

La podredumbre radical del arbolado en las dehesas andaluzas, una revisión científica

Eduardo Zamora, Sergio Andicoberry, María Serrano y M^a Esperanza Sánchez (ETSIAM, Universidad de Córdoba).

Se expone una revisión sobre la podredumbre radical de encinas y alcornoques en las dehesas andaluzas basada en el conocimiento científico contrastado. La intención de los autores es ofrecer al sector la información básica sobre la enfermedad, con especial hincapié en las medidas de control disponibles. Esta revisión se ha forjado en el marco del proyecto europeo LIFE11 BIO/ES/000726 *Dehesa ecosystems: development of policies and tools for biodiversity conservation and management*.

La sostenibilidad ecológica de los sistemas adehesados depende del buen funcionamiento de todos y cada uno de sus componentes, y fundamentalmente del arbolado y su buen estado fitosanitario. A principios de la década de los 90 se empezó a constatar la existencia de procesos de deterioro y muerte de *Quercus ilex* y *Q. suber* en la cuenca mediterránea, especialmente en el sur de la Península Ibérica (Brasier, 1992), que fue interpretado como un decaimiento forestal: enfermedad de etiología compleja resultado de la acción de múltiples factores bióticos y abióticos, inespecíficos e intercambiables en el tiempo y espacio, que causa un progresivo deterioro y muerte del arbolado (Manion y Lachance, 1992). No obstante, cualquier desviación del estado vegetativo normal de una masa arbórea no debe

considerarse necesariamente como decaimiento. En la actualidad, en base al trabajo de distintos grupos de investigación que han estudiado cada uno de los factores involucrados, el conocimiento científico sobre las enfermedades de los *Quercus* es amplio y muchos aspectos deben considerarse contrastados y consolidados. Al igual que ocurrió con otros problemas fitosanitarios definidos inicialmente como decaimientos, como el decaimiento del peral, causado por un fitoplasma (Seemüller y col., 2004) o el decaimiento de *Quercus* en Centroeuropa, provocado por *Phytophthora quercina* (Jung y col., 1999), el arbolado de la dehesa sufre enfermedades concretas, resultado de la acción de agentes fitopatógenos concretos (Sánchez y col., 2002, 2003b; 2006, 2010; Romero y col., 2007),

que no deben confundirse con situaciones propias de un decaimiento forestal generalizado. Para poder aplicar soluciones adecuadas, es importante diferenciar por un lado la incidencia de enfermedades específicas en zonas concretas, que siempre van a depender de la existencia de condiciones climáticas favorables, y por otro, otras causas de deterioro del arbolado (culturales, selvícolas, ecológicas, ganaderas, etc.), que en muchos casos coexisten en la misma explotación.

Como revisa Serrano y col. (2012a) y ya apuntaba Brasier (1996), la principal enfermedad que sufren encinas y alcornoques en el sur de la Península Ibérica es la podredumbre radical causada por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* (Sánchez y col., 2002, 2003a; 2010; Carrasco y col., 2009;



Foto 1 y Foto 2. Defoliación causada por la podredumbre radical. Foto: María Serrano.



Foto 3 y Foto 4. Marchitez foliar causada por la podredumbre radical. Foto: María Serrano.

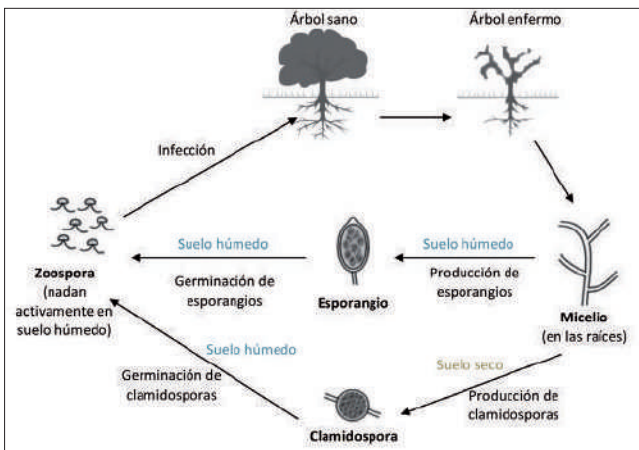


Figura 1. Ciclo de patogénesis de *Phytophthora cinnamomi*.



