

El decaimiento y la podredumbre radical en las dehesas andaluzas

EL DECAIMIENTO Y LA PODREDUMBRE RADICAL EN LAS DEHESAS ANDALUZAS

Eduardo Zamora Rojas, Sergio Andicoberry de los Reyes y María Esperanza Sánchez Hernández

Los **sistemas adehesados son ecosistemas agrosilvopastorales antrópicos, complejos y dinámicos**, en su mayoría de bajos insumos y con costes marginales de intensificación complejos y peligrosos. La **sostenibilidad ecológica** de estos ecosistemas **está afectada por numerosos problemas**: simplificación de la vegetación, pérdida de diversidad faunística, carga ganadera del sistema superior a su capacidad sustentadora, exceso de artificialización, laboreo excesivo, desmonte, acumulación de purines, enfermedades y plagas del arbolado, envejecimiento de la masa arbórea, entre otras (Gastó-Coderch y col., 2010).

Al ser la **dehesa holística**, cualquier aspecto ecológico, económico, cultural, tecnológico y social influye de forma explícita en los equilibrios del ecosistema, afectando a sus mecanismos de autorregulación. Cuando se producen desviaciones, el ecosistema sufre normalmente de **desequilibrios ecosistémicos complejos**.

Uno de los principales componentes de la biogeoestructura de los sistemas adehesados y que tiene su repercusión en el ecosistema se corresponde con el arbolado, donde predominan especies del género *Quercus*, y su estado fitosanitario. A primeros 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). La **sintomatología** asociada a esos procesos era bastante **inespecífica** en su apariencia (defoliación, muerte regresiva de brotes y ramos, abundante emisión de brotes adventicios, necrosis del sistema radical, etc.), siendo la muerte del árbol el resultado final tras una larga serie de cambios morfológicos y funcionales (Brasier, 1992, 1996).

Este inusual deterioro fitosanitario de las especies de *Quercus* que ocurría en algunas zonas adehesadas de la Península Ibérica, fue considerado al principio bajo el nombre “*seca de los Quercus*” y tratado como **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 de árboles, principalmente de árboles adultos (Manion, 1981; Manion y Lachance, 1992).

Algunos aspectos clave ligados a este concepto son:

- La velocidad de deterioro de la masa forestal es lenta y progresiva. En general, transcurren varios años entre la aparición de los síntomas y la muerte del árbol. Por tanto, la muerte súbita es aparentemente una excepción.
- La mayoría de los árboles afectados son adultos.
- Las causas tienen una etiología compleja causada por factores que se pueden agrupar en tres categorías:
 - Factores predisponentes: a largo plazo. Edad del árbol, predisposición genética, prácticas de manejo, etc.
 - Factores incitantes: a corto plazo. Principalmente aspectos climáticos (sequías, heladas, etc.) que inciden sobre el árbol y de los que, en ausencia de factores predisponentes, el árbol se recuperaría rápidamente.
 - Factores contribuyentes: patógenos de debilidad y/o oportunistas, insectos, etc.

La Figura 1 centra algunos de estos factores en relación a los sistemas adehesados mediterráneos. Las prácticas ganaderas, selvícolas, culturales, cuestiones económicas de mercado que afectan a la gestión del territorio y de la explotación, los nuevos cambios tecnológicos y sociales pueden ser factores de predisposición que acentúan la susceptibilidad del arbolado a otros factores que sí pueden inducir síntomas de deterioro en un conjunto de especies arbóreas. Como se ha indicado, cuando la masa forestal está sometida, tras un largo plazo, a estos factores predisponentes, aspectos climatológicos, principalmente, pueden inducir síntomas de deterioro. Las alteraciones climatológicas, especialmente en el contexto actual de cambio climático (incremento generalizado de las temperaturas medias anuales, descenso de la precipitación anual con alta variabilidad interanual y estacional, mayores e intensos periodos de sequía y mayor frecuencia de eventos extremos como inundaciones, según muestran diversos modelos y escenarios de simulación en la cuenta mediterránea (Giorgi y Lionello, 2008; García-Ruiz y col., 2011), pueden inducir síntomas de deterioro y empeorar el estado general de las coberturas vegetales ya predisuestas, ya que originan desplazamientos y mortalidad en la vegetación existente, además de influir en la susceptibilidad de las especies a la invasión de patógenos y plagas. Cuando el arbolado ya está afectado por el decaimiento, tienen mayor relevancia factores de tipo biótico que actúan a largo plazo como son enfermedades de debilidad causadas por patógenos oportunistas, así como daños originados por insectos perforadores de ramas y troncos. Estos son factores contribuyentes que sobre el arbolado sano no tendrían ninguna incidencia.

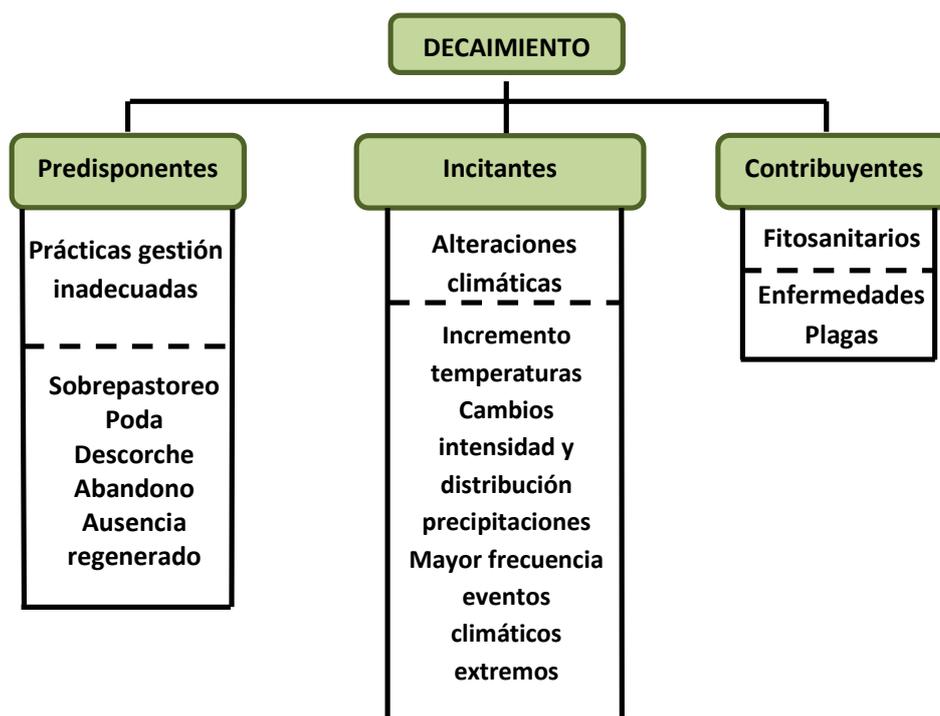


Figura 1. Tipología de factores involucrados en la hipótesis del decaimiento del arbolado presente en los sistemas adehesados.

