

**Manejo integrado de la pudrición de raíces del aguacate
(*Persea americana* Miller), causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands**

**Integrated management of avocado root rot (*Persea americana* Miller),
caused by *Phytophthora cinnamomi* Rands**

Jairo Castaño Zapata^{1*}, José Manuel Leal²

Recibido para publicación: Marzo 24 de 2017 - Aceptado para publicación: Mayo 24 de 2018

RESUMEN

La pudrición radical del aguacate es un problema devastador en todas las áreas donde se produce el cultivo en Colombia y en el mundo. En vivero y durante los dos primeros años de establecimiento del cultivo se reportan pérdidas entre 30 y 50 % y en campo, incidencias de la enfermedad hasta 75%. Esta revisión está enfocada a proponer alternativas para el Manejo Integrado de la Enfermedad, MIE, involucrando prácticas basadas en manejo cultural y biológico, uso de patrones resistentes y manejo químico. La sanidad, involucra medidas para reducir la posibilidad de introducción de la enfermedad al vivero, como: a) esterilización del sustrato con fumigantes químicos, b) buena ventilación entre plantas, c) buenos drenajes y d) tratamiento de las semillas con agua caliente o fungicidas sistémicos. El manejo cultural y biológico, hace referencia a la aplicación de prácticas que reducen la incidencia de la pudrición de las raíces, como la siembra de las plántulas en montículos y la aplicación de hongos como *Trichoderma harzianum*, respectivamente. El empleo de patrones resistentes como Martín Grande G755a, G755b y G755c de Guatemala, NATU-001 y CANO-008 de Colombia y, Duke 6, Duke 7 y Thomas, de México, es la alternativa más eficiente para controlar la enfermedad, complementada con el uso racional de fungicidas protectantes antes del trasplante del grupo de los ditiocarbamatos y de sistémicos en el campo de los grupos de las acilalaninas y fosfonatos, como metalaxil y fosetil-Al, respectivamente. Todas las prácticas mencionadas están enfocadas dentro del modelo logístico de Van der Plank.

Palabras clave: *Stramenopila*, sanidad, prácticas culturales, control biológico, resistencia genética, productos químicos.

ABSTRACT

The root rot of avocado, is a devastating disease in all cultivated areas of Colombia and worldwide. In nurseries and during the first two years of establishment of the crop it is reported losses between 30 and 50% and in the field, incidences of the disease up to 75% are reported. The review is focused to propose alternatives of Integrated Management of the Disease, IDM, involving practices based on four basic principles: sanitation, cultural and biological management, use of resistant root stocks and chemical control. Sanitation, involves all the measures to reduce the possibility to introduce the disease in nurseries, such as: a) sterilization through vapor and use of fumigants in the substrate, b) good ventilation, c) good drainage, and d) seed treatment with hot water or systemic fungicides. The cultural and biological management, refer to development of cultural and biological practices to reduce the incidence of the disease, as planting of seedlings in mounds and application of fungi, such as *Trichoderma harzianum*, respectively. The use of resistant root stocks, such as Martín Grande G755a, G755b, and G755c, from Guatemala, NATU-001 and CANO-008 from Colombia, and Duke 6, Duke 7 and Thomas, from México, is the best alternative to control the disease, complemented with rational use of protectants fungicides before transplanting of the group of dithiocarbamates and systemics in the field of the groups acylalaninas and phosphonates, such as metalaxyl and fosetyl-Al, respectively. All these practices are focused into the logistic model of Van der Plank.

Key words: *Stramenopila*, sanitation, cultural practices, biological control, genetic resistance, chemical products.

1 Ph.D. Profesor Titular. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, Manizales-Colombia. Dirección: Calle 65 No. 26-10. Correo electrónico: jairo.castano_z@caldas.edu.co

2 M.Sc. en Fitopatología. Correo electrónico: jose_manuelleal@hotmail.es

INTRODUCCIÓN

El Manejo Integrado de Enfermedades, MIE, es un sistema enfocado a la protección y toma de decisiones, enfatizando en la integración de tácticas de manejo biológico, químico, legal, cultural y genético, involucrando un monitoreo cuidadoso de las poblaciones de plantas y de las condiciones ambientales del cultivo, buscando un balance entre la reducción de insumos y la producción y calidad del cultivo. Sus objetivos sociales incluyen mejorar las condiciones económicas, sociales y ambientales para el campo y la sociedad; mientras que, sus objetivos epidemiológicos son: (1) Eliminar o reducir el inóculo inicial, (2) Reducir la eficacia del inóculo inicial, (3) Aumentar la resistencia del hospedante, (4) Retardar la aparición de las enfermedades, y (5) Disminuir la formación de ciclos secundarios de los patógenos (Agrios, 2005). El MIE, requiere que el agricultor entienda, cómo es el desarrollo del cultivo y de las poblaciones de los patógenos que lo atacan, qué opciones hay disponibles para el manejo de una enfermedad en particular, y el retorno de la inversión, junto con su impacto sobre el medio ambiente y la salud pública (Rajotte, 1993).

Es esencial, tener presente que una epidemia requiere que se presenten tres factores: 1. Un patógeno genéticamente virulento, 2. Un hospedante genéticamente susceptible y, 3. Un ambiente favorable para la infección del patógeno y el posterior desarrollo de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2002).

El aguacate (*Persea americana* Miller), no obstante ser un árbol rustico en su medio natural, tiene una serie de limitantes fitosanitarias que se manifiestan tanto en viveros y plantaciones de huertos caseros o comerciales, lo que dificulta su producción. Como consecuencia, el agricultor debe emplear estrategias de manejo, que le permita mantener las enfermedades en niveles que no produzcan daño económico y evitar la llegada de otras enfermedades (Bartoli, 2008).

El sistema de siembra en monocultivo permite a los patógenos producir continuamente estructuras reproductivas que causan el desarrollo de epidemias. Como el sistema es desestabilizado, se incrementa la vulnerabilidad a diferentes enfermedades. Además, la uniformidad genética de los cultivos estimula el desarrollo y diseminación de nuevas razas virulentas de los patógenos. Desde la perspectiva del manejo de enfermedades, el tipo de diversidad más importante en un agro ecosistema es la diversidad genética y se sabe que en monocultivos esta es reducida. Infortunadamente, la agricultura moderna continuará cultivando extensas áreas de plantas genéticamente uniformes, vulnerables al desarrollo de epidemias (Castaño-Zapata, 2002).