Figura 2. Distribución geográfica de las poblaciones de *P. cinnamomi* en la Península Ibérica. Adaptado de Caetano y col. (2009).

Serrano y col., 2012a; Caetano y col., 2009; Corcobado y col., 2014), aunque existan otras causas de deterioro y otras enfermedades. Este patógeno invasor es la especie principal que se ha asociado consistentemente a la enfermedad, si bien no es la única descrita (Sánchez y col., 2003a, 2005, 2006; Romero y col., 2007; Jiménez y col., 2008; Caetano y col., 2009; Corcobado y col., 2010; Serrano y col., 2012a; De Vita y col., 2013).

El oomiceto, que no hongo, *P. cinnamomi* está incluido en el catálogo IUCN/SSC de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe y col., 2000) y puede infectar a más de 5.000 especies vegetales (Grünwald y col., 2011; Jung y col., 2013).

Patogénesis y epidemiología

Phytophthora cinnamomi es un patógeno polífago, con un origen probable en Papúa Nueva Guinea

y actualmente presente en gran parte del mundo (GISD, 2014), que causa la muerte de raíces absorbentes, reduciendo la capacidad de absorción de agua y nutrientes por parte del árbol. Resulta difícil atribuir el debilitamiento del árbol a la podredumbre radical por los síntomas aéreos, ya que la sintomatología asociada es similar a la del estrés hídrico: amarillez, marchitez foliar, defoliación, puntisecado, etc.

Phytophthora cinnamomi es heterotálico o autoestéril: presenta dos talos genéticamente distintos y compatibles para la reproducción sexual. A partir de su región de origen, sólo uno de los talos (A2) se ha diseminado hacia su área de distribución actual, si bien se han detectado casos de autofertilidad en plantas infectadas de forma natural (Jayasekera y col., 2007; Crone y col., 2013; Jung y col., 2013). La Figura 1 muestra su ciclo de patogénesis. Cuando las condiciones ambientales son favorables

(hay humedad en el suelo), el micelio presente en el interior de la raíz infectada produce esporangios que liberarán zoosporas móviles al suelo, que son atraídas por las exudaciones de las raíces de las plantas susceptibles. El oomiceto se diseminará mediante múltiples ciclos de esporulación desde las raíces infectadas, hasta que las condiciones del suelo no sean favorables (baja humedad) o bien la raíz infectada muera. En ese momento, las esporas de supervivencia (clamidosporas), que también se forman en el micelio intrarradical, son liberadas al suelo o permanecen en fragmentos de raíces no degradadas. Las clamidosporas germinarán para producir nuevas zoosporas infectivas una vez que las condiciones del suelo vuelvan a ser favorables (nuevo periodo húmedo).

Mircetich y Zentmyer (1966) confirmaron que *P. cinnamomi* puede llegar sobrevivir en suelo húmedo después de 6 años en ausencia de hospede



Foto 5. Control de la podredumbre radical mediante encalado del suelo
Foto: María Serrano.

dante. En base a los resultados de Crone y col. (2013) y Jung y col. (2013), se sabe también que las clamidosporas son las principales estructuras de supervivencia en condiciones moderadas de sequía entre distintos eventos lluviosos, mientras que las oosporas (esporas sexuales), agregaciones hifales e hifas encapsuladas que se forman en las raíces infectadas, son los propágulos a largo plazo en condiciones extremas de sequía.

Gómez-Aparicio y col. (2012) muestran en sus modelos que, en condiciones de campo, existe una correlación espacial entre zonas con mayor abundancia del patógeno en el suelo y la emergencia y supervivencia del regenerado, aunque no para todas las especies y tipos de bosques. Esto sugiere que debe existir un umbral mínimo de inóculo viable en el suelo para que la planta sea infectada. Identificar este umbral (Ríos y col., datos no publicados) es crucial a la hora de tomar decisiones de control, ya que marca una meta medible a partir de la cual existe un riesgo cierto de infección.

