Science Publishers, Enfield, NH.

Bárceñas, O. A. E., Molina, E. J., Huanosto, M. F. y Aguirre, P. S. (2003). Contenido de macro y microelementos en hojas, flor y fruto de aguacate " Hass" en la región de Uruapan, Michoacán. In Actas V Congreso Mundial de Aguacate. pp. 365-371.

Barnes, S. L. (1964). A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. Journal of Applied Meteorology 3(4), 396-409.

Benacchio, S. S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela, 202.

Bernier, G. A., Houssa, C., Petitjean, A., and Lejeune, P. (1993). Physiological signals that induce flowering. Plant cell 5: 1147-1155.

Bujanos, R. M., Marín, J. A., Castillo, F. G., Murphy, K. F. B. (1993). Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: pomonitidae) en el Bajío-México. INIFAP.

Bujanos, R. M., Dorantes, G. J. R. A., Ávila, P. M. A. Gómez, V. A. J. (2009). Cuadro básico de recomendación de insecticidas en brócoli, para la región del Bajío, México. Desplegable técnico No. 22. Encontrado en: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/15a2eba1b11cb44f?compose=15a2eb363866fe05&projector=1> consultado febrero 2017.

Campos, C. O. (2013). Zonificación agroecológica del aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass) en la cuenca del Río Duero. CIIDIR IPN Unidad Michoacán. Tesis de Maestría.

Chaikiattiyos, S., Menzel, C., Rasmussen, T (1994). Floral induction in tropical fruit trees: Effects of temperature and water supply. *Journal of Horticultural Science* 69(3): 397-415.

Cossio-Vargas, L. E., Salazar-García, S., González-Durán, I. J. L., & Medina-Torres, R. (2008). Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 14(3), 319-324.

Davenport, T. (1986). Avocado flowering. *Horticultural Review* 8:257-289.

De Wolf, E. D., & Isard, S. A. (2007). Disease cycle approach to plant disease prediction. *Annual Review Phytopathology* 45, 203-220.

De Isla de Bauer, M. D. (1987). *Fitopatología*. Limusa. 384 p.

Dodd, J. C., Estrada, A., & Jeger, M. J. (1992). Epidemiology of *Colletotrichum gloeosporioides* in the tropics. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. CAB International, Wallingford, 308-325.

Dubé, C., Garner, G., Stevenson, M., and Sanson, R. (2007). Utilización de modelos epidemiológicos para la gestión de las enfermedades animales. *Organización Mundial de Sanidad Animal*. 25-35 p.

Fournier, L. A. y Charpantier C. (1978). El tamaño de la muestra y la frecuencia de las observaciones en el estudio de las características fenológicas de los árboles tropicales. *Cespedesia. Suplemento 2. Vol. 7; p. 25-26*.

Gaillard, J. (1987). *L'avocatier sa culture, ses produits*. France. G. P. aisonneuve et Larose et A.C.C.T.419p.

Gardiazabal, I.F. (1990). Requerimientos de clima, suelo y agua para la implantación de paltos. *Memorias del Curso Internacional sobre Producción, Postcosecha y Comercialización de Paltas*. FAO. Universidad Católica de Valparaíso. Chile. B1-B4.

Gardiazabal, F, Rosenberg, G. (1998). Floración en paltos. Seminario internacional de paltos, Hotel Marina del Rey, 4-5-6 de noviembre, Viña del Mar. 51-71 p.

Gardiazabal, F., Rosenberg, G. (1997). Implantación de un huerto de paltos. Empresa y avance agrícola (tercera parte). 63:19-21.

Garner, M. G., Beckett S. D. (2005). Modelling the spread of foot and mouth disease in Australia. Australian Veterinary 83(12), 758-766.

Garner, M. G., Dubé, C., Stevenson, M. A., Sanson, R. L., Estrada, C., Griffin, J. (2007). Evaluating alternative approaches to managing animal disease outbreaks. Veterinaria Italiana 43 (2), 285-298.

Gaumann, E. (1950). Principles of plant infection. Crosby Lockwood. 543 pp.

Guillén, A. H., Gutiérrez, M. M., Lara, C. B., Chávez, T., Vidales, F. A., Ochoa, S y López, M. J. (2007). Antracnosis: una investigación sobre su agente causal en la franja aguacatera de Michoacán, México. Facultad de agrobiología "Presidente Juárez".

Human, N. B. and De Jager, J. M. (1987). Mapping and areas climatically suited to the production of avocado under irrigation in the Eastern Transvaal. Yearbook. Proceedings of the World Avocado Congress. South African. Vol. 10: 12-15

INIFAP, CIRPAC, Uruapan. 2009. Libro Técnico N° 1. Michoacán, México. 208 pp.

INIFAP, Guerrero 2009. Encontrado en: www.utep.inifap.gob.mx/guerrero_cursos2.php

Jackson, D. (1999). Temperate and subtropical fruit production. Segunda edition. CABI publishing. 332 p.

Kao, R. R. (2002). The role of mathematical modelling in the control of the 2001 FMD epidemic in the UK. Trends in Microbiology 10 (6), 279-286.

Keeling, M. J., Eames, K. T. D. (2005). Networks and epidemic models. *Royal Society Interface* 2: 295-307.

Kitching, R. P., Thrusfield, M. V., Taylor, N. M. (2006). Use and abuse of mathematical models: an illustration from foot and mouth disease epidemic in the United Kingdom. *Revue scientifique technique Office International Epizootics* 25 (1), 293-311.

Kopp, L. E. (1966). Taxonomic revision of the genus *Persea* in the Western Hemisphere (*Persea-Lauraceae*). *Memoirs of the New York Botanical Garden* 14: 1 – 120.

Kranz, J. (1974). *Epidemics of plant diseases: Mathematical analysis and modeling*. Berlin Espringer.

Livingston, M., Johansson, R., Daberkow, S., Roberts, M., Ash, M., and Breneman, V. (2004). Economic and Policy Implications of WindBorne Entry of Asian Soybean Rust into the United States. USDA ERS No. (OCS04D02).

Lomas, J. (1988). An agrometeorological model for assessing the effect of heat stress during the flowering and early fruit set on avocado yields. *American Society for Horticultural Science* 113 (1), 172-176.

Lovatt, C.J. (1990). Factors affecting fruit set/early fruit drop in avocado. *Yearbook. California Avocado Society. USA.* p. 193-199.

Lovatt, C. (2001). Successful use of foliar applications essential mineral nutrient elements increase fruti set and yield of citrus and avocado (on line). <http://www.Subtropicalfruitnews.com>

Magarey, D. R., Fowler, A. G., Borchert, M. D., Sutton, B. T., Colunga, G. M., Simpson, A. J. (2007). NAPPFAST: An Internet System for the Weather-Based Mapping of Plant Pathogens. *Plant Disease* 91 (4) 336-345.

Martínez, B. R. (1988). Comportamiento del aguacate "Hass", bajo diferentes condiciones ecológicas. UMSNH. Facultad de Agrobiología. Uruapan, Mich. 75

Mendoza, Z. C. y B. Pinto, C. (1985). Principios de fitopatología y enfermedades y causadas por hongos. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Chapingo, México. pp 287.

Morales, J. L. (2000). La antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) y la roña (*Sphaceloma perseae* Jenk) del aguacate de Michoacán, México: epidemiología, predicción y caracterización. Tesis de Doctorado. CP, Texcoco, Méx.

Palacios, A. J. M. (1986). Dinámica y balance nutrimental en árboles de aguacate cv Hass con alto y bajo rendimiento en la región de Uruapan, Mich. Tesis Maestro en Ciencias. CP, Texcoco, Méx.

Patten, B. C. (1972). A primer for ecological modeling and simulation with analog and digital computers. Systems análisis and simulation in ecology. Academic Press. 1, 3-121pp.

Podschun, R., & Ullmann, U. (1998). *Klebsiella* spp. as nosocomial pathogens: epidemiology, taxonomy, typing methods, and pathogenicity factors. Clinical microbiology reviews 11(4), 589-603.

Prusky, D., Freeman, S., and Dickman, M. (2000). *Colletotrichum*: Host Specificity, Pathology, and Host Pathogen Interaction. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. pp 393.

Renner, S. S. (1999). Circumscription and phylogeny of the Laurales: evidence from molecular and morphological data. American Journal of Botany, 86(9), 1301-1315.

Ruiz, C. J. A., Medina, G. G., González, A. I. J., Ortiz, T. C., Flores, L. H. E., Martínez, P. R., & Byerly, M. K. F. (1999). Requerimientos agroecológicos de cultivos. SAGAR. INIFAP. CIRPAC. Libro técnico (3) 324p.

Salazar García, S. y Lovatt, C. (1998). GA3 application alters flowering phenology y of te “Hass” avocado. *American Society for Horticultural Science* 123(5), 791-797.

Salazar-García, S., Lord, E. M., & Lovatt, C. J. (1998). Inflorescence and flower development of the Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during “on” and “off” crop years. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4), 537-544.

Salazar, G. S., Lovatt, C. (2000). Use of GA3 to manipulate flowering and yield of ‘Hass’ avocado. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125 (1): 25-30.

Salazar-García, S. (2000). Fisiología reproductiva del aguacate. Pp. 57 - 83. In: Téliz, D. (Ed.). *El Aguacate y su Manejo Integrado*. Ediciones Mundi-Prensa, México.

Sánchez, P. J. L., Alcanzar, R. J. J., Coria, M. A. V., Anguiano, J. C., Vidales, F. I., Tapia, M. L., Aguilera, L. J., Hernández, G. R., Vidales, A. J. (2001). *Tecnología para la producción de aguacate en México*. INIFAP, CIRPAC. C. E. Uruapan. Libro Técnico Núm. 1. Michoacán, México. 205 pp.

Satorre, E. H., Benech, A. R. L., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., y Savin, R. (2010). *Producción de granos, bases funcionales para su manejo*. Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. 783 pp.

Schaechter, M., Medoff, G., Eisenstein, B. I. (1993). *Mechanisms of microbial disease* (The Williams & Wilkins Co. Baltimore, Md), 2nd ed.

SIAFEG, 2010. Encontrado en <http://www.siafeg.com/siafeg/siafeg.htm>

Silva-Rojas, H. V., & Ávila-Quezada, G. D. (2011). Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel causal agent of anthracnose in avocado. *Plant Pathology*, 60(5), 899-908.

Smith, C. E. (1966). Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*, 20(2), 169-175.

- Tadeo, F. (2000). Fisiología de las plantas y el estrés. In: Ascón B J, M Talón. Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona, España, McGraw–Hill. 481-498.
- Tapia, V.L.M. (2006). Ambiente y Fenología del Aguacate. En: Memoria del IV Seminario Estatal de Polinización con Abejas. UMSNH. Uruapan, Michoacán.
- Taylor, N. (2003). Review of the use of models in informing disease control policy development and adjustment. School of Agriculture, Policy and Development.
- Téliz, O.D. (2000). El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi Prensa 1ª edición, México pp 219.
- Téliz, O. D., Mora, A. A. (2007). El aguacate y su manejo integrado. México, MX: Mundi-Prensa. 319p.
- Vallejos, M. A. I. (2002). Evaluación de productos bioestimulantes aplicando en floración sobre la cuaja y la retención de fruta en palto (*Persea americana* Mill.) cv. Hass. Universidad Católica Valparaíso. Taller de licenciatura. 82 p.
- Vidales, F. J. A., Coria, A. V. M., Anguiano, C. J., Alcantar, R, J. J. (2005). Control integrado de la antracnosis en aguacate. Folleto INIFAP. Encontrado en http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo_sectorial/Michoacan/10michoacan.pdf
- Volpe, C. A. (1992). Citrus Phenology. In: Proceedings of the Second International Seminar on Citrus Physiology 103-122.
- Waggoner, P. E. (1978). Compute simulation of epidemics. Plant disease (2) 203-222.
- Wheeler, H. (1977). Increase with age in sensitivity of oat leaves to victorin. Phytopathology, 67, 859-861.

Whiley, A. W., Saranah, J. B., Cull, B. W., & Pegg, K. G. (1988). Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Queensland Agric. J*, 114 (1), 29-36.

Whiley, A. W. and Winston, E. C. (1987). Effect of temperature at flowering on varietal productivity in some avocado-growing areas in Australia. *Yearbook. Proceedings of the World Avocado Congress. South African* 10: 45-47.

Whiley, A., Wolstenholme, B., Saranah, J., Anderson, P. (1990). Effect of root temperature on growth of two avocado rootstocks cultivars. *Acta Horticulturae* 275: 153-160.

Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (1989). Carbohydrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *African Avocado Growers Association* 12: 33-37.

