



# JORNADA TÉCNICA:

**Situación actual del conocimiento y medidas frente a la "seca" de las dehesas en Andalucía**



**CALAÑAS (HUELVA)**

**Jueves, 25 de noviembre de 2021**



**Unión Europea**  
Fondo Europeo Agrícola  
de Desarrollo Rural



**Junta de Andalucía**  
Consejería de Agricultura, Ganadería,  
Pesca y Desarrollo Sostenible



# JORNADA TÉCNICA:

**Situación actual del conocimiento y medidas frente a la "seca" de las dehesas en Andalucía**

**CALAÑAS (HUELVA)**

Jueves, 25 de noviembre de 2021

## Ponentes

---

José Manuel Ruiz Navarro

María Serrano Moral

Ana Cristina Coelho

Raúl Tapias Martín

Lorena Gómez Aparicio

Rafael M<sup>a</sup> Navarro Cerrillo

Francisco J. Ruiz Gómez

Pilar Fernández Rebollo

M<sup>a</sup> Dolores Carbonero Muñoz

Juan Pérez Gómez

Ricardo Alarcón Roldán

Organiza:



**Junta de Andalucía**

Consejería de Agricultura, Ganadería,  
Pesca y Desarrollo Sostenible

Con la colaboración de:

---



**JABUGO**  
Denominación de Origen Protegida



DENOMINACIONES DE ORIGEN  
**CONDADO DE HUELVA**  
VINAGRE DEL CONDADO DE HUELVA  
Y VINO MANANILA DEL CONDADO DE HUELVA

Edita: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

Coordinación: Secretaría General de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible / Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera

Fotografía de cubierta cedida por el Equipo de Diagnóstico de la Seca

Diseño, maquetación e impresión: Lumen Gráfica, S.L.

Depósito Legal: SE 2105-2021

# ÍNDICE

## Bloque 1.

### PODREDUMBRE RADICAL. ANTECEDENTE Y SITUACIÓN ACTUAL

#### DEL CONOCIMIENTO..... 7

EVOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE LA SECA EN ANDALUCÍA Y RESPUESTAS  
DE LA ADMINISTRACIÓN AUTONÓMICA HASTA LA FECHA

José Manuel Ruiz Navarro..... 9

PODREDUMBRE RADICAL: BIOLOGÍA Y CONOCIMIENTO DEL PATÓGENO  
*PHYTOPHTHORA CINNAMOMI*

María Socorro Serrano Moral ..... 15

COMO RESPONDEM OS SOBREIROS QUANDO SÃO DESAFIADOS  
POR *PHYTOPHTHORA CINNAMOMI*?

Ana Cristina Coelho ..... 25

## Bloque 2.

### LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA PODREDUMBRE RADICAL

#### DE LOS QUERCUS ..... 35

LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMO HERRAMIENTA EN LA MEJORA GENÉTICA  
DE ENCINAS Y ALCORNOQUES FRENTE A LA PODREDUMBRE RADICAL

Raúl Tapias Martín ..... 37

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD  
SOBRE LA INCIDENCIA DE LA PODREDUMBRE RADICAL

Lorena Gómez-Aparicio ..... 45

LA TELEDETECCIÓN Y LA SALUD DE LA DEHESA, UNA NUEVA APROXIMACIÓN  
AL PROBLEMA DE LA SECA

Rafael M<sup>a</sup> Navarro Cerrillo, Francisco J. Ruiz Gómez ..... 57

## Bloque 3.

### ANTE EL PROBLEMA DE LA PODREDUMBRE RADICAL, ¿QUÉ PUEDO HACER? .... 71

GESTIÓN INTEGRAL DE LA DEHESA ANTE LA ENFERMEDAD DE LA SECA

Pilar Fernández Rebollo ..... 73

TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO A LA GESTIÓN DE LA DEHESA

María Dolores Carbonero Muñoz ..... 81

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE PLANTAS DEL GÉNERO *QUERCUS*  
RESISTENTES A *PHYTOPHTHORA CINNAMOMI* RANDES

Juan Pérez Gómez..... 85

EL EQUIPO DE DIAGNÓSTICO DE LA SECA, UNA HERRAMIENTA DESDE  
LO PÚBLICO PARA LA DEHESA

Ricardo Alarcón Roldán ..... 91



## **Bloque 1**

---

**PODREDUMBRE RADICAL.  
ANTECEDENTE Y SITUACIÓN ACTUAL  
DEL CONOCIMIENTO**





**José Manuel Ruiz Navarro**

Técnico de Sanidad Forestal - Equilibrios Biológicos

**AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE ANDALUCÍA**

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

E-mail: [jmanuel.ruiz.navarro@juntadeandalucia.es](mailto:jmanuel.ruiz.navarro@juntadeandalucia.es)

Teléfono: 677 902706

## **EVOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE LA SECA EN ANDALUCÍA Y RESPUESTAS DE LA ADMINISTRACIÓN AUTONÓMICA HASTA LA FECHA**

José Manuel Ruiz Navarro

.....

### **Introducción**

El deterioro de las formaciones forestales ocurrido en las pasadas tres décadas en numerosas zonas de Europa ha sido asociado, de forma general, a la contaminación o a la acción de factores bióticos. Estos primeros síntomas se detectaron en Alemania al inicio de la década de los 70 sobre abetos y, rápidamente, se generalizaron a píceas y pino silvestre y finalmente a frondosas. El estudio en profundidad de estas situaciones permitió relacionarlas con agentes nocivos individuales (especialmente enfermedades o agentes ambientales) o bien con la confluencia de varios factores (decaimiento forestal). La sintomatología mostrada por el arbolado se caracteriza por ser muy inespecífica, haciendo necesaria una identificación de los agentes participantes a fin de poder discriminar los diferentes escenarios.

Se puede definir al decaimiento como una situación en la que el arbolado sufre cambios metabólicos, problemas de reproducción, senescencias prematuras del follaje, decoloración, alteraciones en el crecimiento y la morfología de la copa que pueden llegar a provocar su muerte. Se relaciona directamente con la actividad humana, presencia de contaminantes o, más frecuentemente, con la acción del medio ambiente y de otros agentes nocivos como plagas o enfermedades; todos ellos actuando de forma conjunta, simultáneamente o no. Cabe destacar que todos los casos de deterioro del arbolado, acabe o no con su muerte, en los que esté claramente determinado el agente responsable, no corresponde su catalogación como afectado por decaimiento.

## Situación en Andalucía

En Andalucía, desde principios de la década de los 80, comenzaron a aparecer defoliaciones y decoloraciones en diferentes especies leñosas, a veces acompañadas de tasas de mortalidad elevadas. La generalización de estos daños, el patrón irregular de distribución de los mismos y la sintomatología tan inespecífica que mostraban no permitió relacionar esta toda esta situación con un único agente responsable. El término Seca aparece en este contexto, englobando la multiplicidad de situaciones existentes pero que provocaban un comportamiento similar del arbolado. Este escenario ha llegado hasta la actualidad donde las formaciones de encinas y alcornoques, dentro de las que se incluyen ecosistemas tan importantes como las dehesas, encuentran comprometida su estabilidad y persistencia.

La Seca es un término coloquial ampliamente aceptado que representa cualquier situación de afectación y deterioro en que se encuentre el arbolado, sin determinar los agentes responsables del mismo. Su uso, especialmente tras un diagnóstico que permita conocer los agentes nocivos implicados, será inadecuado. Una vez identificados los responsables del daño sobre el arbolado no se debe usar el término Seca, debiendo emplear el correspondiente a la enfermedad, plaga, etc. determinada. En aquellos casos donde se establezca que la situación cuenta con la participación de un factor ambiental de largo recorrido, junto con otros agentes (bióticos o abióticos), de forma simultánea o no, habrá de emplearse el término Decaimiento.

Se puede afirmar que una gran parte de los montes andaluces con presencia de especies del género *Quercus* no se encuentran vegetando en óptimas condiciones. La estrategia seguida por la Administración forestal, tras la detección de la situación inicial, contemplaba una valoración inicial de los daños en toda Andalucía, identificando los agentes nocivos participantes. De esta manera se podría diferenciar situaciones particulares, más o menos localizadas, anteriormente englobadas bajo el término Seca. Los trabajos desarrollados tras esta fase inicial se han dirigido hacia acciones o programas que permitiera el control o mitigación de los daños.

En Andalucía se pueden establecer cuatro zonas claramente diferenciadas:

- La zona más occidental (Andévalo onubense): Considerada, con carácter general, afectada por oomicetos que provocan la pudrición de las raíces (*Phytophthora* sp. y *Pythium* sp. principalmente). El escenario de partida, caracterizado por dehesas densas con mezcla de encinas y alcornoques y con un intenso aprovechamiento agroganadero ha favorecido la rápida extensión de la enfermedad. Es la zona donde los daños son más patentes y en las que se ha perdido una mayor cantidad de arbolado. En la actualidad no se considera como un área afectada por un proceso de decaimiento por la participación tan predominante que tienen los hongos fitopatógenos citados frente a otros agentes nocivos.
- Las masas localizadas en el sur andaluz (Sierras gaditano – malagueñas) se encuentran también en una situación difícil. Las condiciones de estación en las que se vegetan, la alta densidad, la influencia de los vientos desecantes y los

daños asociados a aprovechamientos corcheros inadecuadamente ejecutados hacen que progresivamente vayan desapareciendo ejemplares. La participación de varios agentes nocivos junto a los factores ambientales hace que el riesgo de decaimiento sea alto. Se puede considerar una zona con un grado medio de afectación.

- La gran extensión de dehesas que se agrupan en la zona de Sierra Morena que comprende Sierra Norte (Sevilla), Los Pedroches (Córdoba) y Sierra de Andújar (Jaén) posee caracteres similares (masas ahuecadas, muy envejecidas, explotaciones extensivas, etc.) que hace que tengan un comportamiento similar. La desaparición de ejemplares viene dada, principalmente, como consecuencia de la actuación de diversos agentes (insectos, plagas, estreses) pero siempre bajo el denominador común de la escasa vitalidad del arbolado y del manejo al que son sometidos. Su grado de afectación puede definirse como medio.
- Finalmente las masas de encinas y alcornoques que se localizan en la zona oriental de Andalucía parecen encontrarse, como norma general, vegetando en buenas condiciones. Esto, sin embargo, puede no evitar mortandad de pies ante la ocurrencia de estreses (biótico o ambiental) más o menos localizados.

Esta gran división en bloques identificó los principales agentes involucrados en la Seca, permitiendo enfrentar de manera más correcta las diferentes situaciones. Entre ellos cabe destacar:

- *Phytophthora cinnamomi* es el agente causal más importante dentro de los identificados, tanto por su extensión como por la gravedad de los daños. Esto ha supuesto que en grandes zonas ya se deba abandonar el concepto de Seca (entendida como situación provocada por agentes desconocidos) y sustituirlo por el de enfermedad (podredumbre radical), como ocurre en el Andévalo onubense. Es el agente nocivo al que mayor cantidad de esfuerzo y recursos se ha dedicado tanto en el proceso de identificación como en el de seguimiento y control. La ubicación de las esporas de resistencia de este organismo en el suelo, unida a su capacidad para permanecer largo tiempo en latencia y el amplio número de especies a las que puede afectar hace que la lucha contra este agente sea extremadamente difícil.
- *Botryosphaeria corticola* es el responsable del chancro del alcornoque, enfermedad muy común en los alcornocales andaluces, especialmente aquellos sometidos a descorches. Provoca la necrosis de la casca, apareciendo lesiones superficiales que, en casos severos, puede producir la muerte del árbol por anillamiento. La infección está muy asociada al proceso de descorche, provocando una importante pérdida en la producción y calidad del corcho.
- Los cerambícidos xilófagos (*Cerambyx welensii*, *Prinobius germari* y *C. cerdo*) producen daños sobre el arbolado atribuibles fundamentalmente a la pérdida de resistencia estructural que sus galerías larvianas provocan en los troncos y ramas principales que, asociada con vendavales o nieves, facilitan su ruptura.

El estado de envejecimiento generalizado en el que se encuentra la mayoría del arbolado junto a la realización de prácticas selvícolas poco cuidadosas, el deterioro general provocado por la aparición de plagas y enfermedades han creado las condiciones ideales donde estos insectos pueden desarrollarse.

El desconocimiento general que se tenía sobre este grupo de insectos, la facilidad de observación de los orificios de salida y la permanencia en el tiempo de los mismos los ha situado como unos de los agentes más vinculados al decaimiento de los *Quercus*. De forma general, los niveles de población existentes no suponen la realización de daños de importancia. Además, la posible presencia de la especie protegida por la legislación europea y española (*Cerambyx cerdo*), implica que, ante una intensidad de daños que exija un control, únicamente se podrán realizar tratamientos que los excluyan.

- Los procesos de decaimiento siempre poseen un importante componente climático. La gran extensión que ocupan los montes de encina y alcornoque por toda Andalucía, los diferentes aprovechamientos que sufren y la variedad de agentes nocivos participantes hace muy difícil poder llevar a cabo una zonificación de daños exhaustiva y, por tanto, establecer un patrón de localización. Una de las dificultades que muestran este tipo de situaciones es la segregación de los verdaderos decaimientos frente a los episodios normales a los que se enfrenta una masa forestal, es decir, a las consecuencias de meras sequías, plagas y enfermedades.

El proceso de decaimiento sobre el arbolado es completamente inespecífico. Hay una pérdida de masa foliar, más o menos rápida, caracterizada por una muerte regresiva de las ramillas apicales y con aparición de brotes adventicios. Tanto la entrada en decaimiento como el plazo hasta la muerte del árbol son completamente indefinibles ya que dependes de los agentes nocivos que los hayan conducido hasta esa situación y de los que estén actuando en el momento presente.

Los daños por manejos inadecuados, los debidos a un único agente nocivo y, especialmente, la podredumbre radical no deben considerarse como casos de decaimiento.

Corresponde señalar que esta situación de deterioro generalizado del arbolado no es exclusiva de encinas y alcornoques, viéndose también afectadas masas de coníferas del sureste andaluz. Su procedencia, en su mayoría, de repoblaciones llevadas a cabo en la zona con el objetivo de luchar contra la desertización, las hace especialmente sensibles como las realizadas en Sierra de Baza - Sierra de Los Filabres, en las provincias de Almería y Granada con *P. sylvestris* y *P. nigra*. La ausencia aparente de agentes bióticos primarios directamente implicados sugiere que el estrés climático, junto con la excesiva competencia, mediada por la falta de tratamientos selvícolas son los principales responsables.

## Avances realizados

La Consejería, consciente de la importancia de esta situación, viene realizando un esfuerzo importante en el campo de la Sanidad Forestal y especialmente, sobre la Seca. Se ha llevado a cabo una importante inversión en investigación y en la difusión y divulgación de los resultados obtenidos, permitiendo que Andalucía sea referente a nivel nacional.

Se han promovido numerosas líneas de trabajo, desde finales de la década de los 90, con los Centros Universitarios de referencia en el ámbito forestal o de sanidad vegetal (Universidad de Córdoba, Huelva, Sevilla y Málaga). La investigación ha permitido incrementar el grado de conocimiento, desarrollando nuevas técnicas de control, lucha o mitigación de los daños.

Se pueden destacar, entre los numerosos avances realizados en el campo de la Seca, los siguientes:

- Elaboración de una cartografía de daños que determinó la incidencia de la Seca en las masas arboladas andaluzas.
- Preparación de protocolos de laboratorio y de campo que permitieran detectar e identificar a los agentes nocivos participantes.
- Elaboración del mapa de biogeografía de la Seca, donde se establecían los grados de afectación y los agentes participantes, permitiendo diferenciar situaciones aparentemente similares.
- Evaluación del impacto sobre el arbolado de las prácticas selvícolas como medio para mitigar los daños de Seca.
- Valoración preliminar de la contribución de los procesos de cambio climático (modificación en los patrones de precipitación y temperatura) al estado del arbolado.
- Desarrollo de modelos locales de pérdida de arbolado.
- Valoración de los efectos del ganado y del pastoreo en el estado del arbolado.
- Ensayo de diferentes productos como solución particular ante la podredumbre radical
- Desarrollo de herramientas para el control de daños provocados por cerambícidos.
- Ensayo de productos para el control de daños por chancros tras el descorche.
- Determinación de la capacidad de transmisión de los caracteres de tolerancia y/o resistencia frente a diferentes agentes.
- Determinación de la contribución de los insectos carpófagos y defoliadores a la Seca.
- Determinación de patrones de distribución de zonas afectadas por podredumbre radical.

- Evaluación del estado nutritivo de las masas de *Quercus* mediante espectroscopía NIRS.
- Tratamientos de control preventivo del chancro del alcornoque.
- Tratamientos de control de *Phytophthora cinnamomi* mediante cubiertas vegetales y enmiendas orgánicas.

A fin de poder realizar una valoración de las masas forestales así como detectar alteraciones en el estado fitosanitario del arbolado era necesario contar con una herramienta de vigilancia de las masas arboladas. La Red Andaluza de Seguimiento de Daños sobre Ecosistemas Forestales (Red Seda) se estableció en el año 2000, llegando hasta la actualidad, para cumplir esta función. Permite determinar el estado fitosanitario del arbolado, estableciendo tendencias tanto de carácter general como puntual, y generando información fundamental para poder ejecutar una gestión adecuada. Se emplea como base física sobre la que llevar a cabo muestreos específicos de agentes nocivos e incluso permite relacionar variables ambientales (temperaturas, precipitación, etc.) con los parámetros que definen el estado del arbolado.

Por otra parte se cuenta con una Red Local de alerta denominada FIFO (Red de Alerta Fitosanitaria Forestal) que trata de dar respuesta a demandas recibidas por cualquier tipo de entidad o particularidades. Permite que un técnico especializado realice una visita de campo, caracterizando la situación en que se encuentra la zona y realice un diagnóstico de la situación, identificando los agentes involucrados en el deterioro y proponiendo medidas de control o mitigación de daños.

La situación particular de los montes de *Quercus* afectados por Seca, y particularmente por podredumbre, hizo que esta metodología se empleara como base para el Equipo de Diagnóstico de la Seca.

Esta acción se concretó en el Catálogo de acciones contra la seca de los *Quercus* que la Consejería aprobó en 2018. Este documento, entre otras iniciativas propuso desde revisiones de la normativa referente a *Phytophthora*, impulso de la investigación y colaboración con otras Administraciones de territorios afectados por esta situación.

Todos estos logros ha generado un amplio conocimiento de la situación, permitiendo actualmente contar con los elementos necesarios para poder realizar un diagnóstico del arbolado identificando y valorando el efecto de cada uno de los agentes implicados. También es posible determinar las acciones de manejo y gestión del arbolado y demás elementos del ecosistema, estableciendo cuales de ellas participan dañando al árbol.

De esta manera se cuenta con la información necesaria para poder llevar a cabo un diagnóstico de una explotación forestal, determinando los riesgos presentes y la mejor manera de eliminarlos o reducirlos para que se garantice la mejora y persistencia del arbolado.



**María Socorro Serrano Moral**

Investigadora postdoctoral

**Departamento de Agronomía de la ETSI Agronómica y de Montes de la Universidad de Córdoba**

Campus Universitario de Rabanales, Ctra. Madrid-Cádiz Km. 366, Edificio C-4. 14002, Córdoba

E-mail: a12semom@uco.es o msserrano.moral@gmail.com

Teléfono: 957 21 83 45

## PODREDUMBRE RADICAL: BIOLOGÍA Y CONOCIMIENTO DEL PATÓGENO *PHYTOPHTHORA CINNAMOMI*

María Socorro Serrano Moral

.....

### Resumen

Las próximas líneas te permitirán conocer a *Phytophthora cinnamomi*, el principal causante de la Seca, la enfermedad radical que está matando a cientos de encinas y alcornoques en las dehesas y bosques de la Península Ibérica. Abordaremos la importancia y distribución de este patógeno, tanto a nivel mundial como en nuestra comunidad, así como la sintomatología de la enfermedad que causa y el proceso de diagnóstico que debemos seguir para detectar su presencia. Además, profundizaremos en su ciclo de vida, en las estructuras que lo conforman y en las condiciones ambientales que favorecen su desarrollo. Por último, describiremos brevemente el sistema de control integrado que podemos utilizar frente a este patógeno en las dehesas afectadas.

### ¿Quién causa la podredumbre radical?

La podredumbre radical de los *Quercus* está causada por el oomiceto exótico *Phytophthora cinnamomi*. El nombre de esta especie procede de la combinación de *Phytophthora*, del griego *phyton*, "planta" y *pthora*, "destrucción", es decir "destructor de plantas", lo que ya refleja la gravedad de las enfermedades que causa el género. Además, el término *cinnamomi* procede de la planta en la que esta especie se aisló por primera vez, la canela (*Cinnamomum burnamii*). Diversos estudios sitúan el origen de esta especie en Papua Nueva Guinea o el sureste asiático.

## ¿Qué importancia tiene *Phytophthora cinnamomi* y por dónde se distribuye?

La podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* es el mayor problema que afecta a los sistemas agroforestales de encina y alcornoque en España y Portugal y esto se debe entre otras cosas a la dificultad que entraña el control de esta enfermedad (Serrano et al. 2017) y a las severas pérdidas económicas y ecológicas que produce. *Phytophthora cinnamomi* es un patógeno de suelo que está distribuido mundialmente y que es capaz de infectar a miles de especies vegetales, incluida una amplia variedad de árboles, arbustos y herbáceas. Todo esto ha llevado a catalogarlo como una de las 100 especies invasoras más devastadoras a nivel mundial por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Especialmente reseñables son los daños causados por *P. cinnamomi* en las zonas de clima mediterráneo como los bosques de eucalipto del oeste de Australia, la costa oeste de Estados Unidos (California), la Región Florística del Cabo en Suráfrica y los bosques de robles de la cuenca mediterránea (Sena et al. 2018). Así, se ha descrito a *P. cinnamomi* afectando a *Quercus* en Francia Italia, pero sobre todo en Portugal y España.

En cuanto a la distribución del patógeno por Andalucía, los trabajos realizados por la Red Andaluza de Seguimiento de Daños sobre Ecosistemas Forestales (Red SEDA) y la Red Fitosanitaria de Alerta Forestal (Red FIFO) (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible), así como por diversos centros de investigación andaluces como la Universidad de Córdoba y el Consejo Superior de Investigación Científicas, han permitido establecer la presencia de esta enfermedad por toda la comunidad: Valle de los Pedroches (Córdoba), Andévalo (Huelva), Parques Naturales de la Sierra de Hornachuelos (Córdoba), Sierra Norte (Sevilla), Los Alcornocales (Cádiz), Aracena y Picos de Aroche (Huelva), así como en el Parque Nacional de Doñana (Huelva), Málaga, Jaén y Granada.