En la Península Ibérica se han identificado dos poblaciones genéticas (clústeres) de *P. cinnamomi*, que también varían en su morfología y ratios crecimiento-temperatura y que presentan una distribución geográfica distinta (Caetano y col., 2009) (Figura 2). Un cluster se encuentra localizado en el sur de Portugal y Huelva y se caracteriza por su amplio rango de temperaturas (mínima: 1,8°C; óptima: 30,1°C), lo que sugiere una mayor adaptabilidad a futuros cambios climáticos. El cluster aislado mayoritariamente en Extremadura y sur de Andalucía (Cádiz, Sevilla y Córdoba) tiene una temperatura mínima de crecimiento de 5,2°C y una temperatura óptima de 26,9°C. La población presente en

Portugal y Huelva es la que da lugar a una mayor mortalidad de encinas y alcornoques, probablemente por su mayor adaptabilidad y capacidad para extenderse en el territorio (Caetano y col., 2009).

Otro factor decisivo en el desarrollo de la enfermedad es la humedad del suelo. El desarrollo de síntomas en *Q. suber* es más rápido según aumenta la humedad del suelo, siendo la saturación hídrica la situación más favorable. No obstante, a niveles inferiores de humedad (38-63%), también ocurre la infección aunque la enfermedad se desarrolle más lentamente (González y col., 2014).

Control de la podredumbre radical

La gran variedad de huéspedes, el período



Foto 6. Control de la podredumbre radical mediante inyección de fosfonatos
Foto: María Serrano.



Foto 7. Distintos inyectores para el control de la podredumbre radical. Foto: María Serrano.

38^{as} Jornadas de Productos Fitosanitarios

Barcelona, 25 - 26 de Octubre de 2016

Como en ediciones anteriores, las Jornadas están organizadas por el Instituto Químico de Sarriá en colaboración con la Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria (MAGRAMA), el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya y AEPLA. Se celebrarán en Barcelona, en la Sala Multimedia del Instituto Químico de Sarriá.

El **Programa** de esta **38 edición** de las Jornadas, incluye tres mesas redondas sobre:

- **Mesa Debate sobre: "Repercusión del Cambio Climático sobre la Sanidad Vegetal".**
- **Mesa Debate sobre: "Protocolo de actuación ante nuevas plagas".**
- **Mesa Debate sobre: "La Agricultura sostenible en riesgo".**

También formarán parte del Programa las **Comunicaciones Técnicas** que expongan investigadores y técnicos, y los **Nuevos Productos** que presenten las Empresas, cuyas bases se pueden consultar en la página web de las Jornadas.

Secretaría de las JORNADAS:

Instituto Químico de Sarriá

38º JORNADAS DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS

Vía Augusta, 390

08017 BARCELONA

E-mail: francesc.barelles@iqs.url.edu . Web: <http://fitos2015.iqs.edu>

Los textos correspondientes a estas jornadas se publicarán en **PHYTOMA-España**

C/San Jacinto, 1 - 3, 1ª planta • 46008 Valencia

Tel.: 96 113 81 28

E-mail: phytoma@phytoma.com

Web: www.phytoma.com



PERSONA CIENCIA EMPRESA
Universitat Ramon Lull

Ámbito	Zonas con presencia de la enfermedad	Zonas libres de enfermedad
Movimiento de suelo y tierra ¹	Evitar el laboreo del suelo: cultivo, control de matorrales y cortafuegos Dejar un residuo herbáceo en el suelo Evitar nuevas construcciones	Evitar acopio de tierra, arena, suelo para obras procedentes de zonas con presencia de enfermedad
Flujo de agua superficial y escorrentía	Asegurar un buen drenaje del suelo Evitar cargas ganaderas altas en condiciones de elevada humedad del suelo	Asegurar un buen drenaje del suelo
Tránsito de vehículos, máquinas, personas y animales ²	Limitar el tránsito de vehículos, máquinas y personas Reducir desplazamientos en periodos en los que el suelo esté seco Limpieza de calzado, aperos, vehículos, etc.	Limpieza de calzado, aperos, vehículos, maquinaria a la entrada a la explotación. Desinfestación de pezuñas de animales si vienen de una explotación infectada
Cultivo / plantación de plantas herbáceas, arbustivos y/o arbóreas	Evitar cultivos, plantaciones y/o reforestaciones de plantas huéspedes del patógeno	Evitar cultivos, plantaciones y/o reforestaciones de plantas huéspedes del patógeno Utilizar planta forestal libre de patógenos en caso de reforestación

¹ Principal factor involucrado en la dispersión del patógeno (Hardy y col., 2001).
² Yuñá-Li y col. (2014) revisa que no sólo los animales pueden ayudar a la dispersión del patógeno a través del movimiento de polvo o restos de suelos contaminados, sino que en el caso de jabalís salvajes observaron que el patógeno *P. cinnamomi* puede sobrevivir al tránsito intestinal y dispersarse en las heces hasta haber transcurrido 7 días desde que ingirió las raíces infectadas. Esto pone de manifiesto el papel que el ganado y la fauna silvestre tiene como vector de dispersión del patógeno.