En el cultivo de aguacate, la enfermedad de mayor importancia a través del mundo es la Pudrición de raíces, causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands, la cual requiere de decisiones oportunas de manejo (Zentmyer *et al.*, 1994). Este patógeno, puede atacar desde viveros hasta plantaciones de diferentes edades, pudiendo destruir en pocos años una plantación (Bartoli, 2008). En México se reportan incidencias de la enfermedad hasta 75% (Teliz y García, 1982).

Las opciones de manejo en general, incluyen desinfección del suelo, destrucción de plantas enfermas, recolección de frutos enfermos, desinfección de semilla, establecimiento de plantaciones en áreas libres del patógeno, evitar el exceso de agua, emplear patrones resistentes, aislar a los árboles enfermos, utilizar fungicidas sistémicos y el uso de agentes de control biológico (Bartoli, 2008; Tamayo, 2013).

Importancia y distribución. La Pudrición de raíces afecta a variedades criollas y mejoradas de aguacate y en Colombia causa pérdidas que oscilan entre 30 y 50 % de los árboles en la etapa de vivero y durante los dos primeros años de establecimiento del cultivo (Bernal y Díaz, 2008; Tamayo, 2013).

P. cinnamomi es un patógeno cuyo hábitat es el suelo, causando la pudrición de raíces de muchos cultivos hortícolas, ornamentales y forestales; además, causa canchros en tallos y troncos, así como la pudrición de frutos (Zentmyer y Thorn, 1967). Este patógeno fue descrito por primera vez en Sumatra, Indonesia, en 1922 como causa del canchro en árboles de canela (*Cinnamomun zeylanicum* Ness) (Rands, 1922). En América, el primer reporte de esta enfermedad fue en Puerto Rico en 1927, pero fue hasta 1942 cuando *P. cinnamomi* fue aislado de raíces de aguacate (Marais *et al.*, 2002). En la actualidad se encuentra ampliamente distribuido atacando aguacate en aproximadamente 70 países a través del mundo (Pegg *et al.*, 1982; EPPO, 2004).

El patógeno. El nombre "*Phytophthora*, del griego phytón, "planta" y phthorá, "destrucción"; significa "destructor de plantas". En el género *Phytophthora* de Bary, se ubican algunas de las especies fitopatógenas más devastadoras de las plantas dicotiledóneas. Algunos tienen un rango restringido de hospedantes, como *P. infestans* (Mont.) de Bary; sin embargo, causa grandes pérdidas económicas en plantas de la familia Solanaceae, como papa y tomate. Otros como *P. cinnamomi*, tienen un rango muy amplio (Erwin y Ribeiro, 1996). Zentmyer (1985), reportó originalmente alrededor de 1.000 hospedantes, actualmente se le conocen más de 3.000 especies hospedantes (sólo en Australia se conocen más de 2.000), todas ellas plantas leñosas, árboles o arbustos, tanto cultivadas, ornamentales y silvestres (Coffey *et al.*, 1984; Hardham, 2005).

Taxonomía

Reino: Chromista
División: Oomycota
Clase: Oomycetes
Orden: Peronosporales
Familia: Peronosporaceae
Género: *Phytophthora*
Especie: *Phytophthora cinnamomi* Rands (Birch

y Whisson 2001; Hardham 2005).

Descripción del patógeno. *Phytophthora cinnamomi*, ubicado actualmente dentro del reino Chromista (Castaño-Zapata, 2015), produce micelio cenocítico con hifas de 8 µm de ancho, con hinchazones (vesículas) generalmente esféricas y en racimos. Los esporangios son elipsoides u ovoides de 57 x 23 µm en promedio, no papilados, ligeramente engrosados en la parte apical, los cuales se forman únicamente en solución acuosa de extracto de suelo. Las clamidosporas son usualmente esféricas, de pared gruesa, de 18-48 µm de diámetro. Este patógeno produce oogonio de 40 µm de diámetro en promedio, pared lisa de color amarillo a ámbar. El anteridio es anfígeno de 21-23 x 17 µm; esta estructura sexual raramente se forma en cultivos de una sola cepa. Las oosporas son de pared gruesa, incoloras, de 20 - 40 µm de diámetro.

En Papa-Dextrosa-Agar (PDA), el micelio tiene un patrón de crecimiento en forma de camelia o de rosa, debido a que el crecimiento se presenta a intervalos (crecimiento característico de *P. cinnamomi*), que con frecuencia se usa como carácter morfológico para identificarlo. La temperatura requerida para su crecimiento es de 5-34 °C, con una mínima de 5 °C, óptima de 24-28 °C y máxima de 32-34 °C (Waterhouse y Waterston, 1966).

Ciclo del patógeno y epidemiología

P. cinnamomi produce diferentes estructuras que están involucradas en el desarrollo de la enfermedad y sobrevivencia. Estas estructuras son las zoosporas, clamidosporas y oosporas (Figura 1) (Coffey, 1987; Marais *et al.*, 2002). Las zoosporas se forman dentro del esporangio (Figura 1), son liberadas en gran cantidad y se diseminan a través del agua mediante flagelos. El movimiento se debe a que son atraídas por sustancias que exudan las raíces; una vez que se han alojado, se enquistan y germinan produciendo el tubo germinativo que penetra las raíces (Aveling y Rijkenberg, 1986). La

producción de zoosporas puede ocurrir en menos de 48 h, y a partir de éstas, el patógeno tiene la capacidad de producir millones de zoosporas en un corto período de tiempo. Las zoosporas son las responsables de la colonización rápida del patógeno, son frágiles y solo se mueven en el suelo por períodos que varían entre pocos minutos hasta horas, dependiendo de la reserva de energía y de los factores que inducen el enquistamiento (Zentmyer, 1973; Hardham, 1998). Posteriormente el micelio se desarrolla y va invadiendo el tejido de las raíces, causando daño celular y pudrición. La diseminación del micelio puede realizarse de planta a planta mediante el contacto del ápice de las raíces. Cuando existen condiciones de sequía, se producen clamidosporas (estructura de resistencia), éstas se forman dentro de las raíces y son liberadas al suelo cuando éstas mueren. A temperaturas bajas del suelo se producen las oosporas (Zentmyer, 1973; Hardham, 1998).