## ¿Qué sintomatología produce *Phytophthora cinnamomi* y cómo lo diagnosticamos?

Los síntomas de la enfermedad causada por *P. cinnamomi* consisten en la necrosis de las raíces absorbentes del árbol infectado que aparecen oscurecidas y se descascarillan fácilmente. Esto provoca una disminución de la capacidad de absorción de agua y nutrientes del árbol infectado y consecuentemente, aparece amarillez, marchitez, defoliación y muerte regresiva de brotes y ramas (puntiseado) (Sánchez et al. 2002). Estos síntomas son muy inespecíficos y parecidos a los que causa la sequía, sin embargo, están provocados por una falta de raíces absorbentes y no por la falta de agua en el suelo. Cuando la infección radical es severa, los árboles afectados muestran una ausencia casi total de raíces absorbentes, dando lugar a un colapso repentino del árbol, que se conoce como muerte súbita o apoplejía. En otros casos, el proceso de muerte puede durar varios años,

particularmente en climas frescos y húmedos, lo que se conoce como síndrome de muerte lenta. Aunque no es frecuente, ocasionalmente la infección puede extenderse hasta las raíces leñosas o la base del tronco apareciendo lesiones de color pardo visibles al retirar la corteza del árbol infectado o producir pequeñas lesiones en el tronco con exudados oscuros (sangraduras).

El diagnóstico de la enfermedad es complicado debido a que no hay signos visibles del patógeno y los síntomas son muy inespecíficos. Por ello, para el correcto diagnóstico de la podredumbre radical se requiere del aislamiento e identificación del patógeno a partir de material vegetal infectado (raicillas) o del suelo de la rizosfera mediante técnicas de diagnóstico realizadas en laboratorio por personal cualificado. Estas técnicas son el uso de cebos biológicos, la extensión de una suspensión de suelo en medio de cultivo selectivo, lo cual permite además cuantificar al patógeno o técnicas de diagnóstico moleculares con cebadores específicos para *P. cinnamomi*.

### ¿Cómo reconocer a *Phytophthora cinnamomi*? (etiología)

*Phytophthora cinnamomi* es un oomiceto, y como tal presentan una serie de características propias que los diferencian de los hongos (Reino Fungi) y que han llevado a clasificarlos en un reino propio llamado *Stramenopila*. Entre las divergencias que existen entre hongos y oomicetos podemos destacar: diferencias en el contenido cromosómico durante la mayor parte del ciclo vital de ambos tipos de organismos (diploide para los oomicetos y dicariótico o haploide para los hongos); la pared celular de los oomicetos está compuesta de celulosa y  $\beta$ -glucanos, como las algas, mientras la de los hongos es de quitina, y además, los oomicetos poseen esporas biflageladas con movilidad activa.

El género *Phytophthora* se caracteriza por tener un micelio constituido por hifas tubulares ramificadas de 5-8  $\mu\text{m}$  de diámetro, no tabicadas y casi transparentes cuando son jóvenes. En la especie *P. cinnamomi* son muy abundantes las hifas nudosas o con hinchazones (Erwin y Ribeiro 1996), característica que además sirve para diferenciarla de otras especies. Estas hinchazones que son esféricas, elipsoides o angulares, pueden formarse en zonas intermedias o al final de la hifa y no están separadas de ésta por ningún tabique. Además, pueden presentarse aisladas, formando cadenas o en ramificaciones.

Las estructuras reproductivas asexuales de *P. cinnamomi* son los esporangios, en cuyo interior se forman las zoosporas (esporas infectivas) y las clamidosporas, que son esporas de resistencia. Además, como esporas de reproducción sexual produce oosporas.

**Esporangio:** estructura reproductiva asexual en el interior de la cual se forman las zoosporas. Para esta especie, estos tienen forma ovoide, obpiriforme o elipsoide con una gran variedad de tamaño según el aislado (individuo), oscilando entre los 11-103 ´ 11-53  $\mu\text{m}$ . Los esporangios son además no papilados, es decir

no presentan ningún engrosamiento en su pared celular y permanecen siempre anclados al esporangióforo (hifa en la que se forman los esporangios). En esta hifa los esporangios se pueden producir de forma individual o en ramificaciones.

**Zoosporas:** son esporas asexuales reniformes y biflageladas formadas en el interior de los esporangios y con una alta capacidad infectiva, es decir, son las responsables de infectar las raíces de las plantas susceptibles. Cuando las zoosporas entran en contacto con la raicilla, los flagelos desaparecen, engrosan su pared celular y se redondean, pasando a llamarse quistes.

**Clamidosporas:** son esporas reproductivas asexuales con una pared celular gruesa que se forman en el interior del tejido vegetal infectado y sirven como estructuras de resistencia. Se forman en hifas en posición terminal o intercalar y a menudo formando racimos de entre 3 y 10 clamidosporas. Normalmente son esféricas con un tamaño entre 31-50  $\mu\text{m}$ . Inicialmente son transparentes y posteriormente se oscurecen (amarillentas-marrones) (Erwin y Ribeiro 1996). Son las estructuras de resistencia más frecuentes de la especie.

**Oospora:** espora de reproducción sexual con la pared celular gruesa formada por la unión de dos gametangios, uno femenino, el oogonio (saco en el que se forma la oospora) y otro masculino, el anteridio. Ambos gametangios se forman en el extremo de una hifa. El oogonio crece a través del anteridio atravesándolo, de forma que el anteridio queda como un cuerpo que rodea el pedúnculo del oogonio. Los anteridios pueden ser unicelulares o bicelulares. La oospora resultante de la unión de los dos gametangios es esférica, hialina y se desarrolla ocupando todo el espacio del oogonio (plerótica). Tiene unas dimensiones de 19-54  $\mu\text{m}$  de diámetro. Las oosporas sobreviven durante largos períodos de tiempo. La reproducción sexual que da lugar a estas esporas permite, además, incrementar la variabilidad genética gracias a la recombinación.

En cuanto a la reproducción sexual, *P. cinnamomi* es una especie heterotálica o autoestéril, lo que significa que la especie no produce esporas reproductivas sexuales (oosporas) a partir de un único talo, pero sí puede hacerlo cuando se ponen en contacto dos talos complementarios de tipo de apareamiento opuesto. De forma general, a estos tipos complementarios se les denomina talos A1 y A2. La forma A2 de *P. cinnamomi* está ampliamente distribuida a nivel mundial, siendo la que está presente en la Península Ibérica, pero la A1 está muy restringida. Por lo tanto, en la Península Ibérica no es frecuente la formación de oosporas debido a la ausencia del talo A1. Sin embargo, diversos trabajos han registrado la formación de oosporas a partir de un único talo en condiciones controladas bajo la influencia de algunas especies vegetales como acacias australianas o en raíces de plántulas de quejigo y acebuche (Gómez et al. 2020).

Trabajos realizados por Caetano y colaboradores (2009) mostraron que en la Península Ibérica se pueden diferenciar dos grupos de aislados de *P. cinnamomi* que presentan diferencias en las temperaturas de crecimiento, en la caracterización morfológica y molecular y en las áreas de distribución. Así, un primer grupo procedente

de la parte más occidental de la Península Ibérica (Huelva y el Algarve portugués), presenta temperaturas óptimas de crecimiento de 30,1°C y mínimas de 1,8°C y abundantes hinchazones hifales esféricas en el micelio, principalmente en posición terminal. Por el contrario, el segundo grupo procedente de las sierras de Sevilla, Córdoba y Cádiz muestra un rango de temperaturas más limitado que oscila entre 26,9 y 5,2°C y un micelio con hinchazones irregulares y ramificaciones botriosas. Todos estos resultados sugieren una mayor adaptabilidad del primer grupo de aislados. La caracterización molecular de los aislados mediante sus perfiles AFLP también ha mostrado diferencias entre los dos grupos que se corresponden con poblaciones genéticas distintas. Sin embargo, no se ha podido demostrar diferencias de patogenicidad entre ellas (Sánchez et al. 2002).

### ¿Cómo vive *Phytophthora cinnamomi*? (Patogénesis y epidemiología)

El ciclo de patogénesis de *P. cinnamomi* se inicia a partir de las estructuras de supervivencia, oosporas y más frecuentemente clamidosporas que se forman en el interior del tejido vegetal infectado y que cuando este se degrada son liberadas al suelo. Las especies de *Phytophthora* poseen una capacidad muy limitada como saprofitos, sin embargo, presentan una gran habilidad para subsistir en el suelo como propágulos de resistencia en latencia incluso con densidades de inóculo relativamente bajas.

Cuando la planta susceptible comienza a producir raíces, las esporas y estructuras de resistencia germinan produciendo esporangios, en cuyo interior se desarrollan pequeñas esporas biflageladas (zoosporas). Este proceso ocurre cuando el suelo está húmedo y su temperatura es relativamente alta (aproximadamente 25°C) y está favorecido en suelos ácidos. Las zoosporas, gracias al movimiento de sus flagelos, son capaces de nadar, de desplazarse activamente en el agua del suelo atraídas por los exudados radicales de las plantas susceptibles. Las zoosporas pueden moverse activamente varios centímetros, pero también pueden ser transportadas de forma pasiva por el agua del suelo hasta alcanzar los ápices de las raíces. Cuando entran en contacto con estas, las zoosporas comienzan el proceso de infección a través de la zona de elongación de las raicillas o a través de heridas. Tras la infección, el micelio de *P. cinnamomi* coloniza el tejido de la raíz expandiéndose, por los espacios inter e intracelulares a medida que necrosa el tejido. Durante este proceso, se producen también nuevos ciclos de infección. Para ello, se generan nuevos esporangios en la superficie de la raíz, que liberan multitud de zoosporas que infectan nuevas raicillas incrementando así la tasa de infección. Estos ciclos secundarios de infección se repetirán en el tiempo mientras existan condiciones de saturación hídrica en el suelo, temperaturas adecuadas y huéspedes a los que infectar. Sin embargo, si alguna de estas condiciones se vuelve desfavorable, *P. cinnamomi* produce de nuevo esporas de resistencia de paredes gruesas que quedan, primero en la planta y, posteriormente en el suelo como estructuras de resistencia. Por lo tanto, los árboles infectados actúan como fuente de inóculo para la infección del resto del arbolado.

Hay distintas características del patógeno, del huésped, del medio ambiente y de las interacciones entre estos factores que favorecen el establecimiento y desarrollo de la enfermedad radical. En primer lugar, la capacidad para producir zoosporas infectivas está fuertemente condicionada por la presencia de agua libre en el suelo, por lo que el número de infecciones aumenta de manera exponencial en los suelos con condiciones de saturación hídrica, encharcados o mal drenados. Además, la abundancia de este patógeno en el suelo está fuertemente influenciada por el rango de lluvias primaverales, siendo esta la estación en la que se registran los mayores niveles de esporas de resistencia en el suelo (Serrano et al. 2021). Por lo tanto, la primavera es el mejor momento para la detección de *P. cinnamomi*.

Otro factor importante que aumenta el riesgo de epidemias causadas por *P. cinnamomi* es su amplio rango de huéspedes con más de 3000 especies descritas, entre ellas numerosos *Quercus*, que son el género dominante en las dehesas y bosques de la Península. Aunque algunos estudios muestran diferencias de susceptibilidad o resistencia a *P. cinnamomi* entre encinas de distintas regiones de procedencia o morfotipos, ninguno de los individuos evaluados ha llegado a mostrar cierto grado de tolerancia, resultando todos los individuos como susceptibles o muy susceptibles (Serrano et al. 2012b). Además, estudios recientes han mostrado que formaciones mixtas de alcornoque y quejigo estimulan la producción de zoosporas de *P. cinnamomi* más que masas puras de alcornoque, incrementando las tasas de infección del arbolado (Gómez et al. 2020). Respecto al estrato arbustivo y herbáceo, este es mucho más diverso, sin embargo, distintas especies silvestres de las familias *Cistaceae*, *Ericaceae* y *Leguminosae* (Moreira y Martins 2005) y cultivos de leguminosas como el altramuza amarillo, también han sido descritas como hospedadores de *P. cinnamomi*, actuando como reservorios de inóculo, aumentando aún más la presión sobre el arbolado (Serrano et al. 2012a).

Por otra parte, aunque la podredumbre radical de *Quercus* está favorecida por el encharcamiento del suelo, en términos generales, los mayores daños por la enfermedad se producen en zonas secas. En concreto, tras una primavera lluviosa y un verano y otoño seco y con altas temperaturas, el sistema radical de los árboles infectados está muy debilitado y estos no son capaces de superar el estrés hídrico provocado por el déficit hídrico y mueren. Sin embargo, hay que recalcar que la sequía no es un factor predisponente necesario en la infección por *P. cinnamomi* y desarrollo de la podredumbre radical (González et al. 2020). Además, la dispersión del patógeno y la infección se ve además muy favorecida en suelos arcillosos y arenosos con niveles freáticos altos, y con niveles de pH ligeramente ácidos, lo cual es muy frecuente tanto en las dehesas como en los montes de encinar y alcornocal.

Por último, diversos trabajos han estudiado el efecto que las condiciones de cambio climático predichas para la región mediterránea tienen sobre la enfermedad

radical y el patógeno, observando una alta capacidad adaptativa de *P. cinnamomi* al cambio climático, que en general no ve mermada su capacidad infectiva, de multiplicación, ni de desarrollo de la enfermedad radical a pesar de la reducción de las precipitaciones y el incremento de la temperatura esperados (Serrano et al. 2021). Por lo tanto, se incrementa aún más la peligrosidad de este patógeno y el riesgo de supervivencia de los ecosistemas ya infectados.

## Control

El control de esta enfermedad es complicado debido a la amplia gama de huéspedes de *P. cinnamomi*, su alta capacidad de dispersión en suelos mal drenados o encharcados, el periodo a veces largo entre el establecimiento de la infección y el desarrollo de los síntomas y la longevidad de sus estructuras de resistencia. Todo esto junto con la naturaleza seminatural de la dehesa, hacen necesaria la aplicación de un sistema de control integrado frente a la podredumbre radical. Por ello, durante los últimos 15 años, los Departamento de Agronomía y de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba han desarrollado conjuntamente diferentes estrategias de manejo integrado (Serrano et al. 2017): métodos de control cultural enfocados a minimizar el área de distribución y dispersión de *P. cinnamomi* tales como la mejora del drenaje del suelo, el manejo del ganado, evitar el movimiento del suelo y reducir en lo posible el movimiento de maquinaria pesada y otros vehículos. Otros métodos culturales centrados en la reducción de la densidad de inóculo viable en el suelo incluyen la aplicación de enmiendas calizas al suelo, especialmente carbonato y sulfato cálcico, capaces de disminuir la infectividad de *P. cinnamomi* (Serrano et al. 2012c). Igualmente, evitar el cultivo de especies susceptibles al patógeno como el altramuz amarillo que favorece la multiplicación del patógeno (producción de zoosporas y clamidosporas) permite reducir la capacidad infectiva y de supervivencia de este (Serrano et al. 2012a). Por otro lado, la biofumigación con especies de *Brassica* con alto contenido en sinigrina, como *Brassica juncea* y *B. carinata* (mostazas) también muestran un alto efecto supresivo de las estructuras de resistencia de *P. cinnamomi* (Ríos et al. 2016). El uso de morfotipos de encina resistentes a *P. cinnamomi* no parece factible, sin embargo, la hibridación con especies que muestren mayor resistencia al patógeno, como *Quercus faginea* (Serrano et al. 2012b), debería ser tenida en cuenta en los futuros programas de mejora de la encina y el alcornoque. Finalmente, se pueden llevar a cabo métodos de control químicos basados en el uso de inductores de la resistencia que son fáciles de aplicar, de rápida acción, persistentes y efectivos. Bueno ejemplos son la aplicación mediante inyección al tronco de fungicidas sistémicos como los fosfonatos (Romero et al. 2019) o el incremento de los niveles de calcio en la planta, que aumentan significativamente la tolerancia de la planta frente al patógeno.

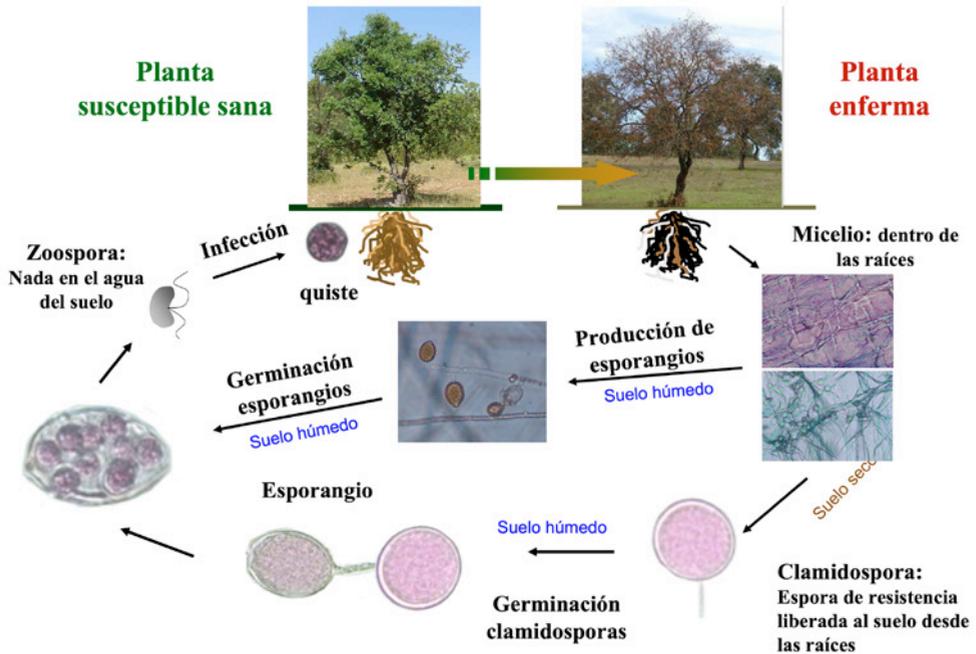
## Referencias bibliográficas

- Caetano et al. 2009. *Phytophthora* populations on *Quercus* forests from Spain and Portugal. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-221.
- Erwin y Ribeiro. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press.
- Gómez et al. 2020. Coexistent Mediterranean woody species as a driving factor of *Phytophthora cinnamomi* infectivity and survival. *Ann Appl Biol* 177: 41-50.
- González et al. 2020. Unravelling the role of drought as predisposing factor for *Quercus suber* decline caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Eur J Plant Pathol*, 156: 1015-1021.
- Moreira y Martins. 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathol* 35: 145-162.
- Ríos et al. 2016. Effect of Brassica Biofumigant amendments on different stages of the life cycles of *Phytophthora cinnamomi*. *J. Phytopathol* 164: 582-594.
- Romero et al. 2019. Trunk injection of fosetyl-aluminium controls the root disease caused by *Phytophthora cinnamomi* on *Quercus ilex* woodlands. *Ann Appl Biol* 174: 313-318.
- Sánchez et al. 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in south-western Spain. *Forest Pathol* 32: 5-18.
- Sena et al. 2018. *Phytophthora cinnamomi* as a driver of forest change: Implications for conservation and management. *Forest Ecol Manag* 409: 799-807.
- Serrano MS, Fernández-Rebollo P, De Vita P, Sánchez ME. 2012a. Susceptibility of common herbaceous crops to *Phytophthora cinnamomi* and its influence on *Quercus* root rot in rangelands. *Eur. J. Plant Pathol.* 134: 409-414.
- Serrano et al. 2012b. Susceptibility to *Phytophthora cinnamomi* of the commonest morphotypes of Holm oak in southern Spain. *Forest Pathol.* 42: 345-347.
- Serrano et al. 2012c. Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *Eur. J. Plant Pathol.* 132: 271-279.
- Serrano et al. 2017. A review of integrated control of *Phytophthora* root rot in oak rangeland ecosystems. *IOBCWPRS Bulletin* 127:139-146.
- Serrano et al. 2021. Disentangling the interactive effects of climate change and *Phytophthora cinnamomi* on coexisting Mediterranean tree species. *Agricultural and Forest Meteorology* 298, 108295.

Síntomas radicales: ausencia de raíces absorbentes (izq.) y síntomas aéreos: puntisecado de ramas (centro) y defoliación (dcha.)



Ciclo de patogénesis de *Phytophthora cinnamomi*







### Ana Cristina Coelho

Professora Coordenadora da Universidade do Algarve e Investigadora no CEOT

(CEOT) Centro de Eletrónica, Optoeletrónica e Telecomunicações, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

E-mail: [acoelho@ualg.pt](mailto:acoelho@ualg.pt)

## COMO RESPONDEM OS SOBREIROS QUANDO SÃO DESAFIADOS POR *PHYTOPHTHORA CINNAMOMI*?

Ana Cristina Coelho

---

### Introdução

O título deste documento reflete, logo à partida, que vamos abordar um assunto que diz respeito a duas entidades que interagem uma com a outra. Esta interação poderia ser benéfica, mas, neste caso, o desafio que *Phytophthora cinnamomi* lança aos sobreiros, ao infetar as raízes, contribui para o declínio da espécie.

O declínio do sobreiro é um fenómeno conhecido há várias décadas, com acentuada evidência no sul da Península Ibérica, manifestando-se através da perda de vitalidade das árvores ao longo dos anos, culminando com a morte. É um fenómeno que sobressai na paisagem da Serra do Caldeirão, no Algarve, e que afeta a relação dos seres vivos com o ecossistema (figura 1). Atualmente, a gestão de sistemas florestais em que predominam indivíduos da espécie *Q. suber* confronta-se com um nível de declínio superior ao de regeneração natural, que compromete a viabilidade económica, a estabilidade social e o índice de biodiversidade.



**Figura 1.** Serra do Caldeirão, Algarve, Portugal. Círculos amarelos: árvores mortas ou em declínio; círculos verdes: plantas oriundas de regeneração natural.

## Interação entre o sobreiro e *P. cinnamomi*

Os estudos realizados até ao momento na Universidade do Algarve, relacionados com o declínio do sobreiro, incidiram sobre o conhecimento dos aspetos celulares/genéticos da interação entre o hospedeiro (*Q. suber*) e o agente infeccioso *P. cinnamomi*, um oomiceta de desenvolvimento filamentoso que existe no solo associado ao sistema radicular dos sobreiros. Pretendeu-se com as investigações realizadas dar resposta a questões que eram suscitadas pela observação de um fenómeno que é complexo e multifatorial.

## Porque observamos padrões distintos de resposta das árvores à doença do declínio?

Umhas árvores perdem a vitalidade lentamente e outras morrem subitamente (Figura 2).

As formas de manifestação do declínio (declínio lento e morte súbita) e os padrões diversificados de expressão nas árvores encontram paralelismo com o nível de diversidade genética observado nos sobreiros, estudado com recurso a marcadores moleculares selecionados aleatoriamente no genoma. Numa amostra de 313 indivíduos da espécie *Q. suber* observou-se um nível muito elevado de variabilidade genética (71%), apesar das árvores partilharem 60% do genoma (Coelho et al., 2006). Isto significa que a elevada variação fenotípica que se observa em *Q. suber* ao nível dos padrões de expressão do declínio está refletida nos padrões dos marcadores

genéticos. No que diz respeito a populações, os estudos revelaram que a diversidade genética é semelhante nas populações do Algarve, Alentejo e Trás-os-Montes e que a variação genética entre indivíduos é muito superior (96%) no interior das populações do que entre populações (3,6%). Assume-se que existe muito pouca diferenciação entre populações ao longo das regiões numa extensão de 700 km.

