

Phytophthora cinnamomi Rands en aguacate

María Eugenia Agapito Amador¹

Víctor David Cibrián-Llenderal²

Mónica Gutiérrez Rojas³

Daniel Ruiz-Juárez^{4§}

Betzabe Ebenhezer López Corona⁴

Edgar Omar Rueda-Puente⁵

¹Maestría en Ciencias Agropecuarias-Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Coyoacán, Ciudad de México, México. CP. 04960. (m.eugenia.a059@gmail.com).

²Postgrado en Ciencias Forestales-Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-
Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (vicillan@yahoo.com.mx).

³Departamento de Producción Agrícola y Animal-Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco. (mgutierrez@correo.xoc.uam.mx).

⁴Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos-Universidad de Sonora. (betzabe.lopez@unison.mx).

⁵Departamento de Agricultura y Ganadería-Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, col. Centro, Hermosillo, Sonora. (erueda04@santana.uson.mx).

§Autor para correspondencia: druiz@correo.xoc.uam.mx.

Resumen

El objetivo de la presente revisión es dar a conocer el estatus epidemiológico de *Phytophthora cinnamomi* Rands en interacción con *Persea americana* Mill. y las alternativas de manejo fitosanitario autorizadas. El ensayo se realizó con base en reportes de instancias oficiales y científicas en materia de sanidad vegetal, de brotes epidemiológicos de la enfermedad tristeza del aguacate causada por *P. cinnamomi*. A nivel mundial, la pérdida de árboles de aguacate fue exponencial, debido a la enfermedad causada por el oomiceto *P. cinnamomi* quien presentó comportamiento epidemiológico a nivel nacional e internacional. En 1942, en Puerto Rico el patógeno fue aislado por primera vez por Tucker en plantas de aguacate. En México, el primer brote epidemiológico por este patógeno fue en 1952, con pérdidas de 90% de la producción de aguacate, la distribución de la enfermedad se expandió a diferentes partes del mundo. En condiciones favorables afecta la raíz y base de la corona, invade haces vasculares y toma los nutrientes para su desarrollo. La patogénesis es influenciada por la temperatura, precipitación, humedad, pH, disponibilidad de nutrientes y textura del suelo. En campo, la efectividad biológica de las moléculas, para el control del oomiceto, puede presentar limitantes que impactan en la microbiota, flora y fauna; además, de los efectos que se reflejan en la calidad e inocuidad de frutos por la acumulación de moléculas de plaguicidas sintéticos. Dada la situación fitosanitaria que expresa la producción de aguacate es necesario implementar alternativas de manejo sustentable, como la endoterapia, a través de la inyección de productos selectivos en dosis específicas, que controlen a la enfermedad sin afectar la calidad e inocuidad del fruto.

Palabras clave: análisis de riesgo, endoterapia, tristeza del aguacate.

Recibido: agosto de 2022

Aceptado: octubre de 2022

P. cinnamomi se ubica en la clase de los oomycetes, son eucariontes que pertenecen al grupo protista (filamentosos), su forma de alimentación es como saprofitos, biótrosos, hemibiótrosos o necrótrofos (Engelbrecht *et al.*, 2013). La descripción taxonómica del género *Phytophthora* se base en su morfología y características estructurales (esporangio, anteridio, oogonio o micelio) autores refieren como Martínez (2015); McGowan *et al.* (2018). *Phytophthora* pertenece al reino chromista orden peronosporales (Rays y Brett, 2012; Sharma *et al.*, 2021). Las especies de *Phytophthora* devastan ecosistemas nativos, bosques, plantas ornamentales y cultivos agrícolas intensivos (Kurbetli *et al.*, 2020a). Es considerado uno de los fitopatógenos de suelo con mayor grado de afectación en la fruticultura, por los impactos que ha causado a las unidades de producción comercial, con pérdidas de 45 a 90% (Ramírez, 2018; Sánchez *et al.*, 2019).

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es afectado por la enfermedad de la tristeza del aguacate causada por *P. cinnamomi* Rands (Berg *et al.*, 2021). En condiciones favorables el patógeno afecta raíces y base del tallo de los árboles de aguacate (Zapata *et al.*, 2018). En la raíz ingresa por el poro radicular y espacios intercelulares, daña las paredes primarias de las células de la endodermis, que integran a la banda de Caspary, invade los haces vasculares y toma los nutrientes para su desarrollo, altera la fenología y fisiológica del frutal (Osorio *et al.*, 2017; Zapata *et al.*, 2018).

En el tejido celular induce el estrés hídrico, propicia marchitez, secamiento de las estructuras vegetales y finalmente induce muerte descendente del árbol (Osorio *et al.*, (2017). Los síntomas se reconocen por la manifestación de hojas pequeñas con presencia de clorosis, el crecimiento vegetativo se detiene, inicia la defoliación parcial de las hojas y la producción de fruta disminuye (Osorio *et al.*, 2017). En ausencia de hospedero, el microorganismo tiene la facultad de alimentarse de materia orgánica en descomposición y prevalece en el suelo hasta por seis años (Toapanta *et al.*, 2017; Ruiz *et al.*, 2019), de acuerdo con Kurbetli *et al.* (2020a, 2020b), en el mundo, la enfermedad se encuentra distribuida en zonas de producción de aguacate. En condiciones favorables las unidades de producción comercial son devastadoras (Almaraz *et al.*, 2016; Gómez, 2018).

