



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

EFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL EN EL CONTROL DE *Colletotrichum* spp. EN AGUACATE, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN

FRANCISCO MÉNDEZ JAIMES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO


2020

La presente tesis titulada: **EFFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL EN EL CONTROL DE *Colletotrichum* spp. EN AGUACATE, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN**, realizada por el alumno: **FRANCISCO MENDEZ JAIMES** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



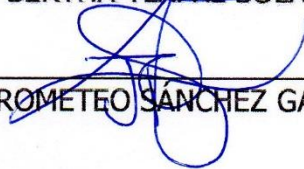
DR. ERNESTO GABRIEL ALCÁNTAR GONZÁLEZ

ASESOR (A)



DRA. BERTHA Tlapal Bolaños

ASESOR (A)



DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, abril de 2020

EFFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL EN EL CONTROL DE *Colletotrichum* spp. EN AGUACATE, EN EL ESTADO DE MICHOACÁN.

**Francisco Méndez Jaimes, M. en C.
Posgrado en Edafología**

RESUMEN

El impacto de la nutrición mineral con P, Ca, Mn y Si en el control de la incidencia de antracnosis causada por *Colletotrichum* spp. en aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. “Hass”, fue evaluada en parcelas con un diseño de bloques al azar con 23 tratamientos, generados a partir de diferentes niveles de los nutrimentos estudiados, su combinación y comparación con la fertilización comercial de la zona. De acuerdo a la recomendación los productos fueron aplicados al suelo una vez por mes y vía foliar cada dos semanas. Las variables evaluadas fueron porcentaje de incidencia de antracnosis en floración (Pinc) y porcentaje de infección en frutos (Pi); evaluación foliar de los nutrimentos Ca, P, Mn y Si, en el control de *Colletotrichum* spp.; así como porcentaje de amarre de fruto (PAM). Se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de las variables Pinc y Pi; el porcentaje de correlación entre ABCPEPinc, y ABCPEPi en frutos y en PAM, en relación a los parámetros para cada nutrimento evaluado en el tejido vegetal. Como resultado, la ABCPEPinc se mantuvo sin variación significativa (Tukey, $\alpha=0.05$) en los tratamientos que contenían Ca. El ABCPEPinc se correlacionó de manera negativa (inversa) con el contenido de Mn, disminuyendo en un 34%. En forma similar ABCPEPi se correlacionó con P y Si disminuyendo la infección de *Colletotrichum* spp. en 29 y 32% respectivamente. El PAM aumentó en promedio 9% cuando se aplicaron tratamientos que contenían P, Mn y Si. El mejor tratamiento fue la combinación de P+Mn (T22) disminuyendo el ABCPEPinc y el ABCPEPi, e incrementando PAM.

Palabras clave: Aguacate, Correlación, Incidencia, Control

EFFECT OF MINERAL NUTRITION ON THE CONTROL OF *Colletotrichum* spp. IN AVOCADO, IN THE STATE OF MICHOACÁN

**Francisco Méndez Jaimes, MSc.
Edaphology Graduate Program**

ABSTRACT

The impact of mineral nutrition with P, Ca, Mn and Si in the control of the incidence of anthracnose caused by *Colletotrichum* spp. in avocado (*Persea americana* Mill.) cv. "Hass" was evaluated in plots with a randomized block design with 23 treatments, generated from different levels of the nutrients studied, their combination and comparison with the commercial fertilization of the area. According to the recommendation, the products were applied to the soil once a month and via foliar every two weeks. The variables evaluated were percentage of incidence of flowering anthracnose (Pinc) and percentage of infection in fruits (Pi); foliar evaluation of the nutrients Ca, P, Mn and Si, in the control of *Colletotrichum* spp.; as well as percentage of mooring of fruit (PAM). The area under the disease progress curve (ABCPE) of the variables Pinc and Pi was calculated; the percentage of correlation between ABCPEPinc, and ABCPEPi in fruits and in PAM, in relation to the parameters for each nutrient evaluated in plant tissue. As a result, ABCPEPinc remained without significant variation (Tukey, $\alpha = 0.05$) in treatments containing Ca. ABCPEPinc correlated negatively (inversely) with the content of Mn, decreasing by 34%. Similarly, ABCPEPi correlated with P and Si, decreasing *Colletotrichum* spp. infection by 29 and 32% respectively. MAP increased on average 9% when treatments containing P, Mn and Si were applied. The best treatment was the combination of P+Mn (T22) by decreasing ABCPEPinc and ABCPEPi, and increasing PAM.

Keywords: *Avocado, Correlation, Incidence, Control*

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México por la beca otorgada a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Al Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas para realizar mis estudios de maestría.

A Dios por darme vida y la satisfacción de llegar a mi meta deseada.

A mi consejo particular Dr. E. Gabriel Alcántar González, por ser participe como consejero de este trabajo, Dra. Bertha Tlapal Bolaños, Dr. Prometeo Sánchez García, a todos ustedes gracias por el tiempo dedicado a este trabajo, así como revisión y recomendaciones acertadas.

A mi familia por permitirme llegar hasta donde me encuentro y ser parte de cada paso que doy.

A mi hija Arlyn Méndez por motivarme siempre y darme fuerza en los momentos que más lo necesitaba.

A Laura E. por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos Jonatan y Jafet por su apoyo.

A mi padre Godofredo Méndez V. y mi madre Angélica Jaimes por confiar en mí, ya que sin su ayuda esto no se hubiera llevado a cabo.

A los profesores del postgrado en Edafología que han contribuido en mi formación académica y personal, especialmente a: Dra. Libia Trejo Téllez, por las facilidades otorgadas. A Juan Manuel, Don Robert, Wences y a la Dra. Lupita por la ayuda en el laboratorio.

No tengo palabras para expresar mi gratitud a: Dr. Luis Olvera Cruz, M.C. Marco Antonio González Patricio, Dr. Benjamín González, Dra. Oralia Sánchez, M.C. Fanny L. González, Ing. Laura E. Jacobo, Ing. Estela López, Ing. Esteban Marín, Dra. Mariel por compartir su conocimiento y su disposición a ayudarme en todo momento.

A todas aquellas personas que contribuyeron para que la realización de la presente investigación se llevara a cabo.

Gracias de todo corazón

Atentamente:

M. en C. Francisco Méndez Jaimes

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

ARLYN MÉNDEZ VALENCIA

GODOFREDO MÉNDEZ VARGAS

ALEJANDRO MÉNDEZ VARGAS †

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis general.....	4
Hipótesis específicas.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
El cultivo del aguacate.....	5
Descripción y características taxonómicas del aguacate.....	5
Importancia económica.....	7
Las enfermedades como factor limitante en la productividad agrícola.....	10
Principales problemas en la producción de aguacate.....	11
Antracnosis (<i>Colletotrichum</i> spp.).....	13
Distribución	13
Descripción del patógeno:	13
Condiciones para su desarrollo:	14
Nutrimentos y su función en el cultivo de aguacate.....	14
Fósforo (P).....	14
Calcio (Ca).....	15
Manganeso (Mn).....	16
Silicio (Si).....	16
Relación de la nutrición mineral con <i>Colletotrichum</i> spp.....	17
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	19
Ubicación del experimento.....	19

Selección de huerto	20
Material vegetal.....	20
Tratamientos.....	21
Muestreo foliar y de suelo.....	23
Manejo del huerto	23
Nutrición.....	23
Riego	24
Plagas y enfermedades	24
Control de malezas	24
Diseño experimental y análisis estadístico.....	24
Variables a evaluar.....	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
ABCPE de <i>Colletotrichum</i> spp. en flores y frutos de <i>Persea americana</i> Mill y su impacto en el amarre de frutos.....	27
Contenido de nutrimentos en el tejido vegetal y su impacto en la incidencia de <i>Colletotrichum</i> spp. en ABCPEPinc, ABCPEPi y PAM de <i>Persea americana</i> Mill.	29
VI. CONCLUSIONES.....	38
VII. LITERATURA CITADA	39
ANEXOS.....	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración nutrimental en las muestras del suelo del huerto “El Refugio” en el periodo de 2016-2019 que se utilizaron para realizar el manejo nutrimental.	20
Cuadro 2. Concentración nutrimental en las muestras foliares del huerto “El Refugio” en el periodo de 2016-2019 que se utilizaron para realizar el manejo nutrimental.	21
Cuadro 3. Nutrimientos, Fertilizantes y vía de aplicación utilizados para generar los tratamientos.	22
Cuadro 4. Productos comerciales para control de plagas para el ciclo 2019.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales países productores de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) a nivel mundial en el 2017 según lo reportado por FAOSTAT (2019).	8
Figura 2. Rendimiento promedio anual de producción de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) en México del año 2000 al 2017, según lo reportado por FAOSTAT (2019).	9
Figura 3. Superficie cosechada anual de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) en México del año 2000 al 2017, según lo reportado por FAOSTAT (2019).	10
Figura 4. Localización del experimento en el huerto “El Refugio”, municipio de Salvador Escalante, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia.	19
Figura 5. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc;A), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi;B) de antracnosis (<i>Colletotrichum</i> spp.) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;C) de <i>P. americana</i> , bajo diferentes tratamientos en la nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16).....	28
Figura 6. Concentración de calcio en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de <i>Colletotrichum</i> spp., (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de <i>P. americana</i> , bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16).	31
Figura 7. Concentración de fósforo en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de <i>Colletotrichum</i> spp., (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de <i>P. americana</i> , bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16).	32

- Figura 8.** Concentración de Manganeso en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de *Colletotrichum* spp., (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de *P. americana* , bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16). 34
- Figura 9.** Concentración de silicio en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de *Colletotrichum* spp (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de *P. americana*, bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16). 35

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas son la mayor fábrica de alimento en la naturaleza, utilizan los elementos químicos disueltos en el agua y gases en el aire, mismos que son transformados con la ayuda de la energía de la luz a través de la fotosíntesis (George, 2016). Una idea que preocupa a la humanidad es la conservación de su propia existencia y esta solo es posible si se logra la seguridad alimentaria (Gouda *et al.*, 2018), en la cual hay que considerar al suelo y a su dinámica (Paustian *et al.*, 2016). Los microorganismos que colonizan las superficies de las plantas y tejidos internos intervienen en la salud y productividad de cada persona (Cordovez *et al.*, 2019). Cuando estos microorganismos son el origen de enfermedades (factor biótico), hacen que los productores incrementen la cantidad de pesticidas, aumentando así los costos de producción, el impacto sobre el ambiente (Rakshit, 2013) y disminuyendo hasta en un 35 % los rendimientos (Raza, 2010; Popp *et al.*, 2013). Además de ello se sabe que la absorción de agua y nutrimentos del suelo es el factor ambiental más común que limita el crecimiento de las plantas (Gouda *et al.*, 2018), esto a menudo resulta en un desequilibrio (estrés), lo que incrementa la susceptibilidad a las plagas y enfermedades (Magdoff y Van es, 2000).

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se ha posicionado como un cultivo importante a nivel mundial, aunque su importancia comercial es relativamente reciente (Vergara-Pulgar *et al.*, 2019). Se tienen registros de su uso desde hace al menos 9 000 años en su centro de origen ubicado entre México y Centroamérica (Smith, 1966; Chanderbali *et al.*, 2008; Boza *et al.*, 2018). No es de extrañar que esta región sea la zona productora más importante siendo México el principal país productor, exportador y consumidor de manera sostenida de *P. americana*. La producción mundial en 2017 fue de 6 048 508 Mg de los cuales México aportó 2 029 886 Mg, cosechados en 188 723 ha (FAOSTAT, 2019).

Debido a que el cultivo de *P. americana* es propenso a enfermedades se considera una inversión de alto riesgo (Chávez-Magdaleno *et al.*, 2019), representando la mayor amenaza para el comercio internacional del aguacate, debido a los altos estándares de calidad por parte del mercado internacional (García *et al.*, 2013). La mayoría de los autores consideran a la antracnosis (*Colletotrichum* spp.) como la principal enfermedad del aguacate, ocasionando problemas de calidad, principalmente, ya que genera pudrición de la fruta (García *et al.*, 2013; Trinidad-Ángel *et al.*, 2017; Chávez-Magdaleno *et al.*, 2019). Ante la gravedad del problema es necesario explorar diferentes opciones para lograr su control, se sabe que la nutrición puede tener impactos significativos en el desarrollo de diferentes enfermedades, en particular la nutrición con nitrógeno (N), silicio (Si), calcio (Ca) han demostrado tener efectos positivos en el control de la incidencia de *Colletotrichum* spp. (Babalola, 2007; Yang *et al.*, 2008a; Yang *et al.*, 2008b; Weerahewa and David, 2015). Por lo que el objetivo de esta investigación es determinar en qué magnitud el P, Ca, Mn y Si favorecen la tolerancia al estrés que provoca incidencia de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.).

