

Podredumbre radicular del aguacate (*Persea americana* Miller) causada por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* Rands

Carlos J. López Herrera (Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC. Córdoba. e-mail: lherrera@ias.csic.es).
Clara Pliego Prieto (IFAPA Centro de Churriana. Málaga).

El cultivo de aguacate en España comenzó a adquirir importancia en la década de los 70 (Calatrava, 1982) y actualmente está muy extendido, principalmente en el litoral andaluz y las Islas Canarias. Su superficie en 2013 era de 10.800 hectáreas, con una producción de 69.000 toneladas, de las cuales se exportaron alrededor de un 85%, principalmente a países europeos (FAOSTAT, 2016).

Los problemas fitosanitarios más importantes que presenta este cultivo en España están relacionados con enfermedades que afectan a la raíz del árbol. Entre ellas destaca la podredumbre radicular causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands, que está considerado como el patógeno de mayor importancia en este cultivo a nivel mundial (Zentmyer, 1980).

Descripción de la enfermedad

Esta enfermedad expresa como síntomas primarios una podredumbre de raíces como consecuencia de su infección por el patógeno *P. cinnamomi* apareciendo las pequeñas raíces alimenticias del árbol ennegrecidas y quebradizas. El árbol presenta un decaimiento progresivo que puede durar varios años, comenzando con la pérdida de las hojas su-

periores en la copa del árbol y la caída progresiva del follaje hasta la base del mismo; con un tamaño de hojas más pequeño de lo normal al igual que sus frutos y una alta producción antes de su muerte (Figura 1). En España (Málaga y Granada) el 40% de las plantaciones sintomáticas están infestadas por *P. cinnamomi* (Pérez-Jiménez y col., 2005).

Phytophthora cinnamomi pertenece al Reino Chromista; Phylum Oomycota; Orden Pero-

nosporales; Familia Peronosporaceae; Género *Phytophthora*. Presenta un crecimiento micelial tipo roseta o camelia en medio de cultivo patata dextrosa agar (PDA). Es de aspecto coraloides con frecuentes nódulos redondeados y diámetro de hifa de 8 μ (Figura 2). Las clamidosporas son mayoritariamente terminales y rara vez intercalares en las hifas, globosas a piriforme y con un diámetro de 31-50 μ (Newhook y col., 1978). Los espo-



Figura 1. Síntomas aéreos de infección de *P. cinnamomi* en árbol de aguacate. A. Defoliación en copa de árbol. B. Defoliación generalizada. Carlos J. López Herrera.