En el Plan Director de las Dehesas se recoge “con el paso del tiempo, la “*seca*” se ha convertido en un término coloquial asociado a todo tipo de daño que afecta al arbolado de las dehesas que se caracteriza por mostrar un desarrollo vegetativo deficiente, lánguido, moribundo o, llegado el caso, muerto. Este concepto, frecuentemente adoptado por la sociedad, engloba situaciones semejantes pero provocadas por causas muy diferentes, no siendo posible encontrar una solución única para todas ellas.”

No obstante, **cualquier desviación del estado vegetativo normal de una masa de Quercus no debe considerarse intrínsecamente como seca**. En la actualidad, en base al trabajo de distintos grupos de investigación, si bien queda camino por recorrer, el conocimiento adquirido sobre este tema es amplio y ciertos aspectos pueden considerarse contrastados y consolidados. Al igual que ocurrió con otros problemas fitosanitarios definidos inicialmente como decaimientos, caso de la tristeza de los cítricos, causada por un virus (Moreno y col., 2008), del decaimiento del peral, causado por un fitoplasma (Seemüller y col., 2004) o del decaimiento de *Quercus robur* y *Q. petraea* en Centroeuropa, provocado por *Phytophthora quercina* (Jung y col., 1999), se conoce que existen enfermedades concretas, resultado de la acción de agentes fitopatógenos concretos (Sánchez y col., 2002, 2006, 2010; Romero y col., 2007), en zonas concretas del conjunto de formaciones adehesadas de la Península Ibérica que afectan al arbolado y no deben confundirse con situaciones propias de un decaimiento forestal generalizado. Igualmente, el Plan Director señala que “la identificación del agente (o agentes) responsable supondrá el abandono del término “seca” en favor del correspondiente en función de la causa establecida.”

Centrando la atención a Andalucía, en la zona occidental, y especialmente en la provincia de Huelva, la sintomatología observada en los *Quercus* es consecuencia principalmente del agente patógeno *Phytophthora cinnamomi* que causa una enfermedad concreta, la podredumbre radical, donde factores abióticos tales como la alternancia de periodos secos y lluviosos juegan un papel importante en la diseminación de la enfermedad y en la severidad de los síntomas (Sánchez y col., 2002, 2003a; 2010; Carrasco y col., 2009; Serrano y col., 2012a; Caetano y col., 2009; Corcobado y col., 2014). En la Sierra Subbética cordobesa y en las sierras de Málaga y Cádiz, se han observado desecaciones y marchiteces de ramas de *Quercus* asociados con la presencia de lesiones corticales (chancros) consistentes en zonas alargadas de corteza necrosada, visibles más fácilmente cuando se retira la corteza externa. Los chancros de encina y alcornoque son causados por especies del género *Botryosphaeria* (*B. corticola*, *B. iberica* y *B. dothidea*). Las tres especies anteriores originan chancros, pero únicamente *B. corticola* produce anillamiento y muerte de ramas y la subsecuente marchitez de ramas en árboles no debilitados (Sánchez y col., 2003b). Los chancros del tronco, causados por *B. corticola*, sólo se han estudiado en alcornoques, ya que originan graves pérdidas en calidad y cantidad de corcho. El chancro carbonoso, causado por el ascomiceto xilariáceo *Biscogniauxia mediterranea*, es, sin embargo, un patógeno de debilidad que sólo causa necrosis cortical en encinas y alcornoques muy debilitados. En lo que respecta a Andalucía oriental, las observaciones realizadas muestran que las masas de encinas y alcornoques sólo sufrieron el efecto de las sequías, y éstas se recuperaron tras estos periodos secos (Carrasco y col., 2009). En cuanto a las plagas, cabe mencionar los daños producidos por insectos perforadores de ramas y troncos, especialmente por especies de coleópteros de los géneros *Cerambyx* y *Prinobius* (Sánchez-Osorio y col., 2007). Este panorama pone de manifiesto que en Andalucía la mala situación fitosanitaria de las dehesas tiene una explicación contrastada que, en general, no puede relacionarse con un decaimiento generalizado de la masa de encinas y alcornoques a nivel global.

Con todo esto, es importante, para poder aplicar soluciones adecuadas, diferenciar por un lado la incidencia de enfermedades específicas en zonas concretas, que siempre van a depender de la existencia de condiciones climáticas favorables para la infección y dispersión de los patógenos implicados, y por otro, otras causas de deterioro del arbolado (culturales, selvícolas, ecológicas, ganaderas, etc.), que en la mayoría de los casos coexisten en la misma explotación. Dada la multitud de **aspectos ecológicos, selvícolas, ganaderos, económicos, culturales, tecnológicos y sociales implicados**, resulta **esencial integrar** todos ellos a la hora de **gestionar sistemas físicos y biológicos**,

como los sistemas adehesados, con el objeto de salvaguardar a largo plazo el ecosistema, la diversidad natural y la productividad. A esto se refiere el concepto de **manejo ecosistémico** que se basa en los siguientes principios (Christensen y col., 1996):

- Sostenibilidad
- Metas medibles
- Nivel de organización ecológica
- Complejidad y conectividad
- Dinámica
- Contexto y escala
- Componente humano
- Adaptabilidad

De esta forma, la toma de decisiones con un enfoque ecosistémico permite buscar soluciones integrales para problemas causados por causas múltiples e independientes.