Las alternativas de manejo de la enfermedad y del agente causal, cada vez son más agresivas con los factores bióticos y abióticos que interactúan con el desarrollo del cultivo (Ramírez, 2018). Con base a lo anterior, este ensayo consiste en dar a conocer el estatus epidemiológico de *P. cinnamomi* en interacción con *P. americana* y las alternativas de manejo fitosanitario autorizadas.

Riesgos fitosanitarios de *Phytophthora* spp. en frutales

Kurbetli *et al.* (2020a) reportaron que *Phytophthora* spp., fue detectado en árboles de granada con 10 años de producción, la incidencia de la enfermedad fue 4.59%; es decir, por cada cien árboles, cinco estaban infectados por *P. nicotianae* y *P. palmivora*. Los daños se expresaron afectando el cuello de la raíz causando muerte descendente de los árboles. Además, Dai *et al.* (2019) mencionan que *P. hibernalis* afecta los haces vasculares de los cítricos, causa podredumbre parda y genera gomosis, que es expulsada por las lenticelas del tallo. En California y Florida, USA, la producción se vio afectada en 46%, con pérdidas económicas de 30 a 60 millones de dólares (Sáenz *et al.*, 2019). En China, desde 2007 *P. hibernalis* es considera plaga cuarentenaria (Dai *et al.*, 2019). En el 2015, China detectó la presencia del patógeno en cítricos que ingresaron por Shanghai y suspendió las importaciones que provenían de Tulare, California (Dai *et al.*, 2019). Sánchez *et al.* (2019) mencionan que los valles del norte de la Patagonia, *P. cactorum*, *P. inundata*, *P. rosacearum*, *P. lacustris* y *P. termopila* causan pudrición en cuello de la raíz o base de la corona de árboles de pera.

Fisiología del parasitismo

Phytophthora sp., forma clamidosporas, esporangios y oospora que le permiten vivir en el suelo como saprófito hasta por seis años (Toapanta *et al.*, 2017). En temperaturas de 21 a 28 °C, humedad de 78%, textura de suelo, pH 6-7 y suelos saturados o inundados inicia la fase asexual (Toapanta *et al.*, 2017), en este sentido, la presencia de agua es fundamental para la fase de multiplicación y diseminación en el hospedero (Vicent *et al.*, 2016). El esporangio maduro libera entre 30 a 40 zoosporas, se propagan a través del agua mediante la acción mecánica de los flagelos (Almaraz *et al.*, 2016; Zentmyer, 1985).

Las zoosporas son atraídas por los exudados de aminoácidos de la zona de elongación, misma, que segregan las raíces secundarias y vellosidades de adsorción (García *et al.*, 2016; Pliego *et al.*, 2016; Zapata y Leal, 2018). En interacción con el tejido radicular, las zoosporas se enquistan y se anclan a la epidermis de la raíz, dando lugar a la etapa de penetración e infección de la epidermis, endodermis y haces vasculares de la radícula, debido a la presencia del tubo germinativo o células patógenas de las hifas que componen el micelio del oomiceto, el proceso de colonización de las estructuras primarias de la radícula dura 24 h en promedio (Zapata y Leal, 2018).

El micelio del fitopatógeno alcanza su óptimo desarrollo, posterior al parasitismo del cambium, enseguida se dirige a los haces vasculares y por la proliferación de hifas causa taponamiento de xilema (Huaman *et al.*, 2015; Hardham y Blackman, 2018). Las obstrucciones de los haces vasculares limitan la movilización de agua y nutrientes, estimula el estrés hídrico y desnutrición del árbol por la falta de agua y nutrición, en consecuencia, el tejido de la radícula se necrosa (Huaman *et al.*, 2015; Hardham y Blackman, 2018). Más tarde, el micelio invade la base de la corona o haces vasculares del cuello de la raíz, donde se expresa la enfermedad del cancro, misma, que alcanza hasta 2 m de altura, a partir de la base de la corona se observa coloración café claro a oscuro, más exudado acuoso (Andrade *et al.*, 2015). Durante este proceso, el micelio dará origen a clamidosporas, dando formación al tubo germinativo, para formar el esporangio, donde se producirán las zoosporas y cuando el esporangio madura libera zoosporas y forma varias generaciones de la producción asexual (Hardham y Blackman, 2018) (Figura 1).