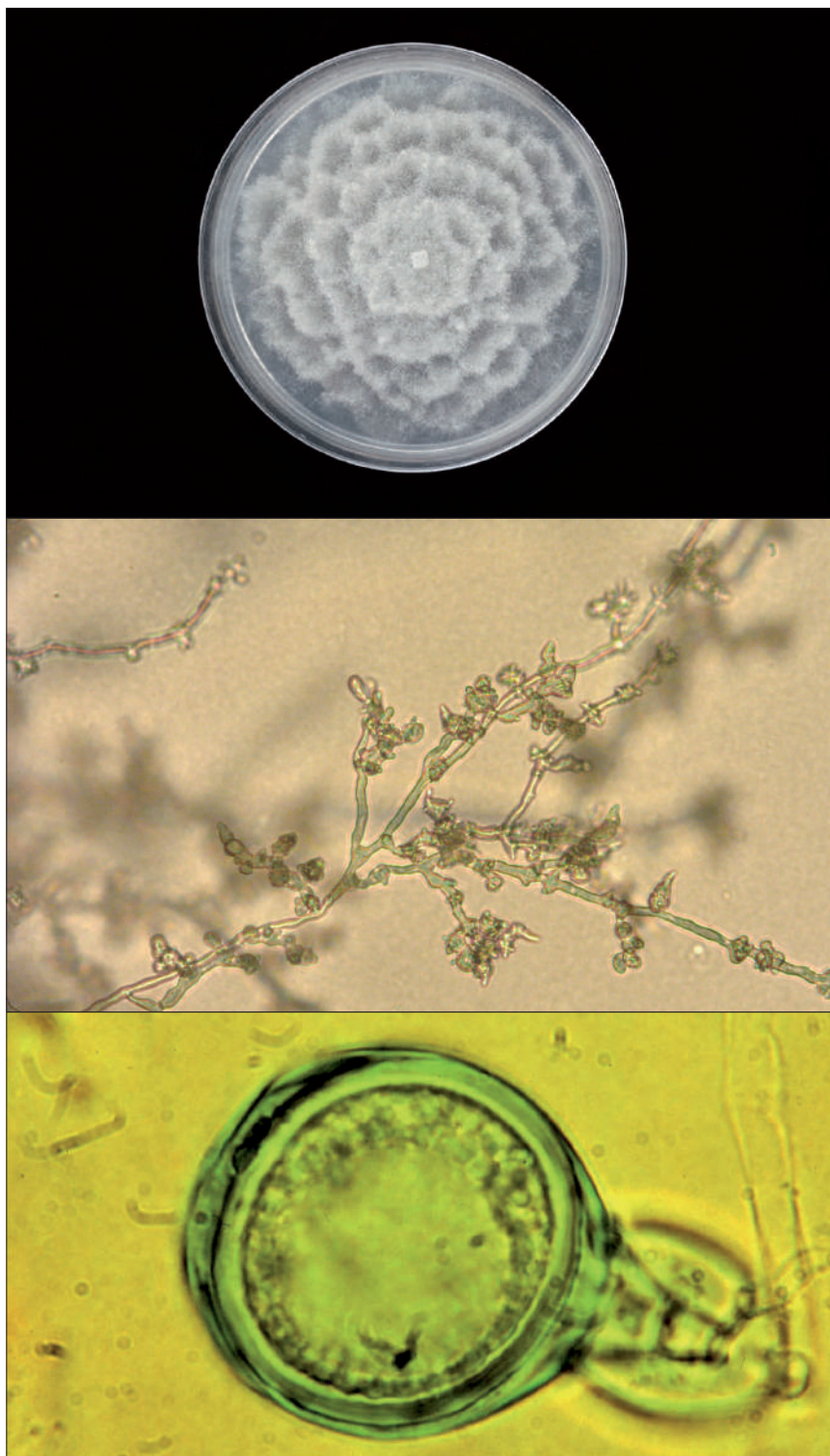


Figura 2. Morfología de *P. cinnamomi*. A. Aspecto de colonia en PDA. B. Micelio coraloide (x20). C. Oospora (anteridio y oogonio) (x1.000). Carlos J. López Herrera.

rangios son estructuras reproductivas asexuales que tienen la capacidad de incrementar el inóculo en muy poco tiempo a través de la producción de zoosporas. Carecen de papilas y generalmente su forma es elipsoide u ovoide, no son caducos y

poseen proliferación interna. Su dimensión varía entre 15-122 μ de longitud y 11-71 μ de anchura (Ribeiro, 1978).

En el estado sexual se producen los gametangios femeninos u oogonios (30 x 58 μ) (saco

en el que se forma la oospora) y los gametangios masculinos o anteridios (21 x 17 μ), en el extremo de las hifas. Las oosporas de *P. cinnamomi* son esféricas, hialinas y de 19-54 μ m de diámetro (Figura 2), y son estructuras de resistencia con baja capacidad de germinación. *P. cinnamomi* es reconocida por ser una especie heterotálica o autoestéril con un tipo de apareamiento sexual A1 compatible con uno A2 que es el más común, sin embargo, incluso en áreas donde ambos tipos de apareamiento están presentes, parece que la diversidad genética surge asexualmente más que como resultado de la recombinación sexual (Zentmyer, 1980, López Herrera y Pérez Jiménez, 1995).

P. cinnamomi puede crecer saprofiticamente en suelos pesados con poco drenaje y persiste en ellos o en material vegetal infectado como clamidosporas y, en menor medida, como oosporas (Weste, 1983). Cuando prevalecen estas condiciones, el patógeno entra en el ciclo de esporulación asexual y las hifas somáticas forman esporangios que pueden liberar de 20 a 30 zoosporas (principales agentes infecciosos) no nucleadas y biflageladas que penetran en raíces de las plantas, y en pocos días las hifas se ramifican a través de los tejidos de las plantas susceptibles, formando nuevos esporangios en la superficie de la planta. El ciclo asexual puede repetirse muchas veces en rápida sucesión, incrementando rápidamente el potencial de inóculo en el área infectada (Figura 3).