Cuadro 1. Medidas preventivas para evitar la dispersión del patógeno *P. cinnamomi* y otros oomicetos que producen podredumbre radical.



Foto 8. Cultivo de tremosilla en una dehesa afectada por la podredumbre radical. Foto: María Serrano.

Medida	Efecto
Fertilización cálcica	Confiere tolerancia a la enfermedad Inhibe la producción (CaO, CaCO ₃ , CaSO ₄) y germinación de esporangios (CaO, CaSO ₄ , CaCl ₂)
Fosfonatos	Aplicados a árboles sanos tienen efecto preventivo, mientras aplicados a árboles ya infectados, pero que aún no muestran los síntomas aéreos de la enfermedad radical, tienen efecto curativo
Biofumigación	Actualmente está en investigación el efecto biofumigante de distintas especies de crucíferas frente a <i>P. cinnamomi</i>

Foto 8. Cultivo de tremosilla en una dehesa afectada por la podredumbre radical. Foto: María Serrano.

a veces largo entre el establecimiento de la infección y la manifestación de síntomas y la longevidad de las estructuras de resistencia del patógeno en el suelo, hace que el control de la enfermedad sea complejo.

El gobierno australiano ha llevado a cabo de forma experimental distintas actuaciones para la erradicación de este patógeno en sus bosques (AG-DE, 2008). Los tratamientos que aplicaron secuencialmente y/o en combinación, consistieron en la destrucción de árboles sanos susceptibles en zonas limítrofes a los focos de enfermedad e incluso la destrucción de todas las plantas, creando una zona muerta o de barbecho; la instalación de barreras físicas y aplicación de riego subterráneo con fungicidas anti-oomicetos (Thiadiazoles y Metalaxil); la aplicación aérea de fungicidas anti-oomicetos a ultrabajo volumen e inyecciones al suelo, tanto en superficie como en profundidad, con fumigantes químicos (Metam-sodio). A pesar de lo drástico de estas medidas, cuando la vegetación volvió a colonizar la zona tratada se detectó de nuevo la presencia del patógeno en el suelo. De estas experiencias se concluye que, si bien no es posible la

erradicación total del patógeno en las zonas donde ya se ha instalado, se deben aplicar las medidas de control disponibles para prevenir su llegada a zonas libres de la enfermedad y para disminuir su población en zonas ya infestadas, de forma que se consiga mantener la enfermedad por debajo del umbral económico de daños. No obstante, este es un aspecto bastante complejo y no abordado hasta la fecha, ya que en el cálculo de ese umbral deben contemplarse variables ecológicas, económicas, sociales, culturales, paisajísticas, etc., muchas de ellas intangibles.

- El objetivo, por tanto, de las medidas de control a aplicar variará en función de la presencia o ausencia de la enfermedad en el territorio: En zonas libres de enfermedad las acciones deben enfocarse a evitar la llegada y establecimiento del patógeno.
- En zonas donde se ha diagnosticado la enfermedad, el objetivo debe ser disminuir el riesgo de dispersión del patógeno a otras áreas y disminuir la densidad e infectividad del patógeno en el suelo.

El Cuadro 1 resume las principales acciones preventivas recomendadas para evitar la dispersión de *P. cinnamomi* a zonas libres de la enfermedad.

El Cuadro 2 recoge las principales acciones de control preventivo enfocadas a disminuir la infectividad de las esporas de *P. cinnamomi* en zonas ya infestadas.

A continuación se realiza una recopilación de los principales resultados que se encuentran en la literatura científica sobre el control de la enfermedad radical.