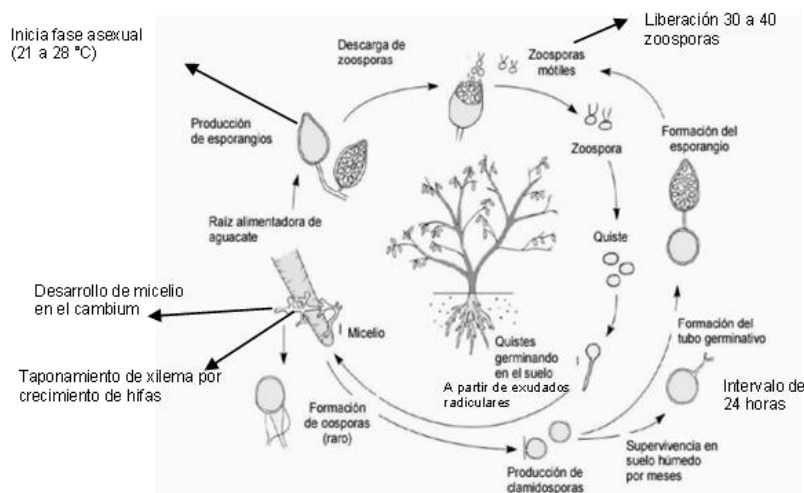


Figura 1. Ciclo de vida y fisiología del parasitismo de *Phytophthora cinnamomi* modificado de Pegg *et al.* (2002).

La fase sexual inicia en el micelio maduro, Ainswort (1985) describe que en la fase sexual *P. cinnamomi* forma estructuras de resistencia llamados gametangios, donde el oogonio se une con el anteridio; a través, de un tubo de fecundación y se fusiona con el núcleo del óvulo. Las oosferas segregan una pared para formar las oosporas, después de un periodo de reposo, las oosporas son liberadas, enseguida producen un tubo germinativo que dará origen al esporangio, mismo que en condiciones favorables dará lugar a las siguientes generaciones del fitopatógeno (Alexopoulos y Mims, 1985).

Impacto económico por el comportamiento epidemiológico de la tristeza del aguacate

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2017) la tristeza del aguacate es la principal limitante de producción del cultivo de aguacate, en condiciones favorables, el riesgo epidemiológico de afectación en huertas comerciales es de 75%, con pérdidas anuales hasta 30 millones de dólares (Kurbetli *et al.*, 2020b). La distribución espacial de la enfermedad se ha diseminado en las diferentes regiones del mundo, donde se cultiva *P. americana*. A partir de los primeros brotes epidemiológicos de *P. cinnamomi*, el incremento de la enfermedad ha crecido de forma exponencial (Ramírez, 2018).

En América Latina, la tristeza del aguacate eliminó importantes áreas de producción comercial de aguacate en México, Perú, Colombia y Chile (Toapanta *et al.*, 2017). En 1942, el patógeno fue aislado de raíces de aguacate por Tucker (Zapata y Leal, 2018). En el mismo año, en California, USA. fue aislado de huertas de aguacate (Serrano y Garbelotto, 2020) y en 1980, en USA, la enfermedad devastó 1 500 ha de aguacate (Flores, 2015; Kurbetli *et al.*, 2020b). En Sudamérica, 1950, en Perú detectaron 50 000 árboles enfermos (Flores, 2015).

En Colombia las pérdidas de plántulas fueron de 50% y en plantaciones de aguacate 47% (Pérez *et al.*, 2014). En la zona aguacatera de Chile, esta enfermedad también es limitante en el cultivo del aguacate (Sepúlveda *et al.*, 2013). En 1986, *P. cinnamomi* Rands se presentó en plantaciones de aguacate de Ecuador, donde fue clasificada como la enfermedad de fácil propagación con alta incidencia y de control obligatorio (Toapanta *et al.*, 2017).

En 1965, en Australia los suelos forestales también fueron positivos a la presencia de *P. cinnamomi* Rands (Flores, 2015) en un millón de ha, el oomiceto destruyó más de 400 hospederos (Almaraz *et al.*, 2013).

En 1970, en Sudáfrica con la introducción del cultivo de aguacate, el número de huertos infectados creció de forma exponencial, y las pérdidas se estimaron 20% de la producción total (Flores, 2015). También, en la región de Andalucía, España 40% de huertos de aguacate se vieron afectados por *P. cinnamomi* (Kurbetli *et al.*, 2020b). En 1982 se identificó la enfermedad de la tristeza de aguacate, aumentando la incidencia en huertas de aguacate de Israel (Kurbetli *et al.*, 2020b).

Actualmente, la enfermedad de la tristeza del aguacate ha traspasado fronteras y continentes (Gómez, 2018). Derivado de este ensayo, en la Figura 2 se hace el aporte con la distribución espacial de la enfermedad con brotes epidemiológicos, donde destacan Australia, Nueva Zelanda, África, Israel, España, Marruecos, USA y México (Gómez, 2018).



Figura 2. Distribución mundial de *Phytophthora cinnamomi* Rands, generado con datos tomados de EPPO (2021).