Es probable que *P. cinnamomi* infecte más de 3.000 especies de plantas, incluyendo cultivos como haya, castaño, ciprés pino, aguacate, piña, melocotón, macadamia, rododendron y otras ornamentales y arbustos (Zentmyer, 1980).

Control de la enfermedad

Métodos culturales

Producción y distribución de plantas de vivero

En los viveros de plantas de aguacate se ha de prevenir la introducción del patógeno a través del suelo, herramientas o el agua y su diseminación en las áreas de vivero para lograr plantas libres de patógenos. Las semillas antes de su siembra en los sustratos, deben ser tratadas en baños de agua caliente (30 min a 49°C) y los sustratos desinfectados con fumigantes o pasteurización. El agua de riego debe estar tratada con sulfato de cobre (20 ppm) o cloro (0,5 ppm). Además se debe muestrear las plantas para observar posible infección en sus

raíces y proceder a la destrucción de las mismas. Las macetas conteniendo sustrato y plantas deben estar situadas en bancos elevados para evitar la contaminación por agua de áreas infestadas a áreas sanas dentro del vivero. (Zentmyer, 1980).

Plantación en campo

Los suelos arcillosos pesados, mal drenados con permeabilidad lenta del subsuelo y con altos niveles de salinidad no son aconsejables para la plantación de árboles de aguacate en el que puede haber riesgo de infección por *P. cinnamomi*. Para ello se recomienda realizar las plantaciones en lomos elevados (Figura 4) para generar más raíces y mejorar el drenaje del suelo (Goodall y col., 1987). También se ha de cuidar el uso de herramientas, previamente desinfectadas con hipoclorito sódico, a utilizar en las podas y manejo del suelo. El riego debe ser cuidado no sobrepasando las dosis máximas admitidas en cada tipo de suelo para que no haya escorrentía que pueda arrastrar al patógeno en formas de zoosporas móviles desde áreas infectadas a áreas sanas de la plantación. Para ello es recomendable el uso de tensiómetros con objeto de mantener una humedad adecuada del suelo, teniendo en cuenta las demandas locales de evapotranspiración (Zentmyer, 1980).

Es importante que los árboles de aguacate tengan un nivel óptimo de nutrientes para que se desarrollen más vigorosos y menos susceptibles a la infección fúngica. Los fertilizantes nitrogenados con amonio son menos propicios que los fertilizantes con nitratos (Pegg y col., 1982). El calcio es un nutriente importante que puede ser útil en el control de la podredumbre de la raíz del aguacate y enmiendas de yeso mediante aplicaciones entre 1.500 y 3.000 kg/ha bajo la copa de los árboles, dependiendo del tamaño del árbol podrían reducir el desarrollo de la enfermedad (Messenger y col., 2000).

Patrones tolerantes a *P. cinnamomi*

La selección de portainjertos de aguacate tolerantes a la infección por *P. cinnamomi* se inició durante los años cincuenta en California (Zentmyer, 1952). Se recolectaron semillas y brotes de aguacate y especies relacionadas que procedían de diversas regiones del mundo, sobre todo en las Américas, pero también de viejos aguacates locales que mostraban crecimiento en áreas donde la mayoría de los árboles habían muerto por la podredumbre radicular. Como resultado de estos estudios, du-