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

Determinar en qué magnitud P, Ca, Mn y Si favorecen la tolerancia a la incidencia e infección por antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto P, Ca, Mn y Si sobre la incidencia de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en la floración de aguacate (*Persea americana* Mill.)
2. Determinar el efecto P, Ca, Mn y Si en la infección por antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.)
3. Describir la interacción entre P, Ca, Mn, Si y la proliferación de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en el amarre de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.)

Hipótesis general

La nutrición con P, Ca, Mn y Si afecta significativamente la tolerancia a la incidencia e infección por antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.).

Hipótesis específicas

1. El manejo de la nutrición con P, Ca, Mn y Si afecta significativamente la incidencia de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en la floración de aguacate (*Persea americana* Mill.)
2. El manejo de la nutrición con P, Ca, Mn y Si afecta significativamente la infección por antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.)
3. La interacción entre P, Ca, Mn, Si y la proliferación de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) afecta significativamente el amarre de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.)

III. REVISIÓN DE LITERATURA

El cultivo del aguacate

El aguacate (*Persea americana* Mill.) se ha posicionado como un cultivo importante a nivel mundial, aunque su importancia comercial es relativamente reciente (Vergara-Pulgar *et al.*, 2019), sin embargo, se ha usado durante al menos 9 000 años en su centro de origen ubicado entre México y Centroamérica (Smith, 1966; Chanderbali *et al.*, 2008; Boza *et al.*, 2018). Las etapas vegetativas están bien marcadas siendo la floración y desarrollo de frutos los procesos más importantes, con duración de uno a tres meses, generando diferencias importantes en las edades fisiológicas de la fruta dentro del mismo árbol (Vergara-Pulgar *et al.*, 2019). Presenta desarrollo de fruto variado, aunque generalmente se caracteriza por un comportamiento bifásico: la primera es la maduración de la fruta y ocurre mientras la fruta está unida al árbol, una segunda comienza después de la cosecha, se caracteriza por un aumento en los niveles de etileno y la tasa de respiración, lo que llega a la maduración, siendo este comportamiento uno de los retos para los productores (Chanderbali *et al.*, 2008). En lo que respecta a las variedades, en este caso cultivares, el 'Hass' es especialmente importante para los productores de aguacate en todo el mundo.

Descripción y características taxonómicas del aguacate

Pertenece a la familia Lauraceae, una de las familias de plantas con flores más antiguas y más grandes que incluye más de 50 géneros (Bergh y Ellstrand, 1986). Dentro de los cuales el género *Persea* se clasifican en dos subgéneros, *Eriodaphne* y *Persea*, incompatibles entre ellas (Boza *et al.*, 2018). En donde los aguacates comerciales se encuentran dentro del subgénero *Persea* y de la especie *americana*, es importante considerar que aún no se conocen todas las especies que

pueden existir dentro de este subgénero. Sin embargo, la mayoría de las especies emparentadas con el aguacate se encuentran principalmente en la misma región: desde el centro de México hasta América Central (Bergh, 1992). Un hecho importante es que las especies dentro de esta familia son difíciles de clasificar morfológicamente debido a la variabilidad en las flores principalmente, es por ello que se han desarrollado técnicas moleculares que ha permitido clasificar de mejor manera a los diferentes individuos pertenecientes o no a la familia con el objetivo de apoyar los programas de mejoramiento genético (Boza *et al.*, 2018).

Se consideran ocho variedades bien definidas o ecotipos geográficos de *Persea americana*, de las cuales la producción de aguacate comercial se basa en selecciones dentro de tres razas y de híbridos entre ellas: La raza mexicana, *P. americana* var. *Drymifolia* (Schltdl. & Cham.) S.F. Blake, está adaptada a las tierras altas tropicales, la Raza guatemalteca, *P. americana* var. *guatemalensis* (L.O. Williams) Scora, se adapta a elevaciones medias en los trópicos y la raza antillana, *P. americana* var. *americana* Mill., se adapta a los trópicos húmedos en tierras bajas (Bergh, 1992; Chanderbali *et al.*, 2008; Boza *et al.*, 2018). Ejemplo de estas cruzas son el cv. ‘Hass’ y el cv. ‘Fuerte’ (Raza mexicana x Raza guatemalteca).

Bergh y Ellstrand (1986) describieron morfológicamente los frutos de cada una de las tres grandes razas de aguacates (variedades en términos taxonómicos):

- *Raza guatemalteca*: La piel gruesa y rugosa (por lo que es difícil saber cuándo está maduro), protegiendo la pulpa en su interior, su semilla generalmente es pequeña y está unida a la pulpa (apretada).
- *Raza mexicana*: tiene una piel delicada que proporciona poca protección (envío o manejo de la fruta), la semilla es grande y a menudo no está unida a la pulpa (suelta), en general los frutos son más pequeños de lo que es comercialmente deseable.

- *Raza antillana*: la brida del pedicelo de esta raza en su punto de unión a la fruta se conoce como "nail-head" (cabeza de clavo). Su corteza es delgada y la semilla está unida con la pulpa. En comparación con las otras dos razas los pedicelos tienden a ser más gruesos y cortos.

Importancia económica

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es un fruto de importancia económica y una de las mejores opciones para los productores debido al crecimiento de la demanda y por la activación de la industria poscosecha (Guillén *et al.*, 2007). México es el principal productor y exportador de aguacate del mundo, la producción anual es de 2 029 886 Mg, cosechadas en 188 723 ha (FAOSTAT, 2019).

El cultivo comercial de aguacate se ha expandido a gran parte del mundo, y en 2017 se habían producido 6 048 508 de Mg (FAOSTAT, 2019) lo que representa un crecimiento del 64% respecto al cierre del 2007 (3 683 499 Mg), con esto podemos decir que el crecimiento en producción se ha duplicado en la última década, este comportamiento se ve reflejado en la superficie cosechada a nivel mundial, pasando de 400 986 ha en 2007 a 607 542 ha en 2017 representando un crecimiento del 51% respecto al 2007 (FAOSTAT, 2019). Los diez principales países productores de aguacate en 2017 fueron: México, República Dominicana, Perú, Indonesia, Colombia, Brasil, Kenia, Venezuela, Chile y EE. UU. en orden descendiente (Figura 1). México, el principal productor y consumidor, actualmente representa el 33.5% de la producción mundial (FAOSTAT, 2019).

A nivel nacional el desarrollo en la producción de aguacate en los últimos 10 años ha sido exponencial tanto en superficie cosechada como en rendimiento, pasando de 1 142 892 Mg en

2007 a 2 029 886 Mg en 2017, lo que representa un crecimiento del 77% respecto al 2007 y del 123% respecto al año 2000 (907 439 Mg), esta tendencia ha mantenido a México como el primer productor mundial de aguacate (Figura 2). La superficie cosechada por su parte paso de 110 377 ha en el 2007 a 188 723 ha en 2017, lo que representa un incremento de del 70% respecto al 2007 y del 100% respecto al año 2000, pero es a partir del año 2012 cuando el crecimiento tiene una pendiente más pronunciada (figura 3). Por su parte el rendimiento promedio anual se ha mantenido en un promedio de 10 Mg ha⁻¹, teniendo años por debajo del promedio en 2010, 2014 y 2015 (FAOSTAT, 2019).

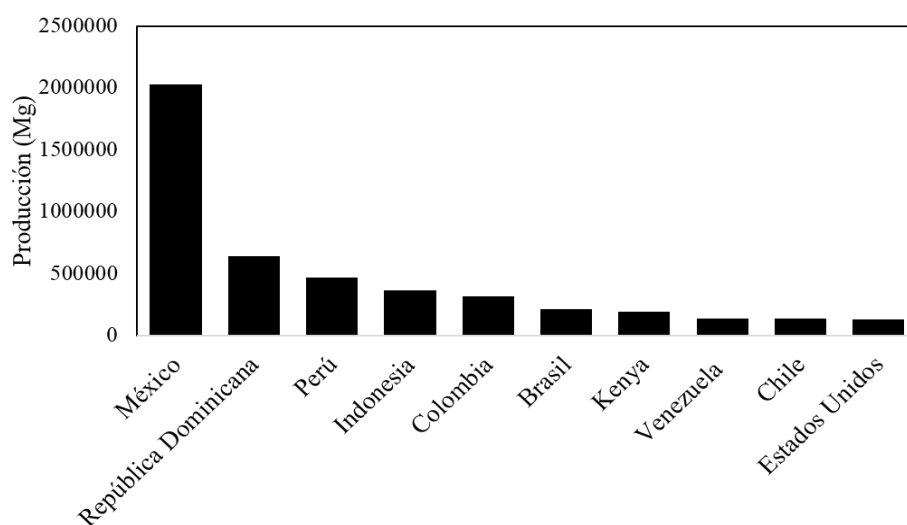


Figura 1. Principales países productores de aguacate (*Persea americana Mill.*) a nivel mundial en el 2017 según lo reportado por FAOSTAT (2019).

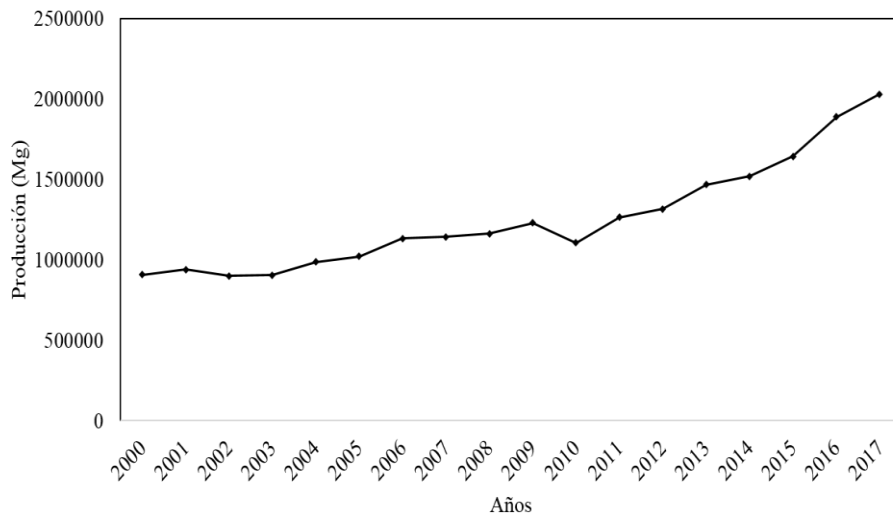


Figura 2. Rendimiento promedio anual de producción de aguacate (*Persea americana* Mill.) en México del año 2000 al 2017, según lo reportado por FAOSTAT (2019).

Michoacán, Jalisco, México, Nayarit y Morelos concentran el 95% de la producción nacional, sin embargo, la aportación por estados señala que Michoacán aporta el 77% (1 565 896 Mg) de la producción nacional mientras que Jalisco como segundo productor nacional aporta el 8% (169 688 Mg), el Estado de México como tercero aporta 5% (108 768 Mg), Nayarit el 2.4% (49 246 Mg) y Morelos con 1.7% (34 846 Mg), el restante 5% se produce en el resto del país. El destino de la producción nacional es la exportación, siendo Estados Unidos el comprador más importante, ya que 4 de cada 5 dólares proviene de la venta hacia ese país. A partir del año 2012 las exportaciones mexicanas presentaron un incremento exponencial pasando de 1 010 millones de dólares en el año 2012 a 2 961 millones de dólares en 2017 (SIAP, 2018).

Estos números dan cuenta de la importancia del aguacate para México, al día de hoy se puede encontrar aguacates de origen mexicano casi en todo el mundo destacando el mercado de EE.UU., Europa, Asia, Medio oriente, América del sur y Australia (SIAP, 2018).

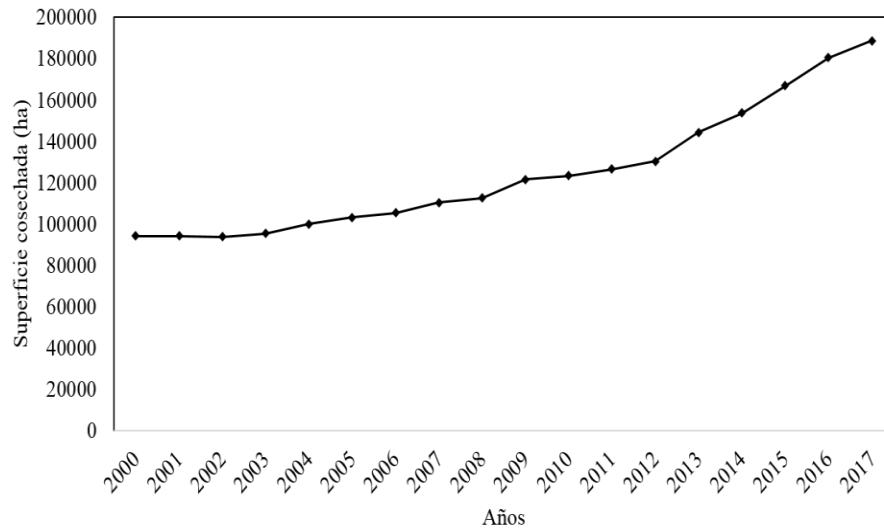


Figura 3. Superficie cosechada anual de aguacate (*Persea americana* Mill.) en México del año 2000 al 2017, según lo reportado por FAOSTAT (2019).