Situación fitosanitaria de la tristeza del aguacate en México

En 1952, en México los primeros brotes epidemiológicos de la tristeza del aguacate causada por *P. cinnamomi* alcanzó pérdidas de 90% en huertas de aguacate (Almaraz *et al.*, 2016). En 1994, en Uruapan, Michoacán la enfermedad causó la muerte de 100 100 árboles de aguacate Hass (Andrade *et al.*, 2017); De acuerdo con Ochoa *et al.* (2015) 4 000 ha de aguacate están afectadas por *P. cinnamomi*. También, en Atlixco, Puebla han desaparecido grandes áreas productoras de aguacate (Ochoa *et al.*, 2015). En la actualidad Puebla, Chiapas, Veracruz, Nayarit, Morelos y Michoacán presentan esta enfermedad con diferentes grados de afectación en huertas productoras de esta Lauraceae (Gómez, 2018). Ramírez (2018) menciona que, en zonas productoras de aguacate de la República Mexicana, presentaron incidencia de 5% de la enfermedad de la tristeza del aguacate.

Medidas fitosanitarias para el control de la tristeza del aguacate

Para el control de la enfermedad e incrementar la tolerancia del hospedero durante el periodo crítico de infección, se requiere implementar el manejo integrado a base de control cultural, biológico, genético, físico y químico (Andrade *et al.*, 2017). De acuerdo con Ramírez *et al.* (2014), la aplicación de especies de microorganismos del género *Pseudomonas*, *Trichoderma* y hongos micorrízicos tienen efecto de exterminio sobre *P. cinnamomi* y progreso en el crecimiento del árbol de aguacate. Además, el género *Trichoderma* sp., tiene propiedades antagónicas para el control de *Phytophthora* sp., *Rhizoctonia* sp., *Sclerotium* sp., *Pythium* sp. y *Fusarium* sp., presentes en el suelo, quienes causan enfermedades fúngicas (Andrade *et al.*, 2017).

El modo de acción de *Trichoderma* sp., se incrementa por competencia directa con los fitopatógenos, por espacio y nutrientes, producción de metabolitos volátiles o no volátiles y parasitismo (Andrade *et al.*, 2017). La alternativa del mejoramiento genético se basa en obtener patrones de aguacate tolerantes a *P. cinnamomi* (Pérez *et al.*, 2015). También, los materiales tolerantes se injertan en variedades criollas como *P. americana* var. *drymifolia*, S. F. Blake, Duke 6, Duke 7 y Thomas, materiales que son resistentes a enfermedades de raíz (Rincón *et al.*, 2011).

Otra alternativa es el control físico, donde se utiliza la solarización para reducir la prevalencia del patógeno, se basa en retirar la copa del árbol a una altura de 1.5 m, el tronco y ramas se pintan con sal, cal y agua, el cajete se limpia de residuos, el suelo se nivela alrededor el árbol, en un radio de 4 m, enseguida se aplica riego a capacidad de campo y por último se coloca plástico negro calibre 150 de 6 x 6 m sobre la superficie del suelo, a partir del centro del árbol a la periferia, lo que permite el incremento de temperatura a 32 °C y 65 °C, en este sentido, el efecto invernadero es letal para el patógeno, así mismo aumenta la población de microorganismos saprófitos, mismos que compiten por espacio y se genera antagonismos para el fitopatógeno (Flores, 2015).

En el control cultural se realizan camellones de 0.5-1 m de altura para aumentar el drenaje del agua, esto tiene como objetivo asegurar que las raíces se ubiquen en el suelo y que no esté compactado (Sepúlveda *et al.* (2010). Entre las principales prácticas se deben realizar riegos adecuados para reducir el exceso de humedad y evitar la inundación de la cepa o cajete del cultivo (Sepúlveda *et al.*, 2010). En el control químico, se aplican fungicidas específicos como acilalaninas o fenilamidas, para patógenos del reino Straminipila (Leal *et al.*, 2014). Las moléculas destruyen el desarrollo de *Phytophthora* sp., su mecanismo de acción es sobre la biosíntesis del ADN; sin embargo, existe alto riesgo de generar resistencia, para evitar que el oomiceto genere resistencia a las moléculas, se sugiere la combinación con fungicidas de amplio espectro Benalaxil, Furalaxil y Metalaxil (Leal *et al.*, 2014).

También se pueden aplicar fosfonatos, por el mecanismo de acción sistémico (Sepúlveda *et al.*, 2010). En este grupo se encuentra fosetil-al y el ácido fosforoso, mismos, que han mostrado efectividad en follaje, suelo y por inyección en el árbol para el control de *Phytophthora* sp., (Sepúlveda *et al.*, 2010). Otro de los tratamientos que se pueden aplicar son los fosfitos, su acción es sistémica, la aplicación es por aspersión directa en hojas, suelo y también se busca que el suministro sea por vía inyección. Entre los beneficios más sobresalientes son el crecimiento de raíz y la altura de las plantas (Rodríguez *et al.*, 2016).