Num projeto de sequenciação do transcriptoma do sobreiro, sendo o transcriptoma uma representação do que se expressa do genoma, relata-se a deteção de um elevado número de genes específicos da espécie, ou seja, de genes que não têm correspondência no genoma de outras espécies de plantas e realça-se a importância que a heterogeneidade genética das amostras pode ter tido no resultado (Pereira-Leal et al., 2014).

Parece haver uma correspondência entre a diversidade de padrões observados no declínio do sobreiro e a estrutura genética da espécie que se apresenta como muito polimórfica, ou seja, com várias formas do mesmo gene associadas a uma determinada característica, que resulta em variabilidade fenotípica da expressão do declínio.



**Figura 2.** Cachopo – Serra do caldeirão - Algarve. Representação do declínio lento e da morte súbita.

## Que fatores estão envolvidos na perda de vitalidade das árvores?

As opiniões dividem-se quanto às causas do declínio e quanto aos fatores determinantes para a manutenção ou erradicação do problema. As alterações climáticas (Vessella et al., 2017), os stresses bióticos (Moricca et al., 2016) e abióticos (Camilo-Alves et al., 2017) e a gestão do montado/floresta são os macrofatores associados ao declínio do sobreiro. No que diz respeito às causas, ou fatores responsáveis pelo declínio do sobreiro, cedo no processo investigativo se considerou que poderiam estar envolvidos microorganismos patogénicos. *Phytophthora cinnamomi* foi um oomiceta isolado de forma sistemática dos solos associados a sobreiros em declínio, levando a crer que este agente biológico seja um dos principais responsáveis pelo fenómeno.

*O mais importante será considerar que estes fatores não são independentes uns dos outros, mas com domínios de sobreposição.*

## O que acontece durante a interação entre o microorganismo e o hospedeiro?

Não existem dúvidas quanto à capacidade do microorganismo *P. cinnamomi* infetar as raízes dos sobreiros, desconhecendo-se, contudo, quais os mecanismos biológicos que são ativados/desativados durante o processo de interação com o hospedeiro (Horta et al., 2010). Quando se fala em mecanismos de interação, faz-se referência a elementos/estruturas do oomiceta e do hospedeiro que atuam em simultâneo durante a interação. Ou seja, conhece-se pouco acerca das estratégias de invasão usadas pelo agente patogénico e promoção de declínio e as estratégias de defesa usadas pelo hospedeiro.

Na natureza supõe-se que a infeção seja promovida por zoósporos de *P. cinnamomi*, estruturas móveis biflageladas que são atraídas para as raízes. Esta mobilidade ocorre na água que existe nos solos e permite a passagem da infeção de uns sobreiros para os outros. A infeção pode progredir através do desenvolvimento de micélio no interior das raízes, em direção ao córtex, provocando um desequilíbrio grave na regulação de água e sais.

Os modelos de infestação promovidos por diferentes espécies de *Phytophthora* estão representadas na figura 3, considerando-se que no caso do declínio do sobreiro se observa o que está traduzido no modelo (a). Neste modelo, *P. cinnamomi* infeta as raízes finas do sobreiro, estando a infeção representada pelas setas vermelhas, progredindo através da planta (setas azuis). Os modelos (b) e (c) representam infeções por outras espécies de *Phytophthora* promovidas através do tronco ou das folhas.

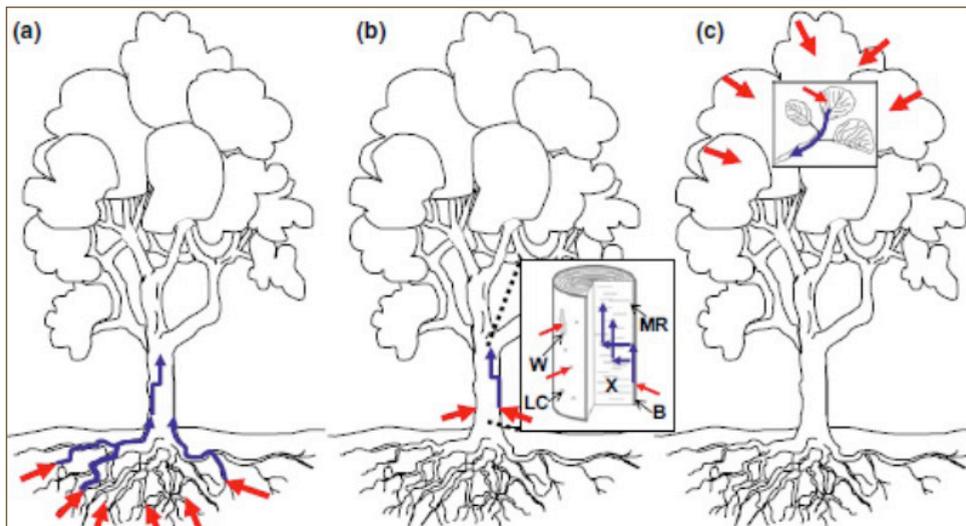


Figura 3. Oswald, W. et al., (2014). Strategies of attack and defence in woody plant- *Phytophthora* interactions. *Forest Pathology* (review article), 44 (3):169-254 DOI: 10.1111/efp.12096.

Ao nível celular, durante a colonização das raízes do sobreiro, *P. cinnamomi* produz substâncias efetoras que têm como função contornar o sistema de defesa do hospedeiro, silenciando-o, melhorando assim a eficácia da infecção. De entre as moléculas efetoras que se conhecem, as proteínas elicinas são as mais estudadas, sabendo-se que estão potencialmente associadas ao processo infeccioso, mas desconhecendo-se como atuam. Ou seja, *P. cinnamomi* aumenta a produção de elicinas quando está em contacto com um hospedeiro, mas não se sabe porquê e também não se sabe qual é o alvo destas proteínas (Horta et al., 2008). Com a sequenciação do genoma de *P. cinnamomi* descobriu-se que este organismo possui centenas de genes que dão origem a proteínas que estão potencialmente relacionados com o processo infeccioso e com a patogénese (Hardham and Blackman, 2018).

Também se postula que *P. cinnamomi* produza toxinas, metabolitos simples. As potenciais toxinas nunca se chegaram a isolar e esta hipótese foi criada devido à identificação de um gene no sobreiro, chamado de *QsCAD1*, que tinha uma função potencialmente semelhante a um gene identificado noutra planta e que conferia resistência a uma toxina produzida por um organismo que provoca o míldio da videira (Coelho et al., 2006a). As toxinas são substâncias de pequenas dimensões que podem migrar ao longo da planta e atingir mecanismos essenciais ao seu funcionamento, longe do local onde são produzidas, podendo esta teoria fazer sentido no caso da morte súbita em que parece não haver resposta de defesa do hospedeiro.

Os sobreiros respondem à invasão dos tecidos ativando o sistema de defesa local e sistémico. A morte celular programada, a deposição de calose para fortalecimento das paredes celulares, a produção de flavonoides, a emissão de moléculas sinalizadoras tais como ácido salicílico (SA), óxido nítrico (NO) e ácido jasmónico (JA), são formas de defesa (Figura 4) (Fu and Dong, 2017).

Nas primeiras 24 horas de interação, após reconhecimento do agente patogénico, o hospedeiro reprograma o funcionamento metabólico das células (Hardoim et al., 2016) e aumenta a produção de proteínas de defesa (Coelho et al., 2011). Ao longo dos anos foram-se identificando muitos genes de sobreiro que estão potencialmente relacionados com a resposta imediata de defesa a *P. cinnamomi* (Coelho et al., 2011; Osswald et al., 2014).

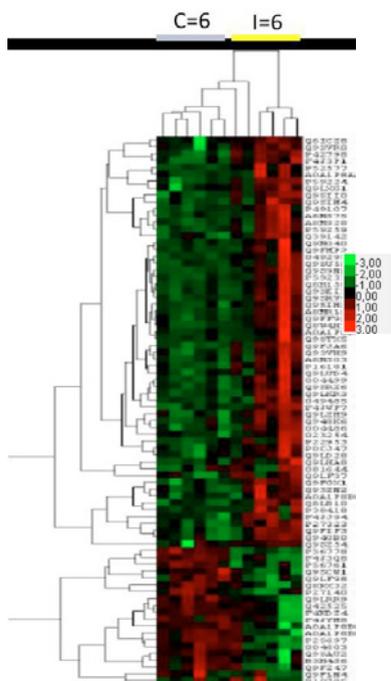


Figura 4. Ações envolvidas na resposta de defesa a *P. cinnamomi*.

Recentemente, efetuou-se um ensaio de longo prazo para tentar perceber se a resposta de defesa sistémica se mantinha ao longo do tempo e se seria possível reconhecer este novo estado homeostático das árvores, resultante da interação com *P. cinnamomi*, através da análise das proteínas extraídas em órgãos distantes do local da infeção, designadamente nas folhas (Coelho et al., 2021).

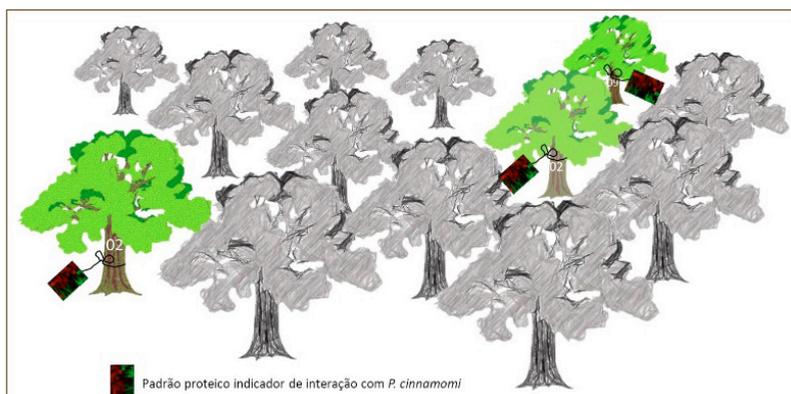
Neste ensaio identificaram-se e quantificaram-se 424 proteínas presentes nas folhas de sobreiros inoculados e não inoculados, mais de 8 meses após inoculação. Destas proteínas, 80 apresentavam variabilidade de abundância significativa entre as plantas inoculadas e as plantas controlo. É possível observar a variação dos padrões de abundância destas 80 proteínas na figura 5, sendo muito perceptível a separação entre o grupo de plantas inoculadas e controlo.

Este trabalho veio demonstrar que é possível saber se um sobreiro está infetado com *P. cinnamomi* sem recorrer ao isolamento do oomiceta a partir das raízes. Também veio demonstrar que o padrão de proteínas das folhas de um sobreiro infetado é muito diferente do de um sobreiro não infetado e que pode ser detetado ao longo do tempo.



**Figura 5.** Heat Map representativo da abundância das 80 proteínas nos sobreiros controlo (C=6) e nos sobreiros inoculados (I=6). Escala verde: quantidade da proteína é inferior nas plantas inoculadas; Escala vermelha: quantidade da proteína é superior nas plantas inoculadas.

As proteínas identificadas constituem marcadores moleculares da interação entre o sobreiro e *P. cinnamomi* e podem auxiliar no diagnóstico do estado das árvores, podendo ser mais uma ferramenta de gestão das florestas ou dos montados.



## Conclusões

Infelizmente ainda não temos soluções para erradicar o declínio do sobreiro, mas temos sugestões que podem ajudar a esclarecer o fenómeno e que podem ajudar na tomada de decisão quanto às melhores práticas e melhores estratégias de intervenção que visem a manutenção de ecossistemas a cuja beleza já todos nos rendemos e a cuja importância já todos nos curvamos.

O declínio do sobreiro conta com vários fatores que contribuem para o fenómeno não devendo ser trabalhados de forma independente porque a manutenção do extrato florestal ou de montado, como nós o conhecemos, não figura nas previsões para o futuro, sendo necessário contrariar as expectativas.

O problema é complexo e será necessário aumentar os apoios e as áreas de intervenção, apoiar a investigação de qualidade e em domínios que se complementam, integrando *todas* as áreas de conhecimento de forma a ter uma visão holística.

Acreditar na investigação e aceitar que a interação do sobreiro com *P. cinnamomi* se destaca como fator que pode ser decisivo para o declínio.

Usar o perfil de proteínas das folhas de sobreiro para saber se a árvore está infetada e usar esta informação como ferramenta de gestão do montado ou sobreiral.

Tendo em consideração o elevado grau de diversidade genética que caracteriza a espécie e a complexidade de eventos que estão envolvidos na resposta de defesa a fatores bióticos/abióticos e na adaptação ao ambiente, entende-se que uma das vias passa pela avaliação global do potencial genético/proteico de um elevado número de sobreiros no sentido de encontrar correlações positivas entre estes padrões e os padrões fenotípicos de resistência ou suscetibilidade à doença do declínio e de adaptação ao meio ambiente.

## Referências Bibliográficas

- Camilo-Alves CS, Vaz M, Da Clara MIE, Ribeiro NMDA. (2017) Chronic cork oak decline and water status: new insights. *New For.* 48(6):753–72.
- Coelho, A.C., Lima, M.B., Neves, D. and Cravador, A. (2006a). Genetic diversity of two evergreen Oaks [*Quercus suber* (L.) and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* (Lam.)] in Portugal using AFLP markers. *Silvae Genetica*, **55** (3): 105-118.
- Coelho, A.C., Horta, H., Neves, D. and Cravador, A. (2006). Involvement of a cinnamyl alcohol dehydrogenase of *Quercus suber* in the defence response to infection by *Phytophthora cinnamomi*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, July-September, **69** (1-3): 62-72.

- Coelho AC, Pires R, Schütz G, Santa C, Manadas B, Pinto P (2021) Disclosing proteins in the leaves of cork oak plants associated with the immune response to *Phytophthora cinnamomi* inoculation in the roots: A long-term proteomics approach. PLoS ONE 16(1): e0245148.
- Fu ZQ, Dong X. (2013). Systemic acquired resistance: turning local infection into global defense. Annu Rev Plant Biol., 64:839–63.
- Hardham AR, Blackman LM. (2018). *Phytophthora cinnamomi*. Mol Plant Pathol.; 19(2):260–85.
- Hardoim P, Guerra R, Rosa da Costa A, Serrano M, Sánchez M, Coelho A. (2016). Temporal metabolic profiling of the *Quercus suber*–*Phytophthora cinnamomi* system by middle-infrared spectroscopy. For Pathol., 46(2):122–33.
- Horta M, Caetano P, Medeira C, Maia I, Cravador A. (2010). Involvement of the  $\beta$ -cinnamomin elicitin in infection and colonisation of cork oak roots by *Phytophthora cinnamomi*. Eur J Plant Pathol.; 127(3): 427–36.
- Horta M, Sousa N, Coelho AC, Neves D, Cravador A. *In vitro* and *in vivo* quantification of elicitin expression in *Phytophthora cinnamomi*. Physiol Mol Plant Pathol. 2008; 73(1–3):48–57.
- Moricca S, Linaldeddu BT, Ginetti B, Scanu B, Franceschini A, Ragazzi A. (2016). Endemic and emerging pathogens threatening cork oak trees: management options for conserving a unique forest ecosystem. Plant Dis., 100(11):2184–93.
- Pereira-Leal et al. (2014). A comprehensive assessment of the transcriptome of cork oak (*Quercus suber*) through EST sequencing. BMC Genomics, 15:371. DOI: 10.1186/1471-2164-15-371.
- Oswald, W., Fleischmann, F., Rigling, D., Coelho, A.C., Cravador, A., Diez, J., Dalio, R.J., Jung, M.H., Pfanz, H., Robin, C., Sipos, G., Solla, A., Cech, T., Chambery, A., Diamandis, S., Hansen, E., Jung, T., Orlikowski, L.B., Parke, J., Prospero, S. and Werres, S. (2014). Strategies of attack and defence in woody plant- *Phytophthora* interactions. *Forest Pathology* (review article), 44 (3):169-254 DOI: 10.1111/efp.12096.
- Santos C, Duarte S, Tedesco S, Fevereiro P, Costa RL. (2017). Expression profiling of *Castanea* genes during resistant and susceptible interactions with the oomycete pathogen *Phytophthora cinnamomi* reveal possible mechanisms of immunity. Front Plant Sci. 2017; 8:515.
- Vessella F, López-Tirado J, Simeone MC, Schirone B, Hidalgo PJ. (2017) Tree species range in the face of climate change: cork oak as a study case for the Mediterranean biome. Eur J For Res. 2017; 136 (3):555–69.



## **Bloque 2**

---

# LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA PODREDUMBRE RADICAL DE LOS QUERCUS





**Raúl Tapias Martín**

**Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva**

**E-mail:** rtapias@uhu.es

**Teléfono:** +34 696247338 / 959217564

## **LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA COMO HERRAMIENTA EN LA MEJORA GENÉTICA DE ENCINAS Y ALCORNOQUES FRENTE A LA PODREDUMBRE RADICAL**

Raúl Tapias, María Luisa Fernández, Ana Quevedo,  
Juan José García Martínez, Silvia Patricia Alesso,  
Manuel Fernández Martínez

.....

### **Selección de individuos sobresalientes en los programas de mejora genética**

Los programas de mejora genética de plantas tienen como objetivo modificar la frecuencia de genes en el conjunto de plantas que se van a utilizar en las plantaciones con la finalidad de satisfacer mejor las necesidades humanas. A grandes rasgos, los programas de mejora se basan en un proceso recurrente de selección de individuos en las poblaciones de mejora, cruzamiento entre ellos y la evaluación de las progenies. En los últimos años este proceso puede estar asistido por el empleo de marcadores moleculares asociados funcionalmente o no a determinados caracteres de mejora.

El resultado de cada ciclo del programa de mejora genética, además de información que ayuda a entender mejor la estructura de las especies, es un conjunto de individuos con características sobresalientes que pueden ser utilizados en programas operativos. Se pueden seleccionar dos conjuntos de individuos en cada ciclo, por un lado, progenitores que han demostrado producir unas progenies con

mejor rendimiento que la media y, por otro, individuos dentro de las progenies que han tenido unos valores sobresalientes de los caracteres de mejora. Los primeros pueden ser utilizados directamente como productores de semillas en plantaciones de progenitores sobresalientes para la producción de semillas (huertos semilleros). Mientras que los segundos necesitan una evaluación posterior pues su condición de sobresaliente se basa en el valor de un solo individuo. En este caso, es necesario producir copias genéticamente iguales (clones) y someterlos a una segunda evaluación. Si se confirma el carácter sobresaliente de un genotipo, este se podrá utilizar directamente como clon mediante propagación vegetativa. Además, puede ser evaluado como progenitor.

La propagación vegetativa será igualmente necesaria para el traslado de los progenitores sobresalientes, muchas veces seleccionados en el campo en las primeras etapas de mejora, a los huertos semilleros.

La mejora genética de especies forestales, y especialmente las afectadas por la podredumbre radical en la Península Ibérica, presenta varios inconvenientes. El primero es el largo periodo de tiempo necesario para completar un ciclo de mejora por el prolongado periodo juvenil hasta la producción de fruto, el segundo es la necesidad de evaluar caracteres que afectan a todo el ciclo vital con la mayor antelación posible (selección precoz) y, por último, las dificultades para su propagación vegetativa, especialmente en individuos adultos de encina.



**Figura 1.** Esquema simplificado de un ciclo de un programa de mejora genética. Comienza con la selección inicial de posibles progenitores de los que se obtienen semillas de cruces controlados o de polinización abierta. Las progenies distribuidas en un diseño adecuado se someten al patógeno *Phytophthora cinnamomi* y tras el periodo de evaluación se identifican las mejores progenies y posibles individuos sobresalientes dentro de estas. La propagación vegetativa es necesaria en las fases señaladas con una flecha verde.

## Propagación vegetativa de individuos sobresalientes

La propagación vegetativa clásica, el cultivo de tejidos vegetales y el empleo de marcadores moleculares como partes de la biotecnología, ofrecen nuevas técnicas que apoyan a las metodologías tradicionales de la Mejora Genética Forestal para el conocimiento, conservación y uso de los recursos genéticos forestales. El ámbito de aplicación abarca desde la conservación *ex situ* de especies amenazadas hasta el desarrollo de la silvicultura clonal (Toribio y Celestino, 2000).

Dentro de la **propagación vegetativa clásica** podemos incluir el enraizamiento de **esquejes** y el **injerto**. El primero se encuentra en fase de optimización, arrojando resultados moderadamente satisfactorios sólo en algunos genotipos muy juveniles (en torno al 20% en el mejor de los casos). La técnica no difiere mucho de otras especies, siendo los esquejes menos leñosos con un par de entrenudos los que mejor resultado dan. El proceso de enraizamiento es muy largo.

El **injerto** es una técnica conocida para algunas especies de *Quercus*, pero para el caso de encinas y alcornoques se ha desarrollado más recientemente (Peñuelas 2017). Ofrece importantes aplicaciones para trasladar progenitores sobresalientes a huertos semilleros o bancos de plantas madre. También se ha propuesto como herramienta para la producción de fruto en plantaciones intensivas para la alimentación del cerdo ibérico o incluso para el hombre.



**Figura 2.** Detalle de un esqueje enraizado de alcornoque (Izquierda). Planta injertada de encina con una importante producción de fruto a los pocos años de edad, (derecha, Fotografía de Juan Luis Peñuelas, Centro Nacional de Recursos Genéticos Forestales "El Serranillo").

Los métodos de cultivo *in vitro* de plantas permiten salvar los inconvenientes originados por las condiciones geográficas, climáticas y de tiempos de producción de la propagación vegetativa clásica, ya que se realizan en condiciones ambientales muy controladas (Pierik, 1987). Las principales dificultades del cultivo *in vitro* son:

- La necesidad de inducir una condición de "juvenilidad" a la planta donante que permita su implantación en cultivo *in vitro*.
- La necesidad de lograr unas condiciones de cultivo que permitan una producción a gran escala más rentable que los sistemas tradicionales;
- La estabilidad genética y funcional de sus células y tejidos, la cual se ve alterada a menudo por la composición de los medios de cultivo, las condiciones ambientales de cultivo, o el aumento de la propia variabilidad intrínseca del material genético;
- La falta de adaptación de condiciones *in vitro* a *ex vitro*, debido a los grandes cambios adaptativos que ha de sufrir el tejido vegetal para ser manipulado *in vitro*.

Los métodos de cultivo *in vitro* de plantas se subdividen según el tipo de morfogénesis en: organogénesis y embriogénesis somática. La primera vía es la más clásica y de uso más generalizado. La **organogénesis**, mediante la inducción de las yemas axilares y su posterior enraizamiento, es una opción estable, que permite salvar entre otros, los problemas de estabilidad genética que puede presentar la embriogénesis somática. No obstante, entre sus dificultades, destaca la necesidad de regeneración de tejidos procedentes de árboles adultos.