Woolhouse, M. E. J. (2004). *Mathematical models of the epidemiology and control of foot and mouth disease*. Horizon Bioscience, Norfolk, Inglaterra.

Yarkwood, C. E. (1959). Predisposition. In *Plant pathology: and advanced treatise*. Academic Press. Vol. 1. 562 pp.

Zadoks, J. C. (1971). Systems analysis and the dynamics of epidemics. *Phytopathology*. Vol 61. 600-610 pp.

Zhang, Z., Schwartz, S., Wagner, L and Miller, W. (2000). A greedy algorithm for aligning DNA sequences. *Journal of Computational Biology* 7:203–214.

Capítulo II. Patogenicidad y caracterización morfológica de *Colletotrichum* spp en frutos de aguacate.

Durán-Peralta, E¹, Téliz-Ortiz, Daniel¹, Ávila-Quezada, Graciela², Mora-Aguilera, Antonio¹, Gonzales-Hernández, Héctor³ Pedroza-Sandoval, Aurelio⁴.

¹Instituto de Fitosanidad - Fitopatología, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México, CP 56230, México; ²Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología. Periférico Francisco R. Almada Km 1, Chihuahua, Chih. CP 31453, México, ³Instituto de Fitosanidad -Entomología, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carr. México-Texcoco, Montecillo, Edo. de México, CP 56230, México. ⁴Unidad Regional de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 carr. Gómez Palacio- Cd. Juárez. 35230, Bermejillo, Durango. Correspondencia dteliz@hotmail.com.

RESÚMEN

La producción comercial de aguacate en México es una inversión de alto riesgo, debido al daño por plagas y enfermedades. La antracnosis (*Colletotrichum* spp) es una de las enfermedades fungosas de mayor impacto negativo en la producción de este cultivo. El síndrome en fruto de esta enfermedad ha recibido diferentes nombres, reconociéndose como antracnosis a las lesiones oscuras hundidas; varicela, cuando las lesiones son circulares de color rojo que con el tiempo se tornan café, de tamaño menor a 0.5 mm; viruela o clavo cuando las lesiones son de aspecto corchoso, circulares y color café. El objetivo de este estudio fue determinar la identidad y patogenicidad de las colonias aisladas a partir de frutos con los síntomas antes descritos colectados de tres huertas de los municipios de Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Salvador Escalante, Michoacán. Mediante la aplicación de los postulados de Koch se determinó la patogenicidad de los aislamientos. Las colonias de hongos se agruparon morfológicamente en tres especies: *C. acutatum*, *C. gloeosporioides* y *C. boninense*.

Palabras clave: *Persea americana*, Patogenicidad, Etiología, Morfología de hongos, Aislamientos monospóricos.

ABSTRACT

The commercial production of avocado in Mexico is a high risk investment, due to damage by pests and diseases such as anthracnose that annually is a limitation whose control affects productivity. The syndrome in fruit has received different names, recognizing as anthracnose (large sunken dark lesions); Chicken pox (red brown circular lesions, smaller than 0.5 mm); “clavo” (circular brown corky lesions). The objective of this study was to determine the identity and pathogenicity of the fungal colonies isolated from avocado fruits with those symptoms, collected in the counties of Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Salvador Escalante, Michoacán, México. The pathogenicity of the fungal isolates was confirmed by Koch’s postulates. The fungus colonies were morphologically grouped in three species: *C. acutatum*, *C. gloeosporioides* and *C. boninense*.

Key words: *Persea americana*, Pathogenic, Etiology, Morphology of fungi, Monosporic isolates.

2.1. Introducción

La antracnosis es un problema fitosanitario severo en Michoacán, con incidencias que pueden llegar al 74% (Téliz y Mora, 2007). Esta enfermedad es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Bailey, 1992; Prusky *et al.*, 2000; Dodd *et al.*, 1992), *C. acutatum* (Ávila-Quezada *et al.*, 2007) y *C. boninense* (Silva-Rojas and Ávila-Quezada, 2011).

En Michoacán se ha reportado a la especie *C. gloeosporioides* causando diversos síntomas en aguacate, reconociéndose como antracnosis a las lesiones oscuras hundidas presentes en el fruto. El síndrome ha recibido diferentes nombres, dependiendo del tipo de síntomas en el fruto, tales como varicela, referida a lesiones circulares de color rojo que con el tiempo se tornan café de tamaño menor a 0.5 mm de diámetro; viruela o clavo, en referencia a las lesiones en fruto de aspecto corchoso, circulares y color café y marchitez de puntas de las ramas jóvenes (Morales, 1996, Campos, 2005 y Ochoa, 2005); en tanto que, a nivel internacional, la enfermedad se reconoce como antracnosis e incluye síntomas como pequeñas manchas rojizas “pepper spots” en referencia al síndrome de la viruela y manchas café oscuras en el pericarpio (Willingham *et al.*, 2000; Ávila-Quezada *et al.*, 2002; Ávila-Quezada *et al.*, 2007). Además se incluye una pudrición suave en el mesocarpio (Kobiler *et al.*, 1993). Los síntomas son más pronunciados cuando el fruto madura (Guetsky *et al.*, 2005). Las lesiones de “viruela”, “clavo” o “pepper spot” (Willingham *et al.*, 2000), pueden incrementar su número sobre el fruto (Ávila-Quezada, 2002). Este síntoma es importante debido a que, al igual que la antracnosis, daña la pulpa y afecta su calidad de exportación. El patógeno también ataca hojas donde causa pequeñas manchas café claro; en ramas tiernas origina exudados de color blanco, conocidos como “sarampión”, y causa marchitez regresiva (Hernández *et al.*, 2012), caída de flores y aborto de frutos.

La aparición de la enfermedad en diferentes fechas del año depende de las condiciones meteorológicas en las que se encuentra establecido el cultivo, lo cual genera una gran variedad en el grado de desarrollo del fruto. Estas condiciones agroecológicas en que se desarrolla el cultivo en Michoacán ayudan a que el patógeno deje su estado quiescente y se manifieste en los variados síntomas

(varicela, viruela o clavo y antracnosis) desde precosecha (Morales y Vidales, 1994) en frutos con diferente madurez fisiológica, a diferencia de las demás áreas productoras del mundo, en las que permanece quiescente en los frutos en campo hasta su maduración (Prusky *et al.*, 1992; Pegg *et al.*, 2007) en postcosecha.

La taxonomía del género *Colletotrichum* ha causado mucho debate. Algunos autores mencionan que ésta debe basarse en la morfología (Lard *et al.*, 1999; Yang and Sweetingham, 1998) y técnicas genético-moleculares (Elmer *et al.*, 2001)

Con respecto a la identificación morfológica, en este género se han utilizado una amplia gama de caracteres para identificar especies. Algunas de ellas son: conidios cilíndricos y colonias de color gris con crecimiento rápido para *C. gloeosporioides* (Talhinhas *et al.*, 2002), y conidios fusiformes en colonias de color rosa con lento crecimiento para *C. acutatum* (Sutton, 1992). La identificación morfológica es la primera herramienta que debe aplicarse para identificar especies del género *Colletotrichum*. Una vez identificado el patógeno de una manera práctica, es posible establecer una estrategia apropiada para el manejo de la enfermedad. El estudio tuvo como objetivo caracterizar morfológicamente aislamientos del hongo causante de la antracnosis, aislados de los municipios de Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Salvador Escalante, Michoacán.

2.2. Materiales y métodos

Ubicación geográfica del área de estudio.

Los aislamientos se obtuvieron de tres huertos de aguacate orgánico cv. Hass, en el Estado de Michoacán, México. El huerto uno en el municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, ubicado a 19° 24' 00" latitud N 102° 08' 00" Longitud O y una altura de 2,130 msnm, con temperatura media de 10–22 °C y precipitación media anual de 800–2,000 mm; el huerto dos en Salvador Escalante, ubicado a 19° 42' latitud N y 102° 06' longitud O y una altura de 1,870 msnm, con temperatura media de 12–24 °C y precipitación media anual de 1,100–2,000 mm; y el huerto tres en Salvador Escalante, ubicado a 19° 36' latitud N y 101° 78' longitud O y una altura de 1,952 msnm, con temperatura media entre 12–24 °C y precipitación media anual de 1,100–2.000 mm (INEGI, 2009).

Sistema de muestreo. Mediante un sistema de muestreo dirigido se colectaron 12 frutos en etapa fenológica 1 a 6: 1=4-10 mm; 2=11-23 mm; 3=24-39 mm; 4=40-66 mm; 5=67-82 mm; 6>82 mm propuestas por Ávila-Quezada *et al* (2003), con síntomas de clavo, varicela y antracnosis. El muestreo se realizó en los meses junio del 2013, junio del 2014 y junio 2015 en huertas comerciales de los municipios de Uruapan, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Salvador Escalante, Michoacán.

Aislamiento del hongo y establecimiento del estudio in vitro.

A partir del margen del tejido del sano y enfermo del pericarpio del fruto de aguacate se realizaron pequeños cortes de 3 x 3 mm en el caso de varicela y 5 x 5 mm para clavo y antracnosis (Fig. 1). Los cortes se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 1% y posteriormente se lavaron 3 veces con agua destilada estéril. Posteriormente, 100 fracciones de tejido con síntomas de clavo, 100 de viruela y 100 de la típica antracnosis se colocaron en cajas Petri con medio de cultivo PDA (Difco®, Becton Dickinson, Francia) y se incubaron a 25°C por 7 días. De las 956 colonias que crecieron de los tres tipos de síntomas, solo se seleccionaron las de *Colletotrichum* sp mediante cultivos monospóricos y se agruparon de acuerdo a características macroscópicas, consistentes en: el color de colonia, tipo de micelio, formación de anillos, borde de colonia, esporulación a simple vista; se obtuvieron en total cinco aislamientos morfológicamente diferentes del síntoma de clavo, siete de varicela y seis del síntoma de antracnosis.



Figura. 1. Síntomas típicos de clavo (a), y varicela (b), en frutos de aguacate cv Hass.

Caracterización morfológica. Los cultivos monoconidiales se incubaron a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ durante 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. La apariencia y diámetro de las colonias se registraron a los 10 días de crecimiento, de acuerdo a lo citado por Than *et al* (2008). Además se registró el color de la colonia en el haz y envés, tipo de micelio, formación de anillos, borde de la colonia, esporulación, formación de ascas, clamidosporas y setas. La forma, longitud y el ancho de 50 conidios o apresorios por aislamiento se observaron y midieron, en un microscopio marca Carl Zeiss modelo AxioLabcon un aumento de 40X. Las estructuras en cada placa se fotografiaron con cámara digital marca Canon Powershot, adaptada al lente del microscopio y las imágenes se usaron para medir la longitud y el ancho de los conidios y apresorios empleando el programa Motic plus, versión 3 (Motic Group Co. [®], China). La identificación morfológica de los hongos aislados de síntomas se realizó siguiendo las claves taxonómicas de Barnett y Hunter (1998).

Pruebas de patogenicidad.

Los 18 aislamientos seleccionados se inocularon en 36 frutos de aguacate cv Hass. Cada aislamiento se inoculó en dos frutos cv Hass sanos. Los frutos se lavaron y desinfectaron con hipoclorito al 1%. Se enjuagaron tres veces con agua estéril y se secaron a temperatura ambiente. A partir de rodajas de micelio de colonias de 7 días de crecimiento, se realizó la inoculación en dos frutos, en dos puntos de inoculación por fruto. De esta manera se obtuvieron cuatro repeticiones por aislamiento. Se realizó una herida de 2 mm de profundidad con una aguja hipodérmica en la cual se depositó la rodaja de micelio. Los aguacates inoculados se colocaron en cámara bioclimática con las condiciones que requiere el hongo (25°C y $\geq 80\%$ HR) (Martínez *et al.*, 2009; Huerta-Palacios *et al.*, 2009). Los frutos se monitorearon diariamente hasta observar síntomas. Seis aguacates control se inocularon con la misma metodología, empleando agua destilada estéril. Los ensayos de patogenicidad se realizaron en dos ocasiones de manera independiente. Una vez que aparecieron los síntomas los frutos se fotografiaron y se midió el avance del daño. Los patógenos se reaislaron a partir de los frutos inoculados para cumplir con los postulados de Koch. Las características de la colonia del patógeno se compararon con las obtenidas inicialmente.

2.3 Resultados y discusión

Aislamientos y pruebas de patogenicidad.