Gómez-Aparicio y col. (2012) indican que la abundancia de *P. cinnamomi* en el suelo no es aleatoria, sino que responde a una distribución espacial influida por factores abióticos (textura del suelo) y, particularmente, bióticos (especies arbóreas y arbustivas presentes). Distintos estudios ponen de manifiesto que los suelos arenosos, con pHs básicos, alto contenido en calcio y fósforo, y alto contenido en materia orgánica, no favorecen la multiplicación de *P. cinnamomi*, y como consecuencia, disminuyen la incidencia de la enfermedad (Weste y Marks, 1987; Jönsson y col., 2003; Moreira y Martins, 2005; Gómez-Aparicio y

col., 2012; Serrano y col., 2012b, 2013). Se ha demostrado que la aplicación de enmiendas calizas al suelo disminuye significativamente la infectividad del patógeno, dando lugar a una menor tasa de infección por la inhibición que induce el ión Ca^{2+} sobre la formación de zoosporas (Serrano y col., 2012b, 2013). Este efecto se consigue con dosis de aplicación que no aumentan el pH del suelo. El CaSO_4 , aplicado a dosis de 3550 kg/ha, es el fertilizante que mejor limita la multiplicación de *P. cinnamomi*, previniendo la incidencia de la podredumbre radical (Serrano y col., 2014). No obstante, el encalado del suelo no afecta a la viabilidad de las clamidosporas, que siguen siendo la fuente de inóculo primario (Serrano y col., 2012b, 2013).

Otra medida de control frente a la podredumbre radical es la aplicación de fosfonatos. Esta familia de compuestos sistémicos, no fitotóxicos y activos a bajas concentraciones, se usan desde 1977 para el control de enfermedades causadas por oomicetos en especies agrícolas y forestales (McDonald y col., 2001). Actúan principalmente como activadores de resistencia, a través del incremento en la síntesis de fitoalexinas y de la respuesta hipersensible. Estos productos, aplicados al árbol sano, evitan la infección de las raíces por *P. cinnamomi* (efecto preventivo) y aplicados a árboles ya infectados pero que aún no muestran los síntomas aéreos de la enfermedad radical, evitan su muerte (efecto curativo) (Navarro y col., 2006; Sánchez y col., 2006).

Una estrategia de control actualmente en estudio es la biofumigación, técnica que consiste en incorporar al suelo materia orgánica fresca para producir un efecto desinfectante. Actualmente está en evaluación el potencial de distintas especies de crucíferas como biofumigantes frente a *P. cinnamomi*, ya que contienen glucosinolatos que, tras

su lisis enzimática, tienen un efecto biocida sobre patógenos del suelo (Brun y col., 2012; Ríos y col., 2014a, 2014b). Resultados obtenidos en laboratorio indican que algunas especies son capaces incluso de disminuir significativamente la viabilidad de las clamidosporas del patógeno (Ríos y col., 2014a, 2014b).

Otro aspecto fundamental es conocer a las especies hospedantes de *P. cinnamomi* en la dehesa, ya sean sintomáticas o asintomáticas. Existen cultivos herbáceos susceptibles a este patógeno, como es el caso de la tremosilla o altramus amarillo (*Lupinus luteus*), que multiplican el inóculo en el suelo y, por tanto, favorecen la infección de los árboles (Serrano y col., 2010, 2011). Este no es el caso de los cereales (avena y trigo) u otras leguminosas como la veza (*Vicia sativa*), a pesar de ser un hospedante asintomático (Serrano y col., 2012c). Gómez-Aparicio y col. (2012) indican que los arbustos también influyen en la abundancia espacial de *P. cinnamomi* en el suelo. Suelos donde está presente *Erica* spp. favorecen la multiplicación del patógeno frente a suelos con *Pistacia lentiscus* (Gómez-Aparicio y col., 2012). Moreira y Martins (2005) recogen un listado de especies, principalmente arbustivas, susceptibles y no susceptibles a *P. cinnamomi*.

La información disponible en cuanto a la resistencia de especies arbóreas mediterráneas a *P. cinnamomi* es escasa. La resistencia a *P. cinnamomi* de variedades o procedencias de encinas y alcornoques parece muy limitada (Tapias y col., 2006; Navarro y col., 2009; Serrano y col., 2012d). Serrano y col. (2012d) subrayan que los cuatro principales morfotipos de encinas presentes en Andalucía no muestran diferencias significativas en cuanto a su susceptibilidad al patógeno. Estos mismos autores indican, no obstante, que dichos

morfotipos se pueden clasificar en distintos grupos de susceptibilidad: muy susceptibles (*microcarpa*), susceptibles (*expansa*) y moderadamente susceptibles (*rotundifolia* y *macrocarpa*) y subrayan que *Quercus faginea* puede considerarse como una fuente de resistencia a *P. cinnamomi*, ya que el híbrido natural *Q. ilex* subsp. *ballota* × *Q. faginea* muestra síntomas significativamente menores que las encinas de cualquier morfotipo. En cuanto a otras especies, *Pinus pinaster* es una especie susceptible (Moreira y Martins, 2005), al igual que *Quercus canariensis*, aunque éste sea un huésped asintomático (Gómez-Aparicio y col., 2012). Por el contrario, el acebuche (*Olea europaea*) tiene un efecto supresor sobre el patógeno (Gómez-Aparicio y col., 2012).