La segunda vía, la **embriogénesis somática**, se ha desarrollado posteriormente como otra opción más, especialmente valiosa en especies forestales recalcitrantes. Consiste en el desarrollo de una estructura bipolar (embrión) a partir de células que no son el producto de una fusión de gametos durante la fecundación, es decir, a partir de una célula somática a la que se ha conseguido revertir su diferenciación en una aglomeración de células (callo) (Steward et al, 1958). Esta segunda vía presenta unas elevadas tasas de multiplicación mediante embriogénesis secundaria o recurrente. Por otra parte, los cultivos embriogénicos suelen presentar una aceptable capacidad para la crioconservación, manteniendo todo su potencial de propagación. En la actualidad existen publicados protocolos de regeneración por embriogénesis somática para un gran número de especies forestales, entre ellas *Q. suber* (Toribio y Celestino, 1989; Bueno et al., 1992; Celestino et al., 1999, Hernández et al 2003, Testiliano et al, 2018 a y b) y *Q. ilex* (Pitos et al, 2010, Barra Jiménez et al 2014, Martínez et al., 2020). Entre los problemas más importantes de esta vía de regeneración, se encuentra la necesidad de lograr cultivos sincrónicos, mejorar el proceso de maduración y lograr una mayor estabilidad genética.

La embriogénesis somática indirecta requiere una inducción para que las células sigan la vía embriogénica. Comienza con una fase de proliferación de células en estructuras desorganizadas (callo) a la que sigue una secuencia de inducción a la expresión de embriogénesis. En la primera etapa de la inducción, las células receptoras aisladas en medios ricos en auxinas forman grupos de células embriogénicas denominadas *centros embriogénicos*. Tras su transferencia a medios de cultivo sin auxinas, proliferan de forma lenta e indiferenciada. Seguidas de una serie de rápidas divisiones celulares que dan lugar a embriones globulares, que al crecer pasando por los estados de corazón y torpedo- Tras una fase de maduración y germinación darán lugar a plantas completas.



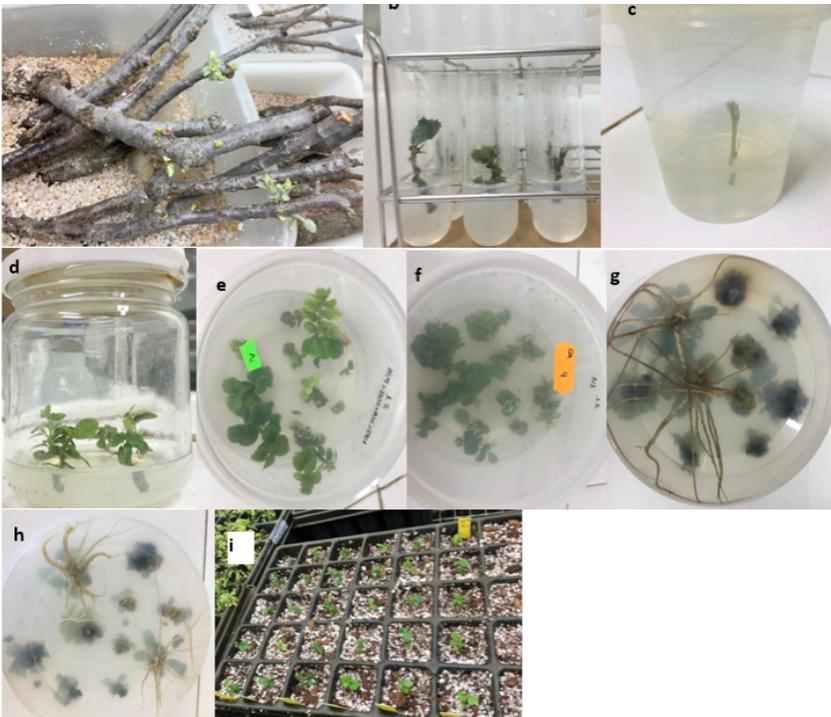
**Figura 3.** Fases de la producción de planta mediante embriogénesis somática de alcornoque a partir de hojas de brotes adventicios de árbol adulto.

Con carácter general, para las dos vías de cultivo *in vitro* de plantas, las condiciones de cultivo son similares, si bien se diferencian en algunas fases. La temperatura para multiplicación oscila entre 20 y 25 °C, mientras que para la maduración de los embriones somáticos baja hasta 4°C. La Intensidad de luz requerida *in vitro* es aproximadamente 10 veces menor que la requerida en condiciones normales. El espectro óptimo se consigue con combinaciones de distintos tipos de lámparas para alcanzar un máximo de emisión en las longitudes de onda de la clorofila (azul y rojo). El fotoperiodo, o duración de la fase con luz (día) regula la fenología de la planta. Para la multiplicación se suele emplear fotoperiodo de primavera (16 horas de luz y 8 de oscuridad), mientras que para la maduración de embriones se mantiene en oscuridad durante un mes.

La composición de gases, incluyendo el vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono sufre importantes variaciones según la fase diaria. Es deseable un nivel adecuado de dióxido de carbono para mantener alta la eficiencia de la fotosíntesis. Depende del tamaño y forma del recipiente y es difícil de regular salvo que se inyecte aire con una composición específica.

La composición del medio de cultivo debe aportar componentes inorgánicos (macro- y micronutrientes), un aporte orgánico (hidratos de carbono, vitaminas, aminoácidos, etc.) y reguladores del crecimiento, todos ellos necesarios para el crecimiento celular y la acumulación de metabolitos secundarios. El pH del medio de cultivo se ajusta entre 5 y 6.

En la organogénesis, se distinguen cinco fases: La **fase de preparación** de la planta donante, tiene por objeto obtener explantes más limpios y con mayor estado de juvenilidad, que les permitan ser más reactivos y adaptarse mejor a las nuevas condiciones de cultivo. La **fase de iniciación y establecimiento** de cultivo en condiciones de asepsia. En esta fase es importante tanto la elección del explante inicial (yemas axilares y apicales, meristemos, tamaño, estado fisiológico y juvenilidad) como el método de desinfección para tener controlados los posibles contaminantes. La **fase de multiplicación** tiene por objeto el aumento de la cantidad de material vegetal que va a ser utilizado posteriormente para regenerar la planta completa.



**Figura 4.** Fases del cultivo in vitro por organogénesis, a) Estacas de *Q. suber* en bandeja con perlita para la inducción de la brotación de sus yemas. b) Segmentos nodales de *Q. suber* en fase de implantación, colocados en tubos de ensayo y en recipientes de 30 ml de capacidad (c), Fase de multiplicación que comienza generalmente con recipientes de menor tamaño (d) y continúa en otros mayores (500 cc, e y f) Fase de enraizamiento (g y h) y de aclimatación en bandeja forestal (i),

Este aumento de masa implica generar nuevas estructuras, de manera que los explantes puedan ser divididos en unidades funcionales menores (propágulos), a partir de las cuales volver a iniciar el proceso de multiplicación (crecimiento y separación de propágulos), de forma periódica cada vez que se renueve el medio de cultivo (subcultivo). Es necesario usar reguladores de crecimiento, especialmente citoquininas y auxinas y optimizar el balance entre ambas. La **fase de enraizamiento** en los explantes cuando han alcanzado cierto tamaño requiere la aplicación de auxinas y, en algunos casos, puede verse inhibida por las citoquininas aplicadas durante la multiplicación. El enraizamiento de los brotes puede hacerse *in vitro* o *ex vitro*. Por último, la **fase de aclimatación** debe preparar progresivamente a la planta a las condiciones de vivero. Para ello se debe regular las condiciones de humedad debido a la excesiva apertura estomática de las hojas, la baja actividad fotosintética, la falta de sustancias de reserva, la deficiente conexión vascular entre raíces y parte aérea y la falta de funcionalidad de las raíces, debido principalmente, a la escasez de pelos absorbentes.

## Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones por su apoyo económico y colaborado en la realización de los trabajos: Junta de Andalucía, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa (Proyecto P07-RNM-03108), Sánchez Romero Carvajal SL, Grupo Osborne (Colaboración 2014-actualidad), Programa Nacional de Mejora y Conservación de Recursos Genéticos de la Encina y el Alcornoque frente al Síndrome de la Seca. MAPA (2019-actualidad).

## Bibliografía

- Barra-Jiménez, A., Blasco, M., Ruiz-Galea, M. *Celestino C, Alegre J, Arrillaga I y Toribio M. 2014* Cloning mature holm oak trees by somatic embryogenesis. *Trees* **28**, 657–667. <https://doi.org/10.1007/s00468-014-0979-0>
- Bueno MA, Astorga R, Manzanera JA, 1992. Plant regeneration through somatic embryogenesis in *Quercus suber* L. *Physiol Plant* 85:30–34. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb05259.x>
- Bueno MA, Gómez A, Sepulveda F et al. 2003, Microspore-derived embryos from *Quercus suber* anthers mimic zygotic embryos and maintain haploidy in long-term anther culture. *J Plant Physiol* 160:953–960. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00800>
- Hernández I, Celestino C, Toribio M, 2003. Vegetative propagation of *Quercus suber* L. by somatic embryogenesis. I: factors affecting the induction in leaves from mature cork oak trees. *Plant Cell Rep* 21:759–764. <https://doi.org/10.1007/s00299-003-0604-y>

- Martínez, M.T.; Vieitez, F.J.; Solla, A.; Tapias, R.; Ramírez-Martín, N.; Corredoira, E. 2020. Vegetative Propagation of *Phytophthora cinnamomi*-Tolerant Holm Oak Genotypes by Axillary Budding and Somatic Embryogenesis. *Forests*.
- Peñuelas Rubira, Juan Luis. 2017. ¿son posibles las plantaciones de *Quercus mediterráneos* para la producción intensiva de bellota y son una oportunidad de desarrollo rural? 7º Congreso Forestal Español, Plasencia. (Consultado on line <https://7cfe.congresoforestal.es/sites/default/files/comunicaciones/78.pdf>)
- Pierik, R.L.M. 1987. "In vitro culture of higher plants". Martinus Nijhoff (Eds), Dordrecht, pp 183-230
- Pintos B, Manzanera JA, Bueno MA, 2010. Oak somatic and gametic embryos maturation is affected by charcoal and specific amino acids mixture. *Ann For Sci* 67:205. <https://doi.org/10.1051/forest/2009098>
- STEWART, F. C., M. O. MAPES, & JOAN SMTTH. 1958. Growth and organized development of cultured cells. I. Growth and division of freely suspended cells. *Am. J. Botan.* 45: 693-703.
- Testillano, Pilar S., Beatriz Pintos, Aránzazu Gómez-Garay, María C. Risueño. 2018a. Stress-induced microspore embryogenesis by anther culture of *Quercus suber* L. En : *Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants*.
- Testillano P.S., Gómez-Garay A., Pintos B., Risueño M.C. 2018b. Somatic Embryogenesis of *Quercus suber* L. From Immature Zygotic Embryos. In: Loyola-Vargas V., Ochoa-Alejo N. (eds) *Plant Cell Culture Protocols. Methods in Molecular Biology*, vol 1815. Humana Press, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8594-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8594-4_16)
- Toribio, M.; Celestino, C. (2000). "El uso de la Biotecnología en la conservación de recursos genéticos forestales". *Invest. Agrar.: Sistema de Recursos Forestales*, Fuera de serie nº2: 249-260



**Dra. Lorena Gómez-Aparicio**

Científica Titular

**Grupo de Investigación en Sistemas Forestales Mediterráneos (SIFOMed)**

Departamento de Biogeoquímica, Ecología Vegetal y Microbiana

Avenida Reina Mercedes nº10. 41080 – Sevilla (España)

E-mail: [lorenag@irnase.csic.es](mailto:lorenag@irnase.csic.es)

Teléfono: +34 954 624 711 ext 139

## IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD SOBRE LA INCIDENCIA DE LA PODREDUMBRE RADICAL

Lorena Gómez-Aparicio<sup>1</sup>, Pablo Hómet<sup>1</sup>, María S. Serrano<sup>2</sup>,  
Luis Matías<sup>3</sup>, Oscar Godoy<sup>4</sup>, Marta Gil-Martínez<sup>1</sup>,  
Blanca Gallego-Tévar<sup>1</sup>, Eduardo Gutiérrez<sup>1</sup>,  
Nieves Capote<sup>5</sup>, Marcelino Martínez-Muñoz<sup>1</sup>,  
Luis V. García<sup>1</sup>, Ignacio M. Pérez-Ramos<sup>1</sup>

.....

### Antecedentes

Los sistemas forestales están sufriendo una pérdida de salud en todo el mundo debido a la interacción de múltiples factores del cambio global como el cambio climático o las plagas y patógenos exóticos (Trumbore et al. 2015, McDowell et al. 2020). Dicha pérdida de salud es particularmente intensa en la cuenca Mediterránea, donde la aridificación del clima y el aumento de la incidencia de patógenos exóticos está provocando un claro aumento de las tasas de mortalidad y una reducción del crecimiento y la regeneración de múltiples especies arbóreas (Domínguez-Begines et al. 2020, Peñuelas & Sardans 2021). En la Península Ibérica en concreto, el caso más grave desde un punto de vista tanto ecológico como económico-social

---

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Sistemas Forestales Mediterráneos, IRNAS-CSIC, Sevilla

<sup>2</sup> Departamento de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba

<sup>3</sup> Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla

<sup>4</sup> Departamento de Biología, INMAR, Universidad de Cádiz

<sup>5</sup> IFAPA Centro Las Torres, Sevilla

lo constituye la muerte de encinas (*Quercus ilex*) y alcornoques (*Quercus suber*), especies emblemáticas del bosque mediterráneo. Múltiples investigaciones en las últimas décadas han puesto de manifiesto que un factor clave determinante de dicha mortalidad son los oomicetos patógenos del género *Phytophthora*, y particularmente el patógeno exótico *Phytophthora cinnamomi*, principal causante de la prodredumbre radical debido a su elevada agresividad y capacidad destructiva de las raíces finas de los árboles (Brasier 1992, Sánchez et al. 2002, Camilo-Alves et al. 2013, Moricca et al. 2016).

En la Península Ibérica, el patógeno *Phytophthora cinnamomi* se encuentra ampliamente distribuido por la mitad centro y suroccidental (Hernandez-Lambrano et al. 2018). En dicho escenario, resulta de vital importancia entender como la progresión de la enfermedad podría verse afectada por otros factores co-ocurrentes del cambio global, como el incremento de la sequía debido al cambio climático o la pérdida de biodiversidad asociada al manejo humano. Por un lado, una menor disponibilidad de agua asociada a menores precipitaciones podría tener un efecto directo negativo sobre el vigor de los árboles haciéndolos más susceptibles al ataque por el patógeno (Marçais et al. 1993, Corcobado et al. 2014). Sin embargo, los hongos y oomicetos patógenos requieren alta humedad edáfica para la germinación y dispersión de sus esporas (Desprez-Loustau et al. 2006). Por tanto, también cabría esperar que la severidad de los daños causados por *P. cinnamomi* en un escenario más seco fueran menor de lo esperado debido a efectos negativos de una menor humedad edáfica sobre el crecimiento poblacional del patógeno. Dado que el daño causado por los patógenos del suelo en general, y por *P. cinnamomi* en particular, es altamente dependiente de la densidad de inóculo en el suelo (Gómez-Aparicio et al. 2012, Serrano et al. 2015), su mantenimiento en el suelo por debajo de los umbrales requeridos para la expresión de la enfermedad podría indirectamente favorecer la salud de las especies susceptibles.

Por otro lado, la pérdida de biodiversidad debido al impacto humano es un problema global que está reduciendo enormemente la estabilidad y productividad de ecosistemas (Cardinale et al. 2006). Se ha demostrado que los sistemas forestales con alto número de especies leñosas son generalmente más productivos (Liang et al. 2016) y resistentes a las perturbaciones (Jactel et al. 2017) que los sistemas menos diversos. En el caso concreto del control de los patógenos edáficos, se ha propuesto que sistemas más diversos podrían ser más resistentes a patógenos debido a *efectos de dilución*, donde la coexistencia de especies susceptibles y resistentes dificultaría la capacidad del patógeno de acceder e infectar a su hospedador (Keesing & Ostfeld 2021). La diversidad de plantas también puede afectar indirectamente a la capacidad de control de enfermedades del sistema a través de sus efectos sobre las comunidades microbianas del suelo. Comunidades de plantas diversas generalmente albergan una alta diversidad de microorganismos del suelo, incluyendo bacterias y hongos con potencial efecto de biocontrol de patógenos, de manera que serían menos susceptibles de sufrir daños por enfermedad

que comunidades poco diversas (Lazt et al. 2012). La evidencia experimental reciente demuestra que el microbioma de las raíces y la rizosfera juega un papel fundamental en la salud vegetal, y que las plantas son capaces de “pedir ayuda” microbiana ante el ataque de patógenos, reclutando microorganismos protectores y aumentando la actividad microbiana en la rizosfera (Berendsen et al. 2012). Dichos avances en la comprensión de la importancia de la biodiversidad para la protección frente a enfermedades plantean la posibilidad de que la larga historia de manejo humano de las dehesas y bosques de encinas y alcornoques podría haber dado lugar a una simplificación de la diversidad vegetal y edáfica que estaría facilitando la rápida colonización y dispersión de patógenos exóticos como *P. cinnamomi*. De demostrarse esta hipótesis, la recuperación de la biodiversidad en dichos sistemas debería plantearse como un objetivo de restauración prioritario para incrementar su resistencia y resiliencia frente a perturbaciones como la invasión por patógenos exóticos.

## Objetivos

El objetivo de este documento es presentar los resultados de la investigación realizada en los últimos años por el grupo de investigación en Sistemas Forestales Mediterráneos (SIFOMed) del IRNAS-CSIC y colaboradores para entender como la incidencia de la enfermedad de la podredumbre radical podría verse atenuada o intensificada por efectos de la sequía asociada al cambio climático y por la pérdida de biodiversidad asociada al manejo intensivo de los encinares y alcornoques andaluces. En concreto nos planteamos dos preguntas específicas:

- ¿Cuál es el efecto de la sequía sobre la abundancia de *P. cinnamomi* y qué consecuencias tiene para la salud arbórea?
- ¿Está la incidencia de la podredumbre radical relacionada con la diversidad vegetal y edáfica de las dehesas de Andalucía?

## Metodología

### Podredumbre radical y cambio climático

Para explorar la interacción entre sequía y podredumbre radical se han realizado experimentos tanto en invernadero como en campo financiados en el marco de varios proyectos de investigación nacionales y europeos (CGL2014-56739-R MICROFUN, RTI2018-094394-B-I00 INTERCAPA, Marie Curie-H2020-706055). En el invernadero, se diseñó un experimento para explorar si la sequía podría reducir la capacidad de *P. cinnamomi* de causar daños en especies susceptibles como el alcornoque. Para ello, se plantaron plántulas de alcornoque bajo

diferentes tratamientos de humedad edáfica (15%, 40%, 50% y 100% de la capacidad de retención de agua del suelo) y de densidad de inóculo (0, 30, 60 y 120 unidades formadoras de colonias por gramo de suelo, ufc/g). Las plántulas se dejaron crecer durante 4 meses, al final de los cuales fueron cosechadas para evaluar la severidad de los síntomas de la podredumbre radical (ver detalles en Homet et al. 2019).

Para la exploración de la interacción sequía-patógeno en campo, se procedió a la construcción en 2016 de una infraestructura de exclusión de lluvia en dos fincas del Parque Natural Los Alcornocales (Cádiz), las fincas Gamir y Marrufo, con la colaboración de la Fundación Jaime González-Gordon (Figura 1). En cada finca se instalaron 6 parcelas de 15 x 20 m: 3 de ellas con canalones de PVC que excluyen el 30% de la precipitación simulando el escenario de cambio climático previsto para la cuenca Mediterránea (IPCC 2021), y 3 parcelas control con los canalones colocados del revés. Durante varios años se siguió el efecto de la exclusión de lluvia sobre la abundancia de *P. cinnamomi* en el suelo, y sus implicaciones para la regeneración de plántulas y el crecimiento del arbolado adulto (ver detalles de la infraestructura en Homet et al. 2021).

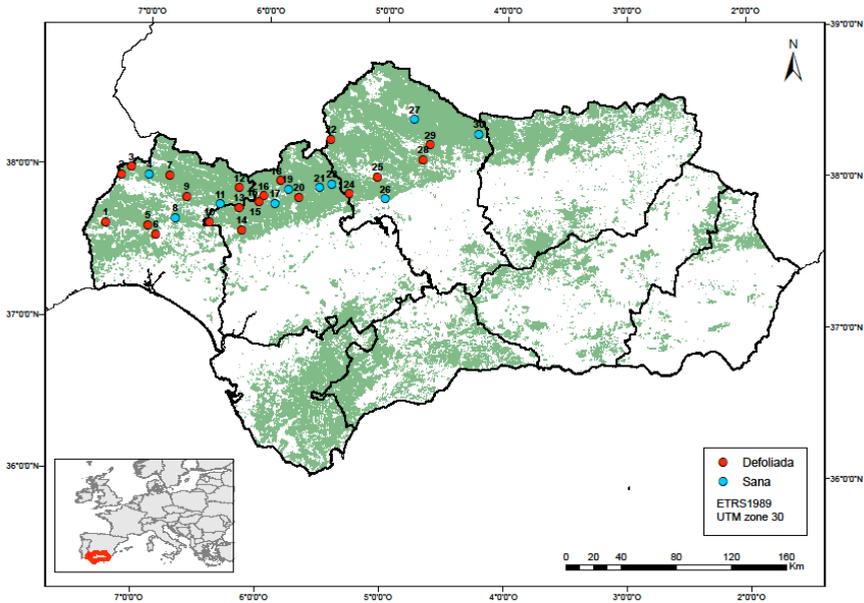


**Figura 1.** Imagen del experimento de exclusión del 30% de la precipitación situado en las fincas Gamir (punto verde) y Marrufo (punto azul) del Parque Natural Los Alcornocales (Cádiz). Ambas fincas se encuentran invadidas por *Phytophthora cinnamomi*, lo que permite estudiar el efecto de la sequía asociada al cambio climático sobre la interacción del patógeno con las especies forestales, particularmente el alcornoque.

## Podredumbre radical y biodiversidad

La exploración del papel del mantenimiento y recuperación de la biodiversidad en la protección frente a la podredumbre radical es una nueva línea de investigación iniciada en el año 2021 bajo la financiación de un proyecto de la Junta de Andalucía (PY18-777 DIVERSIFICA) y el proyecto *LifeWatch ERIC - SUMHAL (LIFEWATCH-2019-09-CSIC-13)*. Como primera actividad del proyecto, se ha realizado un muestreo extensivo de la diversidad vegetal y edáfica en 30 dehesas de *Quercus ilex* de Andalucía Occidental (Huelva, Sevilla, Córdoba) cubriendo un gradiente de intensidad de manejo, diversidad vegetal y síntomas de enfermedad. De las 30 dehesas, 20 se consideraron dehesas afectadas por síntomas compatibles con la podredumbre radical (defoliación, puntisecado y mortalidad), mientras que las 10 restantes se consideraron dehesas sanas por no presentar el arbolado síntomas de la enfermedad. Las dehesas afectadas fueron elegidas entre las dehesas previamente muestreadas por el Equipo de Diagnóstico de la Seca de la Junta de Andalucía, con el cual se colaboró estrechamente en el proceso de selección.