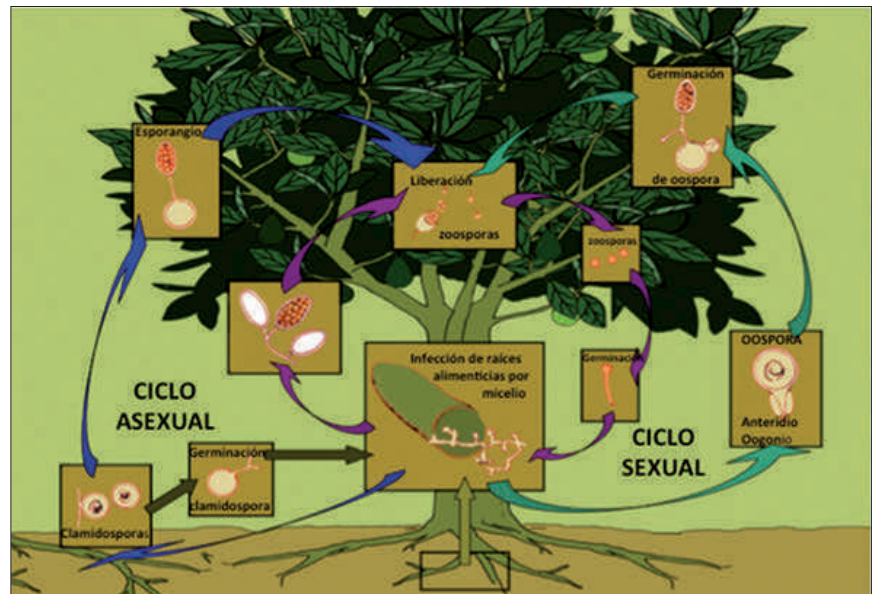


Figura 3. Ciclo de vida de *P. cinnamomi*. Carlos J. López Herrera.



Figura 4. Plantación de aguacates en lomos. Carlos J. López Herrera.

rante los años sesenta se seleccionó en California el cultivar 'Duke', un aguacate de tipo mexicano que muestra una tolerancia parcial al patógeno y dos plántulas de la descendencia de 'Duke'; 'Duke-6' y 'Duke-7', que mostraron mayor crecimiento en suelo infestado y fueron propagados vegetativamente. Actualmente, el portainjerto 'Duke 7', más vigoroso que 'Duke 6', es ampliamente utilizado en distintos países. Posteriormente, se seleccionaron nuevos portainjertos como 'Thomas', con mayor nivel de resistencia que 'Duke 7', pero no ha tenido aceptación comercial debido a su alta sensibilidad a condiciones salinas (Gabor y Coffey, 1990). En la actualidad está en marcha la evaluación de nuevas

selecciones tolerantes a *P. cinnamomi* como 'Uzi' (descendiente de 'G6'), un patrón muy vigoroso y 'Zentmyer' (descendiente de 'Thomas'), con alto nivel de tolerancia, pero también sensible a salinidad (Crane y col., 2013). Paralelamente, el esfuerzo de la industria privada en California ha dado como resultado la selección del portainjerto 'Toro Canyon', que muestra tolerancia parcial a salinidad y a la podredumbre radicular. En Sudáfrica, se obtuvo una selección local, 'Dusa', que está teniendo una amplia aceptación comercial por su buen comportamiento frente al patógeno y su tolerancia a salinidad (Kremer-Köhne y Köhne, 2007). En las Islas Canarias (España), Gallo y col., (2007b) han

Suscríbese

AHORA y disfrute de...



- Boletín semanal
- Revista técnica del sector del VINO (24 números)

• Especiales

- Packaging
- Maquinaria
- Productos enológicos
- Enoturismo
- Viticultura

• Extraordinarios

- Exportación
- Estadísticas
- Vendimias
- Anuario Técnico

• Acceso ILIMITADO a nuestra página web **www.sevi.net**

Actualizada semanalmente

• Y además recibirá gratis la **GUÍA DE VINOS 2016**, la única guía clasificada por variedades



12 meses
Precio*
110 €
* Extranjero 220 €



La
Semana Vitivinícola

www.sevi.net
semanavi@sevi.net

Tel. 963 749 500



Figura 5. Tratamiento de solarización A. En suelo desnudo. B. En plantación establecida. Carlos J. López Herrera.

seleccionado portainjertos de raza antillana adaptados a las condiciones locales y tolerantes a este oomiceto, tales como 'Canarias-1' y 'Canarias-2'. Actualmente en la costa sur de España se utilizan mayoritariamente los portainjertos 'Duke 7', 'Dusa' y 'Toro Canyon'.

En general, los portainjertos tolerantes a *P. cinnamomi* pueden ser infectados en condiciones de altos niveles del patógeno en suelos mal drenados. Por tanto se recomienda que la plantación con estos patrones debe ir acompañada de tratamientos con fungicidas durante los dos primeros años, hasta que el patrón alcance un nivel de desarrollo adecuado y pueda tolerar la enfermedad.