Endoterapia

Ante esta problemática fitosanitaria, la endoterapia es un método alternativo de control y de bajo impacto ambiental (Espinosa *et al.*, 2013). El mecanismo de acción consiste en la translocación y disposición del ingrediente específico dirigido a los haces vasculares del árbol y a las estructuras botánicas colonizadas por el oomiceto (Espinosa *et al.*, 2013; Alayón *et al.*, 2015). La endoterapia es una técnica que inicia en la época helenística, se utilizó para fines terapéuticos a partir de mediados del siglo veinte (Estévez *et al.*, 2011). De acuerdo con García (2011) la endoterapia fue utilizada por Leonardo Da Vinci, en árboles de manzana, quien aplicó las primeras pruebas con arsénico y así evitó el robo de los frutos (Estévez *et al.*, 2011).

Desde hace 30 años, en regiones de Asia, América Latina y África, la endoterapia se utiliza con éxito contra plagas y enfermedades en palmeras, también en datileras o cocoteros para el control del picudo rojo (Estévez *et al.* 2011). En Egipto y el Golfo, esta práctica se aplica a partir de 20 años a la fecha y en España por 10 años consecutivos es herramienta habitual para el control y manejo de la enfermedad (Estévez *et al.*, 2011). La aplicación en los árboles implica intervalos de 30 s hasta 10 min, el tratamiento es específico, actúa a partir de la capacidad de flujo de savia que se presenta en el interior de los tejidos vasculares (xilema) (García, 2011).

Para optimizar la efectividad de la técnica se han diseñado diferentes equipos de inyección micro y macro, mismos que han servido para investigaciones, control y prevención de enfermedades y plagas (Li y Nangong, 2021). La primera técnica, consiste en la aplicación por microinyección (Doccola y Wild, 2012; Tanis y McCullough, 2016). El sistema utiliza boquilla de salida o inyector tipo aguja, se aplica volumen bajo (1 a 3 ml) de producto sistémico, en presentación líquida (Doccola y Wild, 2012; Tanis y McCullough, 2016). El orificio es menor de 4.9 mm de diámetro y profundidad máxima de 30 mm (Doccola y Wild, 2012; Tanis y McCullough, 2016).

Por cada inyección se aplica aire/hidráulico con presión baja de 172 a 1 379 kilopascal (kPa) o 40 libras por pulgada cuadrada (PSI) (Doccola y Wild, 2012; Tanis y McCullough, 2016). Este sistema se inyecta en los tejidos de albura y cambium del tejido leñoso, la uniformidad de distribución del producto es en pocas horas misma, que se incrementa de acuerdo con la transpiración, y se relaciona con la pérdida de agua; además, la endoterapia reduce riesgo de fugas químicas, derrames y heridas en los árboles (Cibrián, 2021; Li y Nangong, 2021).

El sistema de macroinyección, tiene en la punta del inyector un cono metálico, que permite hacer orificios de 9 mm y con profundidad máxima de 70 mm, además se emplea válvula de taquete expansor; esta técnica inyecta mayor volumen durante la aplicación del tratamiento sistémico, evita que el producto se derrame y potencialmente mejora la translocación del fungicida en los haces vasculares del árbol (Arriola *et al.*, 2014; Arriola *et al.*, 2014; Tanis y McCullough, 2016; Cibrián, 2021). El sistema puede durar hasta tres años, por presentar alta precisión, se reduce el volumen del producto, la permeabilidad se incrementa y el fungicida se absorbe con mayor velocidad (Li y Nangong, 2021).

También se utiliza el sistema de infusión método de flujo por gravedad o inyección pasiva en este sentido la presión externa, no es necesaria y la efectividad biológica dependerá del fungicida mismo, que será introducido hasta los haces vasculares (Cibrián, 2021). Finalmente, el sistema de implantes consiste en realizar la perforación de epidermis y endodermis, hasta alcanzar el xilema y cambium del hospedero (Cibrián, 2021). En el conductor se incrusta una cubierta de agar con la mezcla del fungicida sistémico, el ingrediente activo se libera a través del agua, lo que permite la translocación del producto hasta la zona de afectación, es decir el producto se libera y transloca a la parte afectada del árbol (Cibrián, 2021).

Conclusiones

A nivel mundial, el comportamiento epidemiológico de *P. cinnamomi*, agente causal de la tristeza del aguacate se encuentra distribuido en las zonas productoras de aguacate. El incremento de la enfermedad ha crecido de forma exponencial, además, es la principal limitante de producción del cultivo de *P. americana*. Dada la situación fitosanitaria que expresa la producción de aguacate es necesario implementar alternativas de manejo sustentables, como la endoterapia; a través, de la inyección de productos selectivos en dosis específicas, que controle la enfermedad, sin afectar la calidad e inocuidad del fruto.