Como se ha mencionado anteriormente, existen agentes únicos que causan deterioro y mortalidad en el arbolado de las dehesas, aunque no se den situaciones de debilitamiento previo (agentes fitopatógenos), ocasionando importantes pérdidas ecológicas y económicas. 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***, aunque se tiene que tener presente que existen otras causas de deterioro y otras enfermedades. Este patógeno invasor es la especie principal que se ha asociado consistentemente a la enfermedad, aunque no es la única descrita (Sánchez y col., 2003a, 2005, 2006; Caetano y col., 2009; Corcobado y col., 2010) ni el único oomiceto, ya que hay estudios que describen la patogenicidad de *Pythium* spp. (especialmente, *Pythium spiculum*) en encinas y alcornoques (Romero y col., 2007; Jiménez y col., 2008; Serrano y col., 2012a; De Vita y col., 2013), que está causando daños menos graves y extensos en encinas y alcornoques en las dehesas y montes del sur de la Península Ibérica.

El oomiceto, que no hongo¹, *P. cinnamomi* está incluido en el catálogo IUCN/SSC de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (Lowe y col., 2000). Está descrito que es patógeno de más de 5000 especies vegetales (Zentmyer, 1980; Grünwald y col., 2011 Jung y col., 2013), entre las que se encuentran las encinas y alcornoques localizados en la Península Ibérica (Sánchez y col., 2002, 2003a, 2007; Caetano y col., 2009; Carrasco y col., 2009; Serrano y col., 2012a).

- **Patogénesis y epidemiología de *P. cinnamomi*:**

Este **patógeno** polífago, con un origen probable en Papúa Nueva Guinea y actualmente **presente en gran parte del mundo** (Australia, Francia, Italia, México, Nueva Zelanda, Portugal, Rumanía, Eslovaquia, España, Suiza, Reino Unido, Estados Unidos, China y Sudáfrica) (GISD, 2014), es el agente causal de la

¹ Los oomicetos pertenecen al Reino *Stramenopila* y no *Fungi* (hongos), ya que se diferencian principalmente en:

- Las hifas no tienen septas.
- Su ciclo vital es predominantemente diploide frente al de los hongos que es dicariótico.
- La pared celular se compone de β 1, 3 y β 1,6 (celulosa) glucanos y no contiene quitina.
- Todas las especies (salvo raras excepciones, como resulta ser el caso de *Pythium spiculum*) producen zoosporas móviles (esporas acuáticas) biflageladas producidas en estructuras llamadas esporangios.

podredumbre radical en múltiples especies vegetales, principalmente leñosas. La podredumbre radical es una enfermedad que causa la muerte masiva 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, consistente en amarillez, marchitez foliar, defoliación, puntisecado, etc. (ver apartado “diagnóstico de la podredumbre radical”). Las condiciones ambientales pueden además contribuir para que un árbol se recupere de los síntomas aéreos, enmascarando a simple vista la posible presencia de los patógenos. Por último, puede ocurrir que la aparición de síntomas y la muerte de árboles sean rápidas cuando se dan condiciones favorables (muerte súbita).

Phytophthora cinnamomi es heterotálico o autoestéril, es decir, presenta talos o micelios anatómicamente iguales, pero genéticamente distintos, compatibles para la reproducción sexual. Además de en su región de origen, sólo uno de los talos se ha diseminado hacia el resto de su área de distribución actual, pero, no obstante, se han detectado casos de autofertilidad en plantas infectadas de forma natural (Jayasekera y col., 2007; Crone y col., 2013; Jung y col., 2013).

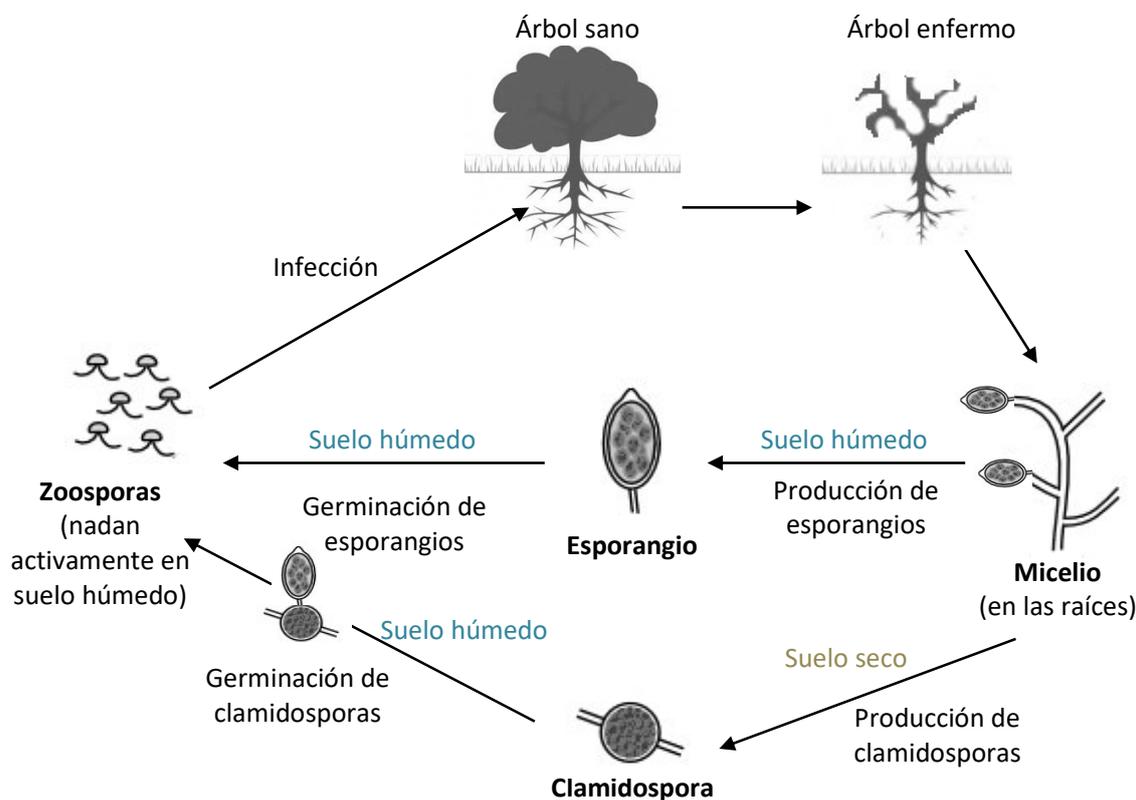


Figura 2. Ciclo de vida de *Phytophthora cinnamomi*.