Recientemente, se han comenzado a estudiar las bases moleculares de la interacción aguacate-*P. cinnamomi*. En esta línea, Mahomed y col., (2011) y Reeksting y col. (2016) han llevado a cabo el primer estudio a gran escala de los genes que se expresan en el portainjerto tolerante 'Dusa', tras la infección con este patógeno. Se han identificado un total de 291 genes implicados en las rutas de defensa del ácido salicílico, jasmónico, ácido abscísico, etileno y auxinas. También se han identificado en aguacate, cinco secuencias tipo NPR1; los genes NPR1 son parte esencial en el sistema de defensa de las plantas frente a patógenos y están implicados en la interacción entre las rutas del ácido salicílico y del ácido jasmónico/etileno (Backer y col., 2015). Esto demuestra que la tolerancia a *P. cinnamomi* implica la activación de más de una ruta de defensa, tal y como se ha descrito en otras infecciones fúngicas.

Control Físico

Como alternativa a la desinfección del suelo mediante fumigantes, Katan (1976) desarrolló

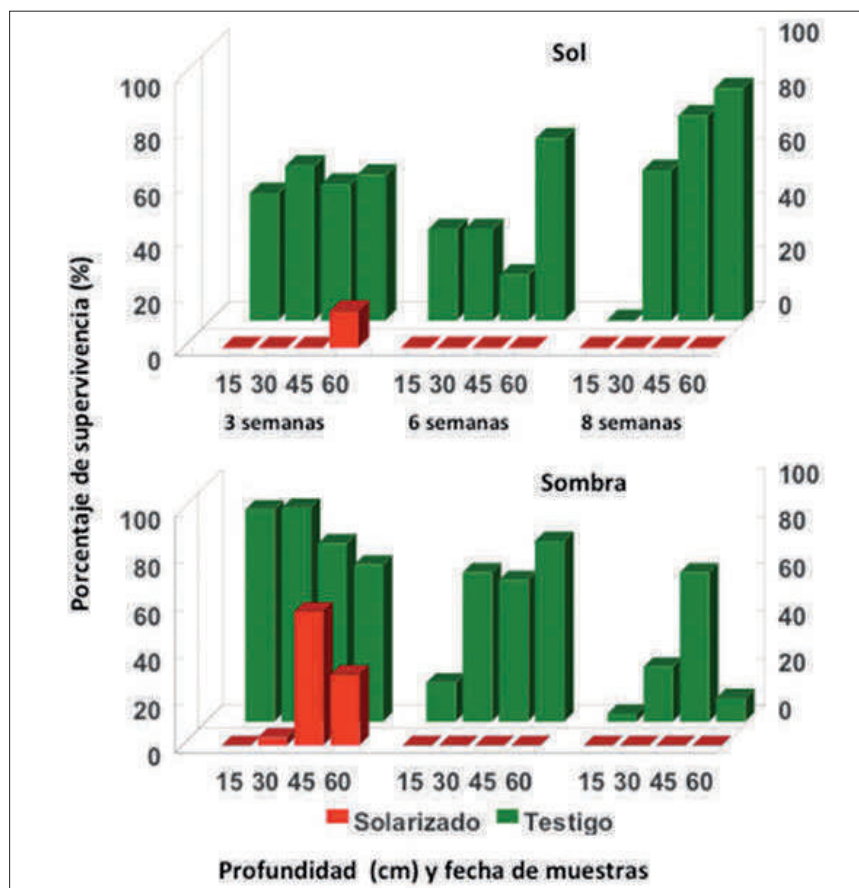


Figura 6. Efecto de la Solarización de suelo en plantación establecida de aguacate. Supervivencia de micelio de *P. cinnamomi* en suelo después del tratamiento físico. Carlos J. López Herrera.

una nueva técnica denominada 'solarización', respetuosa con el medio ambiente y aplicable tanto antes del cultivo en suelo desnudo como en cultivo establecido de aguacate, y que no merma el normal desarrollo vegetativo del mismo. Esta técnica consiste en la aplicación al suelo de una cubierta plástica transparente de 75µ de

espesor con un riego previo del suelo a capacidad de campo. La cobertura plástica debe quedar totalmente sellada para que no exista evaporación durante el tratamiento. Además no se debe regar el cultivo mediante riego localizado pues esto bajaría la temperatura del suelo y el tratamiento no sería efectivo. Dicha cubierta debe mantener-