Las enfermedades como factor limitante en la productividad agrícola

Un aspecto importante en los costos de producción de la agricultura moderna es la inversión en el control de enfermedades, esta actividad es de suma importancia para lograr que los cultivos sean productivos y por lo tanto rentables, sin embargo, esto cada vez es más complejo debido a la combinación de factores como el cambio climático y la generación de resistencia por parte de algunos vectores y enfermedades, esto solo ocasiona que el mercado este inundado de químicos y pesticidas que año con año se requieren en cantidades cada vez mayores (Rakshit, 2013), además cuando no se usan de manera adecuada pueden causar daños importantes a los aplicadores y en general al medio ambiente (p.e. pérdida de polinizadores naturales). El impacto generado por las plagas en la agricultura traducido a porcentaje de perdidas ha aumentado de 7.5 a 15% en los últimos 30 años (Raza, 2010) sin embargo, otros autores elevan este porcentaje a 35% (Popp *et al.*, 2013).

Hay que considerar el nivel tecnológico y el tipo de agricultura que se está realizando, en condiciones donde el productor puede hacer una inversión mayor sabiendo que la tasa de retorno compensará la inversión los porcentajes de afectación son bajos, sin embargo, cuando la agricultura es de subsistencia este impacto aumenta llegando a afectar a más del 50 % del rendimiento (Popp *et al.*, 2013).

Otra razón por la cual la incidencia de enfermedades ha aumentado es el suministro desequilibrado de nutrientes al cultivo, esto a menudo resulta en un crecimiento desequilibrado (exuberante o raquítico) provocando estrés a las plantas lo cual hace que el cultivo sea más susceptible a las plagas (Magdoff y Van es, 2000).

Principales problemas en la producción de aguacate

La producción de aguacate, como la de muchos otros cultivos, está sujeta a las condiciones bióticas y abióticas de las zonas donde se cultivan (Tamez Guerra *et al.*, 2001), cuando esas condiciones se vuelven desfavorables debido a la constante variación ambiental o por efecto intrínseco del cultivo, se dan las condiciones para que las enfermedades aparezcan y afecten directamente a la planta y/o parte de ellas (p.e. los frutos), la mayoría de las enfermedades pueden ser de origen biótico es decir, por las mismas condiciones del medio estas pueden aparecer y prosperar (Trinidad-Ángel *et al.*, 2017), por ello existen dos formas de referir el origen de las enfermedades, las de origen biogénico, las cuales son causadas por microorganismos (hongos, bacterias, y nemátodos) entran también las causadas por virus y viroides, y las de origen abiogénica, que son por causas ambientales (heladas, deficiencias nutrimentales, salinidad etc.). Dadas estas condiciones se dice que las enfermedades biogénicas pueden ser transmisibles y las abiogénicas no (Téliz y Mora, 2015)

Debido a que el aguacate es propenso a enfermedades se considera una inversión de alto riesgo (Chávez-Magdaleno *et al.*, 2019), lo que ha llevado a que las enfermedades sean la mayor amenaza para el comercio internacional del aguacate, debido a los altos estándares de calidad por parte del mercado internacional (García *et al.*, 2013). Dentro de las principales enfermedades que se presentan en el cultivo de aguacate destacan: la roña (*Sphaceloma perseae*) que ataca el fruto, hojas y ramas jóvenes, en el fruto provoca lesiones de color café, de aspecto corchoso, que al unirse pueden cubrir parte o todo el fruto, otra enfermedad importante es el anillamiento del pedúnculo (*Alternaria* spp., *Colletotrichum* spp., *Fusarium* spp., *Corynebacterium* spp., *Pseudomonas* spp. y deficiencias de zinc), la cual se presenta como una incisión o anillo en el pedúnculo de los frutos, la pudrición del fruto de aguacate en postcosecha (*Diplodia* spp., *Alternaria* spp., *Verticillium* spp., *Fusarium* spp., *Colletotrichum gloeosporioides*, *Sphaceloma perseae*) provoca pudrición seca café oscura en la pulpa, la tristeza del aguacate (*Phytophthora cinnamomi* **Rands**) caracterizada por un decaimiento general de la parte aérea, una clorosis progresiva en todo el follaje, y finalmente el árbol termina por morir, también se presenta el cáncer de tronco y ramas (*Nectria galligena*, *Fusarium episphaeria*), la cual provoca manchas acuosas de 1 cm², de coloración oscura y de crecimiento progresivo, llegando a invadir y dañar al tronco en forma parcial o total (García *et al.*, 2013; Téliz y Mora, 2015). Sin embargo, la mayoría de los autores consideran a la antracnosis (*Colletotrichum* spp.) como la principal enfermedad del aguacate, ocasionando problemas de calidad, ya que genera pudrición de la fruta (García *et al.*, 2013; Trinidad-Ángel *et al.*, 2017; Chávez-Magdaleno *et al.*, 2019).

Antracnosis (*Colletotrichum* spp.)

Colletotrichum es un género de hongos de importancia agronómica debido a que es causante de la enfermedad denominada antracnosis a diversos géneros de plantas, sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Ávila-Quezada, 2015). Constituye uno de los factores que limitan la disponibilidad de fruta para exportación aún en postcosecha, y en México es una de las enfermedades más importantes, ya que aparte del daño físico a los frutos que limitan su comercialización, también eleva los costos de producción. La antracnosis se caracteriza por presentar lesiones oscuras y hundidas, circulares elipsoidales, con grandes cantidades de esporas formando masas compactas de color salmón, naranja o rosas (Coria *et al.*, 2009).

Distribución: Se presenta en forma habitual en casi todas las huertas de las zonas aguacateras, según lo recopilado por Téliz y Mora (2015), la antracnosis está presente en las zonas aguacateras de México, Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, India, Sudáfrica, Sri Lanka, Argentina y Puerto Rico. En México afecta principalmente al estado de Michoacán, como principal productor, y en menor o mayor grado a el resto de las zonas productoras. García *et al.* (2013) destacaron que los municipios productores de aguacate afectados son: Uruapan con 57%, Peribán 50%, Tacámbaro 74%, Tinguindín con 67% y Zitácuaro con 42% de huertas con incidencias de antracnosis.

Descripción del patógeno: El hongo del género *Colletotrichum* puede ser observado a simple vista como un polvillo de color blanco en escala hasta el gris oscuro llegando a los tonos naranja-rojizo (García *et al.*, 2013; Ávila-Quezada, 2015; Trinidad-Ángel *et al.*, 2017) sobre los frutos de aguacate, ramas y hojas tanto en la planta como en el suelo (Ávila-Quezada, 2015). Presenta micelio aéreo, con apresorios clavados, de forma ovalada y algunas veces lobulados, en color sepia, presentan un tamaño de 6-20 x 4-12 μm (Ávila-Quezada, 2015). Presenta conidios

unicelulares de 12-17 x 3.5-6 μm , hialinos, dentro de una matriz de color salmón dentro del acérvulo, que también es de color salmón y presenta setas (Ávila-Quezada, 2015). Se puede hacer mención que de acuerdo a Trinidad-Ángel *et al.* (2017) el agente causal de la antracnosis tiene gran variabilidad morfológica debido a los parámetros como; las condiciones de incubación, temperatura, nutrición y humedad.

Condiciones para su desarrollo: Las condiciones ambientales para que el hongo aparezca están dadas por una alta humedad relativa (85-90%), presencia de lluvia (>1 500 mm anuales) y un rango de temperatura de 18 a 25 °C (García *et al.*, 2013). Además de ello, los insectos, el agua, viento e incluso el hombre son transportadores que ayudan a que el hongo se disperse. Para las condiciones de México y en particular en el estado de Michoacán, la infección más severa se presenta en el periodo de junio a agosto (época húmeda) y en menor grado en los meses de febrero y marzo (época seca; García *et al.*, 2013).

Nutrientes y su función en el cultivo de aguacate

Fósforo (P)

El P se encuentra en la solución del suelo principalmente en formas, orgánicas e inorgánicas, además puede estar ligado a la materia orgánica (MO), retenido en forma mineral poco soluble y la más importante desde el punto de vista agronómico, en solución (Nuñez-Escobar, 2016). La disponibilidad para las plantas se ve afectada por el pH del suelo, la humedad del suelo, el tipo de suelo, el contenido de MO, la cantidad de Calcio (Ca) y Aluminio (Al) en el suelo. Las plantas de aguacate toman el P en forma de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} (Tapia *et al.*, 2015) siendo importante por su función estructural en los ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfolípidos, nucleótidos, almacenamiento y transferencia de energía, ya que se encuentra formando parte del AMP sustancia

que da origen al ATP y ADP que funcionan como precursores de coenzimas NAD y NADP (Tapia *et al.*, 2015; Alcántar-González *et al.*, 2016). Por ello en el cultivo de aguacate cuando se presentan deficiencias se verán afectados los procesos metabólicos como: el crecimiento y desarrollo de raíces y brotes, la fructificación presenta un desarrollo pobre de frutos y semillas. Por otra parte, el exceso de P puede inducir deficiencia de K (Stassen *et al.*, 1997). Se reporta como un contenido óptimo de P en las hojas de aguacate cercano al 0.15 % según los experimentos de Snijder y Stassen (2000), aunque se sugiere ser precavidos en el manejo nutrimental dependiendo de los objetivos deseados.

Calcio (Ca)

Casi siempre está presente en la solución del suelo, su factor limitante es la baja movilidad que presenta tanto en el suelo como en la planta, por ello los factores que afectan la movilidad influyen indirectamente en la absorción de Ca. Las plantas absorben a este nutrimento en su forma iónica (Ca^{2+}) siendo el flujo de masas el principal mecanismo por el que llega a las plantas (Tapia, *et al.*, 2015; Núñez-Escobar, 2016). Las deficiencias se producen en los brotes nuevos (baja movilidad). Otro factor que influye es el pH del suelo, ya que a valores bajos (<4) el calcio suele formar precipitados con otros elementos. La principal función del Ca en las plantas es estructural, formando parte de la estructura de los pectatos de calcio (pectina) cuya función es fortalecer las paredes celulares, además participa en la translocación de compuestos y también en el alargamiento y división celular (Alcántar-González, 2016), por tanto, síntomas de su deficiencia son la falta de turgencia, hojas enroscadas y en casos severos necrosis. En el cultivo de aguacate las deficiencias conducen a la reducción y al debilitamiento del tejido meristemático y pueden conducir a diversas deformidades. En el fruto existen numerosos problemas fisiológicos que se a

asocian a este nutrimento (Stassen, *et al.*, 1997). Un contenido óptimo de Ca en las hojas de aguacate debe estar cercano al 1.2 % según los experimentos de Snijder y Stassen (2000).

Manganeso (Mn)

Está presente en el suelo en forma de cationes intercambiables, en combinaciones orgánicas y como óxidos que dependen del pH, encontrándose en su forma divalente, trivalente y tetravalente. De manera general se considera un nutrimento en suficiencia en el suelo sin embargo su asociación con la MO, al ser un metal es propenso a oxidarse y la humedad son factores que afectan su disponibilidad de forma negativa, por otra parte el exceso provoca toxicidad para algunas especies de plantas (Nuñez-Escobar, 2016). El Mn, posee en los vegetales un papel preponderantemente estructural, formando parte de metaloproteínas como de enzimas (Rodríguez *et al.*, 2014), en la planta se encuentra principalmente como divalente (Mn^{2+}), y se considera un activador de alrededor de 35 enzimas (Alcántar-González, 2016). En el cultivo de aguacate se le asocia con el crecimiento y la reproducción (Tapia, *et al.*, 2015). Las deficiencias dañarán importantes funciones fisiológicas y bioquímicas, ocurriendo primero en hojas maduras provocando clorosis intervenal, y en estados avanzados necrosis (Tapia *et al.*, 2015). En frutos, se ha relacionado el contenido foliar de Mn y la calidad debido a la relación directa con variables como la acidez y sólidos solubles (Torres, 2009).

Silicio (Si)

En la solución del suelo, el silicio está en forma de ácido monosilícico ($Si(OH)_4$), siendo esta la principal forma de absorción por parte de las plantas (Miyake y Takahashi, 1983; Tapia, *et al.*, 2015). Es amplia la cantidad de plantas que contienen Si, esto se debe principalmente a su

abundancia, sin embargo, aún no se considera un nutrimento esencial, siendo considerado dentro de los nutrimentos benéficos (Trejo-Téllez *et al.*, 2016). La aplicación de silicio ha favorecido el crecimiento y desarrollo de plantas en condiciones de estrés biótico y abiótico (Parra-Terraza *et al.*, 2004; Tapia, *et al.*, 2015; Trejo-Téllez, *et al.*, 2016).