El hongo *Colletotrichum* spp (teleomorfo: *Glomerella* spp) se aisló a partir de daños en frutos inmaduros, que aún están en el árbol, lo cual difiere de otros estudios donde el patógeno es importante en postcosecha y afecta a una gran variedad de cultivos (Peres *et al.*, 2002; Prusky y Keen, 1993; Whitelaw-Weckert *et al.*, 2007). *C. gloeosporioides* germina sobre el fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) y forma apresorios. Posteriormente la hifa penetra a las células epidermales del exocarpio y permanecen quiescentes hasta que el fruto madura (Binyamini y Schiffmann-Nadel, 1972).

Se obtuvieron 956 aislamientos de los diferentes síntomas: 378 de clavo, 305 de varicela y 273 de antracnosis. Además de *Colletotrichum* se aislaron otros géneros como *Lasiodiplodia* y *Pomopsis* (Cuadro 1). La frecuencia de *Colletotrichum* spp fué de 81.75% en clavo, 73.11% en varicela y 82.05 en antracnosis. En este género se observaron diversas formas de colonias y diferente velocidad de crecimiento.

Cuadro 1. Géneros de hongos aislados de frutos de aguacate *P. americana* cv. Hass con síntomas de clavo, varicela y antracnosis, en Michoacán, México.

Género	clavo		Varicela		Antracnosis	
	A	%	A	%	A	%
<i>Colletotrichum</i> sp	309	81.75	223	73.11	224	82.05
<i>Pestalotiopsis</i> sp	11	2.91	15	4.92	10	3.66
<i>Lasiodiplodia</i> sp	14	3.7	14	4.59	13	4.76
<i>Phomopsis</i> sp	15	3.97	18	5.9	9	3.3
<i>Trichoderma</i> sp	12	3.17	16	5.25	4	1.47
<i>Epicocum</i> sp	9	2.38	7	2.3	7	2.56
<i>Fusarium</i> sp	8	2.12	12	3.93	0	0
<i>Penicillium</i> sp	0	0	0	0	6	2.2
Total	378	100	305	100	273	100

A= número de aislamientos.

Los 18 cultivos monospóricos de *Colletotrichum* spp causaron síntomas típicos de antracnosis en los frutos de aguacate etapa fenológica 6 inoculados. El patógeno causó daños severos en el pericarpio y mesocarpio del fruto a los 7 días después de

la inoculación para *C. gloeosporioides*. Los resultados de los estudios de inoculación realizados por Than *et al* (2008) fueron similares a los resultados de este estudio. En el caso de *C. acutatum*, los síntomas aparecieron 8 días después de la inoculación. Las lesiones no fueron muy diferentes en apariencia y tamaño entre los aislamientos. Este fenómeno se observa comúnmente en las pruebas de patogenicidad con *Colletotrichum* (Than *et al.*, 2008). A partir de estos síntomas se reaisló al patógeno. Las características morfológicas fueron similares a las cepas originalmente inoculadas, con lo que se cumplieron los postulados de Koch.

Binyamini & Shiffman – Nadel (1972) inocularon aguacates inmaduros de diferentes etapas de desarrollo, utilizando una bolsa para proteger los frutos de inóculo externo antes y después de la inoculación. Examinación histológica de los frutos mostró que infecciones quiescentes ocurren como apresorios en todas las etapas de desarrollo, pero no muestran datos cuantitativos. No encontraron síntomas en pre cosecha y las heridas no fueron necesarias para que se produjera la infección. Recientes trabajos indican que *C. gloeosporioides* persiste en este estado quiescente como hifa subcuticular en aguacate (D. Prusky, comunicación personal, citado por Jeffries, J. C. Dood). *C. gloeosporioides* es especialmente importante como un patógeno quiescente causando daños en postcosecha en frutos tropicales, tales como aguacate.

Caracterización morfológica

La caracterización morfológica del patógeno fue en base al estudio en colonias, conidios y formación de otras estructuras (Cuadro 1).

Colonias

De las 18 colonias (Fig. 2), cuatro (1 de síntoma de clavo, 1 de síntoma de varicela y 2 de síntoma de antracnosis) presentaron conidios con ambos ápices redondeados, micelio gris al anverso y reverso y gris oscuro al centro de la colonia, consistencia algodonosa aérea, con masas conidiales color salmón y crecimiento rápido. Estas características coinciden con las descritas por Talhinhos *et al* (2002) para *C. gloeosporioides*. Doce aislamientos (3 de síntoma de clavo, 5 de síntoma de varicela y 4 de síntoma de antracnosis) presentaron conidios con uno o ambos ápices agudos, micelio gris en el anverso y ligero color rosado, con masas conidiales de

salmón a naranja y crecimiento lento. Estas características son asociadas a *C. acutatum* (Sutton, 1992).

Damm *et al* (2012) reportaron que *C. boninense* produce conidios con una prominente cicatriz basal, colonia plana y ligeramente ondulada, como se observó en un aislamiento de síntoma de clavo y un aislamiento de antracnosis. (Cuadro 2).

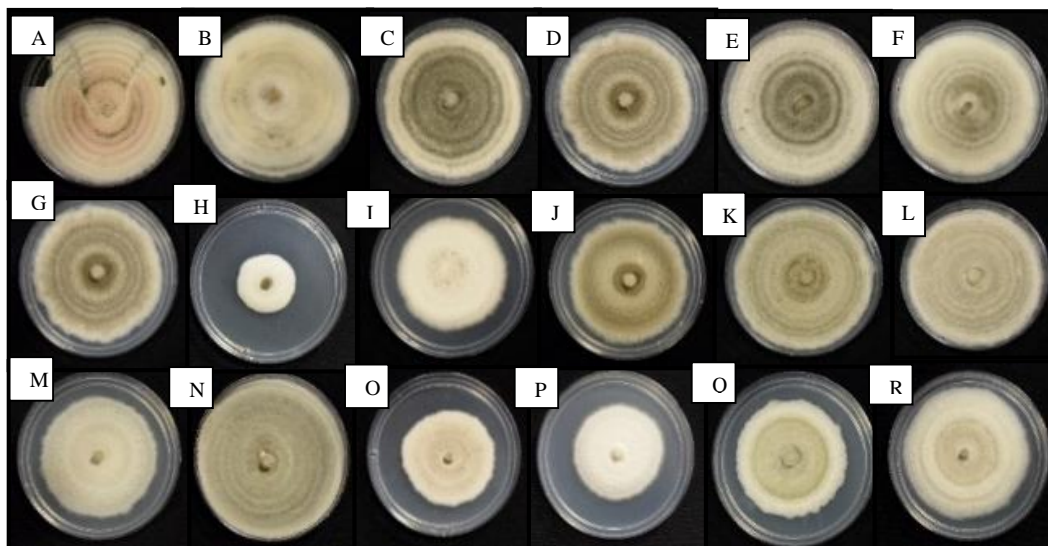


Figura. 2. Colonias en PDA de *Colletotrichum* spp aisladas de síntomas de varicela, clavo y antracnosis en frutos de aguacate en tres huertos de Michoacán, México.

A-G aislados de antracnosis; H-M aislados de varicela; y N-R aislados de clavo.

Cuadro 2. Caracterización de 18 aislados monospóricos de *Colletotrichum* spp obtenidos de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis, clavo y varicela.

Aislamiento	Color de colonia		Tipo de micelio	Formacion de anillos	Borde de colonia	Esporulacion	∅ (mm) a 10 dias	Ascas	Clamidiosporas	Setas	Conidios
	haz	envez									
1	3	3	1,2	1	2	2	71.44	1	1	2	1,3
2	1	3	2,4	1	2	2	82.68	1	1	1	1,3
4	1	1	2,4	1	2	1	75.35	1	1	1	1
6	1	3	1,2	1	2	2	82.14	1	1	1	1,3
7	3	3	1,2	1	2	2	71.16	1	1	2	1,3
8	1	1	1,2	1	1	2	76.86	2	1	2	1,3
9	1	3	2,4	1	2	2	74.72	1	2	2	1,3
10	1	1	2,4	1	1	2	71.13	1	1	2	1,3
11	1	1	2,4	1	2	2	65.62	1	1	2	1,3
13	1	1	1,2	1	1	2	65.15	1	2	2	1,3
14	2	1	2,4	1	2	2	26.37	2	1	2	1,3
15	2	3	2,4	1	2	2	66.56	2	1	2	1
20	1	3	1,2	1	1	2	71.65	1	1	1	4
21	1	1	1,2	1	1	2	67.78	2	1	2	1
22	1	1	2,4	1	2	2	66.96	2	1	2	1,3
24	1	3	2,4	1	2	2	79.98	2	1	2	1
25	2	2	2,4	1	2	2	57.73	1	1	2	1,3
26	1	1	2,4	1	1	2	52.12	1	1	2	1,3

Color de colonia: 1 gris, 2 blanco, 3 salmón; tipo de micelio: 1 aéreo y denso, 2 plano y escaso; conidios: 1 extremos redondos, 2 extremos agudos, 3 extremo redondo-extremo agudo, 4 extremo redondo-extremo agudo y cicatriz; borde de colonia; 1 con bordes, 2 circular; Anillos, esporulación, ascosporas, clamidiosporas y zetas: 1 si, 2 no. Aislamiento 1 a 5: clavo; 6 a 11: varicela; 12-18: antracnosis.

Conidios

C. gloeosporioides produce conidios con extremos redondeados; otras especies que producen este tipo de conidios son *C. aenigma*, *C. boninense* y *C. alienum* pero los conidios son cortos y en *C. kahawae* se estrechan ligeramente hacia la base (Damm *et al.*, 2012; Weir y Johnston, 2009). Rojas *et al* (2010) mencionaron que los conidios de *C. tropicale* y *C. siamense* también tienen ambos extremos redondeados pero se pueden diferenciar porque son cortos y anchos. Damm *et al* (2012) indicaron que *C. acutatum* es una de las pocas especies que produce conidios con ambos extremos agudos. Es típico de especies del complejo *C. boninense* conidios con una prominente cicatriz basal (Damm, 2012). De acuerdo a la morfología de colonia y el tipo de conidios se sugiere que hay 3 grupos de colonias (Figura 1). De acuerdo a lo anterior, las posibles especies presentes son las siguientes: en síntoma de clavo *Colletotrichum acutatum* (3/5), *C. gloeosporioides* (1/5) y *C. boninense* (1/5); en varicela *C. acutatum* (5/7) y *C. gloeosporioides* (1/7); y en síntoma de antracnosis *C. acutatum* (4/6), *C. gloeosporioides* (2/6) y *C. boninense* 1/6).

Los anteriores resultados deben ser considerados como un estudio taxonómico preliminar, ya que los criterios morfológicos no son lo suficientemente precisos para identificar las especies de *Colletotrichum* spp causantes de la antracnosis del aguacate. Lo anterior, debido a que la morfología, como forma y tamaño de conidios, puede cambiar de acuerdo a las condiciones ambientales (Cannon *et al.*, 2000).

2.4 Conclusiones y recomendaciones

Todos los aislamientos a partir de cultivos monospóricos de *Colletotrichum* spp causaron síntomas típicos de antracnosis en los frutos de aguacate *P. americana* cv Hass.

Se comprobó la patogenicidad de los aislamientos monospóricos fungosos obtenidos a partir de frutos de aguacate con síntomas de antracnosis, clavo y varicela, asociados a *Colletotrichum* spp.

Mediante la caracterización del crecimiento de las colonias fungosas y la morfología de los conidios, se sugiere la agrupación de *Colletotrichum* en tres especies *C. acutatum*, *C. gloeosporioides* y *C. boninense*.

2.5 Literatura

Agrios, N. G. (1989). Fitopatología. Limusa, México. 756 pp.

Ávila-Quezada, G. D., Téliz-Ortiz, D., Vaquera-Huerta, H., Tijerina-Chávez, L., Johansen-Naime, R., Mojica-Guzmán, A. (2002). Dinámica espacio-temporal de roña, daño asociado a trips y antracnosis del aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 20, 77–87.

Ávila-Quezada, G. D., Silva-Rojas, H. V., Téliz – Ortiz, D. (2007). First report of the anamorph of *Glomerella acutata* causing anthracnose on avocado fruit in México. *Plant Disease*. 91:1200. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-91-9-1200A>.

Barnett, H. L., and Hunter, B. B. (1998). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. USA: 218 p.

Bailey, J. A. and Jeger, M. J. (1992). *Colletotrichum: biology, pathology and control*. CAB International. Wallingford, U. K.: 388p.

Binyamini, N., and Schiffmann-Nadel, M. (1972). Latent infection in avocado fruit due to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Phytopathology* 62: 592-594.

Coria, A. V. M. (2008). Tecnología para la producción de aguacate en México. Libro Técnico Núm. 8. SAGARPA – INIFAP. 2ª. Edición. Uruapan, Michoacán, México.