Durante la primavera de 2021 se procedió a hacer un muestreo de suelos y vegetación en cada una de las 30 dehesas. En las 20 dehesas afectadas se seleccionaron 10 árboles claramente afectados por defoliación y puntisecado y otros 10 árboles aparentemente sanos, mientras que en las dehesas sanas se seleccionaron sólo 10 árboles sanos (por no existir árboles afectados). En cada uno de los 500 árboles resultantes se tomaron muestras de suelo y de raíces finas, y se hizo un inventario de la diversidad y cobertura de especies leñosas en su vecindad (i.e. círculo de 20 m de radio para el muestreo de árboles vecinos, y círculo de 10 m de radio para el muestreo de diversidad de matorral). En las 500 muestras de suelo recogidas se procedió al análisis de variables físico-químicas (pH, textura, materia orgánica, nitrato, amonio, fósforo disponible, calcio, magnesio, potasio y sodio) y a la extracción de ADN para el análisis de variables bióticas. En concreto, el ADN extraído fue utilizado para el análisis de la cantidad de bacterias, hongos y especies del género *Phytophthora* mediante qPCR, así como para la caracterización de su diversidad y composición mediante técnicas de secuenciación masiva (Illumina MySeq). En una submuestra de los suelos (n = 210) se procedió además a la cuantificación de la abundancia de colonias de *P. cinnamomi* (ufc/g) mediante el método de extensión de suelo (Romero et al. 2007). Por otro lado, en las 500 muestras de raíz se procedió a la extracción de ADN para la caracterización del microbioma radical y su comparación con el microbioma edáfico. Asimismo, en una submuestra de las raíces (n = 250) se llevó a cabo una cuantificación del grado de colonización por ectomicorrizas siguiendo el método del intercepto (Brundett et al. 1996).



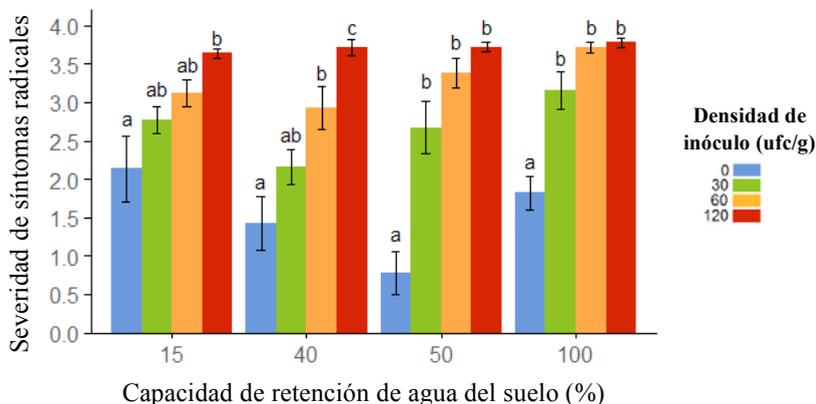
**Figura 2.** Localización de las 30 dehesas (20 con síntomas de podredumbre radical y 10 sanas) muestreadas en el estudio de biodiversidad durante la primavera de 2021. En verde se muestra la cobertura de dehesas de Andalucía.

## Resultados y Discusión

### Podredumbre radical y cambio climático

Los resultados del experimento de invernadero mostraron que, bajo condiciones de alta humedad edáfica (100% and 50%), una baja cantidad de inóculo de *P. cinnamomi* (30 ufc/g) fue suficiente para causar daños mucho más severos en las raíces de las plantas inoculadas que en las plantas control (Figura 3). Este resultado concuerda con el efecto positivo que el agua del suelo tiene sobre la germinación de las esporas del patógeno y su movilidad, favoreciendo el proceso de infección. Sin embargo, en el escenario de 40% de retención de agua del suelo solo las plántulas infectadas con cantidades medio-altas de inóculo (60 y 120 ufc/g) mostraron mayores síntomas radicales que las plántulas control (Figura 3). Esto implica que incluso una pequeña disminución de la humedad del suelo simulando escenarios de cambio climático fue suficiente para provocar diferencias en el daño causado por *P. cinnamomi* a las raíces (Homet et al. 2019). En un escenario aún más extremo de sequía (15% de retención de agua del suelo), tan sólo las plántulas inoculadas con la mayor densidad de inóculo (120 ufc/g) mostraron un daño radical significativamente más alto que las plántulas control no inoculadas. Estos resultados indican que cuanto menor es la humedad del suelo,

mayor es la densidad de inóculo necesaria para causar daño significativo en las raíces de las plántulas. Por tanto, un clima más árido podría implicar condiciones sub-óptimas para la infección de las raíces por patógenos edáficos, ralentizando el desarrollo de la enfermedad de la podredumbre radical.



**Figura 3.** Efectos interactivos de la humedad del suelo y la densidad de inóculo de *Phytophthora cinnamomi* sobre la severidad de los síntomas radicales (necrosis, en escala de 0 a 4) en plántulas de alcornoque. Figura modificada de Homet et al. (2019).

Los resultados obtenidos en la infraestructura de exclusión de lluvia del Parque Natural Los Alcornocales apoyan los resultados obtenidos en condiciones controladas de invernadero. La reducción de un 30% de la precipitación se tradujo en una disminución de la densidad de inóculo de *P. cinnamomi* en el suelo, particularmente en años de primaveras húmedas como fue el 2018 (Serrano et al. *en preparación*). Dicha disminución de la humedad del suelo y de la cantidad de patógeno tuvo a su vez efectos positivos sobre la regeneración del alcornoque (Homet et al. *en preparación*) y el crecimiento de árboles adultos (Matías et al. *en preparación*). Estos resultados muestran, por primera vez en campo, que reducciones moderadas de lluvia como las previstas por el cambio climático en la cuenca Mediterránea pueden limitar o ralentizar el daño causado por *P. cinnamomi* en especies susceptibles a la podredumbre radical como el alcornoque.

### Podredumbre radical y biodiversidad

Los resultados de los análisis de la abundancia de *P. cinnamomi* en el suelo de las 30 dehesas de estudio demuestra que el patógeno está ampliamente distribuido en las dehesas de Andalucía occidental, pues fue detectado en 26 de las 30 dehesas muestreadas, incluidas la mayoría (8 de 10) de las dehesas aparentemente sanas. El hecho de que el patógeno esté presente también en dehesas que no presentan, a día de hoy, síntomas aéreos de la enfermedad plantea la pregunta de si dichas

dehesas “sanas” podrían tener propiedades edáficas físico-químicas o biológicas que actúen como supresoras de la enfermedad.

Resultados preliminares de las propiedades físico-químicas de un subgrupo de las 500 muestras de suelo recolectadas muestran que la principal diferencia entre los dos tipos de dehesa (sana vs. afectada) se da en los niveles de calcio (Tabla 1). Estos resultados son de gran interés, pues si bien la importancia del calcio en el desarrollo de las enfermedades causadas por oomicetos patógenos se conoce desde hace tiempo (Heyman et al. 2007, Serrano et al. 2012), los datos cuantitativos obtenidos podrían orientar la aplicación de enmiendas cálcicas para entender qué suelos han de considerarse deficitarios en calcio de cara a la enfermedad y que dosis serían necesarias en función del déficit concreto de calcio que presente el suelo. Los análisis de materia orgánica del suelo se encuentran aún en realización y por tanto a día de hoy no podemos extraer conclusiones sobre el papel que podría tener dicha variable en la capacidad supresiva de la enfermedad. Sin embargo, cabría esperar que las dehesas sanas presentaran también mayores niveles de materia orgánica en el suelo, dados sus efectos positivos sobre el funcionamiento de las plantas y la biodiversidad edáfica.

Tabla 1. Resumen de los valores medios ( $\pm$  ES) de abundancia de *P. cinnamomi* (ufc/g suelo), colonización por ectomicorrizas (% raíces colonizadas), pH, nutrientes (mg/kg suelo) y textura (% arena) en dehesas de *Quercus ilex* sanas (i.e. sin síntomas) y afectadas por sintomatología de podredumbre radical. Dentro de las dehesas afectadas se dan por separado los datos para árboles aparentemente sanos y árboles afectados por defoliación y puntiseado (n = 10 en cada categoría).

	Dehesa sana	Dehesa afectada	
		Árboles sin síntomas	Árboles con síntomas
<i>P. cinnamomi</i>	18.55 $\pm$ 5.55	21.04 $\pm$ 4.78	11.10 $\pm$ 2.13
Micorrización	43.38 $\pm$ 3.34	45.17 $\pm$ 1.52	20.36 $\pm$ 1.41
pH	5.61 $\pm$ 0.05	5.57 $\pm$ 0.04	5.58 $\pm$ 0.04
Ca	2138.92 $\pm$ 134.56	1609.11 $\pm$ 138.51	1539.92 $\pm$ 108.79
Mg	165.28 $\pm$ 28.04	138.75 $\pm$ 13.15	119.47 $\pm$ 13.98
K	375.97 $\pm$ 34.81	311.64 $\pm$ 24.81	317.34 $\pm$ 35.08
Na	79.11 $\pm$ 4.08	87.44 $\pm$ 2.84	87.69 $\pm$ 2.32
Nitrato	17.59 $\pm$ 2.09	16.45 $\pm$ 1.87	14.61 $\pm$ 1.68
Amonio	9.12 $\pm$ 1.04	11.02 $\pm$ 1.20	9.38 $\pm$ 1.01
Fósforo	6.00 $\pm$ 0.69	5.10 $\pm$ 0.71	4.93 $\pm$ 0.93
Arena	52.44 $\pm$ 1.83	59.56 $\pm$ 1.32	57.57 $\pm$ 1.17

Los datos de abundancia de *P. cinnamomi* y micorrización son para el total de las 30 dehesas muestreadas, mientras que los datos de las características físico-químicas del suelo son solo para un subgrupo de las dehesas (8 dehesas sanas y 13 afectadas para el pH; 2 sanas y 5 afectadas para Ca, Mg, K y Na; 6 sanas y 7 afectadas para nitrato, amonio, fósforo y textura).

Actualmente nos encontramos en pleno proceso de análisis del componente biológico del suelo (cantidad y diversidad de bacterias y hongos en las 500 muestras recolectadas) para entender su importancia tanto relativa (en comparación con el componente físico-químico del suelo) como absoluta en la expresión de la podredumbre radical. Esperamos encontrar que dehesas con menor intensidad de manejo, y por tanto con comunidades leñosas más abundantes y diversas, tengan suelos con comunidades microbianas de alta complejidad y diversidad, con alta capacidad de supresión de enfermedades como la podredumbre radical.

Finalmente, resulta interesante destacar que, dentro de las dehesas afectadas, no hemos encontrado diferencias relevantes entre los suelos de árboles con y sin síntomas ni en las cantidades de *P. cinnamomi* ni en las propiedades físico-químicas analizadas hasta el momento (Tabla 1). Los resultados de la comparación del microbioma radical de ambos grupos de árboles nos permitirá explorar si los árboles asintomáticos poseen un microbioma característico que pudiera estar ofreciéndoles protección frente a la podredumbre radical. Los únicos resultados disponibles hasta el momento, relativos al porcentaje de micorrización de raíces, muestran como dicho porcentaje es un 50% menor en árboles sintomáticos que asintomáticos, de manera consistente en las 20 dehesas afectadas muestreadas (Tabla 1). Sin embargo, es necesario explorar de manera experimental en qué medida el bajo nivel de micorrización de los árboles afectados es causa o consecuencia de la podredumbre radical.

## Conclusiones

1. Experimentos realizados tanto en condiciones controladas de invernadero como de campo sugieren que, en un escenario de reducción moderada (30%) de las precipitaciones debido al cambio climático, la sequía podría ralentizar el avance de la enfermedad de la podredumbre radical debido a sus efectos negativos sobre la abundancia del patógeno en el suelo.
2. Los resultados de dichos experimentos también muestran que el efecto atenuante de la sequía sobre el avance de la enfermedad puede desaparecer una vez se haya sobrepasado cierto umbral de abundancia del patógeno en el suelo. Esto pone de manifiesto la necesidad de mantener la abundancia del patógeno en el suelo de las zonas infectadas lo más baja posible, lo cual requerirá del empleo de todas las técnicas de control disponibles hasta la fecha.
3. El patógeno *P. cinnamomi* se encuentra ampliamente distribuido por las dehesas de *Q. ilex* de Andalucía occidental, apareciendo no sólo en dehesas con claros síntomas de defoliación y puntisecado, sino también en dehesas aparentemente sanas. La comparación de las características de ambos grupos de dehesas (i.e. historia de manejo, composición y cobertura de la vegetación, propiedades físico-químicas del suelo, abundancia y diversidad del microbioma edáfico y radical) nos permitirá identificar si ambas difieren substancialmente en alguna

propiedad que pueda explicar el por qué hay dehesas sanas con presencia de *P. cinnamomi* que no han desarrollado síntomas de enfermedad. Análisis preliminares de parámetros físico-químicos del suelo para un subgrupo de las muestras de suelo recolectadas sugieren que las dehesas sanas tienen un contenido de calcio en el suelo 40% mayor que las dehesas afectadas. Este interesante resultado ha de ser confirmado para el total de las muestras recolectadas, pudiendo servir de orientación para el diseño de enmiendas cálcicas ajustadas tanto a los niveles de calcio en la finca a tratar como a los niveles de calcio que se pretenden alcanzar.

4. Dentro de las dehesas afectadas, el patógeno *P. cinnamomi* se encuentra en suelos asociados tanto a individuos aparentemente sanos como a individuos con claros síntomas de defoliación y puntiseado, sin que existan relevantes diferencias en la composición físico-química del suelo entre ambos tipos de árboles. El análisis de la abundancia y composición del microbioma radical de dichos árboles, aún en proceso, nos permitirá entender si las diferencias en afectación entre individuos de una misma población están ligadas a diferencias en la diversidad y/o abundancia de su microbioma. De encontrarse alguna diferencia, ésta podría abrir las puertas para explorar el manejo del microbioma (ej. mediante inóculos) como una técnica más de control de la enfermedad.

## Bibliografía

- Berendsen, R.L., C.M.J. Pieterse & P.A.H.M. Bakker. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in Plant Science* 17: 478-486.
- Brasier, C.M. 1992. Oak tree mortality in Iberia. *Nature* 360: 539.
- Brundett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove & N. Malajczuk (eds.) 1996. *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Aciar, Canberra, Australia.
- Camilo-Alves, C.D.E.P., M.I.E. da Clara & N.M.C. de Almeida Ribeiro. 2013. Decline of Mediterranean oak trees and its association with *Phytophthora cinnamomi*: A review. *European Journal of Forest Research* 132: 411-432.
- Cardinale, B.J., D.S. Srivastava, J.E. Duffy, J.P. Wright, A.L. Downing, M. Sankaran & C. Jouseau. 2006. Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature* 443: 989-992.
- Corcobado, T., E. Cubera, E. Juárez, G. Moreno & A. Solla. 2014. Drought events determine performance of *Quercus ilex* seedlings and increase their susceptibility to *Phytophthora cinnamomi*. *Agricultural and Forest Meteorology* 192-193: 1-8.
- Desprez-Loustau, M.L., B. Marçais, L.M. Nageleisen, D. Piou & A. Vannini. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science* 63: 597-612.

- Domínguez-Begines, J., J.M. Ávila, L.V. García & L. Gómez-Aparicio. 2020. Soil-borne pathogens as determinants of regeneration patterns at community level in Mediterranean forests. *New Phytologist* 227: 588-600.
- Gómez-Aparicio, L., B. Ibáñez, M.S. Serrano, P. De Vita, J.M. Ávila, I.M. Pérez-Ramos, L.V. García, M.E. Sánchez & T. Marañón. 2012. Spatial patterns of soil pathogens in declining Mediterranean forests: implications for tree species regeneration. *New Phytologist* 194: 1014-1024.
- Hernandez-Lambrano, R.E., P. González-Moreno & J.A. Sánchez-Agudo. 2018. Environmental factors associated with the spatial distribution of invasive plant pathogens in the Iberian Peninsula: the case of *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Forest Ecology and Management* 419: 101-109.
- Heyman, F., B. Lindahl, L. Persson, M. Wikström & J. Stenlid. 2007. Calcium concentrations of soil affect suppressiveness against *Aphanomyces* root rot of pea. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2222-2229.
- Homet, P., M. González, L. Matías, O. Godoy, I.M. Pérez-Ramos, L.V. García & L. Gómez-Aparicio. 2019. Interactive effects of global change drivers on *Q. suber* performance: pathogen damage depends on soil water content. *Agricultural and Forest Meteorology* 276-277: 107605.
- Homet, P., L. Gómez-Aparicio, L. Matías & O. Godoy. 2021. Soil fauna modulates the effect of experimental drought on litter decomposition in forests invaded by an exotic pathogen. *Journal of Ecology* 109: 2963-2980.
- IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- Jactel, H., J. Bauhus, J. Boberg, D. Bonal, B. Castagneyrol, B. Gardiner, J.R. Gonzalez-Olabarria, J. Koricheva, N. Meurisse & E.G. Brockerhoff. 2017. Tree diversity drives forest stand resistance to natural disturbances. *Current Forestry Reports* 3: 223-243.
- Keesing, F. & R.S. Ostfeld. 2021. Dilution effects in disease ecology. *Ecology Letters* 24: 2490-2505.
- Lazt, E., N. Eisenhauer, B.C. Rall, E. Allan, C. Roscher, S. Scheu & A. Jousset. 2012. Plant diversity improves protection against soil-borne pathogens by fostering antagonistic bacterial communities. *Journal of Ecology* 100: 597-604.
- Liang, J., T.W. Crowther, N. Picard, S. Wiser, M. Zhou y 80 autores más. 2016. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. *Science* 354: aaf8957.

- Marçais, B., F. Dupuis & M.L. Desprez-Loustau. 1993. Influence of water stress on susceptibility of red oak (*Quercus rubra*) to *Phytophthora cinnamomi*. *Forest Pathology* 23: 295-305.
- McDowell, N.G, C.D. Allen, K. Anderson-Teixeira, B.H. Aukema y 19 autores más. 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science* 368: eaaz9463.
- Moricca, S., B. Linaldeddu, B. Ginetti, B. Scanu, A. Franceschini & A. Ragazzi. 2016. Endemic and emerging pathogens threatening Cork oak trees: management options for conserving a unique forest ecosystem. *Plant Disease* 100: 2184–2193.
- Peñuelas, J. & J. Sardans. 2021. Global change and forest disturbances in the Mediterranean Basin: breakthroughs, knowledge gaps, and recommendations. *Forests* 12: 603.
- Romero, M.A., J.E. Sánchez, J.J. Jiménez, L. Belbahri, A. Trapero, F. Lefort & M.E. Sánchez. 2007. New *Pythium* taxa causing root rot on Mediterranean *Quercus* species in southwest Spain and Portugal. *Journal of Phytopathology* 155: 289-295.
- Sánchez, M.E., P. Caetano, J. Ferraz & A. Trapero. 2002. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in south-western Spain. *Forest Pathology* 32: 5-18.
- Serrano, M.S., P. De Vita, P. Fernández & M.E. Sánchez. 2012. Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *European Journal of Plant Pathology* 132: 271-279.
- Serrano, M.S., P. Ríos, M. González & M.E. Sánchez. 2015. Experimental minimum threshold for *Phytophthora cinnamomi* root disease expression on *Quercus suber*. *Phytopathologia Mediterranea* 54: 461-464.
- Trumbore, S., P. Brando & H. Hartmann. 2015. Forest health and global change. *Science* 349: 814-848.



**Dr. Rafael Mª Navarro Cerrillo**

Catedrático de la Universidad de Córdoba

**Departamento de Ingeniería Forestal.** Grupo de Investigación ERSAF-RNM 360  
Laboratorio de Selvicultura y Cambio climático-DendroLab  
Campus de Rabanales. N-IV, km 396, 14014 Córdoba, España

**E-mail:** rmnavarro@uco.es **Teléfono:** 957218657



**Dr. Francisco José Ruiz Gómez**

Investigador postdoctoral, Universidad de Córdoba

**Departamento de Ingeniería Forestal.** Grupo de Investigación ERSAF-RNM 360  
Laboratorio de Ecofisiología de Sistemas Forestales  
Campus de Rabanales. N-IV, km 396, 14014 Córdoba, España

**E-mail:** g72rugof@uco.es

## LA TELEDETECCIÓN Y LA SALUD DE LA DEHESA, UNA NUEVA APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE LA SECA

Rafael Mª Navarro Cerrillo

Francisco J. Ruiz Gómez

.....

### Introducción

Los procesos de decaimiento y mortalidad en las dehesas y montes alcornocales de Andalucía se produce como resultado de una amplia gama de factores que han sido descritos en numerosas ocasiones (Carrasco et al. 2009). Estos procesos provocan cambios en el estado del arbolado, y muy frecuentemente su muerte. Se han propuesto numerosos enfoques para evaluar la seca de los *Quercus*, que van desde inventarios forestales in situ, parcelas experimentales, fotogrametría, y más reciente el uso de sensores sobre diferentes plataformas (satélites, aeronaves o vehículos tripulados a distancia). En ese sentido, el seguimiento a largo plazo basado en redes permanentes de seguimiento de bosques (Red de Equilibrios Biológicos de Andalucía-Red SEDA) basada en parcelas permanentes de campo proporciona información muy valiosa sobre los cambios y las tendencias del estado de las dehesas (Sánchez-Cuesta et al. 2021). Sin embargo, los procesos a escala de finca o a escala local no pueden evaluarse suficientemente mediante inventarios forestales in situ, tanto por su costo como por su frecuencia.

Las tecnologías basadas en teledetección ofrecen información que permite evaluar los indicadores de sanidad forestal de la dehesa de una manera efectiva, repetitiva y comparativa. En esta presentación se revisan algunas de las técnicas

de teledetección que se utilizan para el seguimiento de los procesos de seca en las dehesas, incluido el uso de diferentes sensores y diferentes escalas temporales y espaciales sobre grandes áreas a bajo costo y con alta frecuencia. Además, se hacen algunas propuestas para integrar estos sistemas dentro de un concepto de monitoreo estandarizado para indicadores de seguimiento de las dehesas de Andalucía a partir del uso de productos de teledetección y bases de datos.

## 2. La teledetección aplicada al seguimiento de la sanidad forestal en la dehesa

### 2.1. Imágenes multi e hiperespectrales sobre plataformas espaciales

Las dehesas se han descrito como uno de los ecosistemas forestales que más contribuyen a la economía, la producción y los servicios ambientales (biodiversidad, ciclo de carbono y agua, paisaje, etc.) y; sin embargo, existen un número creciente de amenazas que ponen en peligro estos sistemas agrosilvopastorales (Pulido et al. 2010). Muchos de estos factores, principalmente aquellos relacionados con estreses bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequías, malas prácticas de manejo, etc.) producen cambios en la estructura (densidad, masa foliar, forma de copa) y en la fisiología (relaciones hídricas, fotosíntesis, etc.) del arbolado. Muchos de estos cambios se pueden observar y monitorear directamente, utilizando indicadores visuales (por ejemplo, la defoliación) o a través de medidas fisiológicas (por ejemplo, estrés hídrico), que luego se combinan para conocer el estado de salud del arbolado. La calidad y coherencia de tales evaluaciones dependen de la experiencia de los equipos de campo, lo que puede limitar la comparabilidad entre evaluaciones.