Relación de la nutrición mineral con *Colletotrichum* spp.

Los primeros reportes de ensayos nutricionales realizados al género *Colletotrichum* en aislamientos, los reporta Tandon y Chandra (1962) que las pruebas realizadas hasta ese momento arrojaban resultados variables sobre el efecto de la nutrición con carbono, nitrógeno y azufre, por lo cual estos autores decidieron efectuar pruebas de nutrición con los elementos mencionados sobre un aislado de *Punica granatum* L. para comprobar el desarrollo y la esporulación de *Colletotrichum gloeosporioides*, encontrando que este podía esporular en un amplio rango de pH (3.0 a 8.5) siendo 6 el valor óptimo, como fuente de carbono destaco el manitol, junto con la maltosa, glucosa, galactosa y sacarosa. El nitrato obtuvo mejores resultados de crecimiento a comparación del amonio como fuente de nitrógeno. Kumara y Rawal (2008) realizaron pruebas de *C. gloeosporioides* obtenidas del cultivo de *Carica papaya* L. encontrando que la fructosa era la mejor fuente de carbono, como fuente de nitrógeno destaco el ácido aspártico, sin embargo, las fuentes que contenían nitrato también destacaron, esta investigación encontró que las muestras crecieron y esporularon mejor a una temperatura de 28 a 30 °C.

Respecto a la nutrición con nitrógeno y su relación con *Colletotrichum* spp. estudios como el de Yang y Chen (2005) buscaron relacionar la producción de hormonas endógenas y la antracnosis provocada por *Colletotrichum higginsianum*, encontrando una estrecha relación entre

los niveles bajos de nitrógeno y el aumento las hormonas y la antracnosis, lo que sugiere que la buena nutrición con nitrógeno es una estrategia para prevenir la incidencia de antracnosis.

Por su parte Yang *et al.*, (2008a) indicaron que la nutrición con Si podía controlar la aparición de antracnosis, probando un cultivar resistente con baja aportación de Si contra un cultivar susceptible y una aportación mayor de Si, expresando su efecto en la formación de flores, tallos y el contenido de Si en la planta, Yang *et al.*, (2008b) evaluaron el efecto en la señalización química (fosfoinositidos y calmodulina) que emite la planta inoculadas con *Colletotrichum higginsianum* a diferentes niveles de aplicación de Si, en donde este se comportó como un regulador de estas señales. El nivel bajo de Si promovió la inducción de calmodulina por efecto de la antracnosis en el cultivar susceptible, mientras que el nivel medio de Si mostró un fuerte efecto promotor sobre la inducción en el cultivar resistente. Los cambios en el contenido de calmodulina después de la infección fueron débiles a niveles bajos y medios de Si. Por lo que se concluyó que la Calmodulina participa en la regulación del proceso de patogénesis de la antracnosis y que la nutrición con Si afecta significativamente este proceso de señalización como respuesta a una infección. Estudios recientes indican que el silicio puede reducir en un 80% las lesiones provocadas por antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) aplicando Si directamente al suelo (Weerahewa y David, 2015).

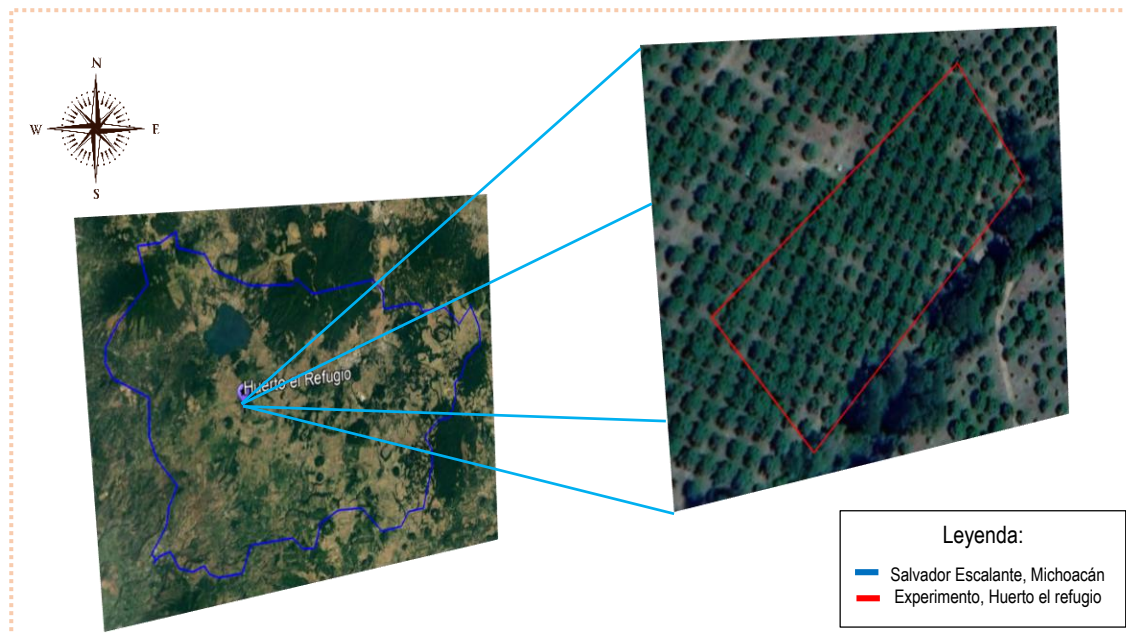
Por otra parte diversos estudios que buscan evaluar la efectividad de micoherbicidas (*Colletotrichum coccodes*), se fundamentan en la disminución de la defensa natural de las plantas promovidas por el calcio, bloqueando canales de transporte o precipitando el Calcio, con lo que se aumenta el efecto de los mico(Yang *et al.*, 2008; Weerahewa y David, 2015)herbicidas (Gressel *et al.*, 2002; Ahn *et al.*, 2005; Babalola, 2007), por lo que se puede entender que una estrategia para prevenir las infecciones por *Colletotrichum spp.*, sería aumentar la nutrición con calcio.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo de agosto a diciembre de 2019. Se estableció a nivel de campo abierto, en una huerta de 14 años ubicada en la localidad de Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México, en las coordenadas $19^{\circ} 23' 14.37''$ N, $101^{\circ} 43' 57.91''$ W (Figura 4), con una elevación de 2222 msnm (zona de lomeríos). El clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, localizado entre las isoyectas de 1200 a 1500 mm y entre las isotermas de 16 a 18° C que corresponden a C(w2) (templado subhúmedo con lluvias en verano; García, 2004). El tipo de suelo predominante es Andosol y la geología dominada por rocas de tipo ígneas extrusivas, características propias de las zonas volcánicas.

Figura 4. Localización del experimento en el huerto “El Refugio”, municipio de Salvador



Escalante, Michoacán, México. Fuente: elaboración propia.

Selección de huerto

Se eligió un huerto comercial de *P. americana* Mill. cv. ‘Hass’ bajo un sistema de producción de temporal. El huerto de aguacate contaba con 14 años de edad, sin síntomas visuales de daños por enfermedades, mantuvieron un programa de fertilización desde 2005 hasta inicios del 2019. Se cuenta con datos de los niveles nutrimentales que ha mantenido la huerta en el periodo de 2016-2019 (Cuadros 1 y 2), tanto en suelo como foliar.

Cuadro 1. Concentración nutrimental en las muestras del suelo del huerto “El Refugio” en el periodo de 2016-2019 que se utilizaron para realizar el manejo nutrimental.

Nutrimento	2016	2017	2018	2019
Materia Orgánica (%)	7.12	7.66	7.3	8.05
Nitrógeno como NO ₃ ⁻ (ppm)	22.3	57.3	32.4	36.3
Fósforo-Bray (ppm)	10.5	6.58	13.2	139.0
Potasio (ppm)	1348.0	614.0	2152.0	1964.0
Calcio (ppm)	2535.0	2154.0	2056.0	3168.0
Magnesio (ppm)	457.0	408.0	311.0	421.0
Azufre (ppm)	37.5	182.0	150.0	197.0
Hierro (ppm)	38.0	26.4	22.5	29.7
Zinc (ppm)	0.1	11.3	9.66	28.6
Manganeso (ppm)	0.7	6.88	4.13	11.4
Cobre (ppm)	88.0	11.5	9.47	15.1
Boro (ppm)	6.82	2.43	2.24	5.5
Sodio (ppm)	24.5	32.1	146.0	134.0

Simbología: ppm=Partes por millón; %=Porcentaje; NO₃⁻=ion nitrato.

Material vegetal

Como material vegetal se utilizó el cultivar ‘Hass’, injertado sobre patrón criollo (*Persea drymifolia*) originados por semilla procedentes de la misma localidad (Salvador Escalante). Para el desarrollo de este experimento se utilizaron 92 árboles bien desarrollados.

Cuadro 2. Concentración nutrimental en las muestras foliares del huerto “El Refugio” en el periodo de 2016-2019 que se utilizaron para realizar el manejo nutrimental.

Nutrimento	2016	2017	2018	2019
Nitrógeno Total (%)	2.91	2.35	2.21	2.05
Fosforo (%)	0.2	0.2	0.15	0.16
Potasio (%)	1.0	1.2	1.26	1.41
Calcio (%)	1.78	1.93	1.52	1.17
Magnesio (%)	0.43	0.75	0.59	0.5
Azufre (%)	0.42	0.32	0.25	0.2
Hierro (ppm)	92.7	252.0	185.0	167.0
Zinc (ppm)	38.9	32.1	41.5	14.0
Manganeso (ppm)	108.0	252.0	223.0	241.0
Cobre (ppm)	390.0	44.6	183.0	438.0
Boro (ppm)	26.3	21.3	16.1	20.9

Simbología: ppm=Partes por millón; %=Porcentaje.

Tratamientos

Se establecieron 23 tratamientos (Cuadro 3), que se aplicaron en combinación tanto al suelo como vía foliar de acuerdo a los resultados previos del análisis de suelo y del tejido vegetal para la huerta. Para la realización de los tratamientos se consideraron los niveles de nutrimentos P, Ca, Mn, Si.

El tratamiento T21 (fertilización comercial) que se aplicó al suelo se generó a partir del análisis que se realizó en el 2019 para lo cual se usaron los siguientes fertilizantes:

- Superfosfato triple (46% de P)
- Urea (46% de N)
- Sulfato de manganeso (31% de Mn y 19% de S)
- Maxi-Pro[®] (12% de ácidos húmicos y fúlvicos, 3% de ácidos polyhidroxicarboxilicos, 24% de SiO₂)
- Yaramila Star[®] (21% de N, 17% de P₂O₅, 3% de K₂O y 4% de S)
- Magnesil[®] (35% de SiO₂ y 31% de MgO)

Los cuales se mezclaron de la siguiente manera: 250 kg, 200 kg, 37.5 kg, 112.5 kg, 300 kg y 100 kg respectivamente para generar 1000 kg de los cuales se aplicaron 7 kg por árbol.

Cuadro 3. Nutrimientos, Fertilizantes y vía de aplicación utilizados para generar los tratamientos.

Tratamiento	Nutriente	Fertilizante	Vía foliar (%)	Vía suelo (g árbol ⁻¹)
T1	Fósforo	MAP	0.5	2150
T2	Fósforo	MAP	1	2690
T3	Fósforo	MAP	1.5	3230
T4	Manganeso	MnSO ₄	0.1	250
T5	Manganeso	MnSO ₄	0.25	312.5
T6	Manganeso	MnSO ₄	0.5	375
T7	Fósforo+Calcio	MAP+Ca(NO ₃) ₂	0.5 + 0.5	2150 + 1500
T8	Fósforo+Calcio	MAP+Ca(NO ₃) ₂	1 + 0.5	2690 + 1500
T9	Fósforo+Calcio	MAP+Ca(NO ₃) ₂	1.5 + 0.5	3230 + 1500
T10	Manganeso+Calcio	MnSO ₄ +Ca(NO ₃) ₂	0.1 + 0.5	250 + 1500
T11	Manganeso+Calcio	MnSO ₄ +Ca(NO ₃) ₂	0.25 + 0.5	312.5 + 1500
T12	Manganeso+Calcio	MnSO ₄ +Ca(NO ₃) ₂	0.5 + 0.5	375 + 1500
T13	Calcio	Ca(NO ₃) ₂	0.5	1500
T14	Fósforo+Silicio	MAP+Na ₂ SiO ₃	0.5 + 3 (mM)	2150 + 2L
T15	Fósforo+Silicio	MAP+Na ₂ SiO ₃	1 + 3 (mM)	2690 + 2L
T16	Fósforo+Silicio	MAP+Na ₂ SiO ₃	1.5 + 3 (mM)	3230 + 2L
T17	Manganeso+Silicio	MnSO ₄ +Na ₂ SiO ₃	0.1 + 3 (mM)	250 + 2L
T18	Manganeso+Silicio	MnSO ₄ +Na ₂ SiO ₃	0.25 + 3 (mM)	312.5 + 2L
T19	Manganeso+Silicio	MnSO ₄ +Na ₂ SiO ₃	0.5 + 3 (mM)	375 + 2L
T20	Silicio	Na ₂ SiO ₃	3 (mM)	2L
T21	Testigo	Fertilización comercial	*	7 000
T22	T2+T5	MAP+ MnSO ₄	1+0.25	2690+312.5
T23	T2+T5+T13+T20	Interacción	1+0.25+0.5+3 (mM)	2690+312.5+1500+ 2L

Simbología: MAP=Fosfato monopotásico; MnSO₄=Sulfato de manganeso; Ca(NO₃)₂=Nitrato de calcio; Na₂SiO₃=Metasilicato de Sodio.