Esta revisión del conocimiento consolidado y las nuevas líneas de investigación en relación a la podredumbre radical, pone de manifiesto los aspectos fundamentales a tener en cuenta en la gestión de sistemas adherados frente a esta enfermedad. Las medidas de control resumidas en este documento, junto con los resultados descritos, fijan los criterios que se deben establecer para la adecuada gestión de problemas fitosanitarios complejos en sistemas adherados.

Abstract: A review about Holm and cork oak root rot in Andalusian savanna-like ecosystems, based on proven scientific knowledge, is exposed. The author's intention is to provide basic information to the sector, with special emphasis on the available control measures. This review has been built out the context of the European project LIFE11 BIO/ES/000726 Dehesa ecosystems: development of policies and tools for biodiversity conservation and management.

BIBLIOGRAFÍA

- AGDE. 2008. Eradication of *Phytophthora cinnamomi* from spot infections in native plant communities in Western Australia and Tasmania. Australian Government Department of the Environment. <http://www.environment.gov.au/system/files/resources/5d46df98-0def-40a8-8485-193de0c7fb75/files/p-cinnamomi-research-eradication.pdf>
- Brasier, C.M. 1992. Oak tree mortality in Iberia. *Nature* 360, 539.
- Brasier, C.M. 1996. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. *Annals of Forest Science* 53, 347-358.
- Brun, P., Basallote, M.J., Romero, F., Barrau, C. 2012. Control de tres aislados de *P. cinnamomi* mediante fumigantes naturales. Libro de resúmenes del XVI Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología.
- Caetano, P., Ávila, A., Sánchez, M.E., Trapero, A., Coelho, A.C. 2009. *Phytophthora cinnamomi* populations on *Quercus* forests from Spain and Portugal. In: *Phytophthoras in Forests and Natural Ecosystems*. USDA-Forest Service. General Technical Report PSW-GTR-221, pp. 261-269.
- Carrasco, A., Fernández, A., Trapero, A., López, G., Sánchez, I. et al. 2009. Procesos de Decaimiento Forestal (La Seca). Situación del conocimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla. 112 pp.
- Corcobado, T., Cubera, E., Pérez-Sierra, A., Jung, T., Solla, A. 2010. First report of *Phytophthora gonapodyides* involved in the decline of *Quercus ilex* in xeric conditions in Spain. *New Disease Reports* 22,33.
- Corcobado, T., Cubera, E., Juárez, E., Moreno, G., Solla, A. 2014. Drought events determine performance of *Quercus ilex* seedlings and increase their susceptibility to *Phytophthora cinnamomi*. *Agricultural and Forest Meteorology* 192, 1-8.