Damm, U., Cannon, P. F., Woudenberg, J. H. C., Johnston, P. R., Weir, B. S., Tan, Y. P., Crous, P. W. (2012). The *Colletotrichum boninense* species complex. *Studies in Mycology, Utrecht*, v. 73, 1-36.

Dodd, J. C., Estrada, A., Jeger, M. J. 1992. Epidemiology of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates in the tropics pp. 308-325. In: Bailey, J. A., Jeger, M. J. (eds.) *Colletotrichum: Biology, Pathology and Control*. Wallingford, U.K. CAB International.

Guetsky, R., Kobilier, I., Wang, X., Perlman, N., Gollop, N., Avila-Quezada, G., Hadar I. & Prusky, D. (2005). Metabolism of the flavonoid epicatechin by laccase of *Colletotrichum gloeosporioides* and its effect on pathogenicity on avocado fruits. *Phytopathology*, 95(11), 1341-1348.

Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., & Chávez-Bárcenas, A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*, 35(9), 647-653.

Huerta-Palacios, G., Holguín-Meléndez, F., Benítez-Camilo, F. A., & Toledo-Arreola, J. (2009). Epidemiología de la antracnosis [*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc.] en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 27(2), 93-105.

Kobilier, I., Prusky, D., Midland, S., Sims, J. J., Keen, N.T. (1993). Compartmentation of antifungal compounds in oil cells of avocado fruit mesocarp and its effects on

susceptibility to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 43, 319–28.

Linville, D. E. (1990). Calculating chilling hours and chill units from daily maximum and minimum temperature observation. *Hort Science* 25, 14-16.

Martínez, E. P., Hío, J. C., Osorio, J. A., & Torres, M. F. (2009). Identification of *Colletotrichum* species causing anthracnose on Tahiti lime, tree tomato and mango. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 211-218.

Morales, G. J. L., Vidales, F. J. A. (1994) Enfermedades del Aguacate en Michoacán. Folleto para productores N° 24. SARH – INIFAP – CIPAC – Uruapan, Michoacán, México. 19 pp.

Peres, N. A., Kuramae, E. E., Dias, M. S., & De Souza, N. L. (2002). Identification and characterization of *Colletotrichum* spp. affecting fruit after harvest in Brazil. *Journal of Phytopathology*, 150(3), 128-134.

Prusky, D., Freeman, S., and Dickman, M. (2000). *Colletotrichum: Host Specificity, Pathology, and Host Pathogen Interaction*. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. pp 393.

Prusky, D., Kobilier, I., Plumbley, R., Keen, N. T., Sims, J. J. (1992). Regulation of natural resistance of avocado fruit for the control of postharvest disease. Second World Avocado Congress. pp. 479-484.

Prusky, D. (1996). Pathogen quiescence in postharvest diseases *Annual Review Phytopathology*. 34:413-34.

Prusky, D., and Keen, N. T. (1993). Involvement of preformed antifungal compounds in the resistance of subtropical fruits to fungal decay. *Plant Disease* 7:114-119.

Rojas, E.I., Rehner, S.A., Samuels, G.J., Van Bael, S.A., and Herre, E.A. (2010). *Colletotrichum gloeosporioides* associated with *Theobroma cacao* and other plants in Panamá: multilocus phylogenies distinguish host-associated pathogens from asymptomatic endophytes. *Mycología* 102: 1318-1338.

Salazar, G. S., Zamora, C. L., Vega-López, R. J. (2004-05). Actualización sobre la Industria del Aguacate en Michoacán, México. California Avocado Society. Yearbook 87: 45-54.

Silva-Rojas, H. V., Ávila-Quezada, G. (2011). Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel agent of anthracnose in avocado. *Plant Pathology* 60:899-908.

Sutton, B. C. (1992). The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. In: *Colletotrichum: biology, pathology and control*. Bailey, J. A. and Jeger, M. J. (eds.). pp: 1-26. CAB International. Wallingford, U. K.

Talhinhas, P., Sreenivasaprasad, S., Neves-Martins, J., & Oliveira, H. (2002). Genetic and morphological characterization of *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose of lupins. *Phytopathology* 92(9), 986-996.

Than, P. P., Jeewon, R., Hyde, K. D., Pongsupasamit, S., Mongkolporn, O. and Taylor, P. W. J. (2008). Characterization and pathogenicity of *Colletotrichum* species associated with anthracnose on chilli (*Capsicum* spp.) in Thailand. *Plant Pathology* 57: 562-572.

Téliz, O. D. y Mora, A. A. (2007). El aguacate y su manejo integrado. Ed. Mundi-Prensa. 319 p.

Vidales, F. J. A., Coria, A. V. M., Anguiano, C. J., Alcantar, R, J. J. (2005). Control integrado de la antracnosis en aguacate. Folleto INIFAP. Encontrado en http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo_sectorial/Michoacan/10michoacan.pdf

Weir, B. S. and Johnston, P. R. (2009). Defining and delimiting genetic species in *Colletotrichum*. Asian Mycological Congress (2009). Taichung Taiwan November 15–19: 0-128.

Willingham, S. L., Cooke, A. W., Coates, L. M., Pegg, K. G. (2000). Pepper spot: a new preharvest *Colletotrichum* disease of avocado cv. Hass. *Australasian Plant Pathology* 29: 151.

Whitelaw-Weckert, M. A., Curtin, S. J., Huang, R., Steel, C. C., Blanchard, C. L., & Roffey, P. E. (2007). Phylogenetic relationships and pathogenicity of *Colletotrichum acutatum* isolates from grape in subtropical Australia. *Plant Pathology*, 56(3), 448-463.

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16058.pdf>

Capítulo III. Modelo de pronóstico para el control de la antracnosis del aguacate en Michoacán, México

Elisa Durán-Peralta¹, Daniel Téliz-Ortiz^{1*}, Aurelio Pedroza-Sandoval², Antonio Mora-Aguilera¹, Graciela Ávila-Quezada³, Héctor González-Hernández⁴.

¹ Colegio de Postgraduados, Posgrado en Fitopatología, Montecillo, Méx., ² Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo. Méx., ³ Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia y Ecología. Chihuahua, Chihuahua, Méx. ⁴, Colegio de Postgraduados, Posgrado en Entomología, Montecillo, Méx.

*Autor para correspondencia (dteliz@hotmail.com)

RESÚMEN

Se diseñó y validó un Modelo de Pronóstico de Antracnosis (MPA) para detección temprana del inicio de infección por *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense*., agentes causales de la antracnosis del aguacate en Michoacán, México. La eficacia del modelo fue validada midiendo las variables incidencia y severidad de la antracnosis, las cuales durante todo el año se monitorearon en tres huertos, en 8 frutos de 10 árboles dentro de cada uno de los tres tratamientos. Las variables incluidas en el modelo fueron: temperatura (T) mayor a 17 °C; humedad relativa (HR) mayor a 65 %; punto de rocío (PPR) mayor a 14° C; humedad de hoja (PHH) mayor a 40 min; y precipitación (PP) mayor a 5 mm en las últimas 12 horas. El MPA fué = $-2.091627611 + 0.0080094 \cdot T_0 + 0.0211358 \cdot T_1 + 0.015909 \cdot T_2 + 0.0042576 \cdot T_3 + 0.00749967 \cdot HR_0 + 0.01859905 \cdot HR_1 + 0.01952115 \cdot HR_2 + 0.005213089 \cdot HR_3 + 0.47500516 \cdot PP + 0.0045496686 \cdot PHH + 0.049749418 \cdot PR$ ($R^2=0.85$). Si MPA es mayor a cero existen condiciones meteorológicas para el desarrollo de la antracnosis. El MPAp con uso de datos meteorológicos pronosticados (T1) fue más eficiente con una ABCPE de 2.4 %-días de enfermedad, respecto al manejo basado en la experiencia del productor (T2), que registró una mayor ABCPE de 34 %-días de enfermedad. El MPA resultó en 7.5 ton/ha equivalente a \$103 000 (77.1 % de fruta sana); contra 2.5 ton/ha = \$34000 (26.3 %) con el manejo de acuerdo a la experiencia del productor y 0.44 ton/ha=\$6000 (4%) sin hacer aplicaciones de fungicidas (testigo). El MPA resultó en una ganancia de fruto sano de \$69000/ha respecto al manejo con la experiencia del productor, que aunado al ahorro en costo de \$6000 de tres aplicaciones que se redujeron resultó en una ganancia de \$75,000/ha. En un huerto de 10 ha esta ganancia representaría \$750,000.

Palabras clave: *Persea americana*, *Colletotrichum* spp., Epidemiología agrícola, Pronóstico de enfermedades.

ABSTRAC

An Anthracnose Forecasting Model (AFM) to detect and forecast the onset of *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* causing avocado anthracnose was developed and evaluated in three avocado groves with similar organic management in the State of Michoacán, Mexico. The AFM effectiveness was validated measuring incidence and severity of the disease throughout the year monitored in three groves on 8 fruits of 10 trees randomly selected within three treatments. The variables in the model were: temperature (T) > 17 °C, Relative Humidity (RH) > 65%, Dew Point (DP) > 14°C, leaf humidity (ALH) > 40 min, and precipitation (PP) > 8 mm in the last 12 hours. The AFM was: $AFM = -2.091627611 + 0.0080094*T0 + 0.0211358*T1 + 0.015909*T2 + 0.0042576*T3 + 0.00749967*HR0 + 0.01859905*HR1 + 0.01952115*HR2 + 0.005213089*HR3 + 0.47500516*PP + 0.0045496686*PHH + 0.049749418*PR$. ($R^2=0.85$). If $AFM > 0$ anthracnose develops. AFM with pronosticated meteorological data (T1) was more efficient with an AUDPC of 2.4%-disease days, compared with T2 (sprays based on grower experience) with an AUDPC of 34 %-disease days. AFM resulted in 7.5 ton/ha of healthy fruit equivalent to U\$D 5150 (77.1 %); compared with T2 which yielded 2.5 ton/ha= U\$D 1700 (26.3 %) and T3 (control trees) with 0.44 ton/ha = U\$D 300 (4%). AFM resulted in a profit of U\$D 3450 compared with T2, with the additional difference of U\$D 300, cost of 3 fungicide sprays with a final profit of U\$D 3750/ha/yield cycle. This difference would equal U\$D 37,500 in a 10 ha grove.

Keywords: *Persea americana*, *Colletotrichum* spp. Epidemiology, Disease forecasting.

3.1 Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un cultivo de trascendencia económica y social en México. Para 2014, se produjeron 1.5 millones de ton, de las cuales se exportaron 500, 000, con ingresos de 1,000 millones de dólares (SIAP-SAGARPA, 2014). La producción comercial de esta fruta es de alto riesgo, debido al impacto negativo de factores de diversa índole, desde fitosanitarios hasta tecnológicos. En los primeros destaca el daño por la antracnosis la cual es una de las enfermedades más severas y frecuentes en las zonas productoras de aguacate como es el Estado de Michoacán, México. Esta enfermedad es causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Bailey & Jeger, 1992; Dodd *et al.*, 1992; Prusky *et al.*, 2000), *C. acutatum* (Ávila-Quezada *et al.*, 2007), y *C. boninense* (Silva-Rojas & Ávila-Quezada, 2011). La antracnosis en aguacate puede alcanzar hasta el 74 % de incidencia (Téliz Ortiz *et al.*, 2007) y causar pérdidas económicas por los costos de aplicación de fungicidas y el impacto negativo en la producción. Las epidemias más importantes en esta zona, inician en febrero y marzo y alcanzan su mayor incidencia y severidad en junio y agosto, relacionado a períodos de lluvias que generan alta humedad relativa, lo cual favorece la producción y dispersión de inóculo. La germinación de los conidios ocurrió después de un periodo mínimo de cuatro horas de HR mayor a 80 % y 20 a 25 °C (Jeger & Bailey, 1992; Ávila-Quezada *et al.*, 2002). El manejo convencional de esta enfermedad se ha basado tradicionalmente en el control químico; sin embargo, esta práctica es restrictiva en huertos certificados para producción orgánica, por el efecto residual en fruto y el impacto ambiental. Aun cuando los avances tecnológicos en información climática han innovado el diseño y aplicación de modelos predictivos, como herramienta eficaz en el manejo óptimo de enfermedades de cultivos agrícolas (De Wolf, 2007), en México aún es exiguu este tipo de estudios. Los modelos predictivos pueden ser importantes detonadores de un manejo fitosanitario más eficiente e integral basados en la protección de cultivos con información anticipada al inicio de la infección. El objetivo de este estudio fue generar y evaluar un modelo de predicción del inicio de infección de la antracnosis del aguacate causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* que permita un mejor manejo fitosanitario de la enfermedad y un menor impacto negativo económico y ecológico en la producción de aguacate.