En cuanto a la vía foliar el tratamiento T21, se utilizó el producto comercial Metalosate® el cual está compuesto por: CaO (1.4%), MgO (1.66%), Cu (0.5%), Fe (0.5%), Mn (0.5%), Mo (0.1%) y Zn (0.5%).

Muestreo foliar y de suelo

Entre agosto y diciembre de 2019, se tomaron 23 muestras foliares (una por tratamiento) de 92 árboles cargados de fruto (± 175 kg árbol⁻¹). En cada árbol se colectaron 20 hojas completas (lámina + peciolo), de la parte media, sanas, de 4 meses de edad, repitiéndose este proceso 3 veces. Las hojas fueron lavadas tres veces con agua destilada, secadas en estufa a 60 °C durante 72 h y molidas en una licuadora de acero hasta quedar finamente molidas.

Para la caracterización química del suelo se obtuvieron 23 muestras representativas, una de cada tratamiento, repitiéndose este proceso tres veces, a partir de las indicaciones de muestreo establecidos por la NOM-021-SEMARNAT-2000. Las muestras de suelos y hojas fueron analizadas por en el laboratorio de nutrición vegetal perteneciente al posgrado en edafología, Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, México. En las muestras foliares se cuantificó la concentración de P, Ca, Mn, Si.

Manejo del huerto

Nutrición

Se realizó de acuerdo a los tratamientos, excepto para el T21, de acuerdo al manejo comercial, su aplicación se dividió en tres en los meses de julio (3 kg), agosto (3 kg) y septiembre (1 kg), respectivamente para el tratamiento en suelo. Para la vía foliar se manejó de acuerdo a los tratamientos, para el tratamiento T21 se utilizó la dosis de 0.5 kg en 2 000 L de agua de Metalosate® con dos aplicaciones mensuales.

Riego

Se manejó el sistema de “temporal”, solamente con la precipitación pluvial.

Plagas y enfermedades

El esquema de manejo para otras plagas que no fueran el tema de esta investigación se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4. Productos comerciales para control de plagas para el ciclo 2019.

Producto	Tipo	Formula química	2 000 L de agua
Bamako [®]	Insecticida	1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamine	600 mL
Bio-Plag [®]	Insecticida biológico	<i>Beauveria bassiana</i>	1 kg
Bankit [®]	Fungicida	Metil(E)-2-2-6-(2-cianofenoxi) pirimidin-4-iloxi-fenil-3-metoxiacrilato	1 L
Oilchuck [®]	Adherente	-	2 L

Control de malezas

Se realizaron deshierbes con tractor y manual, dependiendo la época, en tiempo de lluvias una vez al mes y sin lluvias una vez cada tres meses.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques, con una distribución de tratamientos completamente al azar, teniendo 4 bloques (repeticiones), con un árbol por cada bloque como unidad experimental (UE), lo que da un total de 92 UE.

Los datos de las variables de respuesta se sometieron al análisis de varianza y una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) mediante el software SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2013).

VARIABLES A EVALUAR

Porcentaje de incidencia de *Colletotrichum* spp., en floración (Pinc): Se marcaron 10 inflorescencias por cada unidad experimental fueron evaluadas con un intervalo de 30 días, realizando cuatro evaluaciones posteriores al establecimiento del experimento y calculando el parámetro a través de la fórmula:

- $Pinc = (No. \text{ de inflorescencias con antracnosis} / \text{Inflorescencias totales}) * 100$

Porcentaje de infección de *Colletotrichum* spp., en fruto (Pi): Para determinar el porcentaje de infección por el patógeno *Colletotrichum* spp., se utilizó la escala de evaluación de la severidad para antracnosis en fruto, reportada por Mora *et al.* (2002). La fórmula para determinar este porcentaje fué Townsend & Heuberger:

$$PI = [\sum(nt) / NC] 100$$

Donde:

- PI= Porcentaje de infección,
- n= Número de frutos en cada categoría,
- t= Valor numérico de cada categoría,
- N= Número de frutos muestreadas,
- C= Valor máximo de la escala usada.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Para comparar la diferencia entre los tratamientos a partir de los valores de la Pinc y Pi, se realizó el cálculo de la ABCPE (Fry, 1978; Jeger & Viljanen, 2001). Este parámetro incorporó la acumulación de la enfermedad en inflorescencias y frutos (acumulación total de la enfermedad del tratamiento; McGovern, 1996).

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{i+1} + X_i}{2} \right) * (T_{i+1} - T_i)$$

- Donde,
- X_i = Enfermedad (Pinc o Pi)
- $T_{i+1} - T_i$ = Tiempo en días entre dos lecturas
- n = Número total de observaciones

Amarre y cuajado de fruto: respecto al total de flores contabilizadas se hizo un recuento de número de flores que amarraron y cuantas llegaron a un fruto, esto se manejó en porcentajes.

Concentración nutrimental en tejido vegetal de los nutrimentos P, Ca, Mn, Si: Las hojas recientemente maduras una vez limpias, secas y molidas, se digestaron con una mezcla diácida de ácido nítrico y perclórico en proporción 2:1 v: v (Alcántar y Sandoval, 1999). Las mediciones se obtuvieron en un equipo de espectroscopía de emisión e inducción atómica por plasma acoplado (ICP-OS725-ES; Mulgrave, Australia).

Concentración nutrimental del suelo: se realizaron de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, siguiendo el método para cada nutrimento.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ABCPE de *Colletotrichum* spp. en flores y frutos de *Persea americana* Mill y su impacto en el amarre de frutos.

Los resultados del parámetro ABCPE de *Colletotrichum* spp. en la floración (ABCPEPinc) de *P. americana*, reporto diferencias estadísticas significativas y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) lo corroboró con valores que variaron de 0.7 a 27.4, en los diferentes tratamientos. El T23 obtuvo la ABCPEPinc más elevada con 27.4, sin embargo, no es estadísticamente diferente a T6 (26.0) y T10 (25.8) mientras que los T2 y T18, reportaron los valores menores de 0.7 y 0.9 (Figura 1A). El parámetro ABCPE de *Colletotrichum* spp. en la fructificación global (ABCPEPi) de *P. americana* varió entre los diferentes tratamientos, mostrando valores entre 0.7 y 29.4. La aplicación de los tratamientos obtuvo diferencia significativa (Tukey, $\alpha=0.05$) en el tratamiento T2 (29.4), en el cual se presentó la mayor ABCPEPi, el tratamiento T23 (0.7) presentó la menor ABCPEPi (Figura 1B). ABCPEPinc y ABCPEPi presentan una correlación de manera negativa ($\rho=-30.2\%$), lo que sugiere un comportamiento inverso, cuando la incidencia es mayor en flores la incidencia disminuye en frutos, lo que podría estar explicado debido a que, cuando *Colletotrichum* spp. ataca a las flores, estas no llegan a frutos.

En el porcentaje de amarre de frutos (PAM), el mayor valor se presentó en el tratamiento T11 (8.8%), también destaca el tratamiento T22 (5.3%), por otra parte, el menor PAM se presentó en los tratamientos T2 (0%) y T19 (0.1%), ver Figura 1. La correlación entre ABCPEPi y PAM fue negativa ($\rho=-32\%$). Esto es significativo para los productores, debido a que el aumento de la incidencia de *Colletotrichum* spp. en frutos impacta en un 32% el amarre de frutos, y por lo tanto en la producción.

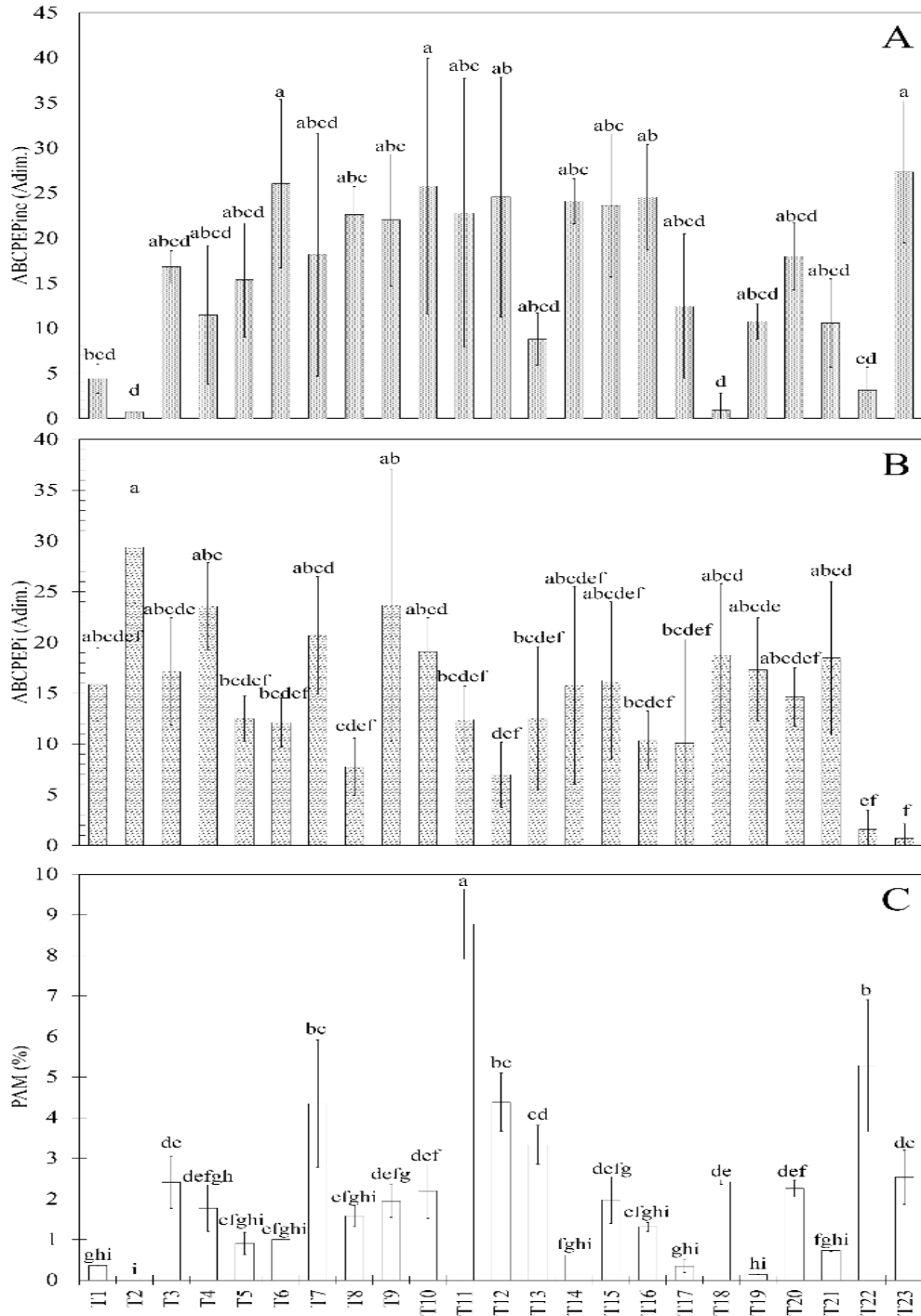


Figura 5. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc;A), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi;B) de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;C) de *P. americana*, bajo diferentes tratamientos en la nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México.

Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16).

Por otra parte, no se encontró correlación significativa (p-value, $0.4417 \geq \alpha$, 0.05) con ABCPEPinc, por lo que no se podría decir si la incidencia en floración de *Colletotrichum* spp. afecta directamente al amarre. No obstante, si se considera seguir la ruta fenológica, existe correlación entre ABCPEPinc y ABCPEPi (30.2%) y a su vez existe correlación ente ABCPEPi y PAM (32%). Se puede decir que en promedio la incidencia de *Colletotrichum* spp. afecta a un 31% la producción *P. americana* desde la huerta.

Estos resultados se acercan a lo que Tapia *et al.* (2020) reportaron para la incidencia de *Colletotrichum gloeosporioides*, reportando que se manifiesta en las etapas tempranas del desarrollo del fruto, así como en poscosecha y durante el almacenamiento, en condiciones de alta humedad relativa (80%), reportan además una infestación de más del 50% en los primeros muestreos y de hasta un 98% en los muestreos en época de lluvia en todas las zonas estudiadas. La incidencia temprana de también es reportada por Fuentes-Aragón *et al.* (2018).