El patógeno puede sobrevivir en el suelo hasta 6 años, en forma de clamidosporas u oosporas y causar una nueva infección cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables. Ambas germinan y dan origen a esporangios los cuales producen entre 10 y 30 zoosporas móviles infectivas (Coffey, 1987; Marais *et al.*, 2002). La humedad alta del suelo es el principal factor ambiental que influye en el desarrollo de esporangios y las temperaturas bajas en la liberación de zoosporas, las que en presencia de una película de agua por quimiotaxis se dirigen hacia las raíces para infectarlas (Zentmyer, 1985).

P. cinnamomi es diseminado en forma de zoosporas en el agua o como clamidosporas u oosporas en el suelo. Las zoosporas infectan principalmente a las raíces jóvenes, aunque las raíces adultas también pueden ser infectadas. Para que ocurra infección es necesario que haya bastante humedad en el suelo. Cuando existe riego, hay liberación de zoosporas, lo cual puede

promover infección todo el año; sin embargo, la mayor cantidad de daño ocurre en los meses más calurosos. Las temperaturas que favorecen la enfermedad están entre los 20 y 30 °C y un pH de 5 a 7,7 (Castaño-Zapata y Del Rio, 1994).



Figura 1. Ciclo patológico de *Phytophthora cinnamomi*. Tomado de Coffey, 1987.

La Pudrición de raíces del aguacate se favorece bajo condiciones de alta humedad (Bekey, 1987). Son muchos los autores que concuerdan que los factores que predisponen a los frutales, como el aguacate o cítricos entre otros, a una infección por especies del género *Phytophthora*, tienen relación con la acumulación de un exceso de humedad. Esta condición se puede presentar por una mala práctica de riego, por presencia de niveles freáticos altos, o bien por el uso de suelos de textura pesada, con drenaje deficiente. Otros factores importantes son las lesiones o heridas en el tronco o raíces, ya sea por el uso de maquinaria u otra herramienta, pues a pesar de que *Phytophthora* es capaz de penetrar directamente, su penetración es facilitada mediante heridas, aumentando el riesgo de la infección (Zentmyer, 1980; Morales, 1985; Bekey, 1987; Coffey, 1991). Además, otro factor significativo es la acumulación de estiércol junto al tronco, pues este sustrato rico en nutrientes es ideal para el desarrollo del patógeno, el cual al tener un hospedante susceptible y condiciones ambientales favorables inicia

el proceso de infección (Morales y Moreno, 1986). Sin embargo, suelos ricos en materia orgánica favorecen el desarrollo de la microflora antagonista (Zentmyer, 1980; Leal *et al.*, 2014).

El contenido de humedad del suelo es un factor decisivo en el ciclo de *P. cinnamomi*. La humedad alta del suelo provee la condición de agua libre, que favorece la liberación de zoosporas del esporangio. Además, favorece el movimiento de las zoosporas hacia las raíces. La liberación de exudados radicales, causan un gradiente quimiotáxico, capaz de atraer gran número de zoosporas. La infección y muerte rápida de raíces, es seguida por la formación, en pocos días, de esporangios y clamidosporas. Esto permite perpetuar el ciclo del patógeno (Zentmyer, 1980; Bekey, 1987; Coffey, 1991). La interacción entre la humedad del suelo, la temperatura del suelo entre 15 y 30 °C y una buena aireación (15-16 % de O₂), favorecen la infección de *Phytophthora* y su desarrollo, pues se trata de un patógeno aeróbico (Zentmyer, 1980). En relación al pH, cuando éste fluctúa entre 4,5 y 7,5, se pueden observar árboles severamente afectados, y cuando fluctúa entre 6 y 6,5 es ideal para la infección y desarrollo del patógeno (Zentmyer, 1980).

Sintomatología. La enfermedad se presenta en cualquier estado de desarrollo de la planta. En la etapa de vivero las plántulas afectadas presentan poco crecimiento, reducido desarrollo foliar y amarillamiento generalizado de las hojas. A medida que la infección progresa, se presenta necrosis en la parte basal del tallo del patrón. Las plántulas se marchitan, pierden las hojas y se inicia una muerte ascendente del patrón y descendente de la copa; al examinar el sistema radical hay necrosamiento total (Whiley *et al.*, 1986). En condiciones de campo, la enfermedad se presenta en focos, en las zonas más húmedas. Los árboles afectados detienen su crecimiento, los primeros síntomas se manifiestan en la copa del árbol; éstos se inician con un amarillamiento de las hojas el cual puede desaparecer durante

un tiempo para luego resurgir de forma más pronunciada. Las hojas nuevas son más pequeñas o acucharadas, de color verde claro a verde pálido, frecuentemente se marchitan y se desprenden fácilmente. La producción de frutos disminuye, tanto en calidad como en tamaño, hasta dejar de producirlos totalmente (Faber y Marais, 2001). Al avanzar la enfermedad, el árbol muestra marchitez y pérdida de follaje; generalmente no produce brotes nuevos y hay muerte descendente de las ramas. Las raíces presentan coloración oscura y son quebradizas. El sistema radical puede quedar destruido, en un estado más avanzado, los árboles se defolían completamente, hay muerte de ramas pequeñas, caída de frutos y finalmente la muerte del árbol. En la última etapa de la enfermedad, hay ausencia de raíces secundarias y si las hay son negras, quebradizas y podridas. Las raíces principales son atacadas una vez que el árbol se encuentra debilitado, el patógeno puede causar cáncer del tronco, siendo los síntomas de este la producción de un exudado blanquecino y presencia de grietas, lo cual puede ocurrir en 2 o 3 años posteriores al inicio del ataque (Castaño-Zapata y Del Rio, 1994; Marais *et al.*, 2002; Tamayo, 2013).

Manejo integrado de la Pudrición de raíces del aguacate. La Pudrición de raíces es un problema devastador en todas las áreas donde se produce aguacate en Colombia y en el mundo (Coffey, 1987; Tamayo, 2013). La revisión, está orientada a proponer alternativas para el Manejo Integrado de la Enfermedad (MIE), involucrando prácticas basadas en cuatro principios básicos: sanidad, manejo cultural y biológico, uso de patrones resistentes y manejo químico (Coffey, 1987).

