

PODREDUMBRES RADICULARES DEL AGUACATE EN EL SUR DE ESPAÑA: REVISIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

R. M. Pérez Jiménez¹, T. Zea Bonilla¹, López Herrera C. J.²

¹ Centro de Investigación y Formación Agraria. Cortijo de la Cruz s/n. Churriana. 29140. Málaga. España. Correo electrónico: patologia@olinet.es

² Instituto de Agricultura Sostenible, C.S.I.C., Apdo. 4084, 14080, Córdoba. España. Correo electrónico: lherrera@cica.es

RESUMEN

En este trabajo se resume el estudio desarrollado en los últimos años por nuestro equipo encaminado a determinar la incidencia de las podredumbres radiculares del aguacate en plantaciones comerciales del sur de España, a conocer la virulencia y características morfológicas y culturales de sus agentes causales: *Phytophthora cinnamomi* y *Rosellinia necatrix*, y a establecer un control integrado de las mismas mediante métodos de lucha físicos, químicos y biológicos.

Actualmente, se continúa con el estudio del control químico de *R. necatrix*, se ha iniciado el estudio del control biológico de este patógeno mediante hongos y bacterias antagonistas y se está desarrollando un programa de evaluación de germoplasma de aguacate para la selección de portainjertos tolerantes a ambos patógenos.

Palabras Clave: control biológico, control físico, control químico, *Persea americana*, *Phytophthora cinnamomi*, *Rosellinia necatrix*,

INTRODUCCIÓN

A principios de los años ochenta se comenzó a observar en plantaciones de aguacate de Andalucía (Sur de España) árboles con síntomas de decaimiento, pérdida de hojas y muerte. Para abordar este problema se desarrolló un proyecto de investigación cuyos resultados indicaron que la podredumbre radicular causada por *Phytophthora cinnamomi* Rands y la podredumbre blanca de

raíz causada por *Rosellinia necatrix* Prill. (anamorfo *Dematophora necatrix* Hart.) eran las enfermedades más importantes del cultivo, detectándose focos de infección por toda la zona (López Herrera, 1989).

Debido a la importancia de esta problemática se continuó con la investigación y se marcaron los siguientes objetivos:

- Determinar la distribución e incidencia de cada una de estas enfermedades en plantaciones comerciales de las provincias de Granada y Málaga.
- Estudiar distintos aspectos de virulencia y características morfológicas y culturales de sus agentes causales: *Phytophthora cinnamomi* y *Rosellinia necatrix*.
- Controlar estas enfermedades mediante métodos físicos (solarización del suelo) y químicos (utilizando fungicidas sistémicos).

MATERIALES Y MÉTODOS

Distribución e incidencia de las podredumbres radiculares

Durante el periodo inicial de esta investigación, se muestrearon fincas con árboles que presentaban síntomas de marchitez y muerte de los que se tomaron muestras de sus raíces. En el laboratorio estas muestras se procesaron para aislar e identificar los hongos presentes y realizar estudios de los aislados. Posteriormente, se ha continuado prospectando sistemáticamente nuevas fincas de aguacate de la zona para determinar la distribución de cada uno de los patógenos. En total, entre 1986-2003, se han analizado 1.379 muestras de raíces procedentes de 481 fincas con árboles sintomáticos.

Virulencia y características morfológicas y culturales de *Phytophthora cinnamomi*

Inicialmente, se realizó un estudio de virulencia de 11 aislados de *P. cinnamomi* representativos de la población de esta zona mediante inoculaciones artificiales en plantas de aguacate. Además, se hizo una descripción de la morfología del micelio de 25 aislados de *P. cinnamomi* en dos medios de cultivo: agar harina de maíz (AHM) y agar jugo de ocho vegetales (AV8). También se describió para cada aislado la morfología de los esporangios y de las estructuras de reproducción sexual: anteridios, oogonios y oosporas, y se determinó el tipo de apareamiento (A¹ o A²).

Virulencia y características morfológicas y culturales de *Rosellinia necatrix*

Al igual que para *P. cinnamomi*, se realizó un estudio de virulencia de ocho aislados de *R. necatrix* procedentes de esta zona. Se definieron las características culturales de *R. necatrix* considerando el efecto del pH del medio y de la temperatura sobre el desarrollo del hongo y se observó la morfología del micelio en dos medios de cultivo: patata dextrosa agar (PDA) y malta agar 1 % (MA).