3.2 Materiales y métodos

Ubicación geográfica del área de estudio. El estudio se realizó en tres huertos de aguacate orgánico cv. Hass de 10-12 años de edad, en el Estado de Michoacán, México. El huerto uno (H1) con una superficie de 40 ha en el municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, ubicado a 19° 24' 00" latitud N 102° 08' 00" Longitud O y una altura de 2,130 msnm, con temperatura media de 10–22 °C y precipitación media anual de 800–2,000 mm; el huerto dos (H2) con una superficie de 20 ha en Salvador Escalante, ubicado a 19° 42' latitud N y 102° 06' longitud O y una altura de 1,870 msnm, con temperatura media de 12–24 °C y precipitación media anual de 1,100–2,000 mm; y el huerto tres (H3) con una superficie de 70 ha en Salvador Escalante, ubicado a 19° 36' latitud N y 101° 78' longitud O y una altura de 1,952 msnm, con temperatura media entre 12–24 °C y precipitación media anual de 1,100–2.000 mm (INEGI, 2009).

Diseño experimental. Un diseño experimental completamente al azar se usó con diez repeticiones, correspondiente a un árbol como unidad experimental en cada una de los cuales se monitorearon 8 frutos; cuatro en la orientación noroeste y cuatro en la sureste. Tres tratamientos se establecieron: T1, aplicación de productos fungicidas orgánicos con una programación basada en el MPA; T2 aplicación de los mismos productos pero acorde a la experiencia del productor en cada huerto (manejo convencional); y T3 testigo (sin aplicación de fungicidas).

Variables. La temperatura (° C) y humedad relativa (%) dentro del dosel vegetal se determinaron con un data logger (Hobo® modelo. U12) en un árbol de cada tratamiento. Estos datos se compararon con los de una estación meteorológica Imetos® (Pessl instruments, Austria) (Field climate, 2014) ubicada dentro del huerto para determinar un factor de corrección. La incidencia y severidad de la enfermedad se evaluó periódicamente, según la fenología del árbol y la presencia de la enfermedad. La severidad en frutos se evaluó en base a escalas logarítmicas del 0 al 7: 0= 0%; 1= 1.96%; 2= 5.07%; 3= 12.5%; 4= 27.6%; 5= 50.6%; 6= 73.2%; 7= 88% (Ávila-Quezada *et al.*, 2002). El periodo de estudio fue de cuatro años (enero 2013 a diciembre 2016).

Fenología del fruto y esporulación del hongo. La susceptibilidad del fruto se evaluó de acuerdo a las etapas fenológicas basadas en longitud del fruto, 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). Estas etapas fenológicas fueron estimadas semanalmente en 8 frutos ubicados en los cuatro puntos cardinales en 10 árboles comerciales en los huertos H1 y H2. La evaluación se realizó durante los ciclos productivos 2014-2016 incluyendo las floraciones principal de invierno y secundarias 'loca' (de fin del verano), 'adelantada' (de otoño) y 'marceña' (primavera) (Salazar-García, 2000).

La densidad de esporas de *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* en el aire se cuantificó con uso de trampas volumétricas diseñadas por el Grupo Interdisciplinario e Interinstitucional del Mango (Mora *et al.*, 2004). Las trampas con capacidad volumétrica de 2.3 L de aire min⁻¹, se instalaron a 1.8 m sobre el nivel del suelo y se ubicaron en el centro del área experimental en H1 y H2, con una trampa por huerto. Las trampas funcionaron diariamente durante el ciclo de cultivo 2015-2016. Las cintas adhesivas con esporas capturadas por impacto activo de cada trampa, se dividieron en siete fracciones de 39.5 mm de longitud para representar periodos de 24 h. Cada fracción se montó sobre un portaobjeto, se adicionaron 10 µl de lactofenol y se examinó bajo microscopio de luz a un aumento de 40x. Los conidios de *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* se cuantificaron por semana en tres transectos lineales y fueron morfológicamente identificados (Barnett & Hunter, 1999; Sutton *et al.*, 1992; Damm *et al.*, 2012; Talhinhos *et al.*, 2002).

Aislamiento y pruebas de patogenicidad. Frutos en etapa fenológica 1 a 6: 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) con síntomas de clavo, varicela y antracnosis se colectaron mediante un sistema de muestreo dirigido. La frecuencia de *Colletotrichum* sp. fué de 81.75% en clavo, 73.11% en varicela y 82.05 % en antracnosis. Las colonias de *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* se seleccionaron mediante cultivos monoconidiales y se agruparon de acuerdo a características macroscópicas: color de colonia, tipo de micelio, formación de anillos, borde de

colonia, esporulación a simple vista. 18 aislamientos se obtuvieron: cinco del síntoma de clavo, siete de varicela y seis del síntoma de antracnosis.

Los ensayos de patogenicidad se realizaron en dos ocasiones de manera independiente. Los síntomas en frutos se fotografiaron y se midió el avance del daño diariamente. Los patógenos se reaislaron a partir de los frutos inoculados acorde a los postulados de Koch. Los tres aislamientos más patogénicos fueron identificados morfológica y molecularmente. Para la amplificación de la región ITS se utilizaron los iniciadores universales ITS5 ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC) (White *et al.*, 1990). Otro par de iniciadores utilizados fueron ITS5 y NL4 (5'-GGTCCGTGTTTCAAGACGG- 3') (O'Donnell, 1992), para amplificar un fragmento de 1,100 bp, que incluyó la región del ITS y 600 bp del gen 28S rRNA.

Germinación de conidios. Los tres aislamientos seleccionados e identificados como *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense*, fueron expuestos a diferentes combinaciones de temperatura y humedad relativa para determinar el tiempo de germinación. El ensayo se hizo con tres repeticiones. Cinco μ l de suspensión de esporas a una concentración de 1×10^3 se dispersaron en una caja Petri y se evaluó el número de conidios germinados después de 1, 2, 3, 4, 5, y 6 horas.

Inoculación de frutos de aguacate en cámara bioclimática y en campo. Frutos de aguacate en etapa fenológica 1 a 6 se colocaron en charolas con cuatro repeticiones. Una herida de 2 mm de profundidad se realizó con una aguja hipodérmica en la cual se dispersaron 5 μ l de suspensión de conidios 1×10^6 utilizando los tres aislamientos más patogénicos: uno de *C. gloeosporioides*, uno de *C. acutatum* y uno de *C. boninense* y se dejaron secar a temperatura ambiente. Se metieron en cámara bioclimática en diferentes combinaciones de temperatura (14, 17, 20, 25, 35, 38 °C) y humedad relativa (60, 70, 80 y 90%). El número de frutos que presentaron síntomas de antracnosis fue registrado. Adicionalmente 12 frutos en etapa fenológica 6 se inocularon en cada uno de los 5 árboles seleccionados al azar en campo. Las inoculaciones se realizaron durante diez días consecutivos y se analizaron los datos meteorológicos registrados en las fechas de inoculación que produjeron síntomas. Además se registró la aparición de síntomas naturales de antracnosis.

Monitoreo climático. En 2013, las variables ambientales por huerto se monitorearon con una estación agrometeorológica automatizada APEAM ('El Volcán': clave A2194-APEAM) (APEAM, 2011), instalada en la localidad Nuevo San Juan, cercana al huerto H1. Para el periodo 2014-2016 se instaló una estación meteorológica Imetos® (Pessl instruments, Austria) en cada huerto experimental y los datos se registraron cada hora (Field climate, 2014). Posteriormente, el grado de relación entre las variables evaluadas fue sometido a un análisis de correlación de Pearson (r) con el fin de determinar el comportamiento de las enfermedades en función de las variables climáticas.

La severidad de la antracnosis, la densidad de conidios de *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* en el aire, y las variables de temperatura (T), humedad relativa (HR), precipitación (PP), punto de rocío (PR) y humedad de hoja (HH) fueron sometidas a un análisis de correlación de Pearson (r) para determinar el comportamiento de la antracnosis en función de las variables climáticas. Los intervalos (horas/semana) fueron: T °C (<9, 9-13, 14-16, 17-20, 21-23, 24-26, 27-29, 30-32, 33-35 y >35 °C), HR % (<39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79, 80-84, 85-89, >89), PP mm (<1, 2-4, 5-7, 8-10, 11-13, 14-16, 17- 19, 20-23, 24-26, >27), HH min (<9, 10-19, 20-29, 30-39, 40-49, >49), PR °C (<7, 8-10, 11-13, 14-16, 17-19).

Modelo de Pronóstico de Antracnosis (MPA). La incidencia semanal de antracnosis se estimó en ocho frutos ubicados en los puntos cardinales de noroeste y sureste (cuatro frutos por punto cardinal) de 10 árboles comerciales en H1, H2 y H3. La base de datos de incidencia se correlacionó con las variables climáticas antes citadas para definir los umbrales óptimos del MPA. El modelo se generó por análisis discriminante con Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.18 (Statgraphics, 2012). Una plantilla en Excel^R ejecutó el modelo incorporando los datos ambientales registrados (T, HR, PR, PP y HH) por estación meteorológica por huerto y los umbrales óptimos requeridos para presencia de la enfermedad.

El MPA se aplicó en dos escenarios: con datos registrados de una semana (MPAd) para detección y con datos pronosticados de una semana (MPAp) para pronóstico.

La alerta se definió para valores de decisión (umbral) ≥ 1.64 . La eficacia del MPA por tratamiento se cotejó con la incidencia y severidad de la enfermedad evaluada en campo semanalmente. El modelo se ejecutó en una plantilla de Excel que indicó con la palabra “alerta”, el día en que se cumplieron las condiciones necesarias para el inicio de la enfermedad, y en su caso se realizaron las acciones preventivas. El MPAd se evaluó en los ciclos productivos 2014 - 2016. El MPAp únicamente en 2016.

Análisis temporal de la severidad. Curvas del progreso de la severidad se construyeron en unidades de porcentaje-día (%-día). Las epidemias se caracterizaron con el modelo de Weibull (SAS Institute, 2002), así como por el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) (Campbell & Madden, 1990). Los valores de severidad se transformaron a valores de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), técnica mediante la cual se hizo una integración de los puntos medios de enfermedad alcanzada entre dos tiempos, sumando un área total bajo la curva del progreso de la enfermedad (Pedroza-Sandoval & Samaniego-Gaxiola, 2009): La severidad se estimó con la escala: 0=0, 1=1.96, 2=5.07, 3=12.05, 4=27.6, 5=50.6, 6=73.2, y 7=88% de superficie del fruto dañada por antracnosis (Ávila-Quezada *et al.*, 2003) y se utilizó como parámetro adicional para comparar las epidemias resultantes de los diferentes tratamientos.

Análisis de datos. Los datos fueron analizados con uso del paquete SAS Versión 9.4 (SAS, 2002). Un análisis de varianza y prueba de rango múltiple de medias Tukey ($P \leq 0.05$) se realizó para analizar el efecto de tratamiento de la variable Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) con el procedimiento GLM. Un análisis de regresión se realizó para analizar el comportamiento temporal de la antracnosis y de otros tratamientos, así como análisis de correlación entre algunas variables de este estudio.

3.3 Resultados y discusión

Fenología del fruto. La floración de aguacate en el huerto H1 y H2 ocurrió durante ocho y seis meses respectivamente. El aguacate tiene un tiempo amplio de fructificación lo cual es favorable para el desarrollo de la antracnosis. En el huerto

H1 los flujos de floración ocurrieron en un período más amplio; iniciaron en agosto-septiembre de 2014 y terminaron en febrero-marzo de 2015, presentándose un leve traslape en las etapas de desarrollo del fruto: el primer flujo de fructificación (de fin de verano) se dió en noviembre de 2015; en tanto que el último flujo (floración de primavera), fue en abril 2016 (Figura 1A). En H2 los flujos de floración estuvieron menos espaciados, iniciaron en septiembre de 2014 (floración de fin de verano) y terminó en enero-febrero de 2015 (floración marceña), con un traslape de las etapas de desarrollo del fruto (Figura 1B). El período de floración y desarrollo del fruto, varía de acuerdo a las condiciones climáticas propias de cada huerto. En este estudio todo el año hubo flor, fruto o tejido vegetal susceptible a *Colletotrichum* sp y no se observaron síntomas de antracnosis en frutos de aguacate en etapa fenológica 4.