Cuando las condiciones ambientales son favorables (hay humedad en el suelo), las masas vegetativas o micelio del oomiceto en el interior de la raíz infectada producen esporangios² que a su vez liberarán

² Estructuras reproductivas asexuales

zoosporas³ al suelo. Estas se mueven tanto de forma activa como pasiva y son **atraídas por las exudaciones de las raíces de las plantas susceptibles**. Una vez que entran en contacto con la raíz y la infectan, el patógeno realiza una **invasión de la raíz absorbente**. El oomiceto se diseminará mediante múltiples ciclos de esporulación desde las raíces infectadas, produciendo más zoosporas, hasta que las condiciones ambientales del suelo no sean favorables (baja humedad) o bien la raíz infectada muera. En ese momento, las estructuras de supervivencia que también se forman en el micelio (clamidosporas⁴), son liberadas bien al suelo o bien permanecen en fragmentos de raíces no degradadas. Estas estructuras de supervivencia, que pueden tener una viabilidad de varios meses (Jung y col., 2013), 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 huésped aunque **no es un saprofito del suelo**. En base a los resultados de Crone y col. (2013) y Jung y col. (2013), se sabe que las clamidosporas son las principales estructuras de supervivencia en condiciones moderadas de sequía entre distintos eventos lluviosos, mientras que las agregaciones hifales e hifas encapsuladas que se forman también en las raíces infectadas, son los propágulos principales de *P. cinnamomi* a largo plazo en condiciones extremas de sequía.

Gómez-Aparicio y col. (2012) muestran en sus modelos que, en condiciones naturales de campo, existe una correlación espacial entre zonas con mayor abundancia de patógeno en suelo y la emergencia y supervivencia del regenerado, aunque no para todas las especies y tipos de bosques. Esto sugiere que **debe existir un cierto límite mínimo de inóculo viable en el suelo para que la planta sea infectada**. La cuantificación de este umbral es relevante a la hora de tomar decisiones en cuanto al control de la enfermedad, ya que marca un umbral medible a partir del cual existe un riesgo cierto de enfermedad. En condiciones experimentales y para el caso del alcornoque, la infección de la raíz se produce a partir de sólo 3 clamidosporas viables por gramo de suelo, si bien la raíz no resulta colonizada y por lo tanto, no se establece la enfermedad. La podredumbre de la raíz tiene lugar cuando el umbral de clamidosporas viables en el suelo supera las 60 unidades por gramo (Serrano y col., 2015).

Actualmente en la **Península Ibérica se han aislado dos poblaciones genéticas (clústeres) diferentes de *P. cinnamomi***, que varían en sus características morfológicas y ratios crecimiento-temperatura (Figura 3). Los patógenos aislados en la Península Ibérica pueden crecer en un amplio rango de temperaturas, con un **óptimo de crecimiento entre 26 y 30°C** (Sánchez y col., 2002, 2003a, 2006; Caetano y col., 2009). Un hallazgo interesante corresponde a que estos clústeres tienen una distribución geográfica distinta. Un grupo se encuentra localizado en el sur de Portugal y Huelva, y se caracteriza por su amplio rango de temperaturas de crecimiento (mínimo: 1,8°C y óptimo: 30,1°C), lo que sugiere una mayor adaptabilidad a futuros cambios climáticos (Caetano y col., 2009). Por otro lado, el clúster 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 en laboratorio de 26,9°C. La mayor adaptabilidad de la población presente en Portugal y Huelva probablemente haga que este clúster de *P. cinnamomi* sea el que da lugar a una mayor severidad de síntomas en encinas y alcornocques, con mayores posibilidades para extenderse en el territorio (Caetano y col., 2009).

³ Espora asexual mótil provista de flagelos para locomoción

⁴ Estructura reproductiva asexual con paredes gruesas y adaptada para la resistencia a condiciones adversas



Figura 3. Distribución geográfica de los aislados de *P. cinnamomi* en la Península Ibérica. Adaptado de Caetano y col., 2009.

Otro de los factores que influye sobre el patógeno es la humedad del suelo. Se ha observado que *P. cinnamomi* causa síntomas en raíces de *Q. suber* más rápidamente conforme mayor es la humedad en el suelo (González y col., 2014). Esto significa que en condiciones de encharcamiento (100% humedad en el suelo) el tiempo necesario para que se observen los síntomas radicales de la enfermedad es inferior frente a otras condiciones de humedad. No obstante, aunque las condiciones de encharcamiento favorezcan el desarrollo rápido de la infección, niveles inferiores de humedad, como por ejemplo entre 38-63%, también permiten que ocurra la infección y se desarrolle la enfermedad.

- **Diagnóstico de la podredumbre radical:**

La sintomatología aérea puede resumirse en función de la rapidez con que se manifiesta (Cobos y col., 1993), aunque de forma generalizada existe un retraso entre la infección de la raíz y la aparición de síntomas en las copas:

- “Decaimiento lento” (*slow decline*): amarillez, marchitez y caída gradual de hojas, con presencia progresiva de ramas parcial o totalmente defoliadas (puntisecado). Los árboles mueren en un largo período de tiempo (años) desde la aparición de los primeros síntomas en la copa
- “Muerte súbita” (*sudden death*): rápido secado de ramas, donde las hojas marchitas permanecen un tiempo prendidas y los árboles mueren en un corto período de tiempo (meses) desde la aparición de los primeros síntomas en la copa. Las hojas muestran un color amarillento o marrón en las primeras etapas de la desecación.

En el decaimiento lento aparecen también exudados gomosos negruzcos (sangraduras) en el tronco (Tuset y col., 1996). Además, los árboles afectados pueden producir, aunque no siempre, brotes adventicios (chupones) a lo largo del tronco y ramas gruesas (Brasier, 1996). Estos son síntomas secundarios originados por la necrosis de las raíces absorbentes, que muestran un color oscuro y se descascarillan fácilmente a consecuencia de la enfermedad. La Figura 4 muestra una guía fotográfica de los principales síntomas.