Adicionalmente, se realizaron descripciones morfológicas de las estructuras de reproducción sexual de *R. necatrix* que se localizaron sobre las raíces de un árbol de aguacate muerto por podredumbre blanca. En este estudio se tomaron medidas de los estromas, ascocarpos, ascas y ascosporas. Con el fin de completar el ciclo de vida del hongo, y confirmar la relación entre *D. necatrix* y *R. necatrix*, se germinaron ascosporas procedentes de los ascocarpos y con los cultivos monospóricos obtenidos se inocularon plantas de aguacate para reproducir los síntomas típicos de la infección por *D. necatrix* y recuperar el micelio característico del estado asexual.

Finalmente, se estudió la posible existencia de un sistema de incompatibilidad somática en esta especie que permitiese diferenciar individuos y determinar el grado de variación existente en la

población de *R. necatrix* patógena del aguacate. Para esto se realizaron cruces intraespecíficos entre aislados masales del hongo (63 aislados procedentes de 56 árboles localizados en 23 fincas distintas) y entre aislados monoascospóricos (75 aislados procedentes de 10 ascocarpos distintos formados en campo).

Control físico

Se estudió el control de las podredumbres radiculares del aguacate mediante la solarización del suelo. Los tratamientos de solarización se realizaron, en plantaciones establecidas de aguacate afectadas por *P. cinnamomi* o *R. necatrix*, durante ocho semanas en la época de verano de distintos años. Además, se realizaron tratamientos de solarización en suelo desnudo para establecer el efecto de la temperatura de suelo sobre la viabilidad de los inóculos de cada uno de estos patógenos.

Control químico

Para estudiar el control químico de *P. cinnamomi*, se realizó un experimento durante tres años en una parcela comercial con árboles de aguacate Hass/Topa-Topa de 10 años de edad infestada de forma natural por el patógeno. Se realizaron cuatro aplicaciones (Julio y Noviembre, 1992-1993) de los fungicidas: ácido fosforoso (solución al 20%, pH 5,8) y etilfosfito de Al-Ca (EF 2088-B) inyectados a tronco, ácido fosforoso y etilfosfito de Al (80WP) en pulverización foliar y Metalaxyl aplicado a suelo.

El control químico de *R. necatrix* se estudió *in vitro* e *in vivo* realizando ensayos preliminares en los que se evaluó la efectividad de los fungicidas: ácido fosforoso, benomilo, carbendazina, metil tiofanato y tiabendazol.

RESULTADOS

Distribución e incidencia de las podredumbres radiculares

Los muestreos realizados confirmaron los resultados preliminares que indicaban una amplia distribución de *P. cinnamomi* y *R. necatrix* en las plantaciones de aguacate de las provincias de Málaga y Granada y permitieron elaborar un mapa de distribución de ambos patógenos en la zona (Pérez Jiménez, 1997). Actualmente, con los datos obtenidos, el porcentaje de incidencia de *P. cinnamomi* en fincas sintomáticas se sitúa en torno al 35% y el de *R. necatrix* al 39%, mientras que el porcentaje de incidencia de fincas en las que se presentan ambos patógenos va en aumento y actualmente se sitúa en un 7%.

Virulencia y características morfológicas y culturales de *Phytophthora cinnamomi*

Los estudios de virulencia pusieron de manifiesto que existen variaciones de virulencia en la población de *P. cinnamomi* patógena del aguacate en Andalucía (Pérez Jiménez, 1997). El micelio de los aislados estudiados presentó distintas características morfológicas según el medio de cultivo utilizado, encontrándose hifas coraloides en AHM y AV8 y abundantes hifas hinchadas y clamidosporas sólo en AV8. Los esporangios de todos los aislados eran de forma elipsoidal u ovoide, no papilados o semipapilados y no caducos, con proliferación interna. El anterido anfigino, unicelular y con forma esférica, el oogonio esférico y las oosporas pleróticas. Los cruces indicaron que todos los aislados eran del tipo de apareamiento A² (López-Herrera y Pérez-Jiménez, 1995).

Virulencia y características morfológicas y culturales de *Rosellinia necatrix*

Los estudios de virulencia diferenciaron aislados de alta, media y baja virulencia. La temperatura óptima de crecimiento de los aislados de *R. necatrix* estudiados fue 25°C, no crecieron a 35°C y

el crecimiento fue mínimo a 5°C. El pH de crecimiento óptimo fue 9 y el más desfavorable 4. En PDA el micelio creció muy denso, de color blanco y con un crecimiento radial uniforme. En MA el micelio fue menos denso y su crecimiento menos uniforme y más lento que en PDA (Pérez Jiménez, 1997).