Literatura citada

- Alayón, L. P.; Yfran, E. M.; Chabbal, M. M.; Mazza, J. S.; Rodríguez, S. R. y Martínez, B. G. 2015. Efecto de inyecciones nutritivas al tronco en la productividad de naranja Valencia. *Cultivos Tropicales*. 36(2):142-147.
- Alexopoulos, C. J. y Mims, C. W. 1985. Introducción a la micología. Omega. Barcelona, España. 330 p. https://www.academia.edu/34371426/Introducción_A_La_Micolog%C3%ADa_C_Alexopoulos_C_Mims_Omega_1985.pdf.
- Almaraz, S. A.; Alvarado, R. D. y Saavedra, R. L. 2013. Trampeo de *Phytophthora cinnamomi* en bosque de encino con dos especies ornamentales e inducción de su esporulación. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forest. Amb.* 19(1):5-12. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.09.062>.
- Almaraz, S. A.; Alvarado, R. D.; Leyva, M. G.; Equihua, M. A.; Aranda, O. S. y Hernández, M. J. 2016. Pruebas de patogenicidad de *Phytophthora cinnamomi* Rands. en *Pseudotsugamensiezii*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 34(2):147-157. doi:10.18781/R.MEX.FIT.1509-2.
- Andrade, H. A.; León, G. C.; Molina, G. E.; Espinosa, B. M.; Alvarado, R. D. y López, J. A. 2015. Totipotency in avocado seedling resistance to *Phytophthora cinnamomi*. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(2):361-373. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n2/v6n2a11.pdf>.
- Andrade, H. P.; Molina, G. E.; Isidro, C. J.; Hernández, L. E.; Cortés, G. Y. y Rivera, S. L. 2017. Control biológico *in vitro* de *Phytophthora cinnamomi* con *Trichoderma* spp. In: Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate. Salazar, G. S. y Barrientos, P. B (Ed.). Ciudad, Guzmán, Jalisco, México. 147-53 pp. http://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG-147.pdf.
- Arriola, P. V.; Camacho, F. A.; Reséndiz, M. J. y Gijón, H. A. 2014. Manual sobre alternativas para el manejo de descortezadores y muérdago enano en áreas naturales protegidas en el Eje Neovolcánico Transversal. Manual técnico núm. 13. CENID-COMEF, INIFAP. México, DF. México. 44-49 pp. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160005>.
- Berg, V. D. N.; Swart, V.; Backer, R.; Fick, A.; Viena, R.; Engelbrecht, J. and Prabhu, S. 2021. Advances in understanding defense mechanisms in *Persea americana* Against *Phytophthora cinnamomi*. *Frontiers in Plant Science*. 120:1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.636339>.
- Cibrián, T. D. 2021. Fundamentos para el manejo integrado de plagas forestales MIPF. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. México. 306-313 pp. <https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=detalle&nt=345823>.
- Dai, T.; Hu, T.; Yang, U.; Shen, D. X.; Jiao, B.; Tian, W. and Xu, Y. 2019. A recombinase polymerase amplification- lateral Flow dipstick assay for rapid detection of the quarantine citrus pathogen in China, *Phytophthora hibernalis*. *PeerJ*. 7(e8083):1-14. <https://doi/10.7717/peerj.8083>.
- Doccola, J. J. and Wild, P. M. 2012. Tree injection as an alternative method of insecticide application. *Insecticides-Basic and Other Applications*. InTech, Rijeka, Croatia. 61-78 pp. <https://www.intechopen.com/chapters/27799>.
- Engelbrecht, J.; Duong, T. A. and Van, B. N. 2013. Development of a nested quantitative real-time PCR for detecting *Phytophthora cinnamomi* in *Persea americana* rootstocks. *Plant Dis*. 97(8):1012-1017. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-12-1007-RE>.