se en campo durante seis semanas al menos, en periodo estival, desde el 15 de julio a finales de agosto para las zonas del sur de España (Figura 5). El efecto de la solarización sobre el control del patógeno y desarrollo de la enfermedad radica en la acumulación de grados hora de temperatura en el suelo durante el tratamiento que ejerce un fenómeno de pasteurización que inactiva el inóculo del patógeno hasta 60 cm de profundidad de suelo; aunque debido al vacío biológico que se produce hay una posterior reinfestación del suelo por el patógeno desde las capas más profundas que exige una repetición del tratamiento cada dos años, para mantener un bajo nivel de inóculo en el suelo (López Herrera y col., 1997). Este tratamiento físico se ha desarrollado en plantaciones de aguacate de Israel (Pinkas y col., 1984), Sudáfrica (Barbercheck y von Bromembsen, 1986) y California (Juárez-Palacios y col., 1991). En España, López Herrera y col. (1997) estudiaron el efecto de la solarización del suelo en plantaciones establecidas de aguacate de la costa sur (Málaga y Granada), confirmando una reducción de *P. cinnamomi* sobre raíces naturalmente infectadas de aguacate a una profundidad de 30-60 cm después de 6-8 semanas de solarización durante el verano (Figura 6). El efecto a largo plazo de la solarización también se demostró, ya que el patógeno no se pudo detectar en las raíces alimenticias de aguacate hasta 14 meses después del tratamiento. En las Islas Canarias también se ha evaluado la efectividad de la solarización de los suelos tratados antes de la plantación sobre el desarrollo posterior de la pudrición de raíces. Cinco años después del tratamiento se observó que el índice de enfermedad (en una escala de 1 a 5) en árboles de aguacate plantados en suelo con tratamiento previo de solarización era de 2,03 mientras que para el control no tratado era de 4,65 (Gallo y col., 2007a).

Control Químico

El control químico preventivo de la enfermedad se puede realizar mediante la aplicación de fumigantes para disminuir la población de *P. cinnamomi* en el suelo. Aunque la efectividad de este tratamiento es solo efectivo durante dos o tres años en el cultivo del aguacate y una vez establecida la plantación no se puede repetir (Zentmyer, 1980).

En plantaciones establecidas se pueden utilizar algunos fungicidas con efecto de control curativo pero no erradicativo de la enfermedad que se pueden aplicar a suelo, en pulverización foliar o



Figura 7. Inyección de fungicida en tronco de árbol de aguacate. Carlos J. López Herrera.

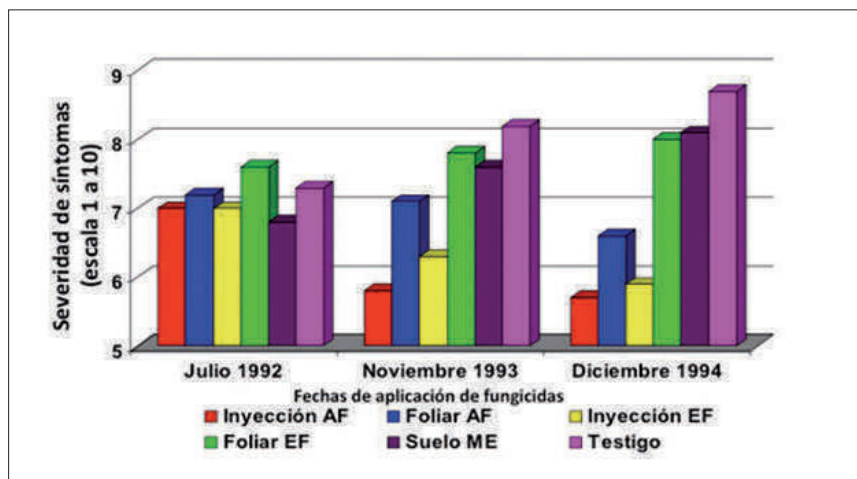


Figura 8. Control químico de *P. cinnamomi*. Evolución de la podredumbre de raíz en una plantación de árboles de aguacate tratados con diferentes fungicidas y métodos de aplicación. Carlos J. López Herrera.

inyectado a tronco. Los primeros utilizados fueron fungicidas a base de cobre como el caldo bordelés o sulfato de cobre (Oyler y Bewley, 1937). Posteriormente se utilizaron otros fungicidas como fenamiosulf (p-dimetilaminobenzenodiozo sulfonato de sodio) o etazol (5-etoxi-3-triclorometil-1,2,4-tiadiazol) que resultaron ser los más eficaces y se han utilizado anteriormente contra el patógeno en diferentes cultivos (Zentmyer, 1955, Zentmyer y Erspamer, 1957, Munnecke y col., 1974).