El estudio de las estructuras de reproducción sexual de *R. necatrix* localizadas en campo, permitió comparar las medidas de ascocarpos, ascas y ascosporas de este material con las que se encuentran reflejadas en la bibliografía para la especie. Por otro lado, se puso de manifiesto que este hongo se reproduce de forma sexual en la naturaleza y se confirmó la relación entre el estado sexual y asexual ya que las plantas inoculadas con los cultivos de ascosporas desarrollaron los síntomas típicos de la infección causada por *D. necatrix*, el hongo inoculado se aisló de las raíces infectadas y sus colonias presentaron las características morfológicas de *D. necatrix* (Pérez-Jiménez y col., 2003).

Se demostró la existencia de un sistema de incompatibilidad somática en *R. necatrix* pues los cruces realizados presentaron dos tipos de respuesta. En todos los autocruzamientos y los cruces entre aislados que procedían de árboles próximos de una misma finca, el crecimiento de las colonias enfrentadas no se modificó al contactar entre ellas, esto se interpretó como una reacción somática de compatibilidad. En los cruces entre aislados procedentes de árboles de fincas distintas, o de una misma finca pero distanciados y en los realizados entre cultivos monoascospóricos, se observó la formación una línea de color gris-negro, más o menos marcada en la zona de contacto de las colonias, (barrera de incompatibilidad) que se interpretó como una reacción somática de incompatibilidad (Pérez-Jiménez y col., 2002).

Control físico

La solarización del suelo de fincas de aguacate de Andalucía incrementó la media de las temperaturas máximas horarias entre 4 y 8 °C en las zonas soleadas y en las zonas sombreadas entre 2 y 4 °C. Las temperaturas máximas alcanzadas variaron entre 35 y 42 °C dependiendo de la profundidad del suelo y del año.

La viabilidad de *P. cinnamomi* en suelo, en raíces de aguacate infectadas y en sustrato nutritivo enterrado a 30-60 cm de profundidad, se redujo drásticamente después de 6-8 semanas de solarización, tanto en las zonas soleadas como en las sombreadas. El patógeno no se aisló de las raíces de los árboles tratados hasta pasados 14 meses desde la solarización. El tratamiento no afectó al crecimiento de los árboles y las cosechas se incrementaron con respecto al testigo (López-Herrera y col., 1997).

El inóculo del *R. necatrix* enterrado a 15-30 cm en las zonas soleadas, tanto solarizadas como testigo, se inactivó entre la 3-5 semana de tratamiento y el enterrado a 45-60 cm se inactivó entre la 4-8 semana. *R. necatrix* no se recuperó en suelo solarizado pasados 9 meses desde la solarización (López-Herrera y col., 1998).

Los resultados de los tratamientos de solarización en suelo desnudo, realizados para relacionar la temperatura del suelo y la pérdida de viabilidad de *P. cinnamomi* y *R. necatrix* en suelo, indicaron que los análisis de regresión entre la viabilidad fúngica y la temperatura-tiempo (grados-hora) acumulada presentaban el mejor ajuste cuando el umbral mínimo de temperatura era de 30 °C. Parece pues, que la acumulación de temperatura-tiempo es el factor decisivo en la erradicación de los inóculos de *P. cinnamomi* y *R. necatrix* cuando se solarizan parcelas de aguacate con árboles afectados por estas enfermedades (López-Herrera y col., 1997; 1999b).

Control químico

El orden decreciente de la efectividad de los tratamientos realizados para en el control químico de *P. cinnamomi* fue: ácido fosforoso inyectado, etilfosfito de Al-Ca inyectado, ácido fosforoso foliar, etilfosfito de Al 80WP foliar y metalaxyl (López-Herrera y col., 1995).

Los resultados preliminares del control químico con *R. necatrix* pusieron de manifiesto que los fungicidas del grupo de los benzimidazoles pueden tener alguna efectividad en el retraso del desarrollo de la enfermedad (López Herrera y Pérez Jiménez, 1993; López Herrera y col., 1996).