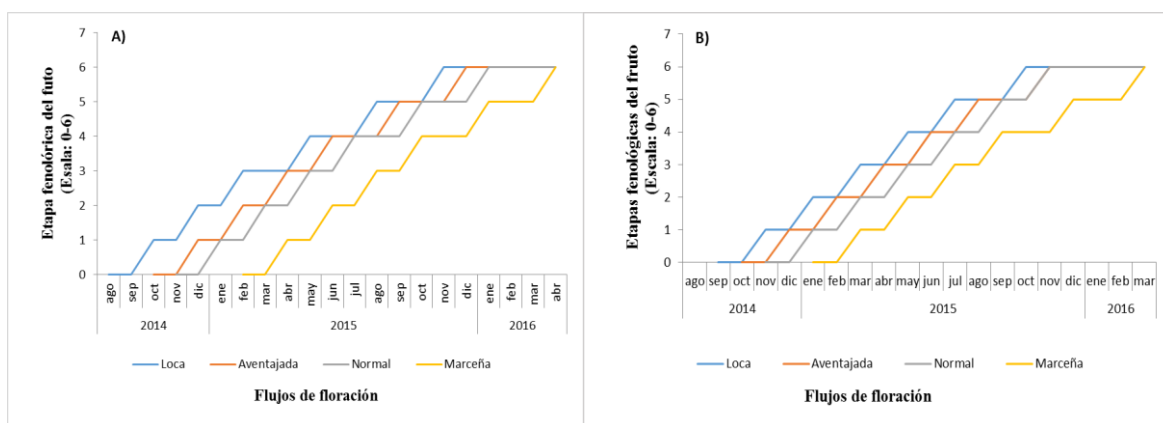


Figura1. Etapas fenológicas del fruto del aguacate en los huertos H1 (A) y H2 (B). Michoacán, México. Etapas: 0=Floración; 1, 2, 3, 4, 5, y 6 = etapas de desarrollo fenológico del fruto (Ávila-Quezada *et al.*, 2003).

Aislamientos y pruebas de patogenicidad. El hongo se aisló de síntomas en frutos inmaduros, aún en el árbol, lo cual difiere de otros estudios donde el patógeno es importante en postcosecha y afecta una gran variedad de cultivos (Whitelaw-Weckert *et al.*, 2007). Los 18 cultivos monospóricos causaron síntomas típicos de antracnosis en los frutos de aguacate cv. Hass en etapa de madurez fisiológica. El patógeno causó daños severos en el pericarpio y mesocarpio del fruto de los 6 a 8 días después de la inoculación. Las características morfológicas fueron similares a las cepas originalmente inoculadas. De las 18 colonias aisladas, cuatro (una con síntoma de clavo, una con síntoma de varicela y dos con síntoma de antracnosis) presentaron conidios con ambos ápices redondeados, micelio gris al anverso y reverso y gris oscuro al centro de la colonia, consistencia algodonosa aérea, con

masas conidiales color salmón y crecimiento rápido. Estas características coinciden con las descritas para *C. gloeosporioides* (Sutton *et al.*, 1992). Doce aislamientos (tres de clavo, seis de varicela y tres de síntoma de antracnosis) presentaron conidios con uno o ambos ápices agudos, micelio gris en el anverso y ligero color rosado, con masas conidiales de salmón a naranja y crecimiento lento. Estas características son asociadas a *C. acutatum* (Talhinhas *et al.*, 2002). *C. boninense* produce conidios con una prominente cicatriz basal, colonia plana y ligeramente ondulada (Damm *et al.*, 2012), como se observó en un aislamiento de síntoma de clavo y un aislamiento de antracnosis. De cada una de las tres colonias se realizaron amplificaciones con los iniciadores ITS5/ITS4 obteniendo el fragmento esperado de 580 bp. Asimismo, se amplificó un fragmento de 1,100 bp con los iniciadores ITS5/NL4. El resultado de BLASTN, confirmó que las 3 colonias identificadas correspondían a *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense*.

Germinación de conidios in vitro. El porcentaje de conidios germinados in vitro con una HR de 90 % y diferentes temperaturas fue máximo a 25 °C y mínimo a 14° C. La germinación de conidios in vitro se inició desde las dos horas y la mayor tasa de germinación se presentó a las 3 h 28 min a 25 °C y 90% de HR (Fig. 2). Cuando los conidios fueron expuestos a 25 °C y diferentes combinaciones de HR se observó un mayor porcentaje de germinación a 90 %, seguido de 70 y 65 %; las tasas de germinación (tiempo en que se alcanza la máxima velocidad de germinación) de conidios fueron de 2.56, 3.25 y 3.34 h, respectivamente (Fig. 3); a mayor humedad relativa se presentó más rápido la mayor tasa de germinación. La germinación de conidios de *Colletotrichum coffeanum* in vitro fué insignificante en ausencia de humedad superficial libre y a temperaturas menores a 15° C (Nutman & Roberts, 1960). La temperatura óptima para germinación de conidios de *C. acutatum* en hojas de fresa in vitro fue de 23 a 27° C con periodos intermitentes de humedad de hoja continua mayor a 4 horas (Leandro *et al.*, 2001), lo cual coincide con lo observado en el presente estudio.

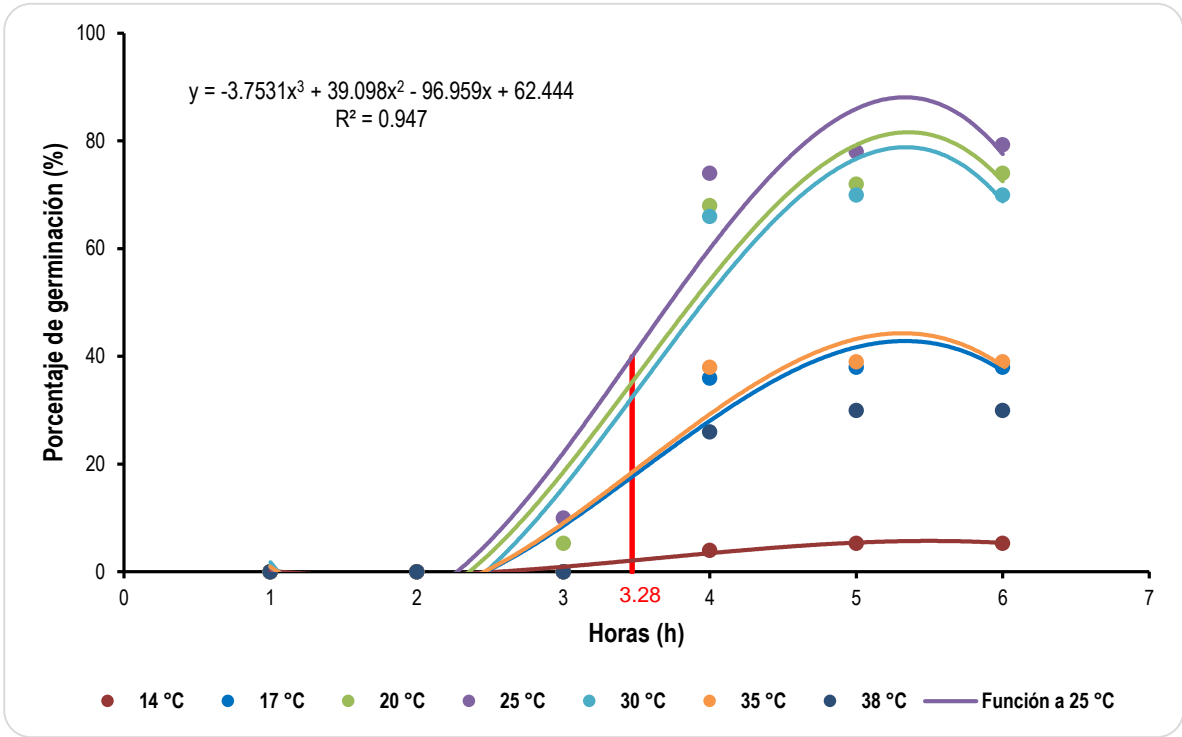


Figura 2. Porcentaje promedio de germinación de conidios de *C. gloesporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* a diferentes temperaturas y humedad relativa de 90%. Texcoco, México. 2015.

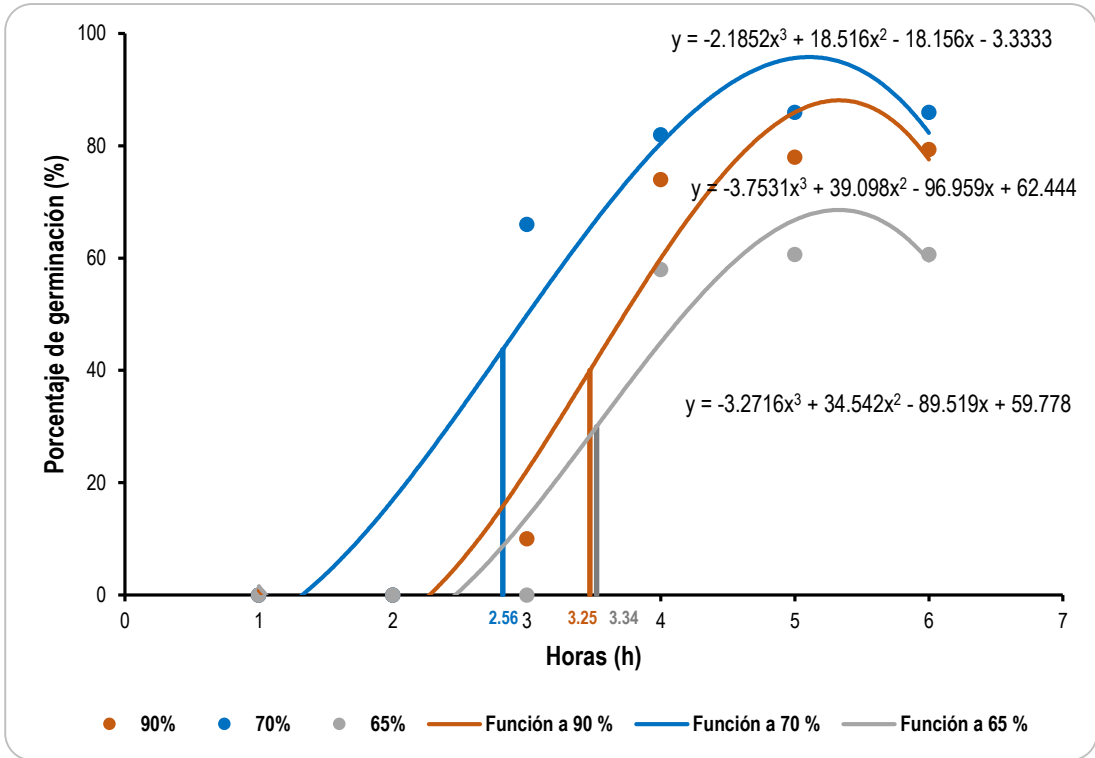


Figura 3. Porcentaje promedio de germinación de conidios de *C. gloesporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* a diferente humedad relativa a una temperatura de 25 °C.

Inoculación de frutos en cámara bioclimática y en campo. El umbral de temperatura y humedad relativa para la manifestación de síntomas de frutos inoculados en cámara bioclimática fue de 4 horas a temperaturas de 17° C y HR de 70%. Los frutos inoculados en etapa fenológica 1 y 6 desarrollaron el mayor porcentaje de síntomas a 70 % HR y 25 °C, pero los frutos presentaron síntomas desde 17 °C a 38 °C (Figura 4 A-B). El umbral de infección artificial en frutos fué 17 °C y 70% HR. Los frutos inoculados en cámara bioclimática en etapas fenológicas 1 y 6, presentaron más de 10 % de frutos enfermos a partir de 17° C y 70 % HR. Los frutos en etapa fenológica 2, 3 y 5 presentaron menos del 4 % de infección en estos umbrales y los frutos en etapa fenológica 4 no se infectaron.