Estos principios están enfocados dentro del modelo logístico de Van der Plank: $X = X_0 e^{rt}$, en donde: X = Incidencia final de la enfermedad, X₀ = Incidencia inicial o inóculo inicial, e = Constante 2,718281, r = Tasa de desarrollo de la enfermedad, t = Tiempo (Van der Plank, 1963; Castaño-Zapata, 2002).

Sanidad. Son todas las medidas desarrolladas para reducir, eliminar o excluir totalmente el inóculo inicial (X0) del cual se inicia la Pudrición de raíces en los viveros o en el campo (Castaño-Zapata, 2002). Las actividades claves son: a) esterilización a vapor o uso de fumigantes químicos del sustrato utilizado en los viveros, b) buena ventilación entre plantas, c) buenos drenajes y d) tratamiento de las semillas con agua caliente (48 – 52 °C por 30 min) o con fungicidas sistémicos específicos para Oomycetes (Coffey, 1987; Castaño-Zapata, 2002). La localización de los viveros en sitios con buen drenaje, acceso restringido al vivero, desinfección de herramientas y calzado antes de entrar al vivero, con una suspensión de caldo bordelés, riego con agua no contaminada y desinfección de las llantas de los vehículos con hipoclorito y formaldehído, son usados para evitar el movimiento de suelo infestado con estructuras reproductivas de *P. cinnamomi* a áreas libres del patógeno. No obstante, los esfuerzos de muchos productores de aguacate, la Pudrición de raíces continúa esparciéndose por dos factores importantes: primero, muchos viveristas producen y venden plántulas de aguacate sin conocimiento si están enfermas o no; y segundo, el patógeno se propaga de huerto en huerto por actividades realizadas en el manejo del cultivo y por la falta de recolección de frutos de aguacate que caen al suelo en las áreas cultivadas. Tal vez, la mejor forma de diseminación de la enfermedad es que muchos productores desestiman el alcance de la presencia de la enfermedad en los cultivos, porque el patógeno puede ser diseminado en un cultivo antes que los síntomas se observen (Coffey, 1987; Leal *et al.*, 2014).

Manejo cultural y biológico. Hace referencia al desarrollo de métodos para reducir la incidencia de la Pudrición de raíces. Uno de esos métodos ha sido la siembra de las plántulas de aguacate en montículos, aproximadamente de 1 - 1,5 m de diámetro y 0,5 - 1 m de alto, siendo más utilizados en suelos arcillosos,

planos y poco profundos (Coffey, 1987); otras prácticas culturales utilizadas son las coberturas vegetales y la incorporación de materia orgánica al momento de la siembra (Leal *et al.*, 2014). En suelos infestados con *Phytophthora*, se recomienda hacer los riegos a intervalos más largos, evitando el exceso de humedad (Coffey, 1987). Todas estas prácticas pueden reducir la incidencia o el inóculo inicial (X0) y la tasa de desarrollo (r) de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2002). El uso de coberturas orgánicas para el manejo de la Pudrición de raíces del aguacate tuvo su origen en Australia. Su efecto es atribuido a la alta población microbiana, alto nivel de materia orgánica (> 7%), y altos niveles de nitrógeno, magnesio y calcio que suprimen a *P. cinnamomi*. El esquema complejo llamado “Método de la utilización de la ceniza” usando coberturas orgánicas tales como: paja de trigo y cebada o barbecho de sorgo con gallinaza y cal dolomita para activar el rompimiento de la enmienda orgánica, estimula la supresividad natural del patógeno en el suelo (Broadbent y Baker, 1974; Leal *et al.*, 2014).

La materia orgánica en el suelo puede reducir la Pudrición de las raíces del aguacate por:

1. Incremento de la actividad microbiana nativa en el suelo suprimiendo la población del patógeno (X0) a través de la competición o inhibición específica;
2. Liberación de compuestos tales como dióxido de carbono, amonio, nitritos, saponinas o enzimas que generalmente son tóxicos a *P. cinnamomi*;
3. Efecto trampa donde *Phytophthora* es atraído y enquistado en la materia orgánica;
4. Inducción de mecanismos de defensa de la planta;
5. Mejora del drenaje del suelo y,
6. Creación de un ambiente que estimula el desarrollo de las raíces (Turney y Menge, 1994; Leal *et al.*, 2014).

Algunas enzimas tales como la celulasa y la glucanasa tienen un efecto adverso sobre *P. cinnamomi*, afectando el inóculo inicial (X0), porquesuparedcelular,a diferencia de la mayoría

de los hongos verdaderos, está compuesta de celulosa y glucanos (Downer, 1998; Leal *et al.*, 2014). Estas enzimas son prevalentes en concentraciones altas en la materia orgánica como resultado del rompimiento de la celulosa y la lignina por microorganismos. Es importante la aplicación de coberturas ricas en materia orgánica (alto contenido de celulosa) con una relación carbono-nitrógeno (C: N) entre 25:1 y 100:1, aplicadas en la base de los árboles en capas de 15-20 cm de espesor (Menge, 2000).

Mantener niveles altos de microorganismos en el suelo, puede reducir la Pudrición de raíces del aguacate (Broadbent y Baker, 1974) a través de la destrucción de inóculo inicial (X₀) de *P. cinnamomi*. Muchos microorganismos cuyo hábitat es el suelo, tales como: *Myrothecium roridum* Tode ex Fr., *Trichoderma harzianum* (Rifai), *Epicoccum purpurascens* Ehrenb., *Catenaria anguillae* Sorokin, *Humicola fuscoatra* Traaen, *Anguillospora pseudo-longissima* (Sacc. y Syd.) Ingold, *Hypochoytrium catenoides* Front Cover., *Myrothecium verrucaria* Albertini et Schweinitz, *Streptomyces griseoalbus* Anisha *et al.*, *Micromonospora carbonacea* Luedemann y Brodsky, *Streptomyces violascens* Preobrazhenskaya y Sveshnikova y *Ceraceomyces tessulatus* (Cooke) Jülich, han demostrado ser inhibitorios de *P. cinnamomi* vía competición, antibiosis y parasitismo (Erwin y Ribeiro, 1996; Downer, 1998).