DISCUSIÓN

Una vez definidas las enfermedades más importantes del aguacate en Andalucía, realizados los estudios básicos de los agentes causales, y desarrollado el control de estas enfermedades mediante solarización, se está trabajando en el control químico y biológico de *R. necatrix* y se está desarrollando un programa de selección de portainjertos tolerantes a este patógeno.

La investigación en el control químico de *R. necatrix* se está ampliando para, confirmar los resultados obtenidos y ensayar nuevos fungicidas.

Para abordar el control biológico de la podredumbre blanca del aguacate con hongos antagonistas (*Trichoderma* sp.) se están seleccionando y caracterizando cepas del patógeno y del antagonista realizando estudios *in vitro* e *in vivo* (López Herrera y col., 1999c). Asimismo, se ha iniciado una nueva línea de investigación ampliando el estudio del control biológico de esta enfermedad con bacterias de suelo y rizobacterias antagonistas a *R. necatrix*.

Por otro lado, se viene realizando desde hace años un programa de evaluación de material de aguacate para la selección de portainjertos tolerantes a *R. necatrix* (López Herrera y col., 1999a). Hasta la fecha se han seleccionado algunos portainjertos que presentan tolerancia al hongo pero que necesitan de una mayor investigación.

BIBLIOGRAFÍA

LÓPEZ-HERRERA CJ 1989. Podredumbres radicales del aguacate en la Costa del Sol. Años 1987-88. En: Estudios de Fitopatología (J. del Moral, ed.): 172-176. SEF/DGIEA, Badajoz.

LÓPEZ-HERRERA, CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ, RM 1993. Chemical control of *Dematophora necatrix* with phosphorous acid. Abstracts of 6th International Congress of Plant Pathology: p.52.

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ RM 1995. Morphology of *Phytophthora cinnamomi* isolates from avocado orchards in the coastal area of southern Spain. Journal of Phytopathology 143: 735-737.

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ RM, GARCÍA-FARACO J 1995. Effect of different fungicides and methods of application to control avocado root rot in southern Spain. Phytoparasitica 24:77.

LÓPEZ-HERRERA, CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ, RM, ZEA BONILLA, T 1996. Control químico de *Dematophora necatrix* con fungicidas sistémicos. Resúmenes del VIII Congreso nacional de la Sociedad Española de Fitopatología: p. 196

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ RM, BASALLOTE-UREBA MJ, ZEA-BONILLA T, MELERO-VARA JM 1997. Effect of solarization on the control of *Phytophthora* root rot in avocado. Plant Pathology 46: 329-340.

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ RM, BASALLOTE-UREBA MJ, ZEA-BONILLA T, MELERO-VARA JM 1998. Soil solarization in established avocado trees for *Dematophora necatrix*. Plant Disease 82: 1088-1092

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ R, BARCELÓ-MUÑOZ A, ZEA-BONILLA T 1999a. Evaluación de patrones de aguacate por su tolerancia a la podredumbre blanca. World Avocado Congress IV. Revista Chapingo. Serie Horticultura. Vol. V. Especial: 267-270.

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ RM, BASALLOTE-UREBA MJ, ZEA-BONILLA T, MELERO-VARA JM 1999b. Loss of viability of *Dematophora necatrix* in solarized soils. European Journal of Plant Pathology 105: 571-576.

LÓPEZ-HERRERA CJ, PÉREZ-JIMÉNEZ RM, LLOBEL A, MONTE-VÁZQUEZ E, ZEA-BONILLA T 1999c. Estudios in vivo de *Trichoderma* como agente de biocontrol contra *Phytophthora cinnamoni* y *Rosellinia necatrix* en aguacate. Resúmenes del World Avocado Congress IV. Revista Chapingo. Serie Horticultura. Vol. V. Especial: 261-265.

PÉREZ JIMÉNEZ, RM 1997. Podredumbres radiculares del aguacate (*Persea americana* Mill.) en el sur de Andalucía. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. 370 pp.

PÉREZ-JIMÉNEZ RM, JIMÉNEZ-DÍAZ RM, LÓPEZ-HERRERA CJ 2002. Somatic incompatibility of *Rosellinia necatrix* on avocado plants in southern Spain. Mycological Research 106: 239-244.

PÉREZ-JIMÉNEZ RM, ZEA BONILLA, T, LÓPEZ-HERRERA CJ 2003. Studies of *Rosellinia necatrix* perithecia found in nature on avocado roots. Journal of Phytopathology (En prensa).