- Crone, M., McComb, J.A., O'Brien, P.A., Hardy, G.E.S.J. 2013. Survival of *Phytophthora cinnamomi* oospores, stromata, and thick-walled chlamydospores in roots of symptomatic and asymptomatic annual and herbaceous perennial plant species. *Fungal Biology* 117, 112-123.
- De Vita, P., Serrano, M.S., Ramo, E.B., Aponte, C., García, L.V. *et al.* 2013. First report of root rot caused by *Pythium spiculum* affecting cork oaks at Doñana Biological Reserve in Spain. *Plant Disease* 97, 991.
- GISD. (2014). Countries (or multi-country features) with distribution records for *Phytophthora cinnamomi* in the Global Invasive Species Database. <http://www.issg.org/database/species/distribution.asp?si=143&fr=1&sts=sss&lang=EN>
- Gómez-Aparicio, L., Ibáñez, B., Serrano, M.S., De Vita, P., Ávila, J.M. *et al.* 2012. Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: implications for tree species regeneration. *New Phytologist* 194, 1014-1024.
- González, M., Serrano, M.S., Sánchez, M.E. 2014. Comparative soil water conditions of oomycete infections on *Quercus suber*. IOBC/WPRS Bulletin (en prensa).
- Grünwald, N.J., Martin, F.N., Larsen, M.M., Sullivan, C.M., Press, C.M. *et al.* 2011. Phytophthora-ID.org: A sequence-based *Phytophthora* identification tool. *Plant Disease* 95, 337-342.
- Hardy, G., Barrett, S., Shearer, B. 2001. The future of phosphite as a fungicide to control the soilborne plant pathogen *Phytophthora cinnamomi* in natural ecosystems. *Australasian Plant Pathology* 30, 133-139.
- Jayasekera, A.U., McComb, J.A., Shearer, B.L., Hardy, G.E.St.J. 2007. *In planta* selfing oospore production of *Phytophthora cinnamomi* in the presence of *Acacia pulchella*. *Mycological Research* 111, 355-362.
- Jiménez, J.J., Sánchez, J.E., Romero, M.A., Belbahri, L., Trapero, A. *et al.* 2008. Pathogenicity of *Pythium spiculum* and *P. sterilum* on feeder roots of *Quercus rotundifolia*. *Plant Pathology* 57, 369.
- Jönsson, U., Lundberg, L., Sonesson, K., Jung, T. 2003. First records of soilborne *Phytophthora* species in Swedish oak forests. *Forest Pathology* 33, 175-179.
- Jung, T., Cooke, D.E.L., Blaschke, H., Duncan, J.M., Obwald, W. 1999. *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of european oaks. *Mycological Research* 103, 785-798.
- Jung, T., Colquhoun, I.J., Hardy, G.E. 2013. New insights into the survival strategy of the invasive soilborne pathogen *Phytophthora cinnamomi* in different natural ecosystems in Western Australia. *Forest Pathology* 43, 266-288.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., De Poorter, M. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species: A selection from the global invasive species database. The Invasive Species Specialist Group (ISSG), a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), University of Auckland, New Zealand.
- Manion, P.D., Lachance, D. 1992. *Forest Decline Concepts*. APS Press, St. Paul, MN.
- McDonald A.E., Grant B.R., Plaxton W.C. 2001. Phosphite (Phosphorous acid): Its relevance in the environment and agriculture and influence on plant phosphate starvation response. *Journal of Plant Nutrition* 24, 1505-1519.
- Mircetich, S.M., Zentmyer, G.A. 1966. Production of oospores and chlamydospores of *Phytophthora cinnamomi* in roots and soil. *Phytopathology* 56, 1076-1078.
- Moreira, A.C., Martins, J.M.S. 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathology* 35, 145-162.
- Navarro, R.M., Terán, A.I., Sánchez, M.E. 2006. Acción preventiva y curativa del fosfonato en el control de *Phytophthora cinnamomi* Rands en encina y alcornoque. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 32, 685-694.
- Navarro, R.M., Ariza, D., Porras, C., Jorge, I., Jorrín, J. 2009. Evaluación de la resistencia aparente de individuos de encina a *P. cinnamomi* Rands. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 35, 89-97.
- Ríos, P., Obregón, S., de Haro, A., Sánchez, M.E. 2014a. Screening of potential biofumigant plants against the root pathogen *Phytophthora cinnamomi*. IOBC/WPRS Bulletin (en prensa).
- Ríos, P., Obregón, S., de Haro, A., Sánchez, M.E. 2014b. Soil biofumigant treatments for control of the alien pathogen *Phytophthora cinnamomi*. In: *Industrial, medical and environmental applications of microorganisms: Current status and trends*. Wageningen Academic Publishers, Netherlands. pp. 243-248.