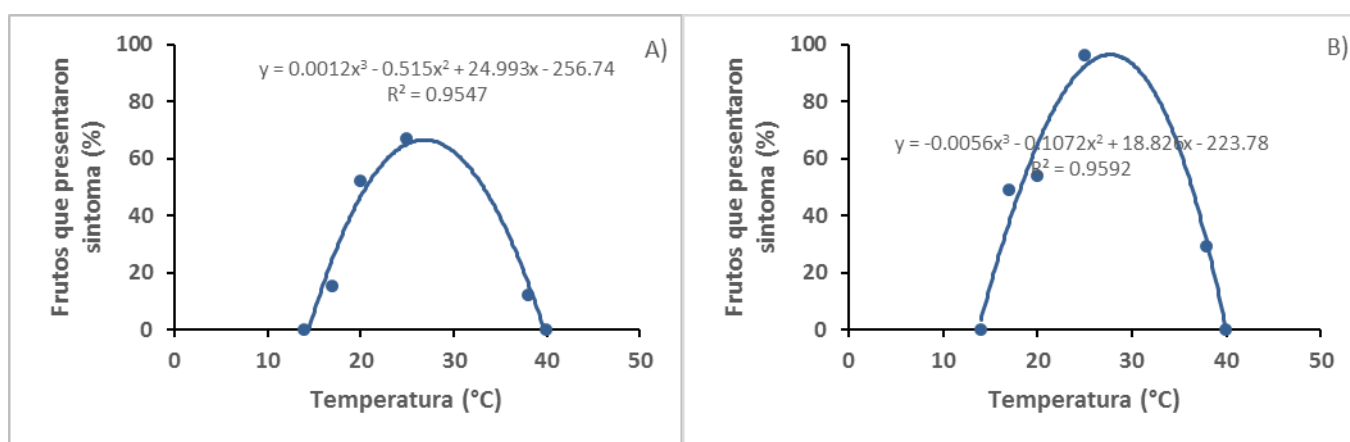


Figura 4. Porcentaje promedio de frutos de aguacate cv Hass en etapa fenológica 1 (A) y 6 (B) inoculados con *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense*, que presentaron síntoma de antracnosis a diferentes temperaturas con una humedad relativa de 70%. Texcoco, México 2015

De los 60 frutos de aguacate en etapa fenológica 6 inoculados en campo, el 4 % presentaron síntomas de antracnosis a partir de 15 °C y 67 % HR. Bajo condiciones naturales, dos de 60 frutos muestreados presentaron síntomas a partir de 13° C y 60 % HR. En campo, la enfermedad se presentó a 60% de HR o humedad de hoja de 4 horas aun sin presencia de lluvias. El punto de rocío que favoreció la enfermedad fue a partir de 12 °C, con un óptimo de 14 a16 °C.

Colonias de *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro se formaron a 4 °C. En un trabajo previo en Michoacán la temperatura base in vitro de *C. gloeosporioides* cultivado en PDA fue de 8 °C y el hongo no se desarrolló a temperaturas de 4 y 40° C. Además en campo registraron el mayor número de lesiones entre 15.4 y 17.9 °C (García *et al.*, 2009).

En presencia de agua libre los conidios en la superficie del fruto de aguacate germinaron a las 7 horas; cada conidio produjo un tubo germinativo y aproximadamente de 5 a 6 horas después, inició el desarrollo del apresorio terminal (Yakoby *et al.*, 2001). La presencia de agua resultante de la lluvia o niebla pesada es necesaria para la infección de *Colletotrichum coffeanum* bajo condiciones de campo (Nutman & Roberts, 1960).

Datos meteorológicos y esporulación. En la generación del modelo de predicción se determinaron las siguientes variables y umbrales: T 17-20 °C, HR 65-69 %, PP 5-7 mm, PR \geq 14-16 °C y HH 40-49 min, por un tiempo de 4 horas continuas (cuadro 1). Bajo estas condiciones el periodo de incubación fue de 4 a 6 días. Lo anterior coincide con (Ávila-Quezada *et al.*, 2002), quienes mencionan que se requieren las condiciones ambientales favorables por cuatro horas continuas para que la infección por *Colletotrichum gloeosporioides* ocurra. Los síntomas en frutos de aguacate inoculados con herida se presentaron a los 5 días (Fitzell, 1987).

Conidios en el aire se detectaron todo el año y su mayor concentración se encontró en septiembre (1576-1218) y en febrero-marzo (572-498) en H1 y H2 respectivamente. La liberación de esporas fue favorecida con precipitaciones de 8 a 10 mm, T de 17 a 20 °C, HR de 80-84, punto de rocío 11-16 °C y humedad de hoja > 49 min (cuadro1). Los mayores cambios en los incrementos de severidad se registraron en los periodos de primavera y verano, guardando una correspondencia cercana con las curvas de precipitación ($r=0.96$) y esporulación ($r=0.98$). La densidad de conidios en el aire de *Colletotrichum gloeosporioides* en mango fue significativamente correlacionada con temperaturas >30 °C ($r=0.72$), HR <60% ($r=0.66$), punto de rocío <15° C ($r=0.68$) y viento <1km/hr ($r=0.55$) con dirección este (270°) ($r=58$) (Monteón *et al.*, 2012).

El patógeno infectó aguacate en Israel entre los 20 y 28 °C, pero su temperatura óptima de crecimiento fue de 27 ± 1 °C (Freeman *et al.*, 1995). La enfermedad se presentó en ambiente húmedo y fresco, con temperatura media mensual de 10 a 20 °C y humedades relativas mayores a 80 % (Ávila-Quezada *et al.*, 2002). La alta humedad relativa asociada a una abundante lluvia favoreció la aparición de

antracnosis (Wolstenholme, 2007). El rocío puede formar una película de agua sobre las hojas de las plantas y resultar en el desarrollo de epidemias por infección de patógenos en los cultivos (Chen *et al.*, 2013). Debido a que el rocío ocurre sólo cuando la temperatura de la superficie alcanza el punto de rocío, las propiedades de una superficie pueden afectar la formación de rocío para diferentes tipos de vegetación y etapas de desarrollo.

Modelo de Pronóstico de la Antracnosis (MPA). El modelo se integró en base a los valores de temperatura, humedad relativa, precipitación y humedad de hoja, observados en el umbral de 4 h. El modelo generado por análisis discriminante para valores registrados semanalmente o pronosticados, fue el siguiente:

$$\text{MPA} = -2.091627611 + 0.0080094 \cdot T1 + 0.0211358 \cdot T1 + 0.015909 \cdot T2 + 0.0042576 \cdot T3 + 0.00749967 \cdot \text{HR0} + 0.01859905 \cdot \text{HR1} + 0.01952115 \cdot \text{HR2} + 0.005213089 \cdot \text{HR3} + 0.47500516 \cdot \text{PP} + 0.0045496686 \cdot \text{PHH} + 0.049749418 \cdot \text{PR}.$$

Dónde: MPA= Modelo de Pronóstico de la Antracnosis. T1-4 y HR1-4 representan los valores de temperatura y humedad relativa en 1-4 h. PRR= Promedio de precipitación, PHH= Promedio de humedad de hoja y PR = Promedio de punto de rocío, todos durante 4 h ($R^2=0.85$).

Sí MPA es mayor a cero existen condiciones climáticas para que se inicie y desarrolle la antracnosis. La alerta de pronóstico se emitió cuando el valor central (centroide) fue > 0 para prevenir el inicio de infección y la orden de aplicación de fungicidas. Este modelo predijo el inicio de infección en base a las condiciones naturales de la antracnosis del aguacate en los 3 huertos bajo estudio. El desarrollo de la antracnosis por inoculación artificial en frutos de aguacate se explicó con un modelo de regresión lineal simple (Rodríguez-López., 2013).

Se realizó el análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo mediante el método Montecarlo (ModelMaker v. 4.0) para seleccionar las variables que son consideradas críticas por favorecer un mejor control de la enfermedad.

Validación del Modelo. El modelo se validó en campo mediante el registro directo de síntomas. De diciembre 2015 a agosto 2016 en H1 se observó que la precipitación se concentró en los meses de junio a agosto, con lluvias tardías del ciclo anterior en

los meses de diciembre, marzo y abril. La mayor cantidad de esporas se encontró en julio y en menor densidad en marzo, acorde a la curva de precipitación ($r=0.95$) y coincidió con un mayor número de alertas en el verano.

Poblaciones altas de esporas de *C. gloeosporioides* se contaron entre julio y diciembre (verano y otoño) por la interacción de los factores HR y T, que propician la actividad del hongo y el desarrollo de la enfermedad (Agrios, 1989). Los mayores cambios en los incrementos de incidencia se registraron en los periodos de primavera y verano, manteniendo una correspondencia relativa con las curvas de precipitación ($r=0.96$) y esporulación ($r=0.66$).

Los síntomas aparecieron en marzo-abril y en junio en los árboles testigo, a diferencia del MPAd (modelo de detección con datos registrados), que aparecieron en junio; en tanto que en árboles manejados de acuerdo al MPAp (modelo con datos pronosticados), los síntomas iniciaron hasta julio-agosto, lo cual resultó en una menor incidencia de la enfermedad. Al aplicar el MPA se obtuvieron 7.5 ton/ha equivalente a \$103 000 (77.1 % de fruta sana); contra 2.5 ton/ha=\$34 000 (26.3 %) con el manejo de acuerdo a la experiencia del productor y 0.44 ton/ha=\$6000 (4%) sin hacer aplicaciones de fungicidas (testigo). El MPA resultó en una diferencia en ganancia de fruto sano de \$69000/ha respecto al manejo con la experiencia del productor, que aunado al ahorro en costo de \$6000 de tres aplicaciones que se redujeron resultó en una ganancia de \$75,000/ha. En un huerto de 10 ha esta diferencia representa \$750,000.

Análisis temporal de la severidad. La tasa de incremento de la enfermedad en los árboles testigo (T3) en el huerto H2 fue de 0.448 unidades día⁻¹ ($R^2=0.93$), muy superior a 0.07 en T2 ($R^2=0.90$) y 0.02 en T1 ($R^2=0.83$). La severidad de la enfermedad inició a partir del 22 de abril 2015 en el testigo T3 (0.4 %) y a partir del 24 de junio en T2 (0.01 %) y hasta el 10 de julio en T1 (0.08 %), para llegar a un máximo en los tres casos, a partir de los primeros días de diciembre y mantenerse en un comportamiento asintótico hasta el mes de marzo del 2016 (Fig. 5). La severidad ponderada escalar en fruto bajo manejo con MPA fue de 0.26 en T1, 0.86 en T2 y 5.82 en T3, lo cual equivale a 0.52 %, 1.68 % y 71 % de la superficie dañada del fruto, respectivamente. El uso del modelo permitió reducir de 12 a 9 aplicaciones

y se redujo con ello el impacto negativo al ambiente. El uso de predictores permitió una aplicación más oportuna de los productos químicos y redujo el número de aplicaciones (Latorre, 1996).

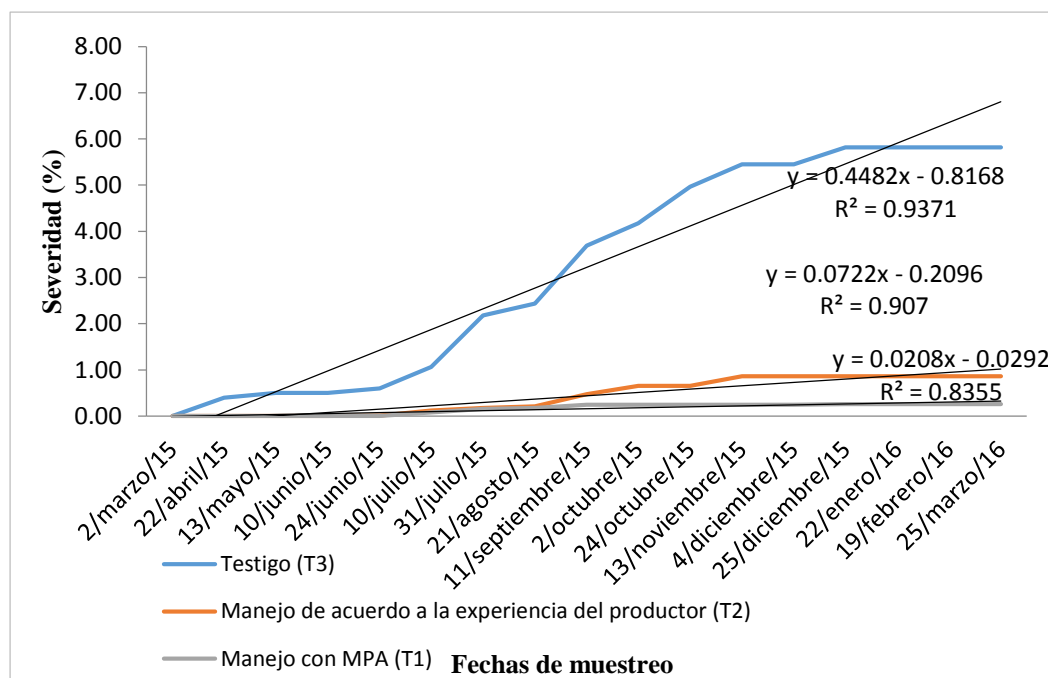


Figura 5. Comportamiento temporal de la severidad de la antracnosis en frutos de aguacate Hass en el huerto H2. México, 2016.