Los principales mecanismos involucrados en el antagonismo que ocurre entre los microorganismos pueden ser de dos tipos: los que implican contacto directo, destruyendo el inóculo inicial (X₀) y los que implican al ambiente, afectando la tasa de desarrollo (r) de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2012). El primero, involucra el hiperparasitismo, obstrucción mecánica y depredación; el segundo, puede involucrar a todos los ambientes, como la competencia por nutrientes, alteraciones del pH del sustrato y producción de antibióticos y otros inhibidores,

o puede involucrar solo el ambiente del hospedante, como la inducción de fitoalexinas e inmunización (Castaño-Zapata, 2014).

Los hongos formadores de micorriza arbuscular pueden ser una opción para el manejo de pudriciones radicales y constituyen el tipo más común de asociación que está presente en la mayoría de las especies de importancia agrícola. Los efectos de estos simbioses no solo favorecen el desarrollo y nutrición, sino que además, pueden incrementar la resistencia natural de las plantas en situaciones de estrés biótico o abiótico, reduciendo la tasa de desarrollo (r) de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2012). Estos microorganismos presentan diferentes mecanismos de acción, entre los cuales se destacan: fortalecimiento del sistema radical, mejor absorción de fósforo, potasio, calcio y otros nutrientes; mayor contenido de aminoácidos, azúcares y enzimas. Además, se favorece el establecimiento, incremento de poblaciones y sinergia con otros microorganismos benéficos que habitan la rizosfera (Sánchez de Prager, 2003; Bolaños, 2006).

En aguacate estos simbioses son especialmente importantes por la ausencia de pelos radicales (Salazar-García, 2002).

Patrones resistentes. Las investigaciones en la búsqueda de patrones resistentes, cuyo objetivo principal es reducir la tasa de desarrollo (r) de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2012), comenzaron entre los años 1940 y 1950, cuando George Zentmyer, en Estados Unidos, inició la búsqueda de fuentes de resistencia en plántulas de varios cultivares comerciales de aguacate y descubrió el cultivar Duke, una variedad mexicana que mostró alguna resistencia de campo a *P. cinnamomi*. De cientos de plantas de Duke seleccionó a los cultivares Duke 6 y Duke 7; ambos con moderada resistencia de campo a la Pudrición radical. En el año 1975, el cultivar Duke 7, llegó a ser el primer patrón con resistencia a este Chromista,

con éxitos comerciales (Coffey, 1987). En Centro América, el mayor esfuerzo comenzó en el año 1971, cuando Eugenio Schieger un fitopatólogo, entonces empleado del gobierno de Guatemala, se unió a Zentmyer, e iniciaron la búsqueda en tierras altas de Guatemala de nuevas fuentes de resistencia a *P. cinnamomi*.

Guatemala es probablemente el centro de origen de la raza guatemalteca o criollo, se encontró que son aguacates silvestres, como el aguacate mico y tipos primitivos de la raza mexicana [*Persea americana* var. *grymifolia* (Schlecht y Cham) Blake], llamado matuloj o aguacate de anís y otras especies comestibles, especialmente *P. schiedeana* Nees, conocido localmente como cojou o chinini (Coffey 1987); este aguacate primitivo matuloj resultó tener resistencia de campo comparable al cultivar Duke 7. En 1975, hubo un importante y significativo descubrimiento, con la colección de semillas de aguacate en un sitio de mercado en Alto Veracruz en Guatemala; de esta colección una plántula denominada Martín Grande G755c resultó tener un nivel alto de resistencia a *P. cinnamomi* (Dolan y Coffey, 1986). Este material fue propagado y probado en campo, resultando dos semillas nombradas G755a y G755b; las tres selecciones resultaron tener más resistencia a la Pudrición de la raíz que Duke 7 y Duke 6 y fueron denominadas Martín Grande en honor a Martín Cunes S. (Coffey, 1987).

Más recientemente en Colombia, Jaramillo *et al.* (2009) identificaron a las accesiones NATU-001 proveniente de Tumaco, Nariño y CANO-008 de Norcasia, Caldas, como promisorias por su alta resistencia a *P. cinnamomi*.

Control químico. Los primeros fungicidas sistémicos con potencial para el control de la Pudrición de las raíces en aguacate, fueron desarrollados en la década de los 70s; cuyos ingredientes activos son el metalaxil y fosetil-Al, extremadamente activos contra *P. cinnamomi* (Coffey, 1987), y su efecto

principal es reducir la tasa de desarrollo (*r*) de la enfermedad (Castaño-Zapata, 2012). El ácido fosforoso (fosfito) ha demostrado tener un efecto promisorio para el control de algunas pudriciones radicales. El fósforo (P) es un elemento esencial requerido por todos los organismos vivos. El P no aparece en forma elemental en la naturaleza porque es muy reactivo, se combina rápidamente con otros elementos como el oxígeno (O) e hidrógeno (H). Cuando se oxida completamente, el P se une con cuatro átomos de O para formar fosfato. Sin embargo, cuando no se oxida completamente, un átomo de H ocupa el lugar del O y la molécula resultante es fosfito (Figura 2). Este simple cambio en la estructura molecular causa diferencias significativas que influyen la solubilidad relativa del material y afectan la absorción y metabolismo de las plantas (Lovatt y Milkelsen, 2006).

El interés por el fosfito se reactivó cuando se demostró que un producto comercial (una sal de fosfonato de aluminio denominada fosetil-Al) se movía desde las hojas hacia las raíces por el floema en forma de fosfito y proporcionaba control de algunas enfermedades radicales. Se ha demostrado que el fosfito en las raíces inhibe a especies de *Phytophthora* y también estimula

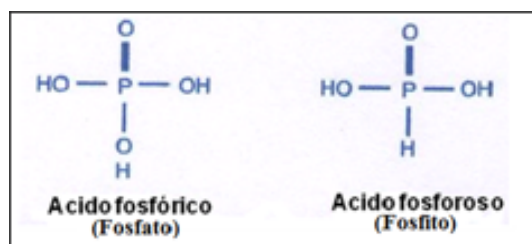


Figura 2. Comparación entre el ácido fosfórico (fosfato) y el ácido fosforoso (fosfito). Fuente: Lovatt y Milkelsen, 2006.

los sistemas de defensa contra patógenos de las plantas (Lovatt y Milkelsen 2006). **Fosfonatos.** Estos incluyen a los fosfitos de potasio (KH_2PO_3), calcio (CaH_2PO_3), magnesio (MgH_2PO_3), ácido fosforoso (H_3PO_3), fosetil Aluminio ($\text{C}_6\text{H}_{18}\text{AlO}_9\text{P}_3$), y últimamente fosetil, los cuales tienen ingredientes activos

similares; sin embargo, el nombre comercial, formulación y usos son diferentes. Con respecto al uso, algunos están recomendados como fungicidas y otros como fertilizantes, aunque éstos últimos son de igual forma útiles para el control de patógenos (Faber y Downer, 2007).