Posteriormente se encontraron otras clases de compuestos que inhiben el crecimiento de *Phytophthora* y la infección de plantas (Erwin y Ribeiro, 1996). Dos grupos de los productos químicos que han demostrado ser los más eficaces para *P. cinnamomi* son las fenilamidas

(por ejemplo metalaxil) y los fosfonatos (por ejemplo fosetyl-Al), que son sales o ésteres de ácido fosfónico (Guest y Grant, 1991). Debido a que el término fosfonato también se aplica a compuestos que contienen un enlace carbono-fósforo, en gran parte de la literatura reciente las sales de ácido fosfónico usadas para el control de *Phytophthora* se denominan fosfitos (Hardy y col., 2001). El metalaxil y el fosfito son inhibidores sistémicos, siendo el metalaxil translocado en el xilema (acción acrópeta) y el fosfito en el xilema y el floema (acción acrópeta y basípeta) (Guest y Grant, 1991).

Las inyecciones de tronco de aguacate (Figura 7) con ácido fosforoso tamponado con hidróxido potásico, se utilizan al 20% de m.a.

inyectada a una dosis de 15 ml por metro de diámetro de árbol proyectado, resultando eficaz para el control de la pudrición de la raíz de aguacate (Whiley y col., 1992). El modo de acción del ácido fosforoso y de los fosfonatos es complejo, a pesar de un efecto fungistático directo sobre el patógeno, se ha descrito un efecto indirecto por la activación de las respuestas de defensa del huésped (Bompeix y Saindrenan, 1984; Guest y Grant, 1991).

En estudios comparativos de métodos de aplicación y utilización de diferentes fungicidas en plantaciones comerciales de aguacate de la costa sur de España, se ha ensayado etil fosfito de aluminio, metalaxil y ácido fosforoso tamponado con KOH, en aplicaciones a suelo, foliares o inyectadas a tronco, resultando en orden decreciente de efectividad en el control de la podredumbre de raíces causada por *P. cinnamomi*: Ácido fosforoso inyectado, Fosetyl-Ca Inyectado, Ácido fosforoso foliar, Fosetyl-Al inyectado y Metalaxil (Figura 8) (López Herrera y col., 2003).

Control Biológico por suelos supresivos y microorganismos antagonistas

Los suelos supresivos de *P. cinnamomi* tienden a tener un alto contenido en materia orgánica, altos niveles de calcio, pH de 5.5 a 5.7, altos niveles de nitrógeno amónico y nitrato, alta actividad biológica y presentan una gran permeabilidad; en ellos *P. cinnamomi* produce menos esporan-

gios y el crecimiento micelial es más débil que en los otros suelos no supresivos (Rahimian y Casale, 1992).

Inicialmente para inducir la supresión del suelo y controlar *P. cinnamomi* se estableció como enmiendas orgánicas favorables, harina de alfalfa o estiércol de pollo (Zentmyer, 1963) y más tarde la aplicación de estiércol verde, estiércol animal o compostado, (Zentmyer, 1980). Los residuos de paja de jardinería favorecen el crecimiento y estado sanitario del aguacate favoreciendo también el desarrollo de agentes de biocontrol tales como *Trichoderma viride*, *Gliocladium virens* y *Pseudomonas fluorescens* (Bender y col., 1992). Se ha demostrado que la producción de esporangios u oosporas de *P. cinnamomi* es estimulada por metabolitos de ciertas bacterias u hongos. Por lo tanto, los suelos supresivos, donde el patógeno no produce esporangios pueden ser suelos en los que las bacterias estimulantes de esporangios son suprimidas (Malajczuk, 1983).

Se han seleccionado aislados específicos de bacterias y especies fúngicas de suelos supresivos o rizosfera de aguacate antagonistas sobre el patógeno tales como, *Myrothecium roridum* (cepa TW) (Gees y Coffey, 1989), *Streptomyces* spp., *Basidiomycetes*, *Mortierella* spp., *Trichoderma* spp. y *Epicoccum* spp. (Finlay y McCracken, 1991), *Pseudomonas fluorescens* (Stirling y col., 1992), *Aspergillus candidus*, *Paecilomyces lilacinus* y *T. hamatum*, *Bacillus azotoformans* y *B. megaterium* (Duvenhage y col., 1991). *P. putida* y *B. polymyxa* (Dominguez-Correa y col. 1999) y *P. chlororaphis*

(Martín-Sánchez y col., 2007).