Por lo tanto, varios de los indicadores más importantes del estado de salud de la dehesa, como son la densidad del arbolado (o las copas de los árboles), la defoliación, el "vigor" o la predisposición a la seca, se pueden evaluar mediante medidas *indirectas*. Los indicadores mencionados muestran *respuestas espectrales específicas* que son causadas por los diferentes factores de estrés (Cano et al. 2005), que pueden ser medidos e interpretados correctamente mediante datos procedentes de sensores sobre diferentes plataformas (por ejemplo, satélites, aviones o plataformas tripuladas a distancia – *drones* -) (Figura 1).

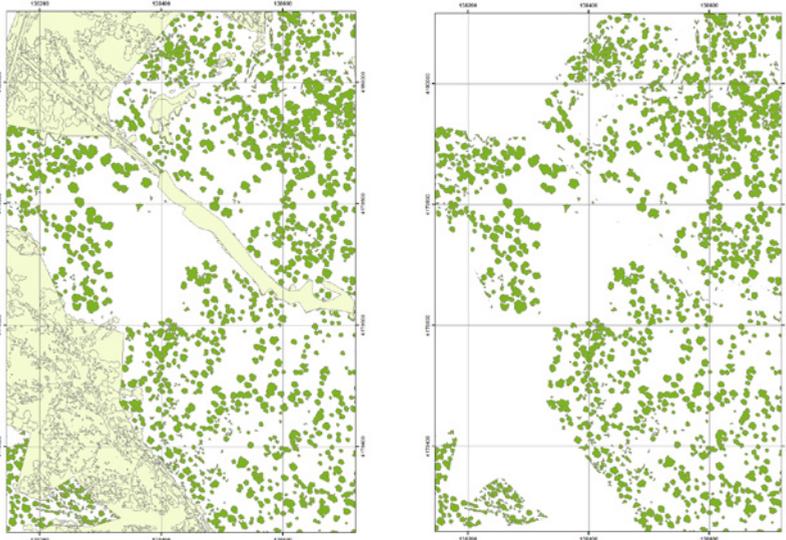
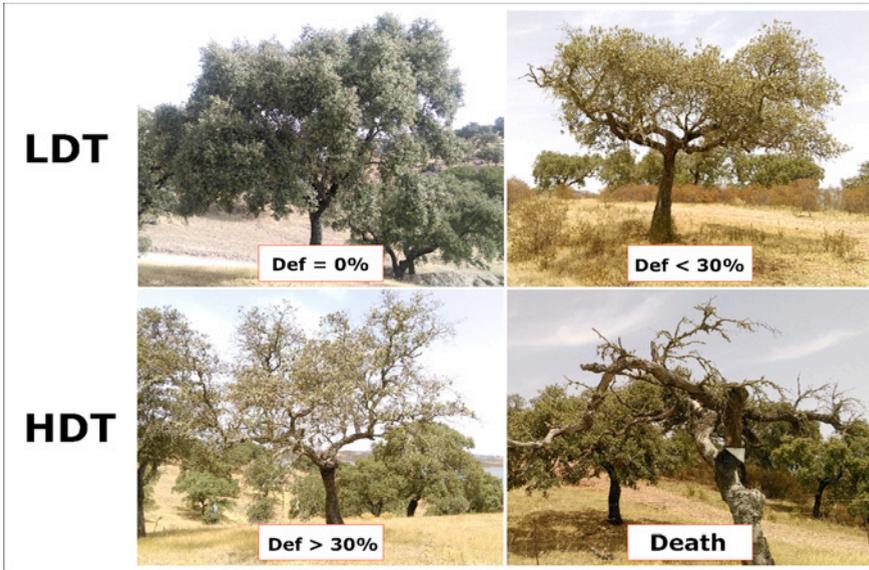


**Figura 1.** Diferentes tipos de sensores e imágenes utilizadas para estudios de sanidad forestal en la dehesa, (a) Imágenes de sensores espaciales; (b) datos LiDAR; (c) imágenes de alta resolución obtenidas con drones. Fuente Grupo ERSAF-Universidad de Córdoba.

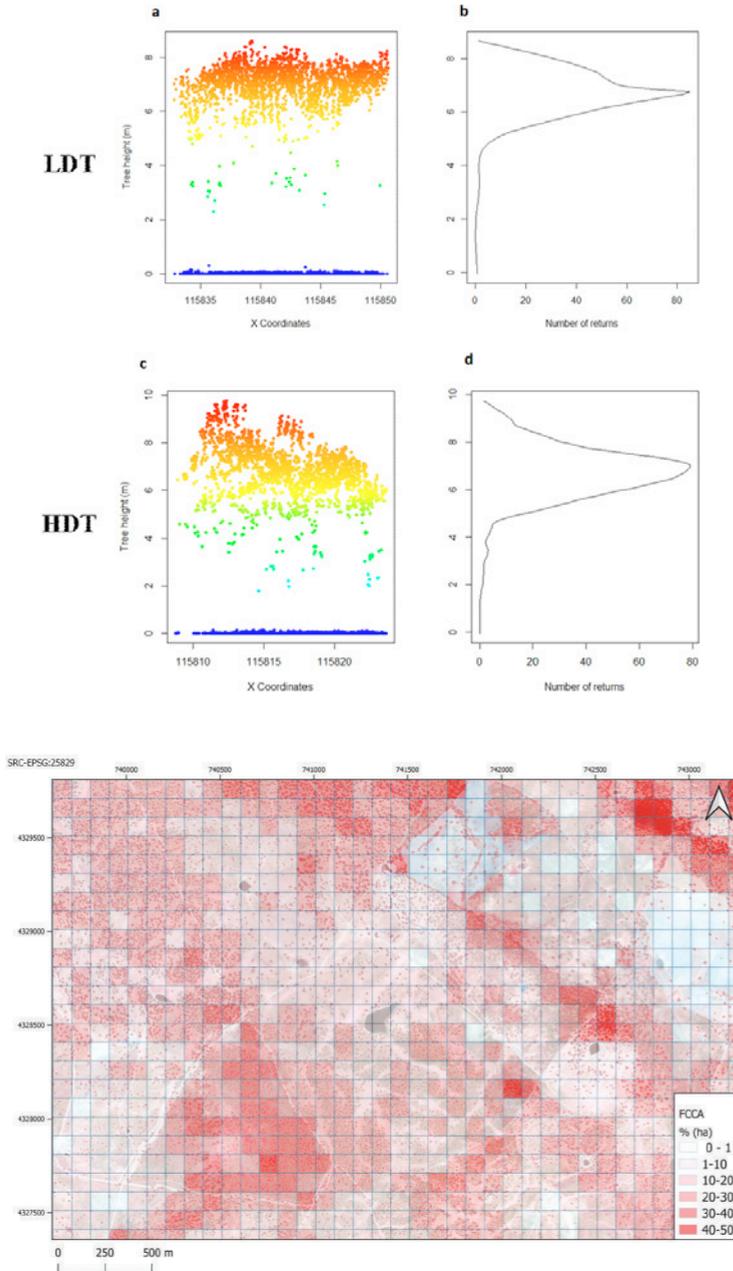
Un ejemplo sencillo es el uso de la fotogrametría, que permitió estimar la pérdida de individuos en dehesas de encina en el Andevalo de Huelva (de los Reyes et al., 2007, Figura 2). Cuando se quiere investigar específicamente diferentes factores de estrés, se pueden usar imágenes de media resolución espacial y espectral que proporcionan información confiable sobre el estrés fisiológico del arbolado y eliminan los factores de confusión (Jiménez Martínez 2011). Estos sensores pueden ser sensores térmicos, multiespectrales e hiperespectrales. En otros estudios se han usado imágenes multiespectrales para evaluar el estrés hídrico en sistemas de dehesa (Villodre Carrilero, 2019), la productividad de los pastos (Hernández et al. 2014; Cáceres et al. 2015), o la estimación de variables esenciales en la funcionalidad de las dehesas (índice de área foliar, contenido de clorofila, y contenido de materia seca de hojas, Martín et al., 2020). Por último, también se han usado imágenes hiperespectrales para la detección *temprana* (previsual) de los posibles daños asociados a podredumbre radical (Hornero et al. 2021). Todas estas aproximaciones, permiten mejorar la descripción de las características estructurales, la fenología y las propiedades funcionales de las dehesas, y su relación con el estado de salud del arbolado.

## 2.2. Sensores LiDAR y fotogrametría digital

Una alternativa a los sensores basados en bandas espectrales (sensores pasivos) la encontramos en los sensores activos basado en tecnología láser (LiDAR). Estos sensores generan modelos digitales de terreno y de la vegetación que son muy útiles para evaluar indicadores del estado del arbolado (por ejemplo, la defoliación, o la pérdida parcial de ramas – forma de copa -) o desviaciones en el crecimiento debido al estrés (Navarro-Cerrillo et al. 2019). Estudios recientes realizados en Huelva muestran que incluso es posible detectar árboles afectados por procesos de seca (Figura 3). Esto es posible gracias a que las características de los sensores LiDAR lo convierten en un sensor muy adecuado para medir parámetros biofísicos forestales, como las dimensiones de los árboles y las propiedades del dosel. Además, el LiDAR permite establecer relaciones entre las diferentes "métricas LiDAR" con variables como la cobertura (por ejemplo, fracción de copa), la densidad del arbolado, o variables biofísicas clave a diferentes escalas, y elaborar modelos que se utilizan para predecir los indicadores del estado de salud del arbolado. Estos métodos ofrecen buenas precisiones para algunas variables como cobertura de copa y defoliación, y algo menores para la densidad (Borlaf-Mena et al. 2019; Campón et al. 2019; Figura 3). Debido a la alta precisión en la estimación de estos parámetros, y el acceso público a los datos LiDAR (dentro del Plan Nacional de Teledetección, <https://pnt.ign.es/>) su uso se está generalizando para estudios de dehesa, donde se han logrado precisiones similares a las obtenidas por fotogrametría, y requiere menos esfuerzo en la estratificación y medición del arbolado.

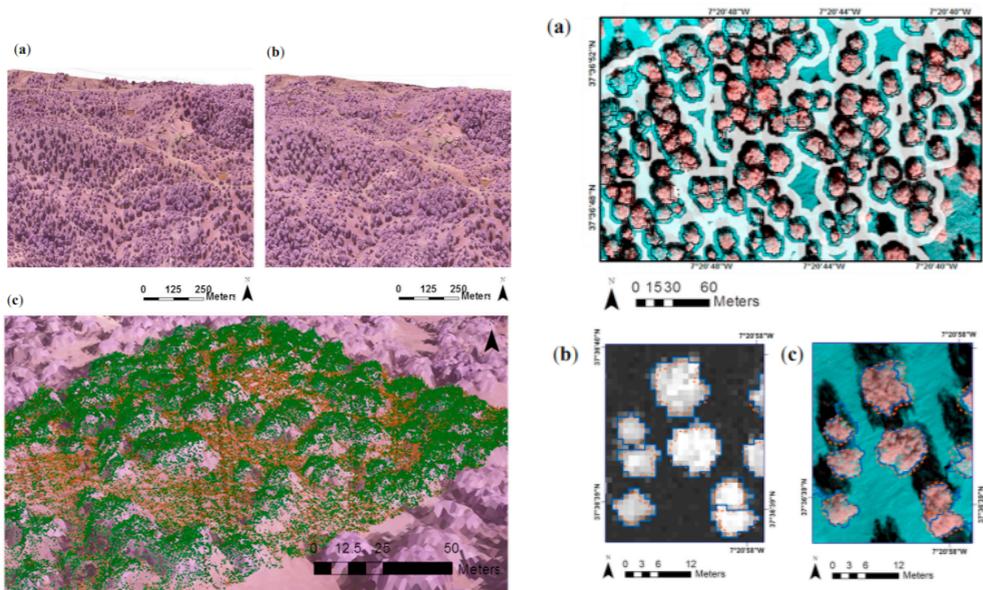


**Figura 2.** Evaluación de pérdida de arbolado de dehesa en el Andevalo (Huelva) a partir de dos ortofotos (a) evaluación de la defoliación en campo; b) comparación de vuelos fotogramétricos. Fuente: Grupo ERSAF, de los Reyes et al. (2007).



**Figura 3:** Ejemplos de aplicación de datos LiDAR al estudio de la dehesa (a) distribución de puntos LiDAR e histograma de altura de puntos LiDAR en encinas con dos niveles de defoliación (LDT baja defoliación, HDT alta defoliación) (Navarro-Cerrillo et al., 2019); (b) mapa de distribución de la fracción de la cabida cubierta en una dehesa (Campón et al., 2019).

Los estudios de modelos 3D en dehesas también se pueden realizar mediante el uso de fotogrametría digital obtenida a partir de plataformas tripuladas a distancia (*drones*), orientada a trabajar con un enfoque de árbol individual para desarrollar modelos de calibración de parámetros biofísicos que reflejan la salud de todos los árboles *delineados*. Un caso concreto son las medidas de índice de superficie foliar (una medida directa de defoliación), elemento clave para evaluar la sanidad de la cobertura de la dehesa, y que se puede estimar fácilmente a partir de datos fotogramétricos (Hernández-Clemente et al., 2014, Figura 4) y datos procedentes de imágenes hemisféricas o datos del sensor LAI-2000 para la calibración.



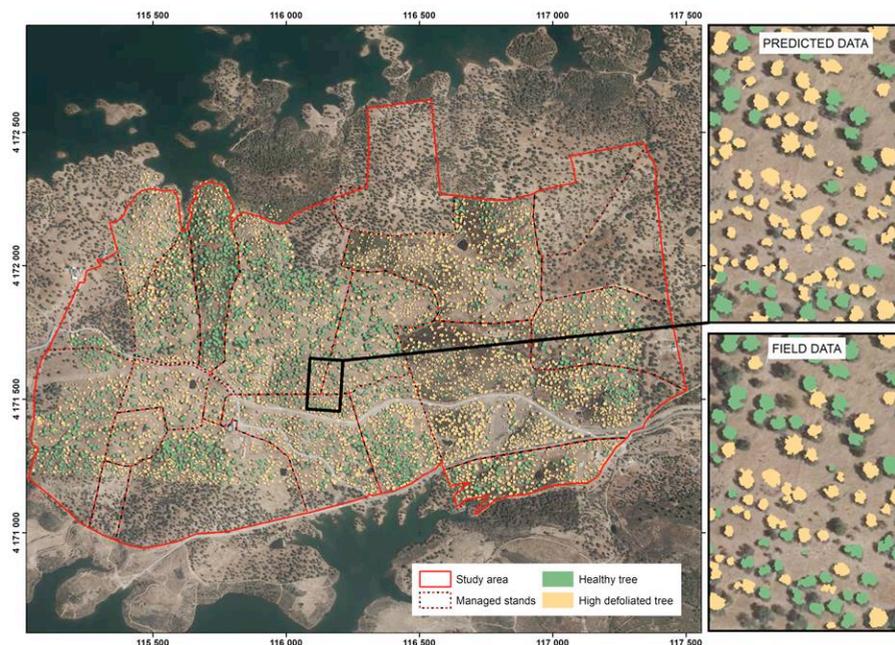
**Figura 4:** Ejemplo de un modelo de un dosel de dehesa a partir de datos LIDAR y de fotogrametría digital (Hernández-Clemente et al., 2014).

Los modelos 3D, en mayor medida a partir de LiDAR pero también a partir de fotogrametría digital, se han utilizado también para representar la complejidad de la estructura vertical de la dehesa, de gran relevancia para la descripción de la heterogeneidad forestal y para evaluar el regenerado (Zamarrón et al. 2009). Por ejemplo, la división de la estructura vertical en diferentes capas de altura permite representar el sotobosque (microhábitat dentro de la dehesa), para detectar la regeneración del arbolado o para evaluar los combustibles forestales y su distribución vertical, que son factores fundamentales para la conservación de la dehesa a largo plazo.

### 2.3. Enfoques multisensor

La actual oferta de sensores que ya hemos mencionado, junto con el desarrollo de nuevos sensores (LiDAR, fotogrametría digital, multi o hiperespectral), permiten combinar las ventajas de los sensores ópticos y activos actuales, y recopilar información 3D precisa e información espectral mejor calibrada (corrección del efecto de las sombras, resolución espacial-temporal-espectral, georreferenciación, etc.). Este enfoque multisensor (combinación y/o fusión de sensores ópticos, térmicos, 3D) mejora los estudios de sanidad forestal en la dehesa (ver por ejemplo, Navarro-Cerrillo et al. 2019, Figura 5, Tabla 1) y, por lo tanto, la precisión de la estimación de los indicadores biofísicos relacionados con la gestión, protección y conservación de la dehesa. El importante desarrollo en sensores sobre plataformas no tripuladas (*drones*) y aeronaves tripuladas permite integrar varios sensores (hiperespectrales, multiespectrales, térmicos, LiDAR) para cuantificar la arquitectura 3D del arbolado de la dehesa, así como los rasgos espectrales, en respuesta a diferentes factores de estrés a muy alta resolución espacial (<1 m).

Por último, los estudios de series temporales de datos de sensores con características radiométricas y espaciales similares (Landsat 7 y 8-Sentinel 2), cada resolución temporal complementaria, y a partir de series largas, integradas dentro de plataformas de acceso a datos masivos (*Google Earth Engine*), permite desarrollar análisis de alta frecuencia de rasgos relacionados con la sanidad de la dehesa.



**Figura 5.** Ortoimagen WV2 con segmentos de copa de referencia de dos niveles de daño diferentes de árboles de *Quercus ilex* en una dehesa y un subconjunto del mapa de nivel de defoliación por árbol. Se dan polígonos de referencia de campo para dos niveles dañados (Navarro-Cerrillo et al. 2019)

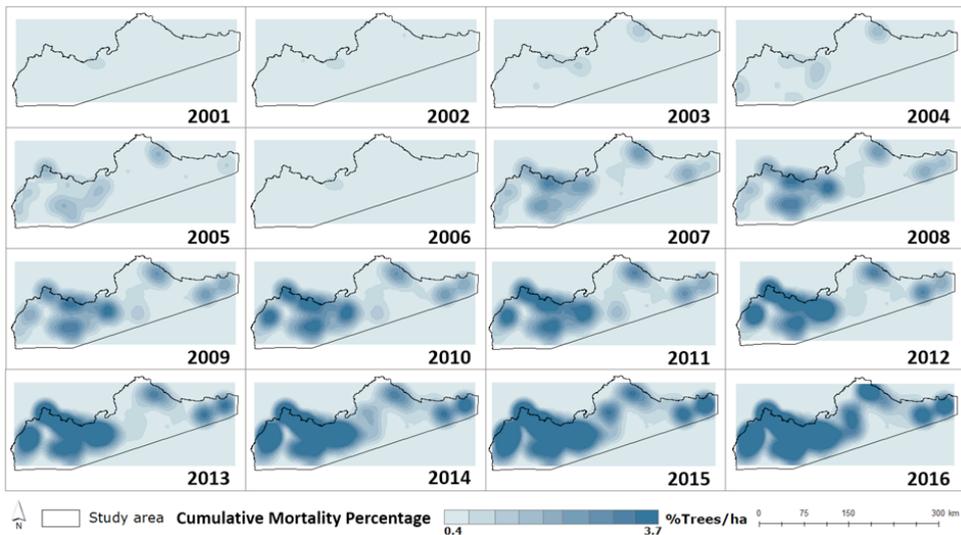
**Tabla 1:** Parámetros del suelo más relacionado con el nivel de defoliación de los árboles. Los parámetros que difieren estadísticamente entre los grados de defoliación (Navarro Cerrillo et al. 2019).

Variable	Total	Parcelas		(t <sub>(df)</sub> <sup>p</sup> )
		Alta defoliación	Baja defoliación	
Profundidad del suelo (cm)5	22.84±3.73	13.75	31.94	(t)-6.68 <sub>(76.8)</sub> ***
Compactación del suelo	3.37±0.28	4.13	2.61	9.98 <sub>(124)</sub> ***
Contenido de agua del suelo (%)	14.35±1.07	11.81	16.19	-4.98 <sub>(40)</sub> ***
Margas (%)	23.55±0.99	21.08	25.34	-2.04 <sub>(40)</sub> *
Ca asimilable (ppm)	2248.39±265.92	1743.8	2612.8	(t)-2.44 <sub>(26.5)</sub> *

\*: p<0.05; \*\*: p<0.01; \*\*\*: p<0.001; n/s: p>0.05  
 (t): Levene Test p<0.05 (variances were different)

### 2.4. Modelos físicos y empíricos

El resultado final de estos estudios sería el desarrollo de modelos físicos o empíricos para la estimación de las variables biofísicas (y sus variaciones) relacionadas con el estado sanitario de la dehesa a partir de los datos procedentes de teledetección. La información espectral se puede combinar con información espacial (por ejemplo, datos de campo en parcelas permanentes, textura de imagen, cartografía temática) como herramienta para identificar la estimación espacialmente explícita de atributos biofísicos más importantes en los procesos de mortalidad de la dehesa (Sánchez de la Cuesta et al. 2021, Figura 6).



**Figura 6.** Evolución estimada de la mortalidad de *Quercus* spp. relacionados con la podredumbre de la raíz entre 2001 y 2016 utilizando datos de la Red SEDA de Andalucía (Sánchez de la Cuesta et al., 2021).

### 3. Integración de redes de sensores inalámbricos y datos de teledetección

Un complemento muy importante para los estudios de teledetección aplicados a la dehesa son las redes de sensores inalámbricos (Figura 6), que consisten en un conjunto de sensores que adquieren datos directos y continuos de campo sobre la fisiología del arbolado mediante protocolos estandarizados, y que se comunican a canales de comunicación inalámbrica para el envío de datos a terminales centralizadas (por ejemplo, en la Universidad). Estos sensores permiten recoger datos sobre diversas variables ambientales (por ejemplo, temperatura, humedad del suelo, etc.) y fisiológicas (por ejemplo, flujo de savia, crecimiento diario, etc.) que se pueden utilizar para describir procesos complejos (por ejemplo, estrés, procesos de interacciones suelo-planta-atmósfera) de forma continua de una manera no invasiva, rentable, automatizada y en tiempo real (Fernández Martínez, et al. 2013; Cabrera et al. 2021). Un ejemplo de este tipo de dispositivos se puede encontrar en la finca Los Pulidos en Puebla de Guzmán (Huelva, Figura 6).



**Figura 7.** Parcelas de seguimiento fisiológico del arbolado de encina en la dehesa de los Pulidos (Puebla de Guzmán) de los propietarios D. López Mora (a) parcela (b) sensores de variables de copa (c) sensor de flujo de savia y dendrómetro digital. Fuente: Grupo ERSAF.

Los datos han permitido demostrar los efectos de la podredumbre radical y la sequía estival sobre el estado del arbolado de dehesa mediante medidas de la transpiración, la absorción y almacenamiento de carbono y estado hídrico del arbolado

en relación con la variación climática y la estructura espacial de los agentes de mortalidad (Cabrera et al., 2021). La información obtenida por las redes inalámbricas (estrategias en la regulación de la conductividad hidráulica y estomática asociados a estrés biótico y abiótico), se puede relacionar con datos de diferentes sensores por sequía. Por lo tanto, es necesario disponer de parcelas de monitorio con diferentes sensores ambientales no invasivos para diferentes dehesas (tipología y especies) y su integración con Redes de Seguimiento (Red SEDA) y datos procedentes de teledetección.