Los valores del área bajo la curva de la severidad de la antracnosis del Modelo correspondieron con valores detectados y pronosticados en T1 (MPA) a 15.4 y 2.4 %-día; en T2 (experiencia del productor) fue de 34 y 19.7; y en T3 119.4 %-día (Cuadro 2). Un modelo en base al número total de flores afectadas en 20 árboles de limón y la lluvia de los últimos 5 días predijo el número de flores afectadas (Timmer & Zitko, 1996). En nuestro caso con aguacate, el modelo se basó en las condiciones meteorológicas que favorecen el inicio de la infección, y no en la aparición de síntomas. La cantidad de enfermedad acumulada en el área bajo la curva fue menor cuando se aplicó el MPAp con fines de pronóstico, lo que permitió al productor hacer aplicaciones preventivas del fungicida de 2 a 6 días antes del inicio de infección y obtener un 2.6 %-días de severidad acumulada de la enfermedad en contraste al 15.4 % con MPAp con fines de detección. El productor aplicó con al menos 20 horas de anticipación al inicio de la infección con base en el modelo de pronóstico; en tanto

que con el modelo de detección la aplicación de los productos orgánicos se hizo de 24 a 48 h después de las condiciones favorables para la infección lo cual hace que la enfermedad sea significativamente mayor ($P \leq 0.05$).

3.4. Conclusiones

Nuevas colonias de *Colletotrichum gloeosporioides* in vitro se formaron a 4 °C. El umbral de infección artificial en frutos fué 17 °C y 70 % HR. Al inocular artificialmente frutos en campo se presentaron síntomas de antracnosis a partir de 15 °C y 67 % HR. De manera natural en campo, la enfermedad se presentó a 13° C y desde 60 % de HR o humedad de hoja de 4 horas.

El mayor porcentaje de síntomas se desarrollaron después de un período de 4 h continuas con $T > 17$ °C, $HR > 65\%$, $PR > 14^{\circ}$ C, $PHH > 40$ min y $PP > 5$ mm.

El Modelo de Pronóstico de Antracnosis generado fue: $MPA = -2.091627611 + 0.0080094 \cdot T_0 + 0.0211358 \cdot T_1 + 0.015909 \cdot T_2 + 0.0042576 \cdot T_3 + 0.00749967 \cdot HR_0 + 0.01859905 \cdot HR_1 + 0.01952115 \cdot HR_2 + 0.005213089 \cdot HR_3 + 0.47500516 \cdot PP + 0.0045496686 \cdot PHH + 0.049749418 \cdot PR$. Sí MPA es mayor a cero existen condiciones climáticas para el desarrollo de la antracnosis ($R^2=0.85$).

Derivado del análisis de área bajo la curva del progreso de la enfermedad el MPA con uso de datos meteorológicos detectados y pronosticados (T1) fue el más eficiente con 15.4 y 2.4 %-día comparados con la experiencia del productor T2 de 34 y 19.7 respectivamente; y testigo T3 que registró una tasa de incremento de la enfermedad de 119.4 %-día.

Al aplicar el MPA se obtuvieron 7.5 ton/ha equivalente a \$103 000 (77.1 % de fruta sana); contra 2.5 ton/ha=\$34 000 (26.3 %) con el manejo de acuerdo a la experiencia del productor y .44 ton/ha=\$6000 (4%) sin hacer aplicaciones de fungicidas (testigo). El MPA resultó en una diferencia en ganancia de fruto sano de \$69000/ha respecto al manejo con la experiencia del productor, que aunado al ahorro en costo de \$6000 de tres aspersiones de fungicidas que se redujeron resultó en una ganancia de \$75,000/ha. En un huerto de 10 ha esta ganancia representa \$750,000.

Aparentemente y según el análisis de la bibliografía mundial, este es el primer modelo de pronóstico del inicio de la infección de *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* y *C. boninense* causantes de la antracnosis del aguacate que permitió al productor realizar menos aspersiones, menor impacto ambiental y proteger sus árboles con 2 a 6 días de anticipación en tres huertos en Michoacán. Se recomienda validar el modelo en más huertos.

3.5 Literatura citada

Agrios, G. N. (1989). Fitopatología, Segunda. Edición, Ed. Limusa, México.

APEAM, Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán (2011).

<http://www.apeamclima.org/detalle.php?estacion=10&fecha1=2013-01-01&fecha2=2013-12-31&OK=Consultar#>, Consultado noviembre 2016.

Ávila-Quezada, G., Silva-Rojas, H. V., Téliz -Ortiz D (2007). First report of the anamorph of *Glomerella acutata* causing anthracnose on avocado fruits in Mexico. *Plant Disease*, 91(9), 1200-1200.

Ávila-Quezada, G. D., Téliz-Ortiz, D., Hernández, D. G., Huerta, H. V., Chávez, H. T., Naime, L. J., & 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., & Tijerina-Chávez, L. (2003). Spatial and temporal dynamic of scab (*Sphaceloma perseae* Jenk.) on avocado (*Perseae americana* Mill.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2): 152-160.

Bailey, J. A., & Jeger, M. J. (1992). *Colletotrichum: biology, pathology and control*. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. CAB International. Wallingford, U. K.: 388p.

Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1999). *Illustrated genera of imperfect fungi* (Burgess, Minneapolis).

Campbell, C. L., & Madden, L. V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons.

Chen, L., Meissner, R., Zhang, Y., & Xiao, H. (2013). Studies on dew formation and its meteorological factors. *Food, Agriculture and Environment*. 11: 1063-1068.

Damm, U., Cannon, P. F., Woudenberg, J. H. C., Johnston, P. R., Weir, B. S., Tan, Y. P., ... & Crous, P. W. (2012). The *Colletotrichum boninense* species complex. *Studies in Mycology*, 73, 1-36.

De Wolf, E. D., & Isard, S. A. (2007). Disease cycle approach to plant disease prediction. *Annual Review. Phytopathology*. 45: 203-220.

Dodd, J. C., Estrada, A., & Jeger, M. J. (1992). Epidemiology of *Colletotrichum gloeosporioides* in the tropics. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. CAB International, Wallingford, 308-325.

Field climate (2014). Pessl instruments. Disponible en: (nov 2016). https://www.fieldclimate.com/new/index_new.php.

Fitzell, R. D. (1987). Epidemiology of anthracnose disease of avocados. *South African Avocado Grower's Association Yearbook*, 10, p. 113-116.

Freeman, S., Katan, T., and Shabi, E. (1995). Characterization of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates from avocado and almond fruits with molecular and pathogenicity test. *Applied and Environmental Microbiology* 62:1014-1020.

García, J. L. M., Guzmán, M. D. P. R., Rivero, H. S. A., & Santos, M. E. P. (2009). Temperatura base in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides* Penz aislado de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en Michoacán, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2), 414-420.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Nuevo Parangaricutiro, Michoacán de Ocampo clave geoestadística 16058 y 16079. México.

Jeger, M. J., Bailey, J. A., & British Society for Plant Pathology (1992). *Colletotrichum*: Biology, pathology, and control. Wallingford, Oxon, UK: C.A.B. International.

Latorre, B. (1996). Situación de *Botrytis cinerea* latente en uva de mesa de la zona central. Aconex 52: 23-28.

Leandro, L. F. S., Gleason, M. L., Nutter Jr, F. W., Wegulo, S. N., & Dixon, P. M. (2001). Germination and sporulation of *Colletotrichum acutatum* on symptomless strawberry leaves. Phytopathology 91(7): 659-664.

Monteón, O. A., Aguilera, M. J. A., Villegas, M. Á., Nava, D. C., Hernández, C. E. & Hernández, M. J. (2012). Temporal analysis and fungicide management strategies to control mango anthracnose epidemics in Guerrero, México. Tropical Plant Pathology, 37(6), 375-385.

Mora, A. A., Téliz, O. D., Mora, A. G., Sánchez, P. G., Mercado, J. J. (2003). Progreso temporal de escoba de bruja (*Fusarium oxysporum* y *F. subglutinans*) en huertos de mango (*Mangifera indica* L.) cv. Haden en Michoacán, México. Revista Mexicana de Fitopatología 21:1-12.

Nutman, F. J., & Roberts, F. M. (1960). Investigations on a disease of *Coffea arabica* caused by a form of *Colletotrichum coffeanum* Noack: I. Some factors affecting infection by the pathogen. Transactions of the British Mycological Society 43(3): pp 489-505.

O'Donnell, K. (1992). Ribosomal DNA internal transcribed spacers are highly divergent in the phytopathogenic ascomycete *Fusarium sambucinum* (*Gibberella pulicaris*). Current genetics, 22(3), 213-220.

Pedroza-Sandoval, A., & Samaniego-Gaxiola, J. A. (2009). Análisis del área bajo la curva del progreso de las enfermedades (ABCPE) en patosistemas agrícolas. En: Tópicos especiales de estadística aplicados a la fitosanidad (Bautista, MN, Soto, RL y Pérez, PR, Eds.). Colegio de Posgraduados, Montecillo, Méx.

Prusky, D., Freeman, S., & Dickman, M. B. (2000). *Colletotrichum*: host specificity, pathology, and host-pathogen interaction. American Phytopathological Society (APS Press). pp 393

Prusky, D., McEvoy, J., Leverentz, R., and Conway, W. (2001). Local modulation of host pH by *Colletotrichum* species as a mechanism to increase virulence. *Phytopathology* 9:1105-1113.

Rodríguez-López, É. S., Cárdenas-Soriano, E., Hernández-Delgado, S., Gutiérrez-Diez, A., & Mayek-Pérez, N. (2013). Analysis of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. Infection of avocado fruits. *Revista Brasileira de Fruticultura* 35(3): 898-905.

Salazar-García, S. (2000). Fisiología reproductiva del aguacate. En: Téliz, D. (Ed.). *El Aguacate y su Manejo Integrado*. Ediciones Mundi-Prensa, México. p 57 - 83.

SAS Institute (2002). *User's Guide of SAS (Statistical Analysis System)*. SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p.

SIAP-SAGARPA (2014). Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Consultado en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/g>

Silva-Rojas, H. V., & Ávila-Quezada, G. D. (2011). Phylogenetic and morphological identification of *Colletotrichum boninense*: a novel causal agent of anthracnose in avocado. *Plant Pathology*, 60(5), 899-908.

Statgraphics (2012). *Statgraphics Centurion XVI*. Versión 16.1.18 (32 bits). Warrenton, VA, USA. n/p.

Sutton, B. C., Bailey, J. A., & Jeger, M. J. (1992). The genus *Glomerella* and its anamorph *Colletotrichum*. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. CAB International. Wallingford, U. K. 1-26.

Talhinhas, P., Sreenivasaprasad, S., Neves-Martins, J., & Oliveira, H. (2002). Genetic and morphological characterization of *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose of lupins. *Phytopathology*, 92(9), 986-996.

Talhinhas, P., Sreenivasaprasad, S., Neves, J., and Oliveira, H. (2005). Molecular and phenotypic analyses reveal association of diverse *Colletotrichum acutatum* groups and a low level of *C. gloeosporioides* with olive anthracnose. *Applied and Environmental Microbiology* 71:2987-2998.

Téliz Ortíz, D., y Mora Aguilera, A. coordinadores (2007). El Aguacate y su Manejo Integrado. Ed. Mundi-Prensa. 2ª Ed 2007. 323 p. ISBN 978-968-7462-43-12007.

Timmer, L. W., & Zitko, S. E. (1996). Evaluation of a model for prediction of postbloom fruit drop of citrus. *Plant Disease*, 80(4), 380-383.

White, T. J., Bruns, T., Lee, S. J. W. T., & Taylor, J. W. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, 18(1), 315-322.

Whitelaw-Weckert, M. A., Curtin, S. J., Huang, R., Steel, C. C., Blanchard, C. L., & Roffey, P. E. (2007). Phylogenetic relationships and pathogenicity of *Colletotrichum acutatum* isolates from grape in subtropical Australia. *Plant Pathology*, 56(3), 448-463.

Wolstenholme, B. N. (2007). *Ecología: El Clima y el ambiente edáfico*. El Palto. Botánica, Producción y Usos, Ediciones Universitarias de Valparaiso. p. 75-101.

Yakoby, N., Zhou, R., Kobilier, I., Dinoor, A., and Prusky, D. (2001). Development of *Colletotrichum gloeosporioides* restriction enzyme-mediated integration mutant as biocontrol agents against anthracnose disease in avocado fruits. *Phytopathology* 91:143-148.

Zapata, J. E., Ochoa, A. S., Ceja, E. J., Gómez V. F. A., Ríos, M. A. F. (2014). Manual técnico postcosecha del aguacate Hass (*Persea americana* Mill). Corporación Red

Especializada de Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Agropecuario-CENIREC. 13.