Contenido de nutrimentos en el tejido vegetal y su impacto en la incidencia de *Colletotrichum* spp. en ABCPEPinc, ABCPEPi y PAM de *Persea americana* Mill.

Durante el experimento los tratamientos se aplicaron tres veces, evaluándose en tejido vegetal el contenido de P, Ca, Mn, y Si. Los datos mostraron variación debido a las condiciones del experimento, a pesar de lo cual la tercera evaluación muestra resultados significativos (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Las mayores concentraciones de Ca, P, Mn y Si se presentaron en los tratamientos T16, T12, T2 Y T23 respectivamente, las menores concentraciones se obtuvieron con los tratamientos T6, T2, T15 y T6.

El mayor contenido de Ca se observó en el T16 (1669 mg L⁻¹), que contenía una combinación de P+Si, por ello se decidió observar el coeficiente de correlación de Ca con Si ($\rho=33\%$) la cual representó un efecto medio entre ambos nutrimentos, sin embargo, esta correlación fue positiva, es decir, que hay un efecto sinérgico entre ambos nutrimentos, al aumentar el contenido de Ca en tejido vegetal también lo hace el de silicio en un 33%. La correlación de Ca con P ($\rho=-26.3\%$) también obtuvo un efecto medio, pero en este caso la correlación fue negativa, presentándose un efecto antagónico, cuando el Ca aumento el P disminuyó en un 26%.

En la floración, los valores más bajos de ABCPEPinc se presenta en los tratamientos T2, T13, T18 y T22, mismos que corresponden a tratamientos que contenían Ca por arriba de la media en tejido vegetal, la correlación entre ABCPEPinc y Ca en tejido vegetal no fué significativa ($p\text{-value}, 0.7386 \geq \alpha, 0.05$), por lo que no se puede demostrar que el calcio sea un factor para disminuir la incidencia de *Colletotrichum* spp. en floración. En frutos, los valores más bajos de ABCPEPi se presenta en los tratamientos T8, T12, y T22, mismos que corresponden a tratamientos que contenía Ca por arriba de la media en tejido vegetal, la correlación entre ABCPEPi y Ca en tejido vegetal no fue significativa ($p\text{-value}, 0.8534 \geq \alpha, 0.05$), por lo que no se puede demostrar que el calcio sea un factor para disminuir la infección de *Colletotrichum* spp. en frutos (Figura 2A). Esto resultados se deban probablemente a que el Ca no se traslocó a los órganos bajo evaluación en el momento de la evaluación de incidencia e infección, lo que se puede inferir si se observan los valores del ABCPEPinc y del ABCPEPi en aquellos tratamientos en donde el Ca esta menos disponible en tejido vegetal (T13 y T17), los valores de ambos parámetros disminuyen, en particular en el T13 ya que representa el tratamiento con Ca. El efecto del Ca en el PAM no fue significativo ($p\text{-value}, 0.9818 \geq \alpha, 0.05$), sin embargo, se observa que el T11 en el que el PAM fue mayor el contenido de calcio está cerca de la media, destacan el T7 y el T22 (Figura 2B).

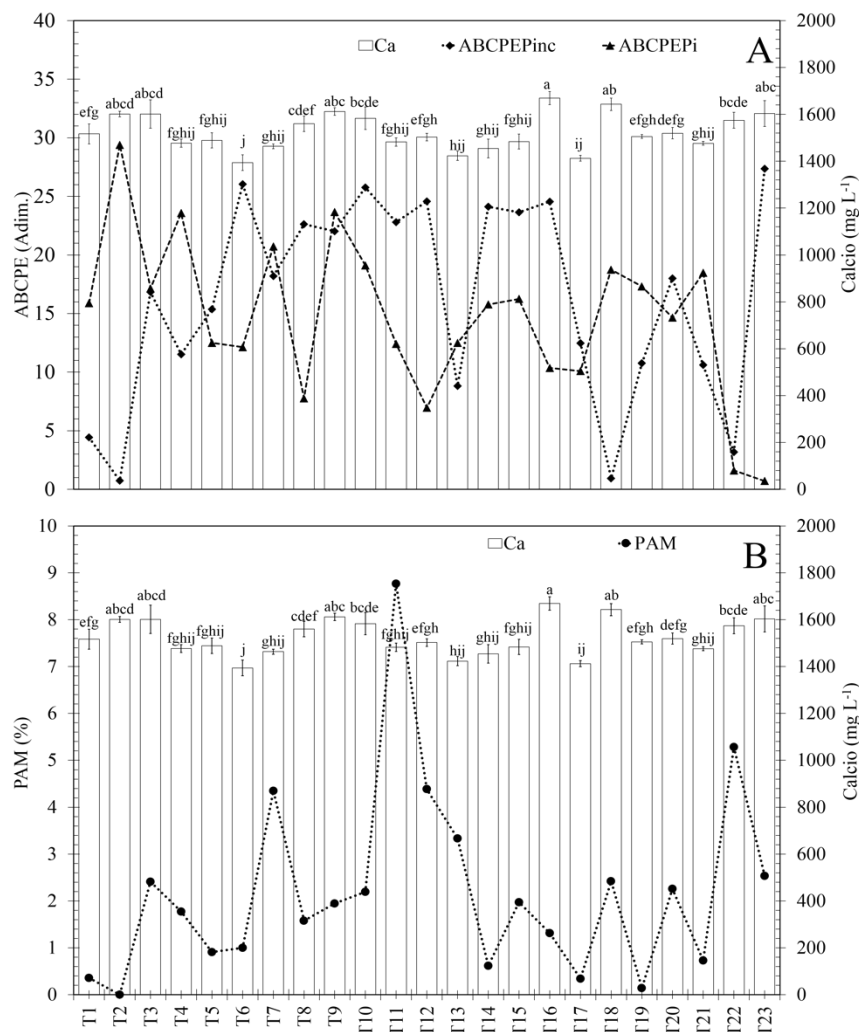


Figura 6. Concentración de calcio en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de *Colletotrichum* spp., (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de *P. americana*, bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; $n=16$).

El contenido de P en tejido vegetal muestra mayor acumulación en el T12 (229 mg L⁻¹), en el cual no fue aplicado como tratamiento, mientras que su menor acumulación se dio en el tratamiento T2 (133 mg L⁻¹), donde se aplicó como tratamiento. El ABCPEPinc no se correlacionó

de manera significativa ($p\text{-value}, 0.9505 \geq \alpha, 0.05$), sin embargo, el ABCPEPi si se correlacionó de manera significativa ($\rho=-29\%$) lo indica que cuando los niveles de P aumentan la infección de *Colletotrichum* spp. decrece a razón de un 29%, como se observa en la Figura 3A. La mayor disminución de la incidencia de *Colletotrichum* spp. se observó en el tratamiento T22 (145 mg L^{-1}), tanto en ABCPEPinc como en ABCPEPi y se corresponde con un aumento del PAM ($\rho= 8.42\%$) el cual aumenta 8% cuando el nivel de P aumenta (Figura 3B).

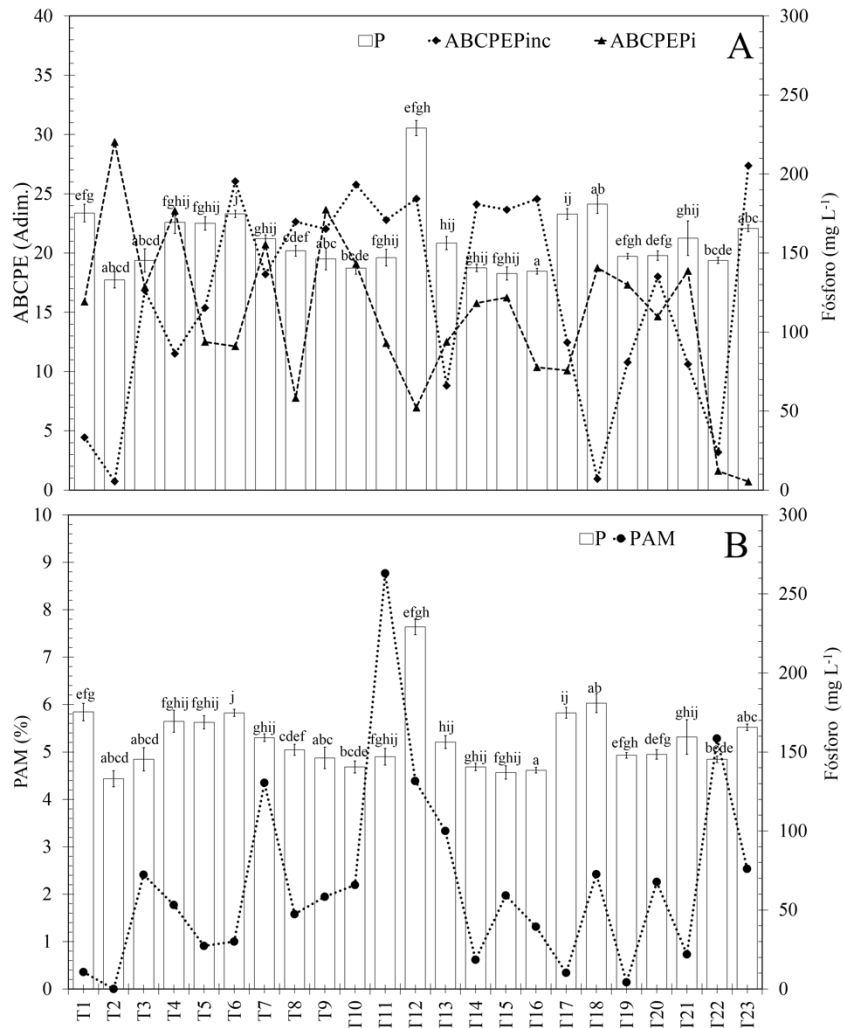


Figura 7. Concentración de fósforo en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de *Colletotrichum* spp., (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de *P. americana*, bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto

en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; $n=16$).

El contenido de Mn en tejido vegetal muestra mayor acumulación en el T2 (9 600 mg L⁻¹), en el cual no fue aplicado como tratamiento. Mientras que su menor acumulación se dio en los tratamientos T12 (8 109 mg L⁻¹) donde se aplicó como tratamiento y T15 (8 113 mg L⁻¹) donde no fue aplicado. El ABCPEPinc se correlacionó de manera inversa ($\rho = -34.3\%$), lo que indica que la incidencia de *Colletotrichum* spp. en la floración disminuye 34% cuando se aplica Mn. El ABCPEPi no se correlacionó de manera significativa (p-value, $0.4904 \geq \alpha$, 0.05), el resultado señala que cuando los niveles de Mn aumentan, la infección de *Colletotrichum* spp. en fruto no se ve afectada (Figura 4A). La mayor disminución de la incidencia de *Colletotrichum* spp. de manera general se observó en el tratamiento T22 (8 733 mg L⁻¹), tanto en ABCPEPinc como en ABCPEPi y se corresponde con un aumento del PAM ($\rho = 9.46\%$), el cual aumenta casi 10 % cuando el nivel de Mn incrementa (Figura 4B).

El contenido de Si en tejido vegetal muestra mayor acumulación en el T23 (32 mg L⁻¹), mismo que no se diferencia significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) del T20 (28 mg L⁻¹). En ambos tratamientos se aplicó silicio como tratamiento, mientras que su menor acumulación se dio en los tratamientos T1(16 mg L⁻¹) y T6(20.1 mg L⁻¹), en los que no se aplicó Si como tratamiento.

El ABCPEPinc no se correlacionó de manera significativa (p-value, $0.9958 \geq \alpha$, 0.05), lo cual significa que la incidencia de *Colletotrichum* spp. en la floración no tiene variación cuando se aplica Si. El ABCPEPi se correlacionó de manera inversa ($\rho = -31.7\%$), el resultado indica que cuando los niveles de Si aumentan, la infección de *Colletotrichum* spp. en fruto disminuye en un 32%. Los mejores tratamientos fueron aquellos en donde el Si se encontraba en un nivel medio (Figura 5A). La mayor disminución de la incidencia de *Colletotrichum* spp. de manera general se

observó en el tratamiento T22 (26 mg L⁻¹), tanto en ABCPEPinc como en ABCPEPi y se corresponde con un aumento del PDA ($\rho=9.8\%$) el cual aumenta casi 10% cuando el nivel de Si aumenta.