#### 4. Seguimiento de dehesas en Andalucía

La evaluación y el seguimiento de los sistemas de dehesa se ha realizado en Andalucía desde hace más de dos décadas, a través de la Red SEDA (en el marco del Programa nacional y europeo sobre evaluación y seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica en los bosques EU/ICP Forests) desde 2001, de forma conjunta entre propietarios privados, administraciones forestales y universidades tanto a nivel local como regional (Navarro-Cerrillo y Ruiz Gómez, 2018). Estos sistemas de evaluación han ofrecido numerosos resultados (Duque Lazo y Navarro-Cerrillo 2017; Duque Lazo et al. 2018; Sánchez de la Cuesta et al. 2021), pero es importante desarrollar técnicas de seguimiento que proporcionen información sobre el estado pasado y presente de la dehesa. Esta información constituye la base de cualquier estudio sobre las interacciones entre las condiciones del arbolado y los factores de estrés, lo cual es particularmente relevante y urgente para la dehesa y el monte alcornocal en Andalucía, dado el nivel actual de riesgo para la estabilidad de esos sistemas agrosilvopastorales.

El seguimiento se puede lograr mediante un sistema combinado de monitoreo terrestre y de teledetección que permite monitorear los cambios en las condiciones del arbolado de la dehesa, y relacionar los cambios observados con los principales factores ambientales y antrópicos implicados. El acceso creciente a conjuntos de datos (REDIAM, PNOT, inventarios forestales in situ, estudios experimentales, etc.) demanda de un sistema que integre estas fuentes para el seguimiento de las dehesas. En este trabajo se ha mostrado cómo la teledetección puede usarse, en combinación con diferentes plataformas, tipos de sensores y enfoques para el seguimiento de la sanidad de la dehesa y el modelado para evaluar indicadores biofísicos relacionados con su estado sanitario. La integración multisensores (satélites, aerotransportados y de campo) permiten, a un costo razonable y en plazos cortos, monitorear indicadores de varios de los procesos y escenarios de estrés que tienen lugar en la dehesa de una manera extensa, continua y repetitiva. Además, se pueden describir procesos a corto y largo plazo, a diferentes escalas espaciales (desde la finca a la Comunidad Autónoma) y en diferentes escenarios de estrés. Iniciativas como el Proyecto Life Watch-INDALO, que promueve la creación del Observatorio de Bosque Mediterráneo, y crea un

marco estandarizado para vincular varias fuentes de información y para registrar y evaluar indicadores regionales sobre la dehesa permiten el seguimiento continuo de la dehesa andaluza, y ofrece diferentes alternativas para vincular los diferentes enfoques, sensores y plataformas de teledetección para mejorar su gestión, protección y conservación.

## Agradecimientos

Agradecemos a Ángel Carrasco Gotarredona, José Manuel Ruiz Navarro y Sixto Rodríguez Reviriego, así como a todos los técnicos de la Red de Salud Forestal (Red SEDA, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Sostenible todo su apoyo en los estudios de dehesa realizados por el Grupo ERSAF-RMN 360. Esta investigación fue posible gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España, a través del proyecto ESPECTRAMED (CGL2017-86161-R). FJRG cuenta con el apoyo del "Plan Propio de Investigación, 2019" de la Universidad de Córdoba. Agradecemos el apoyo institucional de la Universidad de Córdoba-Campus de Excelencia CEIA3. También agradecemos al grupo ERSAF y, en particular, a Rafael Sánchez de la Cuesta, Andrés Cortes y Cristina Acosta, por su ayuda durante esta investigación.

## Bibliografía

- Borlaf-Mena, I., Tanase, M.A., & Gómez-Sal, A. (2019). Métodos para la estimación de la cabida cubierta a partir de ortofotografías de alta resolución y LiDAR aeroportado en dehesas españolas. *Revista de Teledetección*, (53), 17-32.
- Cabrera-Puerto, R., Ruiz Gómez, F., Sánchez-Cuesta, R., Navarro-Cerrillo, R; Quero, J.L. (2021). Ecofisiología del estrés biótico asociado a podredumbre radical en una dehesa de encina. Congreso AEET.
- Cáceres, J., Martín, M.P., & Salas, J. (2015). Análisis temporal de biomasa y stocks de carbono en un ecosistema de dehesa mediante imágenes Landsat, y su relación con factores climáticos. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 190-211.
- Campón, L.F., Rosado, E.M.Q., & Gallego, J.A.G. (2019). Clasificación supervisada de imágenes PNOA-NIR y fusión con datos LiDAR-PNOA como apoyo en el inventario forestal: Caso de estudio: Dehesas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (45), 77-96.
- Cano, F.; Navarro-Cerrillo, R. M., de la Orden, M. S., García-Ferrer, A. (2005). Evaluación de la defoliación mediante imágenes IKONOS en masas de *Quercus suber* L. en el sur de España. *Forest Systems*, 14(2), 242-252.

- Carrasco Gotarredona, Á. (ed.) (2009). *Procesos de Decaimiento Forestal (la Seca): Situación del Conocimiento*, 1a edición. ed. Consejería de Medio Ambiente, Córdoba, España.
- de los Reyes, E. R., Navarro-Cerrillo, R.M. & García-Ferrer, A. (2007). Aplicación de ortofotos para la estimación de pérdida de individuos en dehesas de encina: ("Quercus ilex" L. subsp. "ballota"(Desf.) Samp.) afectadas por procesos de decaimiento. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 33(1), 121-134.
- Duque-Lazo, J., Navarro-Cerrillo, R.M., Van Gils, H., & Groen, T. A. (2018). Forecasting oak decline caused by *Phytophthora cinnamomi* in Andalusia: Identification of priority areas for intervention. *Forest ecology and management*, 417, 122-136.
- Duque-Lazo, J., & Navarro-Cerrillo, R.M. (2017). What to save, the host or the pest? The spatial distribution of xylophage insects within the Mediterranean oak woodlands of Southwestern Spain. *Forest ecology and management*, 392, 90-104.
- Fernández Martínez, M., Alejano Monge, R., Vázquez Piqué, J., Andivia Muñoz, E., & Martín Pérez, D. Evolución estacional de la velocidad de flujo de savia en encinas de dehesas de la provincia de Huelva. 6º Congreso Forestal Nacional.
- Hernández, C. G., Escribano, J. A., & Tarquis, A. (2014). Comparación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada obtenido a diferentes escalas en pastos de Dehesa. *Pastos y PAC 2014-2020*, 121-128.
- Hernández-Clemente, R., Navarro-Cerrillo, R. M., Ramírez, F. J. R., Hornero, A., & Zarco-Tejada, P. J. (2014). A novel methodology to estimate single-tree biophysical parameters from 3D digital imagery compared to aerial laser scanner data. *Remote Sensing*, 6(11), 11627-11648.
- Hornero, A., Zarco-Tejada, P. J., Quero, J. L., North, P. R. J., Ruiz-Gómez, F. J., Sánchez-Cuesta, R., & Hernandez-Clemente, R. (2021). Modelling hyperspectral-and thermal-based plant traits for the early detection of *Phytophthora*-induced symptoms in oak decline. *Remote Sensing of Environment*, 263, 112570.
- Jiménez Martínez, N. (2011). Evaluación del impacto de la sequía sobre la vegetación natural mediante teledetección en el SE español (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Martín, M. P., Pacheco-Labrador, J., González-Cascón, R., Moreno, G., Migliavacca, M., García, M., & Riaño-Arribas, D. (2020). Estimation of essential vegetation variables in a dehesa ecosystem using reflectance factors simulated at different phenological stages. *Revista de Teledetección*, (55), 31-48.

- Navarro-Cerrillo, R. M., de la Orden, M. S., Bonilla, J. G., Ferrer, A. G., Clemente, R. H., & Lanjeri, S. (2010). Aplicación de imágenes LIDAR para la estimación del índice de superficie foliar (LAI) en encinas ["*Quercus ilex*" L. subsp. "ballota" (-Desf.) Samp.]. *Forest systems*, 19(1), 61-69.
- Navarro-Cerrillo, R. M. & Gómez, F. J. R. (2020). Seguimiento de plagas y enfermedades forestales en Andalucía: interpretación a diferentes escalas. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (46), 33-56.
- Navarro-Cerrillo, R. M., Varo-Martínez, M. Á., Acosta, C., Rodriguez, G. P., Sánchez-Cuesta, R., & Ruiz-Gomez, F. J. (2019). Integration of WorldView-2 and airborne laser scanning data to classify defoliation levels in *Quercus ilex* L. Dehesas affected by root rot mortality: Management implications. *Forest Ecology and Management*, 451, 117564.
- Pulido, F., Picardo, A., Campos, P., Carranza, J., Coletto, J., Díaz, M., & Fernández, P. (2010). Libro verde de la dehesa. Documento para el debate hacia una estrategia ibérica de gestión.
- Sánchez-Cuesta, R., Ruiz-Gómez, F. J., Duque-Lazo, J., González-Moreno, P., & Navarro-Cerrillo, R. M. (2021). The environmental drivers influencing spatio-temporal dynamics of oak defoliation and mortality in dehesas of Southern Spain. *Forest Ecology and Management*, 485, 118946.
- Villodre Carrilero, J. (2019). Estimación de la evapotranspiración y el estrés hídrico en la dehesa a alta resolución temporal y espacial mediante teledetección. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha.
- Zamarrón, A. R. Proyecto LINHE: "Desarrollo de nuevos protocolos de integración de sensores LiDAR, cámara digital, infrarrojo cercano e hiperespectral". TRAGSA

## Anexo 1. Aplicación de la teledetección para estudios sobre la seca de la dehesa

Temporalidad	Parámetro	Imágenes*	Procesado	Aplicación
<b>Daños previsuales (&lt;2 año antes del comienzo de síntomas)</b>	Cobertura de vegetación previa al incendio	Vuelos aerotransportados LiDAR (Sensores comerciales de alta resolución espectral y espacial)	Técnicas de clasificación Integración de sensores	Cartografía de daños previsuales y de niveles de riesgo previo a la aparición de procesos de defoliación y/o mortalidad
<b>Daños visuales</b>	Perdida de arbolado	Ortofotos <i>drones</i> (Sentinel 2-A)	Técnicas de clasificación	Cartografía de pérdida de cobertura de dehesa
<b>Severidad de los daños</b>	Severidad de los daños de <i>seca</i> . Grado de severidad de los daños causados por la <i>seca</i> . Evaluación de la gravedad del impacto a corto plazo.	LiDAR Sensores multi-hiperespectrales sobre aeronaves tripuladas y no tripuladas (Sentinel 2-A, (Landsat 8-OLI-TIRS)	Técnicas de clasificación Segmentación de información espectral	Cartografía de severidad de daños de <i>seca</i> Planificación de las actuaciones de control Patrones espaciales de procesos de daños
<b>Defoliación</b>	Estructura de la vegetación Disposición y distribución de los componentes forestales a escala de árbol individual (copa) o de rodal	<i>drones</i> LiDAR (Sensores comerciales de alta resolución espectral y espacial)	Técnicas de clasificación no paramétrica Métrica LiDAR Fotogrametría digital	Seguimiento de las actuaciones de control y restauración de dehesas
<b>Análisis de agentes y patrones espaciales</b>	Dinámica espacial y temporal de la <i>seca</i> (defoliación-mortalidad). Diferentes procesos asociados a la <i>seca</i>	Ortofotos LiDAR-PNOA (Landsat, Sentinel 2-A)	Series temporales con algoritmos semiautomáticos <i>Google Earth Engine</i>	Evaluación a largo plazo de procesos de pérdida de arbolado. Simulación de procesos de mortalidad

\*Sensores más recomendables (Sensores opcionales en función de los objetivos del estudio)

## Bloque 3

---

ANTE EL PROBLEMA DE LA  
PODREDUMBRE RADICAL,  
¿QUÉ PUEDO HACER?





**Dra. Pilar Fernández Rebollo**

Directora

**Departamento de Ingeniería Forestal**

ETSIAM, UCO

Edif. Leonardo Da Vinci. Campus Universitario de Rabanales

Carretera Nacional IV, Km 396. 14071 - Córdoba

**E-mail:** pfernandez@uco.es

**Teléfono:** +34 957 21841010 / 689 740654

## GESTIÓN INTEGRAL DE LA DEHESA ANTE LA ENFERMEDAD DE LA SECA

Pilar Fernández Rebollo

.....

### Introducción

*Phytophthora cinnamomi* es un patógeno de suelo que se encuentra ampliamente distribuido a nivel mundial y causa importantes daños en multitud de especies. En la Península Ibérica es conocido desde hace décadas por ser el causante de la tinta del castaño, y de forma más reciente por producir la podredumbre radical en encinas y alcornoques<sup>1,2</sup>.

Los síntomas que produce la enfermedad causada por *P. cinnamomi* en los *Quercus* son muy inespecíficos y pueden confundirse con los producidos por una sequía. Pueden aparecer a las pocas semanas tras la infección o mostrarse a más largo plazo, existiendo generalmente un retraso entre la infección de la raíz y la aparición de síntomas en las copas.

El control de la podredumbre radical producida por *P. cinnamomi* no es sencillo. En primer lugar, existe un elevado número de plantas huésped, siendo la mayor parte de las conocidas leñosas. Así, la encina, el alcornoque, el castaño, el nogal, el cerezo, la jara pringosa, la jara cervuna, el jaguarzo morisco, la aulaga o el madroño son susceptibles al patógeno y desarrollan la enfermedad. Menos información existe sobre especies herbáceas huésped. Trabajos desarrollados en la dehesa han constatado que algunas leguminosas como el altramuz o la veza son susceptibles y, en el caso del primero, contribuye a aumentar significativamente la densidad del patógeno en suelo<sup>3,4,5</sup>. Investigaciones llevadas a cabo en Australia sugieren que

existen muchas herbáceas huésped del patógeno y que la mayoría son asintomáticas<sup>6</sup>. En segundo lugar, las esporas de resistencia, las clamidosporas, garantizan la supervivencia del patógeno entre eventos de lluvia o, tras condiciones secas, entre años. Además, los agregados de hifas y vesículas encapsuladas en raíces muertas de plantas hospedantes (propágulos) contribuyen, en condiciones muy secas, a la supervivencia del patógeno a largo plazo. En tercer lugar, la dispersión del patógeno es fácil y está vinculada a factores meteorológicos, topográficos y a las actividades humanas.

Como en cualquier otra enfermedad, el control de la podredumbre radical debe incluir un conjunto de medidas encaminadas tanto a frenar su propagación hacia zonas libres de enfermedad, como a disminuir la densidad e infectividad de las esporas y propágulos en el suelo de las zonas donde está presente la enfermedad.

### **Acciones encaminadas a disminuir la densidad e infectividad de las esporas y del patógeno en el suelo**

Las condiciones de humedad y temperatura del suelo intervienen de forma importante en la multiplicación de *P. cinnamomi*. En un suelo húmedo con temperaturas en torno a 25-30° C, puede proliferar el patógeno a través de la formación de múltiples zoosporas, acelerando el ciclo de infección y multiplicación en las raíces. Por tanto, en nuestro clima durante la primavera y el otoño, se incrementa considerablemente el riesgo de que se produzcan nuevas infecciones en plantas sanas, así como reinfecciones en plantas ya enfermas.

Un aspecto importante para no aumentar la cantidad de esporas y propágulos en el suelo es evitar el cultivo o la plantación de especies hospedantes. Las especies hospedantes además de albergar al patógeno actúan como fuente de nuevo inóculo<sup>4</sup>. A la luz de los conocimientos actuales, se desaconseja en zonas afectadas por la enfermedad el cultivo del altramuz y la siembra de bellotas o la plantación de encina y alcornoque. En este último caso, pueden utilizarse en su lugar otras especies forestales no susceptibles al patógeno como el acebuche, el algarrobo, el fresno, el almez o la morera. Aunque no es una práctica común en la dehesa, la fertilización nitrogenada en las zonas con presencia de esta enfermedad está contraindicada, pues los nitratos parecen estimular la producción de esporangios.

La aplicación de calcio es otra práctica que reduce la densidad y la viabilidad de las esporas y propágulos de la enfermedad, aunque no consigue erradicarla. Distintos trabajos de investigación han puesto de manifiesto que el calcio reduce la producción y la germinación de los esporangios y no tiene efecto significativo sobre las clamidosporas<sup>7,8,9,10</sup>. Por otro lado, el calcio aumenta la tolerancia de la encina a la enfermedad, reduciendo los síntomas. Esta práctica, además de sus efectos sobre el patógeno y el arbolado, puede incrementar la productividad de los pastos de las dehesas asentadas en suelos ácidos, al mejorar la absorción de los nutrientes, como por ejemplo el fósforo. No obstante, desde el punto de

vista ambiental, puede contribuir a aumentar la respiración del suelo al fomentar la vida microbiana. Hay distintos productos comerciales que aportan calcio al suelo. Los más utilizados son el carbonato cálcico y el yeso agrícola (sulfato cálcico). El yeso agrícola tiene mayor capacidad de penetración en profundidad que el carbonato, pero puede acidificar el suelo, por lo que se recomienda su uso en suelos neutros. En suelos ácidos el yeso puede mezclarse con carbonato cálcico. Las dosis de aplicación fluctúan entre 1.500-3.000 kg/ha aportándose el producto en cobertera y, preferentemente, en otoño para que penetre en el suelo con el agua de lluvia.

Otra medida que contribuye a reducir la densidad del patógeno en suelo es la aplicación de ácido fosforoso a los árboles afectados<sup>11,12,13</sup>. Mediante inyecciones presurizadas colocadas en el tronco, el producto se incorpora al flujo de savia y se traslada a las raíces donde reduce el crecimiento de las hifas y la formación de esporas de resistencia. Además, parece estimular las defensas del árbol. Su eficacia frente a *P. cinnamomi* está probada en cultivos leñosos como el aguacate y el castaño, siempre y cuando los árboles muestren síntomas leves de la enfermedad radical, aplicándose en forma de fosfito potásico y, principalmente, como fosetil aluminio. Lamentablemente, el uso de estos productos no está permitido en especies forestales como la encina y el alcornoque.

La biofumigación es una estrategia de control biológico para reducir la densidad del patógeno en el suelo con posible aplicación en algunas dehesas, especialmente aquellas llanas que admiten cultivos en rotación. Está basada en la toxicidad para patógenos de suelo de los compuestos volátiles liberados por algunas especies vegetales. Los principales compuestos volátiles tóxicos para patógenos son los isotiocianatos, los cuales se producen por la lisis enzimática de los glucosinolatos una vez que entran en contacto con el agua. En el caso de *P. cinnamomi* se ha comprobado que las especies vegetales que tienen un tipo de glucosinolato, la sinigrina, producen volátiles que disminuyen la infectividad del patógeno y reducen los síntomas de la enfermedad en plántulas de encina<sup>14,15</sup>. La mostaza etíope (*Brassica carinata*), la mostaza india (*B. juncea*), o la mostaza negra (*B. nigra*) contienen sinigrina en hoja, tallo, raíz y semilla, y son, por tanto, cultivos con potencial biofumigante.

Existen distintas formas de aplicar la biofumigación en la dehesa. El simple cultivo de estas especies puede ser una opción, que da lugar a una liberación lenta y a baja concentración de los glucosinolatos contenidos en sus raíces, una vez que éstas se degradan y entran en contacto con el agua. El efecto biofumigante se puede incrementar si se pica además la parte aérea del cultivo y se incorpora al suelo cuando éste se encuentra con algo de humedad. De esta forma se produce una liberación rápida de los glucosinolatos (más rápida cuanto más finamente se realice el picado) y a mayor concentración. Otras veces, se puede añadir al suelo subproductos derivados de la agroindustria, como puede ser la harina desengrasada de semilla presentada en forma de torta o pellets con partes verdes de la planta seca.

En el marco de un proyecto de investigación (RTA2014-00063-C04-03), el grupo de Silvopascicultura de la ETSIAM de la Universidad de Córdoba estudió la adaptación de distintas especies y variedades de mostaza con potencial biofumigante a su cultivo en las dehesas. De estos trabajos se concluyó que la mostaza india resultó tener una mayor adaptación a las condiciones de la dehesa, con un ciclo más corto y una mayor precocidad que las otras especies de mostaza, lo que le confiere mayor capacidad competitiva frente a las herbáceas habituales de la dehesa. Además, fue siempre la más productiva, alcanzándose en el estadio de plena floración cosechas en el rango de 5000-7000 Kg MS ha<sup>-1</sup>. En todas estas mostazas el glucosinolato sinigrina fue el mayoritario, con concentraciones en la parte aérea de 25  $\mu\text{mol gr}^{-1}$  MS en el estadio de inicio de entallado y de 15  $\mu\text{mol gr}^{-1}$  MS en el estadio de floración plena. La aplicación de azufre en los suelos con baja disponibilidad de este nutriente tuvo un efecto muy marcado en la concentración de sinigrina, multiplicándola por 5. El azufre puede ser aplicado en forma de yeso agrícola, con lo que se estará también aportando calcio al suelo<sup>16</sup>. Distintas variedades comerciales de mostaza india (Kodiac, Scala y Pacific gold), se mostraron aptas para ser cultivadas en las dehesas andaluzas. En este mismo proyecto, se planteó la posibilidad de conservar la producción de estos cultivos mediante el henificado al sol y el deshidratado en plantas industriales. La conservación de este material vegetal permitiría, por un lado, cultivar la mostaza en zonas más productivas y obtener así mayores cosechas y, por otro, poder incorporar estos productos biofumigantes en momentos en los que la humedad del suelo fuera favorable para la liberación de los volátiles. De esta forma se analizó cómo evolucionaba la concentración de sinigrina y su viabilidad tras el secado y el deshidratado. La deshidratación de las brasicas redujo la concentración de sinigrina en planta casi a la mitad, mientras que el henificado disminuyó la concentración en menor medida. Se observó que, tras el proceso de secado al sol, las hojas se desprendían fácilmente del tallo, por lo que en la recogida mecanizada se perdía el componente con mayor concentración de sinigrina (hasta 8 veces mayor frente a la concentración del tallo), aumentando por esta vía las pérdidas. La concentración de sinigrina en el material henificado y deshidratado se mantuvo constante en el tiempo y, una vez hidratado, liberó isotiocianatos volátiles que fueron detectables fácilmente en las muestras de heno, pero no en las deshidratadas, principalmente debido a su baja concentración.

Por otro lado, en condiciones de laboratorio, el material henificado y deshidratado inhibió el crecimiento del micelio del patógeno, aunque en menor medida que el material verde de procedencia, el cual produjo una inhibición total. Estos productos tuvieron un efecto fungistático en comparación con el efecto fungicida del material verde, dado que las colonias sometidas a los biofumigantes henificados y deshidratados y reincubadas en su ausencia, fueron capaces de seguir creciendo. Por tanto, el material conservado, si bien puede utilizarse en momentos óptimos de humedad y temperatura del suelo, tiene menos concentración de sinigrina y produce menos cantidad de volátiles, por lo que resulta menos efectivo que el material verde de procedencia.

## Acciones encaminadas a frenar la propagación hacia zonas libre de enfermedad

La enfermedad puede extenderse hacia otras zonas por distintas vías. El contacto entre las raíces de los árboles adyacentes es un vector de propagación a corta distancia. A corta y media distancia, la escorrentía del agua de lluvia y la erosión del suelo pueden transportar propágulos hacia zonas libres de la enfermedad. Por último, las actividades humanas contribuyen a extender el patógeno a corta, media y, sobre todo, a larga distancias.