El término fosfonato $[\text{PHO}_3]^{2-}$ describe a productos hechos de sales y ésteres de ácido fosforoso. Cuando este último es mezclado con agua, se forma el ácido fosfónico (H_2PHO_3) el cual es muy fuerte para ser usado en plantas pero que al ser mezclado con otros químicos puede subir su pH y disminuir la posibilidad de causar lesiones a las plantas. En este sentido se emplean sales alcalinas para neutralizar el pH del ácido fosfónico como el hidróxido de potasio (KOH), formándose una mezcla conocida como fosfito de potasio, el cual es el ingrediente activo de muchos fungicidas y fertilizantes (Lovatt y Mikkelsen, 2006). Alternativamente el ácido fosfónico (H_2PHO_3) puede reaccionar con etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) para formar etil fosfonato ($\text{C}_2\text{H}_7\text{O}_3\text{P}_3$). Los iones Aluminio se adhieren durante el proceso de manufactura para neutralizar los iones de etil fosfonato y el producto final es referido como fosetil Aluminio o tris-o etil fosfonato de Aluminio (McDonald *et al.*, 2001).

Se ha demostrado que los fosfonatos pueden actuar directamente sobre el patógeno alterando su crecimiento (Coffey y Joseph, 1985; Grant *et al.*, 1990) o indirectamente estimulando los mecanismos de defensa del hospedante (Smillie *et al.*, 1989; Guest y Bompeix 1990; Nemestothy y Guest 1990; Jackson *et al.*, 2000; Chuang *et al.*, 2003).

Ácido fosforoso neutralizado con sales alcalinas (fosfito). La acción directa del fosfito sobre patógenos fue demostrada por Coffey y Joseph (1985), quienes observaron que con la aplicación de fosfito se puede inhibir el crecimiento micelial, la liberación de oosporas, esporangios y zoosporas y la producción

de clamidosporas de *P. cinnamomi*. Por otra parte, la acción indirecta a través de la inducción de resistencia fue observada por Guest y Bompeix (1990), quienes reportaron que este químico incrementa las respuestas de defensa de las plantas.

Fosetil Aluminio. Su modo de acción es desconocido (FRAC, 2011), aunque, ha sido reportado estimular reacciones de defensa y síntesis de fitoalexinas en la planta contra Oomycetes como *P. cinnamomi* (Agrios, 2005). Es considerado un fosfito metálico y su acción como fungicida ha sido ampliamente estudiada. El hecho de pertenecer al grupo de los fosfonatos, le confiere propiedades de inductor de resistencia y en este sentido se ha observado que actúa directamente reduciendo el crecimiento micelial de especies de *Phytophthora* en plantas de tabaco y tomate (Fenn y Coffey, 1989) y de igual forma también se ha visto que induce resistencia disminuyendo la severidad de la Pudrición de la corona [*Phytophthora cactorum* (Lebert & Cohn) J. Schröt.] y Pudrición de las raíces (*P. fragariae* Hickman) en plantas de fresa (Eikemo *et al.*, 2003). En aguacate, Leal *et al.* (2014), demostraron que tratamientos a base de fosetil-Al + mancozeb, metalaxil + mancozeb, y fosfito de potasio, disminuyeron en 42% la población de *P. cinnamomi* en el suelo y en 50% la incidencia de la Pudrición radical en la variedad Waldin; de igual forma, estos tratamientos aumentaron en 28% la altura de las plántulas y 66% el peso seco, con respecto a las plántulas del testigo.

Recientemente, Bayer Crop Science, desarrolló el fosetil, el cual se comercializa con el nombre de PreValor®, cuyos ingredientes activos son fosetil + propamocarb. Es una mezcla de dos fungicidas sistémicos que estimulan los medios naturales de defensa de la planta, minimizando la posibilidad de aparición de cepas resistentes, promoviendo el vigor de las plantas (efecto fitotónico).

Este producto presenta sistemía completa, ascendente (xilema) y descendente (floema), una penetración rápida y acción preventiva y curativa. A las propiedades de fosetil, que se trasloca a través de los vasos del xilema y floema, se le agrega las de propamocarb, que afecta la formación de las membranas celulares, el crecimiento micelial, reproducción y germinación de las zoosporas y esporangios de *Phytophthora* spp. (PLM, 2015), y de Oomycetes en general. Pabón-Villalobos y Castaño-Zapata, (2015), demostraron que este producto inyectado al tallo de naranjo "Salustiana", es una alternativa para lograr la recuperación progresiva del sistema radical de naranjos recién infectados por *Phytophthora* spp.

Efecto epidemiológico de las prácticas de manejo. El control de enfermedades involucra la aplicación práctica de medidas expresadas a través del modelo logístico de Van der Plank, (1963): $X = X_0e^{rt}$. El manejo de la Pudrición de raíces del aguacate consiste en retardar el desarrollo de la epidemia a través de la interacción de varias prácticas. Este retardo depende de la reducción de inóculo inicial (X_0), de la tasa de desarrollo de la enfermedad (r) y tiempo (t) (Castaño-Zapata, 2002; Cook y Yarham, 2006), como se ha visto a través de esta revisión y se resume en la tabla 1.

CONCLUSIÓN

Como se deduce de esta revisión, la Pudrición de raíces del aguacate (*Persea americana*), causada por *Phytophthora cinnamomi* debe manejarse empleando varias estrategias, enfocadas dentro del modelo logístico de Van der Plank. En Colombia, aún no existe un manejo integrado para el cultivo del aguacate, ni para la Pudrición de raíces. Con esta revisión se pretende hacer un aporte a los agricultores y técnicos que sirva de guía para el Manejo Integrado de la Enfermedad, desde el punto de vista epidemiológico y para futuras

investigaciones cuyo objetivo sea validar bajo condiciones locales la efectividad de algunas prácticas mencionadas en el documento.