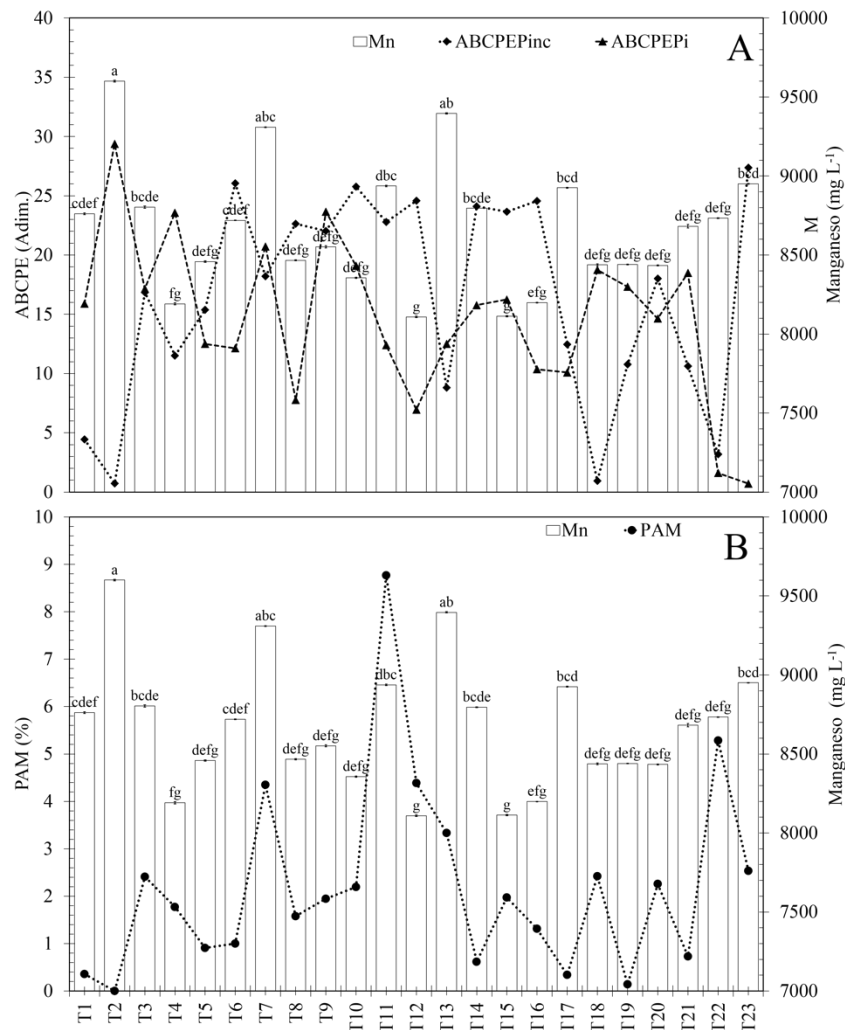


Figura 8. Concentración de Manganeso en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de *Colletotrichum* spp., (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de *P. americana*, bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; $n=16$).

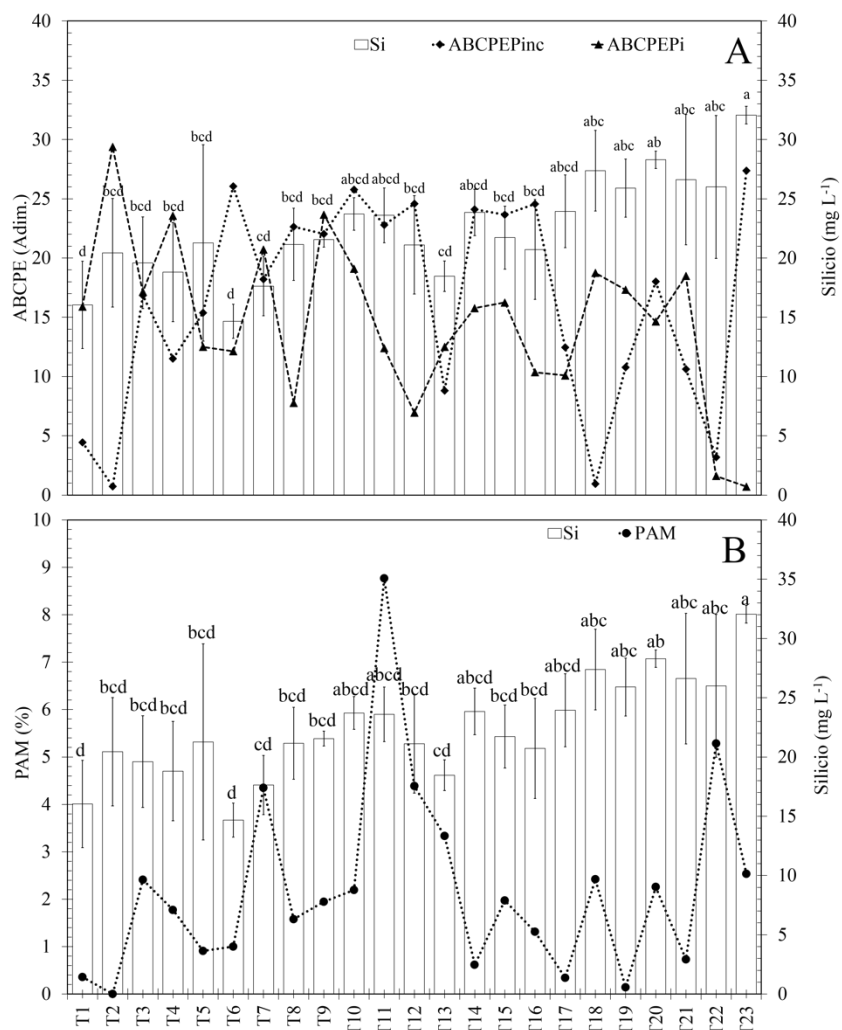


Figura 9. Concentración de silicio en tejido vegetal, comparada con área bajo la curva del progreso de la enfermedad en floración (ABCPEPinc), área bajo la curva del progreso de la enfermedad en frutos (ABCPEPi) de *Colletotrichum* spp (A) y porcentaje de amarre de frutos (PAM;B) de *P. americana*, bajo diferentes tratamientos de nutrición, evaluados a campo abierto en Turian, Salvador Escalante, Michoacán, México. Medias \pm Desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n=16).

Se encontró evidencia que la combinación de los tratamientos con P+Mn (T22) disminuye la incidencia *Colletotrichum* spp. en floración y la infección en fruto, aumentando el porcentaje de

amarre, lo que seguramente repercutirá en el rendimiento, se confirma el efecto positivo del Si en las mismas variables, ya que el T22 demostró un efecto positivo en ellas. Los resultados concuerdan con lo reportados por Yang *et al.* (2008a), ellos indicaron que la nutrición con Si podía controlar la aparición de antracnosis (*Colletotrichum* spp.), probando un cultivar resistente con baja aportación de Si contra un cultivar susceptible y una aportación mayor de Si, expresando su efecto en la formación de flores, tallos y el contenido de Si en la planta. Por su parte Yang *et al.* (2008b) evaluaron el efecto en la señalización química (fosfoinositidos y calmodulina) que emite la planta inoculadas con *Colletotrichum higginsianum* a diferentes niveles de aplicación de Si, en donde este se comportó como un regulador de estas señales. El nivel bajo de Si promovió la inducción de calmodulina por efecto de la antracnosis en el cultivar susceptible, mientras que el nivel medio de Si mostró un fuerte efecto promotor sobre la inducción en el cultivar resistente. Los cambios en el contenido de calmodulina después de la infección fueron débiles después de la infección a niveles bajos y medios de Si. Por lo que se concluyó que la Calmodulina participa en la regulación del proceso de patogénesis de la antracnosis y que la nutrición con Si afecta significativamente este proceso de señalización como respuesta a una infección. Estudios recientes indican que el silicio puede reducir en un 80% las lesiones provocadas por antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) aplicando Si directamente al suelo (Weerahewa y David, 2015).

Eskandari *et al.* (2020) Encontraron evidencia que la aplicación de Mn en aerosol aplicado vía foliar en forma de MnSO₄ sobre la antracnosis, causada por *Colletotrichum lagenarium* en el pepino (*Cucumis sativus* L.) encontrando como resultado que la aplicación de Mn suprimió la infección por hongos en las hojas y los cotiledones, en donde todas las concentraciones aplicadas de Mn redujeron igualmente la enfermedad.

Ayon-Reyna et al. (2017) evaluaron el efecto del cloruro de calcio en combinación con el agua caliente sobre el crecimiento *in vitro* de conidios de *C. gloesporioides* y la calidad de la papaya infectada. *In vitro*, los tratamientos mostraron un crecimiento micelial y germinación reducida. Los tratamientos aplicados al fruto de papaya infectada retrasaron durante 5 días la aparición de los síntomas de antracnosis y mejoró la calidad poscosecha de la papaya.

VI. CONCLUSIONES

Los tratamientos ejercieron control sobre la incidencia de *Colletotrichum* spp. en la floración y fructificación disminuyendo la incidencia en promedio 26%. El mejor tratamiento para fue la mejor combinación de P+Mn (T2+T5). El ABCPEPinc se correlacionó de manera negativa (inversa) con el contenido de Mn, disminuyendo en un 34%. El ABCPEPi se correlacionó de manera negativa con P y Si disminuyendo la incidencia de *Colletotrichum* en 29 y 32% respectivamente. El PDA aumentó en promedio 9% cuando se aplicaron tratamientos que contenían P, Mn y Si.

VII. LITERATURA CITADA

- Ahn, B., Paulitz, T., Jabaji-Hare, S., Watson, A. 2005. Enhancement of *Colletotrichum coccodes* virulence by inhibitors of plant defense mechanisms. *Biocontrol Science and Technology*, 15:299-308.
- Alcántar G. G., Sandoval V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Pub. Esp. No. 10 SMCS.
- Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L.I., Fernández-Pavía, L., Rodríguez-Mendoza, M. 2016. Elementos esenciales. *In*: Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C. (Ed.), *Nutrición de cultivos*. Biblioteca Básica de Agricultura Texcoco, México, pp. 23-52.
- Ávila-Quezada, G.D. 2015. Enfermedades. *In*: Téliz, D., Mora, A. (Eds.), *El aguacate y su manejo integrado*. Printing arts México, Guadalajara, Jalisco, México, pp. 177-183.
- Ayon-Reyna, L.E., Lopez-Valenzuela, J.A., Delgado-Vargas, F., Lopez-Lopez, M.E., Molina-Corral, F.J., Carrillo-Lopez, A., Vega-Garcia, M.O., 2017. Effect of the Combination Hot Water-Calcium Chloride on the *In Vitro* Growth of *Colletotrichum gloeosporioides* and the Postharvest Quality of Infected Papaya. *Plant Pathol Journal* 33, 572-581.
- Babalola, O.O. 2007. Pectinase and cellulase enhance the control of *Abutilon theophrasti* by *Colletotrichum coccodes*. *Biocontrol Science and Technology*, 17:53-61.
- Bergh, B.O. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. *California Avocado society yearbook*, 76: 61-75.
- Bergh, B.O., Ellstrand, N. 1986. Taxonomy of the avocado. *California Avocado Society Yearbook*, 70:135-146.
- Boza, E.J., Tondo, C.L., Ledesma, N., Campbell, R.J., Bost, J., Schnell, R.J., Gutiérrez, O.A. 2018. Genetic differentiation, races and interracial admixture in avocado (*Persea americana* Mill.), and *Persea* spp. evaluated using SSR markers. *Genetic resources crop evolution*, 65: 1195-1215.
- Cordovez, V., Dini-Andreote, F., Carrión, V.J., Raaijmakers, J.M., 2019. Ecology and Evolution of Plant Microbiomes. 73, 69-88.