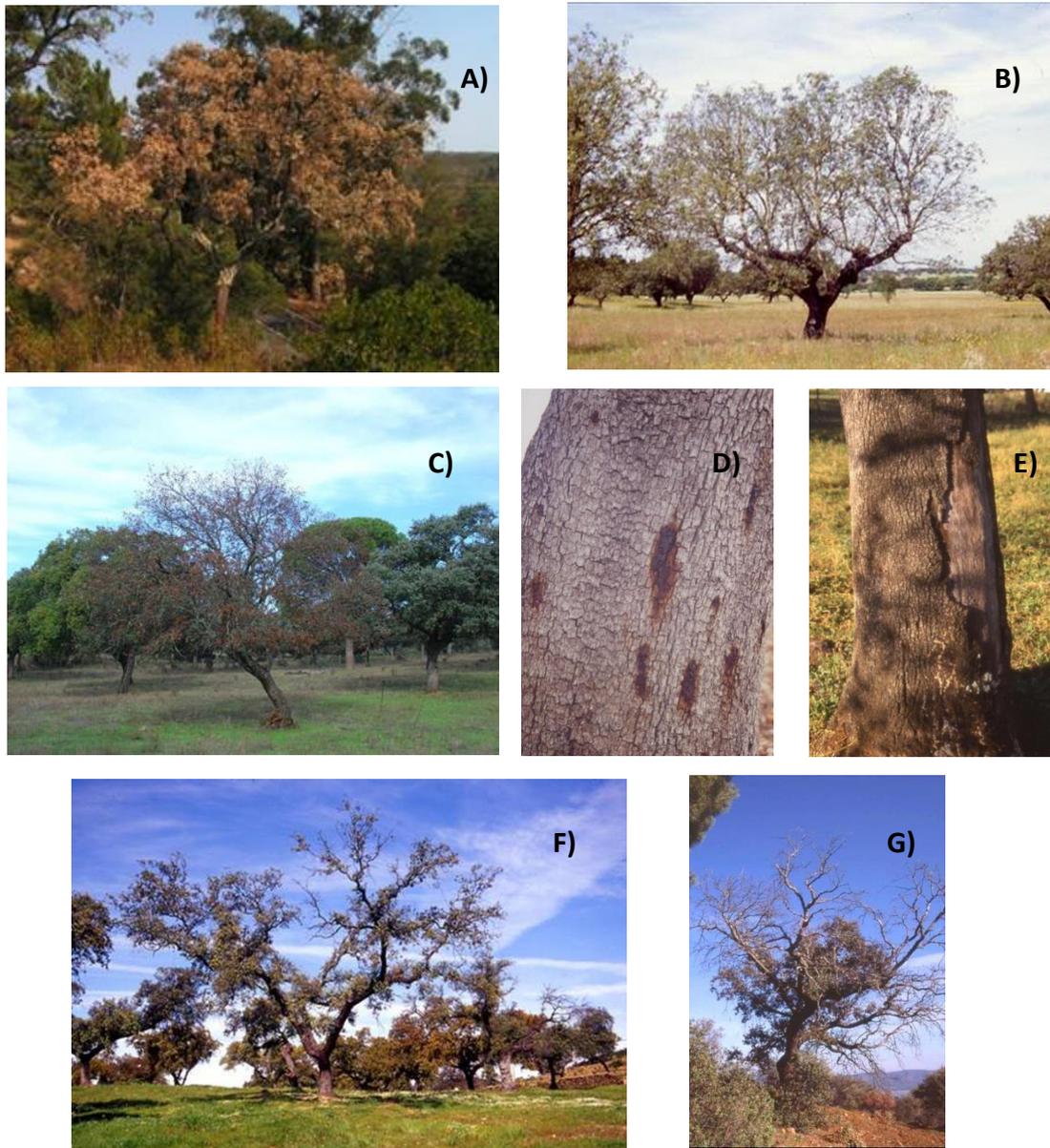


Figura 4. Sintomatología asociada a la podredumbre radical. A) Amarillez; B) Defoliación; C) Marchitez generalizada que da lugar al colapso del árbol; D) Exudaciones (sangraduras); E) Corteza muerta; F) Brotes adventicios; G) Puntisecado de ramas.

Dado lo **inespecífico de la sintomatología**, el diagnóstico de la enfermedad se basa **fundamentalmente en el aislamiento e identificación del patógeno a partir de las raicillas infectadas o de la rizosfera**.

Se elegirán dos árboles sintomáticos, pero evitando que estén ya muertos. La época idónea para el aislamiento del patógeno es en otoño-invierno, tanto por la facilidad de coger las muestras como por las probabilidades de aislarlo (es un patógeno difícil de aislar), aunque también se pueden coger en primavera.

Se abrirán dos agujeros a 1 m de distancia al tronco, teniendo cuidado de no dañar la raíz. Habrá que llegar a la profundidad donde empiecen a aparecer raicillas, entre 5 y 25 cm según el árbol. No se arrancarán las raíces leñosas, intentando localizar raíces absorbentes de entre 1 a 5 mm de grosor, que

presenten síntomas de podredumbre (coloración oscura, desprendimiento de corteza, olor desagradable, etc.). Una vez localizadas las raíces se cortarán con cuidado, metiéndolas inmediatamente en una bolsa de plástico con tierra húmeda recogida de la zona perirradical, próxima a su ubicación. Una muestra la constituyen unas 15 raicillas con síntomas. Es recomendable no exponerlas directamente a la luz ni al calor, por lo que deben conservarse en nevera. La muestra debe ir perfectamente identificada y acompañada de su ficha correspondiente (ver anexo), con su fecha de recogida, enviándose lo antes posible al laboratorio de referencia.

a. Materiales necesarios:

- Azadilla, escardillo, pala
- Navaja
- Bolsas de plástico de cierre hermético
- Etiquetas o rotulador indeleble
- Nevera portátil y acumuladores de frío congelados
- Agua
- Lejía blanca comercial diluida al 10% en agua
- Ficha de diagnóstico

b. Guía paso a paso para la toma de muestras:

Se medirá una distancia de aproximadamente 1 m desde la base del árbol (un paso amplio), se procederá a la limpieza de hojarasca y la retirada del primer cm del perfil del suelo. Se excavará cuidadosamente con el escardillo hasta que aparezcan las raicillas absorbentes (generalmente a 5-25 cm de profundidad).



Foto 1. Distancia de la muestra al árbol (izquierda). Retirada de 1 cm del perfil del suelo (derecha).

Cuando aparezcan las primeras raicillas finas, se procederá a desenterrarlas con cuidado mediante el uso de un escardillo.



Foto 2. Escardillo (izquierda) y raíces finas (derecha).