Tabla 1. Prácticas de manejo de la Pudrición de raíces del aguacate y su efecto sobre cada uno de los parámetros del modelo logístico de Van der Plank.

Estrategias	Factor epidemiológico
Prácticas sanitarias	
Esterilizantes	X_0
Fumigantes	X_0
Tratamiento de semilla	X_0
Solarización	X_0
Desinfestantes	X_0
Prácticas culturales	
Siembra en montículos	r
Control de la humedad del suelo	r
Empleo de coberturas orgánicas	r
Incorporación de materia orgánica	r
Encalamiento del suelo	r
Micorrizas	r
Control genético	
Patrones resistentes	r
Inducción de resistencia	r
Control biológico	
Hongos	r
Bacterias	r
Bacterias promotoras de crecimiento vegetal	X_0
Control químico	
Fungicidas	r

REFERENCIAS

- Agrios, G. 2005.** Plant pathology. 5ed. San Diego, Estados Unidos. Academic Press. 905 p.
- Aveling, T. y Rijkenberg, F. 1986.** Infection of susceptible avocado by *Phytophthora cinnamomi*. South African Avocado Growers Association Yearbook 9: 55-56.
- Bartoli, J. 2008.** Manual técnico del cultivo de aguacate Hass (*Persea americana* L.). La Lima, HN, FHIA. Disponible desde Internet en: <http://www.hondurasag.org> (con acceso 27/10/2013). [Links]
- Bekey, R. 1987.** California avocado diseases. California Grower 11(5): 18-21

- Bernal, E. y Díaz, D. 2008.** Tecnología para el cultivo del aguacate. Manual Técnico 5. CORPOICA Centro de Investigación La Selva. Rionegro, Antioquia. Colombia. 241 p.
- Birch, P. y Whisson, S. 2001.** Phytophthora infestans enters the genomics era. Mol. Plant Pathol. 2:257-263.
- Bolaños, B. 2006.** Evaluación de actividad enzimática (deshidrogenasa, proteasa, fosfatasas y arilsulfatasas) en la rizosfera de plátano (*Musa AAB*): relación con propiedades de un andisol. Tesis Doctoral para optar al título de Ph.D. en Ciencias Agropecuarias. Manejo de Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 214 p.
- Broadbent, P. y Baker, K. 1974.** Comportamiento de *Phytophthora cinnamomi* en suelo supresivo y favorable a la Pudrición de raíz. Diario Australiano de Investigación Agrícola 25:121-137.
- Castaño-Zapata, J. y del Rio, L. 1994.** Guía para diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica. Tercera edición. Zamorano Academic Press. Honduras C.A. 287 p.
- Castaño-Zapata, J. 2002.** Principios básicos de fitoepidemiología. Editorial Universidad de Caldas. 398 p.
- Castaño-Zapata, J. 2014.** Guía ilustrada de hongos promisorios para el control de malezas, insectos, nematodos y hongos fitopatógenos. Editorial Universidad de Caldas. Segunda reimpresión. 98 p.
- Castaño-Zapata, J. 2015.** Principios básicos de hongos fitopatógenos. Centro Editorial Universidad de Caldas. 362 p.
- Chuang, H., Hsieh, T., Duval, M. y Thomas, T. 2003.** Genomic analysis of Arabidopsis gene expression an response to a systemic fungicide. In: Prade, R.A. and Bohnert, H.J. (Eds). Genomics of Plant and Fungi. Marcel Dekker, Inc., N.Y. Pp. 237-253.
- Cook, R. y Yarham, D. 2006.** Epidemiology in sustainable systems. In: Cooke, B.M.; Jones, D.G.; Kaye, B. (Eds.). (2006). The epidemiology of plant diseases. Dordrecht: Springer. Pp.309-334.
- Coffey, M., Klure, L. y Bower, L. 1984.** Variability in sensitivity to metalaxyl of isolates of *Phytophthora cinnamomi* and *Phytophthora citricola*. Phytopathology 74: 417-422.
- Coffey, M. y Joseph, M. 1985.** Effect of phosphorous acid and fosethyl-Al on the life cycle of *Phytophthora cinnamomi* and *P. citricola*. Phytopathology 75(9):1042-1046.
- Coffey, M. 1987.** *Phytophthora* root rot of avocado. University of California. Plant Disease 71(11): 1046-1052.
- Coffey, M. 1991.** Cause and diagnosis of avocado root rot. California Grower 15(3): 17-23.
- Dolan, T. y Coffey, M. 1986.** Laboratory screening technique for assessing resistance of four avocado rootstocks to *Phytophthora cinnamomi*. Plant Disease 70: 115-118.
- Downer, J. 1998.** Control of avocado root rot and *Phytophthora cinnamomi* Rands in mulched soils. Ph. D. Dissertation. Univ. California Riverside. 210 p.
- Eikemo, H., Stensvand, A. y Tronsmo, A. 2003.** Induced resistance as a possible means to control diseases of strawberry caused by *Phytophthora* spp. Plant Disease 87:345-350.
- EPPO. 2004.** *Phytophthora cinnamomi*. Diagnostic protocols for regulated pests. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Bulletin 34: 201-207.
- Erwin, D. y Ribeiro, O. 1996.** *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press, St. Paul. 562 p.
- Faber, B. y Marais, L. 2001.** UC IPM Pest management guidelines: Avocado diseases. University of California ANR Publication 3436. <http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/r8100111.html>.
- Faber, B. y Downer, J. 2007.** Evaluación de productos fosfonatos disponibles comercialmente para el control de *Phytophthora cinnamomi*. Proceedings of the VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate). Viña Del Mar. Chile. 12-6 Nov. 2007. 4 p.