- Romero, M.A., Sánchez, J.E., Jiménez, J.J., Belbahri, L., Trapero, A. *et al.* 2007. New *Pythium* taxa causing root rot on mediterranean *Quercus* species in South-west Spain and Portugal. *Journal of Phytopathology* 155, 289-295.
- Sánchez, M.E., Caetano, P., Ferraz, J., Trapero, A. 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in south-western Spain. *Forest Pathology* 32, 5-8.
- Sánchez, M.E., Sánchez, J.E., Navarro, R.M., Fernández, P., Trapero, A. 2003a. Incidencia de la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* en masas de *Quercus* en Andalucía. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 29, 817-108.
- Sánchez, M.E., Venegas, J., Romero, M.A., Phillips, A.J.L., Trapero, A. 2003b. *Botryosphaeria* and related taxa causing oak canker in southwestern Spain. *Plant Disease* 87, 1515-1521.
- Sánchez, M.E., Andicoberry, S., Trapero, A. 2005. Pathogenicity of three *Phytophthora* spp. causing late seedling rot of three oak species. *Plant Pathology* 50, 708-716.
- Sánchez, M.E., Caetano, P., Romero, M.A., Navarro, R.M., Trapero, A. 2006. *Phytophthora* root rot as the main factor in oak decline in southern Spain. *Progress in research on Phytophthora Diseases of Forest Trees*. Forest Research, Farnham, UK. pp. 149-154.
- Sánchez, M.E., Fernández, P., Trapero, A. 2010. Podredumbre radical de la encina y el alcornoque. Enfermedades de las plantas causadas por hongos y oomicetos. *Naturaleza y control integrado*. Ed. Phytoma España-SEF, Valencia. pp. 135-148.
- Seemüller, E., Schneider, S. 2004. *Candidatus Phytoplasma mali*, *Candidatus Phytoplasma pyri* and *Candidatus Phytoplasma prunorum*, the causal agents of apple proliferation, pear decline and European stone fruit yellows, respectively. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 54, 1217-1226.
- Serrano, M.S., Fernández-Rebollo, P., De Vita, P., Carbonero, M.D., Trapero, A. *et al.* 2010. *Lupinus luteus*, a new host of *Phytophthora cinnamomi* in Spanish oak-rangeland ecosystems. *European Journal of Plant Pathology* 128, 149-152.
- Serrano, M.S., Fernández-Rebollo, P., De Vita, P., Carbonero, M.D., Sánchez, M.E. 2011. The role of yellow lupin (*Lupinus luteus*) in the decline affecting oak agroforestry ecosystems. *Forest Pathology* 41, 382-386.
- Serrano, M.S., De Vita, P., Fernández-Rebollo, P., Coelho, A.C., Belbahari, L. *et al.* 2012a. *Phytophthora cinnamomi* and *Pythium spiculum* as main agents of *Quercus* decline in southern Spain and Portugal. IOBC/WPRS Bulletin 76, 97-100.
- Serrano, M.S., De Vita, P., Fernández, P., Sánchez, M.E. 2012b. Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *European Journal of Plant Pathology* 132, 271-279.
- Serrano, M.S., Fernández-Rebollo, P., De Vita, P., Sánchez, M.E. 2012c. Susceptibility of common herbaceous crops to *Phytophthora cinnamomi* and its influence on *Quercus* root rot in rangelands. *European Journal of Plant Pathology* 134, 409-414.
- Serrano, M.S., De Vita, P., Carbonero, M.D., Fernández, F., Fernández, P. *et al.* 2012d. Susceptibility to *Phytophthora cinnamomi* of the commonest morphotypes of Holm oak in southern Spain. *Forest Pathology* 42, 345-347.
- Serrano, M.S., Fernández-Rebollo, P., De Vita, P., Sánchez, M.E. 2013. Calcium mineral nutrition increases the tolerance of *Quercus ilex* to *Phytophthora* root disease affecting oak rangeland ecosystems in Spain. *Agroforestry Systems* 87, 173-179.
- Serrano M.S., Leal, R., De Vita, Fernández-Rebollo, P., Sánchez, M.E. 2014. Control of *Phytophthora cinnamomi* by soil application of calcium fertilizers under field conditions. IOBC/WPRS Bulletin (en prensa).
- Tapias, R., Fernández, M., Moreira, A.C., Sánchez, E., Cravador, A. 2006. Posibilidades de la variabilidad genética de encinas y alcornoques en la conservación y recuperación de bosques amenazados por la "seca". *Boletín Informativo CIDEU* 1, 45-51.
- Weste, G., Marks, G.C. 1987. The biology of *Phytophthora cinnamomi* in Australasian forests. *Annual Review of Phytopathology* 25, 207-229.
- Yuta-Li, A., Williams, N., Fenwick, S.G., Hardy, G., Adams, P.J. 2014. Potential for dissemination of *Phytophthora cinnamomi* by feral pigs via ingestion of infected plant material. *Biological Invasions* 16, 765-774.