Se cortarán 15 raicillas y se guardarán inmediatamente en bolsa de plástico. Posteriormente, se rellenará la bolsa con suelo de la zona de las raicillas, se cerrará herméticamente, y se procederá a la conservación de la muestra en frío (nevera portátil). Una vez tomada la muestra de raíz-suelo, se procederá al cierre del hoyo con la azada.



Foto 3. Recogida de muestra (arriba, izquierda y derecha), conservación (abajo, izquierda) y cierre del hoyo (abajo, derecha).

Finalmente, antes de ir a otro foco, se procederá a la limpieza (desinfestación) de herramientas, para lo que se usará lejía comercial diluida en agua al 10%. La azada se limpiará por inmersión en lejía-agua. Las herramientas más pequeñas (escardillo y pala) pueden limpiarse de igual forma o por pulverización con el mismo producto (lejía diluida en agua al 10%). Para terminar, se secarán las herramientas mediante un paño limpio y seco.



Foto 4. Limpieza o desinfección de herramientas.

Una vez que las muestras lleguen al laboratorio se seguirá el protocolo de aislamiento de *P. cinnamomi* y *P. spiculum* diseñado por el Laboratorio de Producción y Sanidad Vegetal de Sevilla y Laboratorio de Patología Agroforestal de la Universidad de Córdoba en el marco del proyecto LIFE+ bioDehesa para proceder al diagnóstico.

- **Control de la podredumbre radical:**

La gran variedad de huéspedes, el periodo 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, por ejemplo, ha llevado a cabo de forma experimental distintas actuaciones para la erradicación de este patógeno en sus bosques (AGDE, 2008). Los tratamientos que aplicaron secuencialmente y/o en combinación fueron:

- Destrucción de árboles sanos susceptibles de caer enfermos en las zonas limítrofes a los focos de enfermedad.
- Destrucción de todas las plantas, creando una zona muerta o de barbecho.
- Instalación de barreras físicas y aplicación de riego subterráneo con fungicidas selectivos contra oomicetos (Thiadiazoles y Metalaxil).
- Aplicación superficial de fungicidas selectivos a ultrabajo volumen de forma aérea.
- Inyecciones al suelo, tanto en superficie como en profundidad (± 1 m), con fumigantes químicos (Metam-sodio).

A pesar de lo drástico de las medidas de erradicación adoptadas, se comprobó que a largo plazo, cuando la vegetación volvía a colonizar la zona tratada, volvía a detectarse 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 infectadas, de forma que se consiga mantenerla 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 multitud de variables ecológicas, económicas, sociales, culturales, paisajísticas, etc., donde muchas de ellas pueden ser intangibles.

El objetivo, por tanto, de las medidas de control a aplicar variarán 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 y el análisis de laboratorio ha confirmado los resultados, el objetivo se debe basar en disminuir el riesgo de dispersión del patógeno y/o disminuir la densidad e infectividad del patógeno en el suelo.

La Tabla 1 resume las principales acciones preventivas recomendadas para evitar la dispersión de oomicetos patógenos.

La Tabla 2 recoge las principales acciones de control preventivo enfocadas hacia la a disminuir la infectividad de las esporas en el suelo.

A continuación, se realiza **una recopilación de los principales resultados experimentales** en relación a las medidas de control de la podredumbre radical.

En base a resultados de ensayos experimentales en laboratorio, invernadero y en condiciones de campo, se ha demostrado que la **aplicación de enmiendas calizas al suelo disminuye significativamente la infectividad del patógeno *P. cinnamomi***, dando lugar a una menor tasa de infección radical por la inhibición que induce el ión Ca^{2+} sobre la formación de esporas infectivas (zoosporas) (Serrano y col., 2012b, 2013). Este efecto se consigue con dosis de aplicación que no aumentan el pH del suelo. No obstante, el encalado del suelo no afecta a la viabilidad de las esporas resistentes del patógeno (clamidosporas), que siguen siendo fuente de inóculo (Serrano y col., 2012b, 2013). **Es recomendable la fertilización cálcica como medida preventiva de control frente a *P. cinnamomi* cuando se haya confirmado el diagnóstico, aunque no resulte una medida definitiva para impedir nuevas infecciones.** Concretamente, tras haberse realizado diversos estudios con distintos productos cálcicos, se ha observado que CaCO_3 y CaSO_4 reducen la infectividad del inóculo en el suelo, siendo este último compuesto, aplicado en condiciones de campo con dosis de 3550 kg/ha, el que más **reduce o limita la multiplicación de *P. cinnamomi***, reduciendo significativamente la incidencia de la podredumbre radical (Serrano y col., 2014).

Otra de las medidas de control frente a la podredumbre radical es la **aplicación de fosfonatos**. Estos 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.

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

Ámbito	Zonas con presencia de enfermedad	Zonas libres de enfermedad
Movimiento de suelo y tierra ⁵	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, procedentes de zonas con presencia de la 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 ⁶	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

Tabla 2. Medidas de control para disminuir la infectividad del patógeno *P. cinnamomi* en el suelo.

Medida	Observación
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	Enterrado en verde o aplicación de planta/semilla conservada al suelo

Estos productos han demostrado tener **eficacia tanto preventiva como curativa**, ya que, aplicados al árbol sano mediante inyección al tronco, previenen la infección de las raíces por *P. cinnamomi* y aplicados a árboles ya infectados, pero que aún no muestran los síntomas aéreos de la enfermedad radical, evitan su muerte (Navarro y col., 2006; Sánchez y col., 2006). En ensayos de eficacia en plantones de encina y alcornoque se ha demostrado que la materia activa fosetil-aluminio resulta muy efectiva en la prevención de la enfermedad a las dosis recomendadas por los fabricantes para cultivos

⁵ Principal factor involucrado en la dispersión del patógeno (Hardy y col., 2001).

⁶ Yufa-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 jabalíes 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.

leñosos, mejorando el efecto preventivo del fosfito potásico (González y col., 2017). La aplicación de esta última materia activa, que se comercializaba como fertilizante fosfórico a pesar de no aportar fósforo utilizable por la planta, ha sido recientemente prohibida en tanto no se registre como fungicida (Anexo 1 RD 506/2013, www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raif/novedades/2014/novedad_140507_02.html).

Actualmente se está ensayando en condiciones de campo la eficacia preventiva y curativa del fosetil-Al y de nuevas formulaciones experimentales con efecto inductor de resistencia.