- Fenn, M. y Coffey, M. 1989.** Quantification of phosphonate and ethyl phosphonate in tobacco and tomato tissues and significance for the mode of action of the two phosphonate fungicides. *Phytopathology* 79:76-82.
- FRAC. 2011.** FRAC Code List: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering). Fungicide Resistance Action Committee. 10 p.
- Guest, D. y Bompeix, G. 1990.** The complex mode of action of phosphonates. *Australasian Plant Pathology* 19(4):113-115.
- Grant, B., Dunstan, R., Griffith, J., Niere, J. y Smillie, R. 1990.** The mechanism of phosphonic (phosphorous) acid action in *Phytophthora*. *Australasian Plant Pathology* 19(4): 115-121.
- Hardman, A. 1998.** Cell biology of *Phytophthora cinnamomi*. In: Gadek, P. A. (ed.). *Patch Deaths in Tropical Queensland Rainforests. Association and Impact of Phytophthora cinnamomi and Other Soil Borne Pathogens.* Coop. Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management, Technical Report, Cairns, Australia. 98 p.
- Hardman, A. 2005.** *Phytophthora cinnamomi*. *Molecular Plant Pathology* 6:589-604.
- Jackson, T. Burgess, T., Colquhoun, I. y Hardy, G. 2000.** Action of the fungicide phosphate on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology* 49:147-154.
- Jaramillo, J., Mejía, A., Villamizar, P., Orozco, M. y Arenas, A. 2009.** Informe final del Proyecto: Colección, caracterización y multiplicación clonal de selecciones criollas de aguacate con énfasis en la identificación de patrones con tolerancia a *Phytophthora* spp. CIAT, CORPOICA, PROFRUTALES. Palmira, Valle del Cauca. 153 p.
- Leal, J., Castaño-Zapata, J. y Bolaños, M. 2014.** Manejo de la Pudrición radical (*Phytophthora cinnamomi* Rands) del aguacate (*Persea americana* Linneo). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 17(1): 105-114.
- Lovatt, C. y Milkelsen R. 2006.** Phosphite fertilizers: What are they?. Can you use them?. What can they do?. *Better Crops With Plant Food* 90(4): 11-14.
- Mcdonald, A., Grant, B. y Plaxton, W. 2001.** Phosphite (phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal Plant Nutrition* 24:1,505-1,519.
- Marais, L., Menge, J. y Bender, G. 2002.** *Phytophthora* root rot. Avoresearch a California Avocado Commission Publication Vol. 2 issue 1.
- Menge, J. 2000.** Strategies to control *Phytophthora cinnamomi* root rot of avocado. Department of Plant Pathology, University of California.
- Morales, A. 1985.** Principales enfermedades bióticas y abióticas en limoneros. *Revista Fruticola* 6(2): 55-59.
- Morales, A. y Moreno, P. 1986.** Kiwi: pudriciones radiculares. *Aconex* 12: 13-16.
- Nemestothy, G. y Guest, D. 1990.** Phytoalexin accumulation, phenylalanine ammonia lyase activity and ethylene biosynthesis in fosethyl-Al treated resistant and susceptible tobacco cultivars infected with *Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*. *Physiology and Molecular Plant Pathology* 37:207-219.
- Pabón-Villalobos, J. y Castaño-Zapata, J. 2015.** Evaluación de productos químicos y uno biológico para el manejo de *Phytophthora* spp. en naranjo "Salustiana" injertado en portainjerto Sunki. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 339-349.
- Pegg, K., Forsberg, L. y Whiley, A. 1982.** Avocado rootrot. *Queensland Agric. J.* 108:162-168.
- PLM®. 2015.** Diccionario de especialidades agroquímicas. DEAQ. Edición 25. 1181 p.
- Rajotte, E. 1993.** From profitability to food safety and the environment: shifting the objectives of IPM. *Plant Disease* 77: 296-299.

- Rands, R. 1922.** Streepkanker van kaneel, veroorzaakt door *Phytophthora cinnamomi* n. sp. (Stripe canker of cinnamon caused by *Phytophthora cinnamomi* n. sp.). Medel. Inst. Plantenziekten 54. 41 p.
- Salazar-García, S. 2002.** Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones. INPOFOS. 165 p.
- Sánchez de Prager, M. 2003.** Actividad biológica en la rizosfera del maracuyá (*Pasiflora edulis* var. *flavicarpa*) en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Universidad Politécnica de Madrid - Madrid. Tesis Doctoral. 261 p.
- Smillie, R., Grant, B. y Guest, D. 1989.** The mode of action of phosphite: Evidence for both direct and indirect modes of action on three *Phytophthora* spp. in plants. *Phytopathology* 79: 921-926.
- Tamayo, P. 2013.** VI. Enfermedades y desórdenes abióticos. Pp. 285-313. En: *Actualización Tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el Cultivo de Aguacate*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. 410 p.
- Teliz, D. y García, R. 1982.** Manejo integrado de la tristeza del aguacatero. X Congreso Nacional de Fitopatología de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Culiacán, Sinaloa. México.
- Turney, J. and Menge, J. 1994.** Root health-mulching to control root disease in avocado and citrus. The Calif. Avocado Soc. Circ. No. CAS-94/2.
- Waterhouse, G. y Waterston, J. 1966.** *Phytophthora cinnamomi*. *Commonw. Mycol. Inst. Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria*. No. 113. 2 p.
- Whiley, A. Pegg, K., Saranah, J. y Forsberg, L. 1986.** The control of *Phytophthora* root rot of avocado with fungicides and effects of this disease on water relations, yield and ring neck. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 26:249-253.
- Van der Plank, J. 1963.** *Plant diseases: epidemics and control*. Academic Press. New York. 349 p.
- Zentmyer, G. y Thorn, W. 1967.** Hosts of *P. cinnamomi*. *Calif. Avocado Soc. Yearbook* 15: 177-186.
- Zentmyer, G. 1973.** Control de *Phytophthora* root rot of avocado with p-dimethylaminobenzene diazo sodium sulfonate (daxon). *Phytopathology* 73:267-272.
- Zentmyer, G. 1980.** *Phytophthora cinnamomi* and the disease it causes. U.S.A. Minnesota. The American Phytopathological Society. 96 p. (Mongr. 10).
- Zentmyer, G. 1985.** Origin and distribution of *Phytophthora cinnamomi*. *Calif. Avocado Soc. Yearbook* 69: 89-64.
- Zentmyer, G., Menge, J. y Ohr, H. 1994.** *Phytophthora* root rot. In: *Compendium of Tropical Fruit Diseases*. Part VI. Avocado. Pp. 71-84. Ploetz, R. C. et al. (Editors). The American Phytopathological Society, APS Press. St. Paul, Minnesota, USA.