- Coria, V., Contreras, J., Fernández, I., Tapia, L., Aguilera, J., Hernández, G., Vidales, J. 2009. Tecnología para la producción de aguacate en México. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Uruapan, Michoacán, México.
- Chanderbali, A.S., Albert, V.A., Ashworth, V.E., Clegg, M.T., Litz, R.E., Soltis, D.E., Soltis, P.S. 2008. *Persea americana* (avocado): bringing ancient flowers to fruit in the genomics era. *BioEssays*, 30: 386-396.
- Chávez-Magdaleno, M.E., Gutiérrez-Martínez, P., Montaña-Leyva, B., González-Estrada, R.R. 2019. Evaluación in vitro del quitosano y aceites esenciales para el control de dos especies patógenas de *Colletotrichum* aisladas de aguacate (*Persea americana* Mill). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 22: 1-8.
- Epstein, E. 1992. Kdp a bacterial P-type ATPase whose expression and activity are regulated by turgor pressure. *Acta physiologica Scandinavica Supplementum*, 602: 193-199.
- Eskandari *et al.* (2020) Encontró evidencia que la aplicación de Mn en aerosol aplicado vía foliar en forma de MnSO₄ sobre la antracosis, causada por *Colletotrichum lagenarium* en el pepino (*Cucumis sativus* L.) encontrando como resultado que la aplicación de Mn suprimió la infección por hongos en las hojas y los cotiledones, en donde todas las concentraciones aplicadas de Mn redujeron igualmente la enfermedad.
- FAOSTAT. 2019. Cultivos. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). En línea <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>, consultado el 17-10-2019.
- Fuentes-Aragon, D., Juarez-Vazquez, S.B., Vargas-Hernandez, M., Silva-Rojas, H.V., 2018. *Colletotrichum fructicola*, a Member of *Colletotrichum gloeosporioides* sensu lato, is the Causal Agent of Anthracnose and Soft Rot in Avocado Fruits cv. "Hass". *Mycobiology* 46, 92-100.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- García, J., Morales, L., Mendoza, A., Coria, M., Aguirre, P., Sánchez, F., Vidales, V., Tapia, R., Hernández, R., Alcántar, J. 2013. Tecnología Produce Aguacate en Michoacán. COFUPRO, pp. 1-32.
- George, P.G., N., 2016. HYDROPONICS-(SOILLESS CULTIVATION OF PLANTS) FOR BIODIVERSITY CONSERVATION. International Journal of Modern Trends in Engineering and Science 3, 97-104.
- Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.-S., Patra, J.K., 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. Microbiological research 206, 131-140.
- Gressel, J., Michaeli, D., Kampel, V., Amsellem, Z., Warshawsky, A. 2002. Ultralow calcium requirements of fungi facilitate use of calcium regulating agents to suppress host calcium-dependent defenses, synergizing infection by a mycoherbicide. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50: 6353-6360.
- Guillén, A. H., Lara, B. N., Gutiérrez, M., Ortiz, M., Ángel, E. 2007. Cartografía agroecológica del cultivo del aguacate en Michoacán. Morevallado (Ed.) de Morelia, Michoacán México 141 p.
- Kumara, K.L., Rawal, R.D. 2008. Influence of carbon, nitrogen, temperature and pH on the growth and sporulation of some Indian isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* causing anthracnose disease of papaya (*Carica papaya* L). Tropical Agricultural Research, 11: 7-12
- Magdoff, F., Van Es, H. 2000. Building soils for better crops. Sustainable Agriculture Network Beltsville.
- Miyake, Y., Takahashi, E. 1983. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. Soil Science Plant Nutrition, 29: 71-83.
- Núñez-Escobar, R. 2016. El suelo como medio natural en la nutrición de cultivos. *In*: Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C. (Ed.), Nutrición de cultivos. Biblioteca Básica de Agricultura Texcoco, México, pp. 104-144.
- Parra-Terraza, S., Baca-Castillo, G., Carrillo-González, R., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Garza, A., Trejo-López, C. 2004. Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. Terra latinoamericana, 22: 467-473.

- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532, 49-57.
- Popp, J., Pető, K., Nagy, J. 2013. Pesticide productivity and food security-A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33: 243-255.
- Rakshit, A. 2013. Pest and disease tolerance in rice cv Pusa Basmati as related to different locally available organic manures grown in new alluvial region of West Bengal, India. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16: 593-597.
- Raza, S. 2010. Role of pesticide in food security. *In: Institute of Pesticide Formulation Technology (IPFT), G. (Ed.). Department of Chemicals and Petrochemicals, Min. of Chem. and Fertilizers, Govt. of India, India.*
- SAS .2013. Guía de procedimientos de SAS, versión 6 3rd edn SAS Institute Inc . Cary, NC 1990.
- SEMARNAT (2003) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, 23/04/2003. México, DF, México. 85 pp.
- SIAP. 2018. Atlas agroalimentario 2012-2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Ciudad de México, pp. 162-165. En línea: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018, consultado el 17-10-2019.
- Smith, C.E. 1966. Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany*, 20: 169-175.
- Snijder, B., Stassen, P.J.C. 2000. Macronutrient accumulation and requirement of Hass avocado trees. *Avocado Growers' Association Yearbook*: 56-62
- Stassen, P.J.C., Janse van Vuuren, B.P.H., Davie, S.J. 1997. Preliminary studies on macro-element utilization by Hass avocado trees. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 23: 68-73
- Tamez Guerra, P., Galán Wong, L.J., Medrano Roldán, H., García Gutiérrez, C., Rodríguez Padilla, C., Gómez Flores, R.A., Tamez Guerra, R.S. 2001. Bioinsecticidas: su empleo, producción y comercialización en México. *Ciencia UANL* 4, 143-152.
- Tandon, R.N., Chandra, S. 1962. The nutrition of *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. *Mycopathologia et mycologia Applicata*, 18: 213-224.

- Tapia, V.L.M., Marroquin, P.F.J., Cortés, T.I., Anguiano, C.J., Castellanos, R.J.Z. 2015. Nutrición del aguacate *In*: Téliz, D., Mora, A. (Eds.), El aguacate y su manejo integrado. Printing arts México, Guadalajara, Jalisco, México, pp. 88-106.
- Téliz, D., Mora, A., 2015. Enfermedades. *In*: Téliz, D., Mora, A. (Eds.), El aguacate y su manejo integrado. Printing arts México, Guadalajara, Jalisco, México, pp. 173-176.
- Torres, P.A., J., Rengel, M., Montañó, J., Rodríguez, Y. 2009. Correlación entre la calidad de la fruta del naranjo y los micronutrientes considerando el balance de los nutrientes a través de las relaciones binarias. *Revista Científica UDO Agrícola* 9: 29-34.
- Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C., Alcántar-González, G. 2016. Elementos benéficos: potencialidades y limitaciones *In*: Alcántar-González, G., Trejo-Téllez, L.I., Gómez-Merino, F.C. (Ed.), Nutrición de cultivos. Biblioteca Básica de Agricultura, Texcoco, México, pp. 57-101.
- Trinidad-Ángel, E., Ascencio-Valle, F.d.J., Ulloa, J.A., Ramírez-Ramírez, J.C., Ragazzo-Sánchez, J.A., Calderón-Santoyo, M., Bautista Rosales, P.U. 2017. Identificación y caracterización de *Colletotrichum* spp. Causante de antracnosis en aguacate Nayarit, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8: 3953-3964.
- Vergara-Pulgar, C., Rothkegel, K., Gonzalez-Aguero, M., Pedreschi, R., Campos-Vargas, R., Defilippi, B.G., Meneses, C. 2019. De novo assembly of *Persea americana* cv. 'Hass' transcriptome during fruit development. *BMC Genomics*, 20: 108.
- Weerahewa, D., David, D. 2015. Effect of silicon and potassium on tomato anthracnose and on the postharvest quality of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 43: 273-280.
- Yang, X., Chen, X. 2005. Effects of *Colletotrichum higginsianum* infection on endogenous hormones in *Brassica parachinensis* leaves under different nitrogen nutrition. *The journal of applied ecology*, 16: 919-923.
- Yang, X., Feng, H.X., Yang, Y.S., 2008a. Effects of silicon on flowering Chinese cabbage's anthracnose occurrence, flower stalk formation, and silicon uptake and accumulation. *The journal of applied ecology*, 19: 1006-1012.
- Yang, X., Yang, Y-S., Feng, H-X. 2008b. The Effects of Silicon on Signal Substances of Anthracnose-defense Response in Flowering Chinese Cabbage. *Acta Horticulturae Sinica*, 6: 8.

ANEXOS

Anexo 1. Efecto de la infección de *Colletotrichum* spp. en frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. "Hass". De izquierda a derecha y de arriba abajo tratamientos T1 a T23.



Anexo 2. Medias, desviación estándar, resultados de las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$), coeficiente de variación y diferencia media significativa de los parámetros evaluados en el experimento, los cuales sirvieron para construir las figuras de los resultados.

Tratamiento	ABCPEP inc	ABCPEPi	PAM	Nutrimentos en tejido vegetal			
				Calcio	Manganeso	Fósforo	Silicio
T1	4.4±1.6 bcd	15.9±3.6 abcdef	0.4±0 ghi	1516.6±42 .7 efg	8761.3±12 1.7 cdef	175.3±5. 5 bc	16.0±3.7 d
T2	0.7±1.3 d	29.4±5.4 a	0.0±0 i	1601.3±12 .2 abcd	9600.4±56. 4 a	133.0±5. 2 k	20.4±4.6 bcd
T3	16.8±1.8 abcd	17.1±5.3 abcde	2.4±0.6 de	1601.5±60 .5 abcd	8803.6±20 3.1 bcde	145.4±7. 4 hijk	19.6±3.9 bcd
T4	11.5±7.7 abcd	23.6±4.3 abc	1.8±0.6 defgh	1476.8±17 fghij	8191.0±18 4.2 fg	169.4±7 bcd	18.8±4.2 bcd
T5	15.4±6.3 abcd	12.5±2.2 bcdef	0.9±0.3 efghi	1489.0±32 .7 fghij	8458.5±15 9.6 defg	168.7±4. 2 bcde	21.3±8.3 bcd
T6	26.0±9.3 a	12.1±2.4 bcdef	1±0 efghi	1394.1±33 .6 j	8719.4±80. 5 cdef	174.7±2. 2 bc	14.7±1.4 d
T7	18.2±13. 5 abcd	20.7±5.8 abcd	4.3±1.6 bc	1463.6±10 .6 ghij	9309.0±85. 5 abc	159.0±2. 5 defg	17.6±2.5 cd
T8	22.6±3.1 abc	7.8±2.8 cdef	1.6±0.3 efghi	1559.7±33 .1 cdef	8466.8±74 2.9 defg	151.4±3. 4 fghi	21.2±3 bcd
T9	22±7.3 abc	23.7±13.4 ab	1.9±0.4 defg	1612.1±15 .8 abc	8551.5±44 9.6 defg	146.2±6. 8 ghij	21.5±0.6 bcd
T10	25.8±14. 2 a	19.1±3.3 abcd	2.2±0.7 def	1583.3±47 .8 bcde	8356.3±30. 1 defg	140.5±3. 8 ijk	23.7±1.4 abcd
T11	22.8±14. 9 abc	12.4±3.3 bcdef	8.8±0.9 a	1482.0±17 .9 fghij	8937.1±63. 8 dbc	147.1±5. 3 fghij	23.6±2.3 abcd
T12	24.6±13. 3 ab	7±3.2 def	4.4±0.7 bc	1502.6±16 .2 efgh	8108.7±21 0.6 g	229.1±4. 8 a	21.1±4.1 bcd

T13	8.8±2.9 abcd	12.5±7.1 bcdef	3.3±0.5 cd	1423.3±19 .8 hij	9396.1±68. 2 ab	156.3±4. 1 efgh	18.5±1.3 cd
T14	24.1±2.5 abc	15.8±9.8 abcdef	0.6±0 fghi	1454.3±39 .7 ghij	8796.1±18 1 bcde	140.6±2. 4 ijk	23.8±2 abcd
T15	23.6±7.9 abc	16.3±7.7 abcdef	2±0.6 defg	1483.9±32 fghij	8113.3±11 7.7 g	137±4.2 jk	21.7±2.7 bcd
T16	24.6±5.8 ab	10.4±2.9 bcdef	1.3±0.1 efghi	1669.2±28 .2 a	8198.7±91. 3 efg	138.5±1. 8 ijk	20.7±4.2 bcd
T17	12.5±8 abcd	10.1±10.2 bcdef	0.3±0.2 ghi	1412.4±12 .6 ij	8925.5±22 4.9 bcd	174.7±3. 4 bc	23.9±3.1 abcd
T18	0.9±1.9 d	18.7±7.1 abcd	2.4±0.1 de	1642.9±26 ab	8437.8±33. 8 defg	180.9±6 b	27.4±3.4 abc
T19	10.8±1.9 abcd	17.3±5.1 abcde	0.1±0 hi	1505.5±8. 6 efgh	8440.0±30. 6 defg	147.9±1. 8 fghij	25.9±2.4 abc
T20	18.0±3.8 abcd	14.6±2.9 abcdef	2.3±0.2 def	1519.5±24 .1 defg	8433.9±68. 6 defg	148.4±3 fghij	28.3±0.7 ab
T21	10.6±4.9 abcd	18.5±7.5 abcd	0.7±0 fghi	1476.3±8. 4 ghij	8682.2±20 5.4 defg	159.4±10 .9 def	26.6±5.5 abc
T22	3.2±2.5 cd	1.6±1.9 ef	5.3±1.6 b	1574.4±34 .2 bcde	8733.5±20 0.1 defg	145.4±2 hijk	26.0±6 abc
T23	27.4±7.8 a	0.7±1.4 f	2.5±0.7 de	1603.3±55 .4 abc	8950.6±92. 1 bcd	165.6±2 cde	32.1±0.7 a
CV	46.9	40.6	28.0	2.0	2.6	3.1	16.3
(%)							
DMS	21.0	15.9	1.6	83.0	605.0	13.0	9.7

Medias ± Desviación estándar. Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$; n = 4) simbología: ABCPEPinc= área bajo la curva del progreso de la enfermedad del porcentaje de incidencia en floración; ABCPEPi= área bajo la curva del progreso de la enfermedad del porcentaje de infección en frutos en frutos; PAM=porcentaje de amarre de frutos; CV=coeficiente de variación del análisis de varianza; DMS=diferencia media significativa en las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).