Se ha confirmado que los hongos micorrízicos arbusculares (MA), principalmente *Glomus fasciculatus* y *Glomus* spp. tienen un efecto positivo sobre la supervivencia, el crecimiento y la nutrición de las plantas de aguacate procedentes de semillas y de las plantas micropropagadas (Menge y col., 1980; Azcón-Aguilar y col., 1992). Sin embargo, el efecto bioprotector de los hongos MA en las plantas de aguacate contra *P. cinnamomi* no ha sido totalmente elucidado incluso se ha observado plántulas de aguacate más severamente afectadas por *P. cinnamomi* que las plantas no micorrizadas, concluyendo que el estado nutricional del fósforo de la planta puede tener un papel importante en el efecto en las interacciones del MA-aguacate-*P. cinnamomi* (Davis y col., 1978).

Abstract

The avocado crop began to acquire importance in Spain in the decade of the 70 and it is currently widespread, mainly in the coastal area of Andalusian and Canary Islands. Crop acreage was 10,800 hectares in 2013, with a production of 69,000 tons of avocados, of which about 85% were exported, mainly to European countries.

The most important phytosanitary problems of this crop in Spain are related to diseases that affect tree roots. Among them, stands out the root rot caused by *Phytophthora cinnamomi* Rands, which is worldwide considered the most important soil-borne pathogen of this crop.

BIBLIOGRAFÍA

- Azcón-Aguilar C., Barceló, A., Vidal, M.T., de la Viña G. 1992. Further studies on the influence of mycorrhizae on growth and development of micropropagated avocado plants. *Agronomie* 12: 837-840.
- Barbercheck, M.E., von Broembsen, S.L. 1986. Effects of soil solarization on plant-parasitic nematodes and *Phytophthora cinnamomi* in South Africa. *Plant Disease* 70: 945-950.
- Backer, R., Mahomed, W., Reeksting, B., Engelbrecht, J., Ibarra-Laclette, E., van den Berg, N. 2015. Phylogenetic and expression analysis of the NPR1-like gene family from *Persea americana* (Mill.). *Frontiers in Plant Science* 6:300.
- Bender, G.S., Casale, W.L., Rahimian, M. 1992. Use of worm-composted sludge as a soil amendment for avocados in *Phytophthora*-infested soil. *Proceedings of the II World Avocado Congress*. April 21-26, 1991, Orange, California, USA, p 143.
- Bompeix, G., Saindrenan, P. 1984. *In vitro* antifungal activity of Fosetyl-Al and phosphorous acid on *Phytophthora* species. *Fruits* 39: 777-786.
- Calatrava Requena, J. 1982. Los regadíos del litoral mediterráneo andaluz, realidad problemática de una agricultura de vanguardia. *Información Comercial Española* 582: 67-87.
- Crane, J.H., Douhan, G., Faber, B.A., Arpaia, M.L., Bender, G.S., Balardi, C.F., Barrientos-Priego, A.F. 2013. Cultivars and rootstocks. In: *The Avocado. Botany Production and Uses* (2nd ed.) B. Schäffer, B. N. Wolstenholme y A. W. Whiley eds. pp. 200-233, CAB International, London
- Davis, R.M., Menge, J.A., Zentmyer, G.A. 1978. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on *Phytophthora* root rot of three crops plants. *Phytopathology* 68: 1614-1617.
- Dominguez-Correa, P., Silveiro de la Rosa, F., Gallo-Llobet, L. 1999. Antagonismo y supresión de *Phytophthora cinnamomi* Rands en suelos de bosque de Laurisilva en la isla de Tenerife. *Book of Abstracts of the IV World Avocado Congress*, October, 17-22, 1999, Uruapan, Michoacan, Mexico, p 229.
- Duvenhage, J.A., Kotzé, J.M., Maas, E.M.C. 1991. Suppressive soils and biological control of *Phytophthora* root rot. *South African Avocado Growers' Association Yearbook* 14: 6-11.
- Erwin, D.C. and Ribeiro, O.K. 1996. *Phytophthora* Diseases Worldwide. St Paul, MN: APS Press.
- FAOSTAT Database 2016. Food and Agricultural Organization, United Nations, Rome. Disponible online: <http://faostat.fao.org>