Otra **estrategia de control** actualmente **en estudio** radica en la **biofumigación**, técnica biológica que consiste en la incorporación en el suelo de materia orgánica junto con la aportación de agua para producir un efecto desinfectante en el suelo. Tras evaluar el potencial de distintas **especies de brasicáceas** como biofumigantes frente a *P. cinnamomi*, se ha demostrado que las especies con un alto contenido en sinigrina tienen un buen efecto supresor, disminuyendo la viabilidad de las esporas de resistencia (clamidosporas) de *P. cinnamomi* por debajo del umbral mínimo necesario para el establecimiento de la podredumbre radical en las raíces infectadas (Ríos y col., 2017). También se ha demostrado la eficacia de un producto comercial basado en biomasa seca de *Brassica carinata* para prevenir la infección radical de *Q. cerris* por parte de *P. cinnamomi* (Morales-Rodríguez y col., 2016).

Actualmente se están ensayando distintas técnicas de preservación de plantas biofumigantes, dado que las especies más efectivas frente a *P. cinnamomi* no se están adaptando bien a su cultivo en la dehesa y sus rendimientos resultan bajos para poder proceder directamente a su producción y enterrado en verde. Otra opción en estudio es la obtención de extractos estables, ricos en materia activa (sinigrina) y que se puedan aplicar directamente al suelo, a partir de residuos industriales.

Gómez-Aparicio y col. (2012) indican que la **abundancia de patógenos en el suelo**, como los oomicetos *P. cinnamomi* y *Pythium* spp., **no es aleatoria** sino que responde a una distribución espacial influenciada por **factores abióticos** (textura del suelo) y, particularmente, **bióticos** (especies arbóreas y arbustivas presentes). Por lo tanto, otro de los aspectos fundamentales a la hora del control es el que hace referencia a las distintas **especies hospedantes** de *P. cinnamomi*, ya sean sintomáticas o asintomáticas. Distintas investigaciones han concluido que existen cultivos herbáceos susceptibles a este patógeno, ya que son hospedantes del mismo y multiplican el inóculo (clamidosporas) en el suelo y, por tanto, favorecen la infección de los árboles. Concretamente, se ha demostrado que la **tremosilla** o **altramuz amarillo** (*Lupinus luteus*) es un **cultivo susceptible sintomático que favorece la multiplicación del patógeno** (aumento en la producción de zoosporas y clamidosporas) (Serrano y col., 2010, 2011). Este no es el caso de los **cereales** (avena y trigo) y la **veza** (*Vicia sativa*), ya que se ha comprobado que **no favorecen la enfermedad**, aunque esta leguminosa sea un cultivo hospedante asintomático (Serrano y col., 2012c).

La información disponible en cuanto a la resistencia de especies arbóreas mediterráneas a *P. cinnamomi* es escasa, si bien sólo la encina y el alcornoque resultan gravemente afectados en condiciones naturales. La **resistencia de variedades o procedencias de encinas y alcornoques** presentes en Andalucía a *P. cinnamomi* **es 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 (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) presentes en Andalucía no muestran diferencias significativas en cuanto a la susceptibilidad de sus raíces al patógeno, que es muy alta. Estos mismos autores indican, no obstante, que dichos morfotipos se pueden clasificar en distintos grupos de susceptibilidad en función del desarrollo de síntomas aéreos: muy susceptibles (microcarpa), susceptibles (expansa) y moderadamente susceptibles (rotundifolia y macrocarpa). Por su parte, resultados descritos por estos

mismos autores indican 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 niveles de síntomas aéreos y radicales significativamente menores que las encinas de cualquier morfotipo. En cuanto a otras especies, *Pinus pinaster* es una especie susceptible (Moreira y Martins, 2005).

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

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.
- Caetano, P., Ávila, A., Sánchez, M.E., Trapero, A. y Coelho, A.C. (2009). *Phytophthora cinnamomi* populations on *Quercus* forests from Spain and Portugal. En: *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., Ruiz, J.M., Jiménez, J.J., Domínguez, L., Romero, M.A., Carbonero, M.D., Sánchez, M.E., Caetano, P., Gil, P., Fernández, P., Navarro, R.M., Sánchez, R., Raposo, R. y Rodríguez, S. (2009). Procesos de Decaimiento Forestal (La Seca). Situación del conocimiento. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla. 112 pp.
- Christensen, N.L., Bartuska, A.M., Brown, J.H., Carpenter, S., D'Antonio, C., Francis, R., Franklin, J.F., MacMahon, J.A., Noss, R.F., Parsons, D.J., Peterson, C.H., Turner M.G. y Woodmansee, R.G. (1996). The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications*, 6, 665-691.
- Cobos, J.M., Montoya, R. y Tuset, J.J. (1993). New damages to the *Quercus* woodlands in Spain. Preliminary evaluation of the possible implication of *Phytophthora cinnamomi*. Libro de actas del congreso internacional "Recent advances in studies on oak decline", 163-169. Italia.
- Corcobado, T., Cubera, E., Pérez-Sierra, A., Jung, T. y 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. y 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. y Hardy, G.E.S.J. (2013). Survival of *Phytophthora cinnamomi* as oospores, stromata, and thick-walled chlamydospores in roots of symptomatic and asymptomatic annual and herbaceous perennial plant species. *Fungal Biology*, 117 (2), 112-123.