- Espinosa, F. N.; Arriola, P. J.; Guerra, C. V.; Cibrián, L.V. y Galindo, F. G. 2013. Control de plagas en conos y semillas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) franco mediante insecticidas sistémicos. Rev. Mex. Cienc. Forest. 5(23):30-41. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n23/v5n23a4.pdf>.
- Estévez, A.; Ferry, M. y Gómez, S. 2011. Endoterapia en palmeras. Estudio de la eficiencia y persistencia de tiametoxam en tratamientos preventivos contra el picudo rojo. Phytoma España. 226:42-49. <https://www.phytoma.com/images/pdf/226-picudo-endoterapia-en-palmeras.pdf>.
- Flores, C. S. 2015. Evaluación de la tasa de crecimiento de *Phytophthora cinnamomi* Rands en medios Alternativos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis de licenciatura. Saltillo, Coahuila, México. 54 p. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7753>.
- García, S. A. 2011. Tecoverd SL: control efectivo integrado de picudo rojo con Endoterapia, sistema ARBOPROF®. Phytoma España. 226:50-51. <https://www.phytoma.com/images/pdf/226-picudo-tecoverd.pdf>.
- García, M. A.; Fernández, R. P.; Ortiz, B. F. y Carbonero, M. M. 2016. Podredumbre radical, descripción y control aplicado a los ecosistemas de Dehesa. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). 10-15 pp. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/2428d6aa-a359-49a7-8771-47bec46b1b2f>.
- Gómez, R. A. 2018. Efecto inhibitorio *in vitro* de aceites esenciales contra oomicetos de importancia económica que afectan el cultivo de aguacate. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Tesis licenciatura. Saltillo, Coahuila, México. 20-29 pp. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/45159>.
- Hardham, A. R. and Blackman, L. M. 2018. Pathogen profile update *Phytophthora cinnamomi*. Mol. Plant Pathol. 19(2):260-285. <https://doi.org/10.1111/mpp.12568>.
- Huaman, C. N.; Valeriano, Z. J. y Granados, C. E. 2015. Aislamiento e identificación de *Phytophthora cinnamomi* Rands en el cultivo de palto variedades Hass y Fuerte. Cienc. Agro. 1(1):57-63. <https://19147850-1216-4065-8b34-fd5e3f1771f0.filesusr.com/ugd/c6a5bd.ced4e8aff306401887eb7e5f0c33f163.pdf>.
- Kurbetli, I.; Karaca, G.; Aydogdu, M. and Sülü, G. 2020a. *Phytophthora* species causing root and collar of pomegranate in Turkey. Eur. J. Plant Pathol. 157(3):485-496. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02007-8>.
- Kurbetli, I.; Sülü, G.; Aydogdu, M.; Woodward, S. and Bayram, S. 2020b. Outbreak of *Phytophthora cinnamomi* causing severe decline of avocado trees in southern Turkey. J. Phytopathol. 168(9):533-541. <https://doi.org/10.1111/jph.12931>.
- Leal, J. M.; Castaño, Z. J. and Bolaños, M. M. 2014. Management of avocado (*Persea americana* Linneo) root rot (*Phytophthora cinnamomi* Rands). Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. 17(1):105-114. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S0123-42262014000100012>.
- Li, M. and Nangong, Z. 2021. Precision trunk injection technology for treatment of huanglongbing (HLB)-affected citrus trees—a review. J. Plant Dis. Protec. 1-20 pp. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00510-6>.
- Martínez, P. J. 2015. Efectores de oomicetos fitopatogénicos: en la primera línea de ataque. Fitosanidad. 19(3):251-257. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209150672008>.

- McGowan, J.; Byrne, K. P. and Fitzpatrick, D. A. 2018. Comparative Analysis of oomycete genome evolution using the oomycete gene order browser (GOGB). *Genome Biology and Evolution*. 11(1):189-206. <https://doi.org/10.1093/gbe/evy267>.
- Ochoa, F. Y.; Cerna, C. E.; Gallegos, M. G.; Cepeda, S. M.; Landeros, F. J. y Flores, O. A. 2015. Variabilidad patogénica de *Phytophthora cinnamomi* Rands en *Persea americana* Mill. de Michoacán México. *Ecosistema y Recursos Agropecuarios*. 2(5):211-215. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=358638159009>.
- Osorio, A. L.; Burbano, F. O.; Arcila, C. A.; Vázquez, B. A.; Carrascal, P. F. y Romero, F. J. 2017. Distribución espacial del riesgo potencial de marchitamiento del aguacate causado por *Phytophthora cinnamomi* en la subregión de Montes de María, Colombia. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc.* 11(2):273-285. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7329>.
- Pérez, C. A.; Hernández, G. J. y Fuentes, C. J. 2014. Uso de bacterias endófitas como control biológico sobre *Phytophthora cinnamomi* Rands causante de la pudrición radicular del aguacate (*Persea americana* Mill). *Rev. Colomb. Cienc. Animal*. 6(1):213-222. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/262>.
- Pérez, A. S.; Ávila, Q. G y Coto, A. O. 2015. El aguacatero (*Persea americana* Mill). *Cultivos Tropicales*. 36(2):111-123. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362015000200016&script=sci-arttext&tlng=pt>.
- Pegg, K. G.; Coates, L. M.; Korsten, L. and Harding, R. M. 2002. Foliar, fruit and soilborne diseases. In: Whiley, A. W.; Schaffer, B. and Wolstenholme, B. N. (Ed.). *Avocado: botany, production and uses*. CABI Publishing. 299-338 pp. <https://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20083015155>.
- Pliego, C.; Zumaquero, A.; Martínez, F. E. y López, H. C. 2016. Principales podredumbres radiculares de aguacate en el Litoral Andaluz. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural-Instituto de Investigaciones y Formación Agraria y Pesquera. 5-9 pp. <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/93d30215-c1f3-4b76-b992-0830c8d650b6>.
- Ramírez, G. J.; Castañeda, S. D. y Morales, O. J. 2014. Alternativas microbiológicas para el manejo de *Phytophthora cinanmomi* Rands, en *Persea americana* Mill. bajo condiciones de casa-malla. *Revista Cultivos Tropicales*. 35(4):19-27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193232493003>
- Ramírez, G. J. 2018. Avocado wilt complex disease, implications and management in Colombia. *Rev. Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 71(2):8525-8541. <https://doi.org/10.15446/rfna.v71n2.66465>.
- Rays, H. J. and Brett, M. T. 2012. Mechanisms and evolution of virulence in oomycetes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50:295-318. <http://doi/10.1146/annurev-phyto-081211-172912>.
- Rincón, H. C.; Sánchez, P. J y Espinosa, G. F. 2011. Caracterización química foliar de los árboles de aguacate criollo (*Persea americana*) en los bancos de germoplasma de Michoacán, México. *Rev. Mex. Biod.* 2(82):395-412. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v82n2/v82n2a4.pdf>.
- Rodríguez, S. S.; Cantuarias, A. T.; Bremer, N. H.; Mourao, F. F. and Bordignon, M. R. 2016. Management of root rot in avocado trees. *Rev. Bras. Frutic.* 38(4):1-5. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/VqhxqkccLZCtCrkHkN4J5y/?lang=en&format=pdf>.
- Rodríguez, H. E.; Caicedo, A. A.; Enríquez, V. A and Muñoz, F. J. 2017. Evaluation of tolerance to *Phytophthora cinnamomi* Rands in avocado (*Persea americana* Miller.) germplasm. *Acta Agronómica*. 66(1):128-134. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n1.50705>.

- Ruiz, G. F.; Navarro, C. R. y Pérez L. A. 2019. Estudio de la interacción entre oomicetos de podredumbre radical y *Quercus ilex* L. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 45(2):149-160. <https://doi.org/10.31167/csecfv5i45.19871>.
- Sanchez, A. D.; Ousset, M. J. and Sosa, M. C. 2019. Biolocal control of *Phytophthora* collar rot of pear using regional *Trichoderma* strains with multiple mechanisms. Biological Control. 135:124-134. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.012>.
- Sáenz, P. C.; Osorio, H. E.; Estrada, D. B.; Poot, P. W.; Delgado, M. R y Rodríguez, H. R. 2019. Principales enfermedades en cítricos. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 10(7):1653-1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>.
- Serrano, M. S. and Garbelotto, M. 2020. Differential response of four Californian native plants to worldwide *Phytophthora cinnamomi* genotypes: implications for the modeling of disease spread in California. Eur. J. Plant Pathol. 156:851-866. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01936-8>.
- Sepúlveda, R. P.; Rebufel, A. P.; Sepúlveda, C. G. y Bilbao, A. C. 2010. Tristeza del palto una enfermedad importante. Informativo INIA-URURI. (Ed.). Maldonado, I. I. y Otárola, A. J. Arica, Región de Arica y Parinacota, Chile. 31 p. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4364>.
- Sepúlveda, C. G.; Salvatirra, M. R.; Bilbao, A. C.; Sepúlveda, R. P.; Allende, C. M. and Alache, G. J. 2013. Presence of *Phytophthora cinnamomi* Rands. In avocado orchards in Azapa and Codpa valleys, Chile. IDESIA. 31(2):41-47. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000200006>.
- Sharma, S.; Sundaresha, S. and Bhardwaj, V. 2021. Biotechnological approaches in management of oomycetes diseases. 3 Biotech. 11(6):1-26. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05911-8>.
- Tanis, S. R. and McCullough, D. G. 2016. Evaluación of xylem discoloration in ash trees associated with macroinjections of a systemic insecticide. Arboriculture Urban Forestry. 42(2):389-399. <https://10.48044/jauf.2016.033>.
- Toapanta, G. D.; Morillo, V. L. y Viera, A. W. 2017. Diagnóstico molecular de *Phytophthora cinnamomi* asociado a la pudrición radicular en zonas productoras de aguacate en Ecuador. Sanidad vegetal y protección de cultivos. 18(2):285-294. http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2.art:628.
- Vicent, A.; Mira, J. L. y Dalmau, V. 2016. Estrategias para la gestión integrada de las enfermedades causadas por *Phytophthora* en cítricos. Vida Rural. 413(1):38-44. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/6552>.
- Zapata, J. C. y Leal, J. M. 2018. Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana* Mill.), causado por *Phytophthora cinnamomi* Rands. Temas Agrarios. Colombia. 23(2):131-143. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6638369>.
- Zapata, G. J.; Tobón, A. J.; Patiño, T. H.; Humberto, P. E.; Mejía, C. C.; Marín, Z. H.; Alcaraz, M. C. y Alcaraz, G. E. 2018. El cultivo de aguacate *Persea americana* en el Occidente de Antioquia. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Santa Fe de Antioquia, Colombia. 46-48 pp. <https://hdl.handle.net/11404/5243>.
- Zentmyer, G. A. 1985. Origin and distribution of *Phytophthora cinnamomi*. Yearbook. 69:89-96. <http://www.avocadosource.com/cas-yearbooks/cas-69-1985/cas-1985-pg-89-96.pdf>.