- De Vita, P., Serrano, M.S., Ramo, E.B., Aponte, C., García, L.V., Belbahri, L. y Sánchez, M.E. (2013). First report of root rot caused by *Pythium spiculum* affecting cork oaks at Doñana Biological Reserve in Spain. *Plant Disease*, 97, 991.
- García-Ruiz, J.M., López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Lasanta-Martínez, T. y Veguería, S. (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth Science Reviews*, 105, 121-139.
- Gastó-Coderch, J., Calzado-Martínez, C., Carbonero-Muñoz, M.D., De Pedro-Sanz, E., Fernández-Rebollo, P., Garrido-Varo, A., Gómez-Cabrera, A., Guerrero-Ginel, J.E., Guzmán-Álvarez, R., Lara-Vélez, P. y Ortiz-Medina, L. (2010). Sostenibilidad de las dehesas. Documento de reflexión. Grupo de Desarrollo Rural de Los Pedroches, España.
- Giorgi, F. y Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global Planet Change*, 63, 90-104.
- 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., Pérez-Ramos, I.M., García, L.V., Sánchez, M.E. y Marañón, T. (2012). Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: implications for tree species regeneration. *New Phytologist*, 194, 1014–1024.
- González, M., Caetano, P. y Sánchez, M.E. (2017) Testing systemic fungicides for control of *Phytophthora* oak root disease. *Forest Pathology* (in press). DOI: 10.1111/efp.12343.
- González, M., Serrano, M.S. y Sánchez, M.E. (2014). Comparative soil water conditions of oomycete infections on *Quercus suber*. *IOBC/WPRS Bulletin* 101, 145-148
- Grünwald, N.J., Martin, F.N., Larsen, M.M., Sullivan, C.M., Press, C.M., Coffey, M.D., Hansen, E.M. y Parke, J.L. (2011). *Phytophthora-ID.org*: A sequence-based *Phytophthora* identification tool. *Plant Disease*, 95, 337-342.
- Hardy, G., Barrett, S. y 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. y Hardy, G.E.St.J. (2007). In planta selfing and oospore production of *Phytophthora cinnamomi* in the presence of *Acacia pulchella*. *Mycological Research*, 111 (3), 355-362.
- Jiménez, J.J., Sánchez, J.E., Romero, M.A., Belbahri, L., Trapero, A., Lefort, F. y Sánchez, M.E. (2008). Pathogenicity of *Pythium spiculum* and *P. sterilum* on feeder roots of *Quercus rotundifolia*. *Plant Pathology*, 57, 369.
- Jönsson, U., Lundberg, L., Sonesson, K. y Jung, T. (2003). First records 47 of soilborne *Phytophthora* species in Swedish oak forests. *Forest Pathology*, 33, 175–179.
- Jung, T., Cooke, D.E.L., Blaschke, H., Duncan, J.M. y Obwald, W. (1999). *Phytophthora quercina* sp. nov., causing root rot of europaean oaks. *Mycological Research*, 103, 785-798.
- Jung, T., Colquhoun, I.J. y 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. y 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, Nueva Zelanda.
- Manion, P.D. (1981). Tree disease concepts Prentice-Hall, Inc. Englewood, New Jersey, Estados Unidos.
- Manion, P.D. y Lachance, D. (1992). Forest Decline Concepts. APS Press, St. Paul, MN, Estados Unidos.
- McDonald A.E., Grant B.R. y 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(10), 1505-1519.
- Mircetich, S.M. y Zentmyer, G.A. (1966). Production of oospores and chlamydospores of *Phytophthora cinnamomi* in roots and soil. *Phytopathology*, 56, 1076–1078.
- Morales-Rodríguez, C., Vetraino, A.M. y Vannini, A. (2016). Efficacy of biofumigation with *Brassica carinata* commercial pellets (BioFence) to control vegetative and reproductive structures of *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Disease*, 100, 324-330.
- Moreira, A.C. y 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.
- Moreno, P., Ambros, S., Albiach-Martí, M.R., Guerri, J. y Pena, L. (2008). Plant diseases that changed the world - Citrus tristeza virus: a pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular Plant Pathology* 9(2), 251-268.
- Navarro, R.M., Terán, A.I. y 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. y 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., González, M., de Haro, A. y Sánchez, M.E. (2016) Screening brassicaceous plants as biofumigants for management of *Phytophthora cinnamomi* oak disease. *Forest Pathology*, 46, 652-659.
- Romero, M.A., Sánchez, J.E., Jiménez, J.J., Belbahri, L., Trapero, A., Lefort, F. y Sánchez, M.E. (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. y 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. y 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. y Trapero, A. (2003b). *Botryosphaeria* and related taxa causing oak canker in southwestern Spain. *Plant Disease*, 87, 1515–1521.
- Sánchez, M.E., Andicoberry, S. y 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. y Trapero, A. (2006). *Phytophthora* root rot as the main factor in oak decline in southern Spain. En: Progress in research on *Phytophthora* Diseases of Forest Trees. Brasier C, Jung T, Oßwald W (Eds). Forest Research, Farnham, UK. pp. 149-154.
- Sánchez, M.E., Fernández, P. y Trapero, A. (2010). Podredumbre radical de la encina y el alcornoque. En: Enfermedades de las plantas causadas por hongos y oomicetos. Naturaleza y control integrado. Jiménez Díaz R. y Montesinos Seguí E. (Eds.). Ed. Phytoma España-SEF. Valencia. pp. 135-148.
- Sánchez-Osorio, I., Tapias, R., Domínguez, I. y López, D. Chara. (2007). Characterization of the electroantennographic response by *Cerambyx welensii* Küster and *Prinobius germari* Germar (Coleoptera: Cerambycidae) to olfactory stimuli. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 16(1), 95-106.
- Seemüller, E., y 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. y Sánchez, M.E. (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. y 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. y Sánchez, M.E. (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-Rebollo, P. y 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. y 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-Rebollo, P., y Sánchez, M.E. (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. y 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. y Sánchez, M.E. (2014). Control of *Phytophthora cinnamomi* by soil application of calcium fertilizers under field conditions. *IOBC/WPRS Bulletin*, 101, 139-143.
- Serrano, M.S., Ríos, P., González, M. y Sánchez, M.E. (2015). Experimental minimum threshold for *Phytophthora cinnamomi* root disease expression on *Quercus suber*. *Phytopathologia Mediterranea*, 54, 461-464.

Tapias, R., Fernández, M., Moreira, A.C., Sánchez, E. y 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.

Tuset, J.J., Hinarejos, C., Mira, J.L. y Cobos, J.M. (1996). Implicación de *Phytophthora cinnamomi* Rands en la enfermedad de la "seca" de encinas y alcornoques. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas, 22, 491-499.

Weste, G. y Marks, G.C. (1987). The biology of *Phytophthora cinnamomi* in Australasian forests. Annual Review of Phytopathology, 25, 207–229.

Yufa-Li, A., Williams, N., Fenwick, S.G., Hardy, G. y Adams, P.J. (2014). Potential for dissemination of *Phytophthora cinnamomi* by feral pigs via ingestion of infected plant material. Biological Invasions, 16(4), 765-774.

Zentmyer, G.A. (1980). *Phytophthora cinnamomi* and the diseases it causes. Monograph 10. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.