En las dehesas libres de enfermedad en las que se quiera acometer trabajos de densificación del arbolado utilizando planta de viveros comerciales, es importante adquirirla en viveros de confianza que puedan certificar que la planta está libre de enfermedad. Otra opción puede ser la siembra de bellotas en cuyo caso es recomendable recogerlas de zonas libres de enfermedad y desinfectarlas antes de la siembra. Trabajos publicados recientemente han puesto de manifiesto que las repoblaciones realizadas en los años 90 al amparo de la PAC pudieron actuar como fuente inicial del patógeno, jugando la topografía del terreno y las actividades humanas un papel importante en su posterior extensión<sup>17</sup>.

Actuaciones que tiendan a mejorar la infiltración y reducir la erosión del suelo pueden redundar en tasas de propagación más lentas, aparte de los beneficios que reporta la conservación del suelo y del agua. Por ejemplo, pastorear con ganado a finales de verano y principios de otoño, cuando el suelo está aún seco, permite romper la costra que se puede formar en superficie reduciéndose la repelencia que ofrece el suelo al agua, lo que facilita su infiltración. No apurar excesivamente la hierba seca en este pastoreo de finales de verano o de principios de otoño contribuye a proteger el suelo del impacto de las gotas de las primeras lluvias y aumenta la rugosidad del terreno, aspecto que tiene un papel importante en la conservación del suelo especialmente en zonas con algo de pendiente. De igual forma, permitir un crecimiento adecuado de la hierba en otoño sin interferencias del ganado mejora el desarrollo de las raíces y, por tanto, el drenaje del agua de lluvia. Cargas ganaderas altas en condiciones de elevada humedad del suelo reducen la tasa de infiltración y aumentan la escorrentía.

Evitar actuaciones que impliquen movimiento de suelo en zonas con presencia de enfermedad puede dar lugar a tasas más lentas de expansión de la enfermedad. Así, no cultivar zonas en las que esté presente la enfermedad, evitar las zonas enfermas en el trazado de nuevos caminos o controlar el matorral con métodos que no impliquen el movimiento del suelo, reducen las probabilidades de mover suelo de una zona a otra.

Por último, limitar en lo posible el tránsito de vehículos, máquinas, animales y personas en zonas con presencia de enfermedad contribuye también a reducir la expansión de la enfermedad, especialmente a largas distancias.

## Referencias bibliográficas

- 1 Brasier, C.M., Robredo, F., Ferraz, J.F.P. (1993). Evidence for *Phytophthora cinnamomi* involvement in Iberian oak decline. *Plant pathol.* 42:140-145.
- 2 Sánchez, M.E., Fernández, P., 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.
- 3 Serrano M.S., Fernández-Rebollo P., De Vita P., Sánchez M.E. (2012). 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.
- 4 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.
- 5 Serrano M.S., Fernández P., De Vita P., Carbonero M.D., Trapero A., Sánchez M.E. (2010). *Lupinus luteus*, a new host of *Phytophthora cinnamomi* in Spanish oak-rangelands ecosystems. *European Journal of Plant Pathology* 128: 149-152.
- 6 Crone, M., McComb, J.A., O'Brien, P.A., Hardy, G.E. (2013). Assessment of Australian native annual/herbaceous perennial plant species as asymptomatic or symptomatic hosts of *Phytophthora cinnamomi* under controlled conditions. *For. Path.* 43:245-251.
- 7 Duvenhage, J.A., Kotzé, J.M. (1991). The influence of calcium on saprophytic growth and pathogenicity of *Phytophthora cinnamomi* and on resistance of avocado to root rot. *South African avocado grower's association yearbook* 14: 13-14. ([www.avocadosource.com](http://www.avocadosource.com))
- 8 Messenger, B.J., Menge, J.A., Pond, E. (2000). Effects of gypsum soil amendments on avocado growth, soil drainage, and resistance to *Phytophthora cinnamomi*. *Plant dis.*, 84:612-616.
- 9 Serrano M.S., De Vita P., Fernández P., Sánchez ME. (2011). Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *European Journal of Plant Pathology* 132: 271-279.
- 10 Serrano M.S., Fernández P., De Vita P., Sánchez M.E. (2013). Calcium mineral nutrition increases the tolerance of *Quercus ilex* to *Phytophthora* root disease affecting oak rangelands ecosystems in Spain. *Agroforestry Systems* 1: 173-179.

- 11 Caetano, P., Sánchez, M.E., Trapero, A. (2004). Effectiveness of fungicides for control of *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus suber* and *q. Ilex*. Third International IUFRO Working Party s07.02.09. Freising, Germany 11-18 September.
- 12 González M., Caetano P., Sánchez M.E. (2017). Testing systemic fungicides for control of *Phytophthora* oak root disease. *Forest Pathology* 47: e12343.
- 13 González M., Romero M.A., Serrano M.S., Sánchez M.E. (2019). Fosetyl-aluminium injections controls root rot disease affecting *Quercus suber* in southern Spain. *European Journal of Plant Pathology*. DOI:10.1007/s10658-019-01865-1
- 14 Ríos P., González M., Obregón S., Carbonero M.D., Leal J.R., Fernández-Rebollo P., de Haro A., Sánchez M.E. (2017). Brassica-based seedmeals biofumigation to control *Phytophthora cinnamomic* in the Spanish "dehesa" oak trees. *Phytopathologia Mediterranea*. 56 (3): 392-399.
- 15 Rios P., Obregón S., Haro A., Fernández-Rebollo P., Serrano M.S., Sánchez M.E. (2016) Effect of Brassica biofumigant amendments on different stages of the life cycle of *Phytophthora cinnamomi*. *Journal of Phytopathology*. 164 (9): 582-594.2016.
- 16 Rodríguez-Molina M.C., Fernández-Rebollo P., Serrano-Pérez P., De Santiago A., Hidalgo-Fernández M.T., Campos-Navarro F.J. (2021). Biofumigation with Brassica seed-based products combined with calcium carbonate to control *Phytophthora cinnamomi* root rot in cork and holm oaks. *European Journal of Plant Pathology*. 159: 471-483. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02175-7>.
- 17 Fernández-Habas J., Fernández-Rebollo P., Casado M., Moreno A., Abellanas B. (2019). Spatio-temporal analysis of oak decline process in open woodlands: A case study in SW Spain. *Journal of environmental management*. 248:1093308.





**Dra. María Dolores Carbonero Muñoz**

**IFAPA - Área de Ingeniería y Tecnología Agroalimentaria**

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible  
Centro Hinojosa del Duque Ctra Viso Km 2, Hinojosa del Duque  
14270-Córdoba

**E-mail:** mariad.carbonero@juntadeandalucia.es

**Teléfono:** 34 677 90 36 89 / 73 36 89

## **TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO A LA GESTIÓN DE LA DEHESA**

María Dolores Carbonero Muñoz

.....

El IFAPA es un organismo autónomo adscrito a la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. Tiene como objetivos contribuir a la modernización de los sectores agrario, pesquero y alimentario, así como a la mejora de su competitividad a través de la investigación, el asesoramiento, la transferencia de tecnología y conocimientos y la formación (Ley 1/2003, de 10 de Abril de Creación del Instituto). El IFAPA posee una red de 18 centros repartidos por el territorio andaluz y especializados cada uno de ellos en diferentes sectores agrarios. El centro de Hinojosa del Duque es el de referencia para el IFAPA de ganadería y dehesa habiendo sido designado como Centro de Estudios para la Dehesa. En coordinación con otros centros del IFAPA y otras entidades, trabaja en mejorar la investigación, innovación, transferencia y formación en diferentes aspectos relativos a la gestión de la dehesa y al manejo del ganado. La Ley 7/2010 de 14 de Julio para la dehesa indicaba también como una prioridad para este instituto la formación de técnicos y especialistas en buenas prácticas de gestión en las dehesas.

Durante el desarrollo del proyecto Life+bioDehesa (2012-2018) y fruto de numerosas encuestas entre ganaderos y profesionales relacionados con este sistema, se constataron como áreas demandantes de formación: la Gestión de pastos, arbolado y ganado, la Sanidad animal y forestal, y la Renovación del arbolado. Adicionalmente se detectaron como aspectos que dificultaban la transferencia de información, la escasa asistencia técnica especializada a los propietarios, la dispersión o baja accesibilidad de la información sobre manejo de dehesa y la baja transferencia y aplicabilidad de los resultados procedentes de la investigación.

Recogiendo estas demandas y tratando de contribuir a mejorar la situación, el IFAPA cuenta con un programa de Formación Especializada en Dehesa dirigido principalmente al sector, en el que se imparte anualmente formación en Manejo del arbolado (podas), Manejo del arbolado (podas y regeneración) y Manejo de pastos y cultivos forrajeros mediante cursos presenciales. En ellos se incorporan de manera transversal contenidos relativos a Identificación y control de plagas y enfermedades en el arbolado, Manejo sostenible de suelos y Gestión de la biodiversidad. Se trata de una formación con una componente práctica muy marcada, que se apoya en las posibilidades que ofrece la finca experimental del Centro Hinojosa del Duque. Adicionalmente esta formación se está incorporando también paulatinamente a los programas de incorporación de jóvenes agricultores a la ganadería extensiva.

La ejecución del proyecto Life+bioDehesa (2012-2018) permitió dar un impulso adicional en muchos aspectos formativos a través de la formación a técnicos procedentes de las asociaciones participantes mediante cursos especializados e impartidos por diferentes expertos, la realización de jornadas y seminarios para la formación de ganaderos y gestores de dehesas, la elaboración de diez manuales didácticos y 6 vídeos en español e inglés relativos a las temáticas más demandadas (Producción de bellota, Poda del arbolado, Regeneración del arbolado, Control y prevención de la podredumbre radical, Compatibilización ganado-fauna cinegética, Manejo de ganado ovino, Manejo de ganado porcino, Gestión de la biodiversidad, Manejo del suelo y Gestión de los pastos), y el desarrollo de una red de parcelas demostrativas en diferentes aspectos de la gestión de la dehesa.

La plataforma de conocimiento del IFAPA (SERVIFAPA) destinada a potenciar la difusión de material didáctico, y aquellos resultados más aplicados, ha permitido ir incluyendo la información generada y relacionada con la dehesa. Como últimas novedades podrían destacarse documentos como "Las fertilizaciones cálcicas en el control de la podredumbre radical del arbolado en la dehesa", "Enfermedades ligadas a la seca del castaño en Huelva", "Avances en la producción de pasto y bellota en la dehesa mediante sensores próximos y remotos", "Guía práctica para la siembra de bellotas de encina" y "Avances para el control de la podredumbre radical en la dehesa: biofumigación".

La experimentación, desarrollo e innovación en el sector de la dehesa deriva de la ejecución de proyectos propios del IFAPA y contratos con diferentes actores del sector de la dehesa que solicitan la participación o colaboración con este organismo. La mayoría suelen llevar asociados programas de transferencia para difundir los resultados obtenidos a través de seminarios, talleres o jornadas de corta duración. Además, el IFAPA mantiene un contacto permanente con asociaciones ligadas a la dehesa y organismos especializados como el Equipo de Diagnóstico de la Seca, para el intercambio de información y formación relativa a este sistema. Entre las líneas más destacadas habrían de citarse:

- **Renovación del arbolado en la dehesa**

Proyectos NUTERA-DE I (2016-2019) y II (2019-2022). Nuevas técnicas de regeneración asistida del arbolado en dehesas.

- **Prevención y control de la enfermedad de la seca de la encina y la tinta del castaño**

Proyectos de demanda institucional PP.DEI.DEI201800.2 y PR.PEIT.IDF201901.004 para la gestión sostenible de la vegetación de la dehesa y los castaños, Contratos con la Mancomunidad de los Pedroches (CAICEM 162/2017 Y 175/2020) para la prospección y gestión de fincas afectadas por la enfermedad de la seca de la encina, y Convenios de desarrollo experimental con las empresas Montarsa Medioambiente SLU (2020) y Sulfato Cálcico Del Mediterráneo (2020) para la integración de medidas de control y prevención en el ámbito de la enfermedad de la seca de la encina.

- **Digitalización y sensorización de la dehesa**

Contrato con el Centro Tecnológico de Investigación Agroalimentaria (2021-2022) para la mejora en la digitalización y sensorización de la dehesa en relación a la evolución de la producción, cobertura y gestión de los pastos y el arbolado.

- **Evaluación de la producción de bellota**

Proyectos de demanda institucional PP.DEI.DEI201800.2 y PR.PEIT.IDF201901.004, y Convenios de desarrollo experimental con la empresa Bell Agro (2020) para la evaluación de características productivas de encinas de bellota dulce y su aptitud para el injerto.

Entre las propuestas para el futuro que incluimos para mejorar la transferencia estarían:

- Apoyar la investigación y experimentación en dehesa y orientarla a las necesidades de los productores.
- Mantener las vías existentes de comunicación y transferencia de resultados.
- Continuar elaborando material didáctico y de difusión entendible y accesible.
- Maximizar la coherencia entre prácticas recomendables/enseñadas y demandas de la administración.
- Mejor calidad que cantidad en la formación que se imparte y en actuaciones demostrativas, que sean tangibles y creíbles.

Nunca debemos olvidar que buena parte del éxito de la formación y la transferencia descansa en el factor humano y su credibilidad. El que asesora y forma, personaliza sus conocimientos y experiencia al manejo y personalidad del asesorado.





**Juan Pérez Gómez**  
Ingeniero Técnico Agrícola

E-mail: juandehesa21@hotmail.es

## MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE PLANTAS DEL GÉNERO *QUERCUS* RESISTENTES A *PHYTOPHTHORA* *CINNAMOMI RANDS*

Juan Pérez Gómez

.....

### Resumen

La seca de la encina representa un grave problema medioambiental para algunas zonas del suroeste de la península Ibérica, especialmente para la comarca del Andévalo. Supone la pérdida del bosque autóctono y por ello el colapso del ecosistema. Desde mi punto de vista es una catástrofe ecológica y debería tratarse como tal.

Para hacer frente a tal problema, he desarrollado un método basado en un diagnóstico previo. Somos ya muchos los que compartimos tal diagnóstico que detallaré en puntos siguientes.

### Antecedentes

#### DIAGNÓSTICO

Desde mi punto de vista, la seca de la encina es una enfermedad producida por un patógeno de nueva introducción procedente de Indonesia llamado ***Phytophthora cinnamomi Rands***. Este hongo fue descrito por vez primera en 1923 en Australia. Se aisló de las raíces del cinamomo, árbol de la canela, y a principios del siglo XX causó importantes daños en los bosques de eucalipto de Australia.

Cuando se produce la introducción de un patógeno que no ha coevolucionado con las especies del área a la que llega, y es capaz de atacar a alguna de ellas, éste provoca grandes daños en las poblaciones de la misma.

Si la especie atacada posee (codificado en su ADN) algún mecanismo de defensa frente a ese patógeno, con el paso del tiempo puede llegar al equilibrio con el mismo, a menos que la actividad antrópica lo impida.

Esto es lo que ha sucedido en el Andévalo Onubense, la acción humana ha impedido la reproducción de la encina y el alcornoque durante siglos, hemos condenado a dichas especies al estancamiento evolutivo, evitando que puedan adaptarse a ese gran cambio en el ambiente que supuso la llegada de *Phytophthora cinnamomi* Rands.

Afortunadamente todo apunta a que tanto la encina como el alcornoque poseen mecanismos de defensa frente a este patógeno, en mis trabajos buscando esa tolerancia ó resistencia, los datos son muy parecidos en las distintas repeticiones que he llevado a cabo (3).

Hay otras zonas donde el problema empieza a ser preocupante (Sierra de Huelva, Dehesas Extremeñas) pero estamos a tiempo de evitar lo ocurrido en buena parte del Andévalo. Poco a poco el hongo va llegando a estas nuevas zonas debido a sus múltiples y eficaces modos de dispersión: agua (con tierra en suspensión), aire (con polvo en suspensión), arado, pezuñas del ganado, botas de caminantes, ruedas y guardabarros de coches, heces del cerdo...

La infección inicial en los términos municipales más castigados del Andévalo fue brutal. Con los gradeos constantes que se llevan a cabo normalmente en el Andévalo, se expone al terreno a una fuerte erosión, la tierra contaminada llega a los barrancos que extienden el patógeno hasta cada rincón de nuestros valles. Después, el ganado con sus pezuñas, los arados, los caminantes con sus botas... llevan al hongo hasta las cimas.

Una vez instalado el patógeno va atacando a todos los individuos sensibles, que calculo pueden ser el 95% de los árboles originales.

## FACTORES AGRAVANTES

Existen una serie de factores que agravan aún más el daño que este patógeno produce en la encina, el alcornoque y otras fagáceas:

### 1. ESTANCAMIENTO EVOLUTIVO DE LAS MASAS ARBÓREAS

La acción del ser humano ha impedido durante siglos la normal regeneración de las especies arbóreas de nuestras dehesas. Ya de por sí, podríamos considerar a este factor como una causa de seca, debido a que produce el envejecimiento y debilitamiento de los árboles.

Este estancamiento evolutivo impide que las especies puedan adaptarse a los cambios que se producen en el ambiente, y la llegada de *Phytophthora cinnamomi* ha sido un cambio muy brusco.

La Teoría de Darwin dice que todas las especies poseen mecanismos para crear variabilidad genética y transferirla a su descendencia, la selección natural actúa después sobre ella seleccionando a los individuos mejor adaptados. Esta ley fundamental de la naturaleza ha sido violada por el manejo intensivo que hemos dado a nuestros montes.

La recuperación natural en el Andévalo llevaría siglos ya que apenas quedan encinas que produzcan bellotas, además en suelos fuertemente infectados por PCR es muy escasa la nascencia de jóvenes plantas, ya que su raíz suele morir antes de emitir el tallo, aún poseyendo algún mecanismo de defensa frente a este patógeno (necesidad de tener hojas para ponerlo en marcha).

Las causas de este estancamiento son:

- Pastoreo abusivo de bellotas
- Pastoreo abusivo de jóvenes plantas
- Arados continuos
- Etc...

## 2. CALENTAMIENTO GLOBAL

El cambio climático que estamos sufriendo está provocando que tengamos veranos más largos. Esto afecta directamente a la supervivencia de las pocas plantas que consiguen nacer en el otoño/invierno (estas son especialmente sensibles a la sequía durante el primer verano) y además aumenta el ritmo de decaimiento de árboles adultos.

## 3. PÉRDIDA DE SUELO, DE SU PERMEABILIDAD, FERTILIDAD Y MICROFLORA

El manejo intensivo que hemos dado a nuestros montes ha traído esta consecuencia, que debilita a los árboles y aumenta su ritmo de decaimiento. Las causas son:

- Arados en pendiente. Se produce una gran pérdida de suelo. Como alternativa está el empleo de desbrozadora para el control del monte que no erosiona, fertiliza, es más eficaz que la grada, no corta el ciclo de la vegetación herbácea, mejora la estructura del suelo y por ello la aireación, la infiltración del agua de lluvia...

- Pastoreo abusivo que provoca la compactación del suelo (reducción de la infiltración del agua de lluvia, aumenta el efecto de las sequías...). También reduce la fertilidad, provoca la inversión de la flora, erosión, reducción del porcentaje de materia orgánica...

#### 4. DESTRUCCIÓN DE ACUÍFERO SUPERFICIALES.

Las masas superficiales de agua subterránea son muy importantes para algunas especies como el alcornoque, si destruimos esos acuíferos superficiales podemos dejar a dichos árboles fuera de su límite biológico. A mi juicio la apertura de pozos no está respaldada por un estudio geológico profundo por lo que al perforar buscando aguas más profundas podemos atravesar el lecho impermeable de un embalsamiento superior y vaciar éste en el más profundo.

## Material y métodos

Además de favorecer la regeneración natural del arbolado, aplicar medidas para reducir y retrasar la expansión del patógeno en las zonas afectadas y de fortalecer a los árboles para tratar de retrasar su senescencia y con ello ganar tiempo, veo muy interesante la reforestación con plantas resistentes a *Phytophthora cinnamomi* Rands, y para ello he desarrollado un **"MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE PLANTAS DEL GÉNERO QUERCUS RESISTENTES A PHYTOPHTHORA CINNAMOMI RANDS"**.

El método consiste en poner en contacto en el vivero a las plantas y al patógeno, las plantas asintomáticas (trascendido el tiempo oportuno) irán a campo para realizar con ellas la reforestación. Los pasos a seguir son:

Recogida de bellotas; preferentemente de encinas fuertes que se encuentran en focos de seca.

- Desinfección de las mismas.
- Siembra en bandejas de alveolos.
- Aislado del patógeno en la finca donde se vaya a realizar la reforestación.
- Inoculación de las plantas con dicho aislado.
- Analíticas para asegurarnos de que se ha producido la infección.
- Evaluación de los resultados.
- Desinfección de las plantas asintomáticas.
- Plantación en campo.
- Seguimiento.

¿Qué se obtiene con este método?

- Población de plantas procedente de polinización natural con un carácter en común, poseer algún mecanismo de defensa frente a *Phytophthora cinnamomi* Rands.
- Cada planta posee su propia molécula de ADN y diferente a las demás, por ello la variabilidad genética de la población obtenida es máxima. Así, la población es muy resiliente frente a cualquier cambio ambiental (cambio climático, introducción de otro patógeno...).
- Los mecanismos de defensa frente a este patógeno presentes en dicha población pueden ser múltiples.
- A su vez, cada mecanismo de defensa puede estar codificado por uno o varios genes por lo que la resistencia obtenida frente a este patógeno es poligénica. Esto confiere una gran resiliencia frente a cambios en el patógeno (recombinaciones al azar durante la meiosis, mutaciones, introducción de otra cepa...).

## Resultados

### AÑO 2011, RESULTADOS EN JULIO DE 2012

ENCINAS	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS/MUERTAS
145 100%	17 11,7%	128 88,3%

### AÑO 2019, RESULTADOS JULIO DE 2020

ENCINAS	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
168 100%	21 12,5%	136 81%	11 6,5%
ALCORNQUES	ASINTOMÁTICOS	CON SÍNTOMAS	MUERTOS
91 100%	12 13,2%	72 79,1%	7 7,7%
TOTAL	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
259 100%	33 12,7%	208 80,3%	18 6,9%

### AÑO 2019, TESTIGOS

	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
ENCINAS	31 25 80,6%	4 12,9%	2 6,5%
ALCORNQ	36 22 61,1%	11 30,6%	3 8,3%

AÑO 2020, RESULTADOS DICIEMBRE DE 2020

ENCINAS	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
239 100%	41 17,2%	177 74%	21 8,8%
ALC, COS, MES	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
33 100%	5 15,2%	25 75,7%	3 9,1%
TOTAL	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
272 100%	46 16,9%	202 74,3%	24 8,8%

AÑO 2020, TRAS 10 MESES EN CAMPO

ENCINAS	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
239 100%	35 14,6%	180 75,3%	24 10,1%
ALC, COS, MES	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
33 100%	5 15,2%	25 75,7%	3 9,1%
TOTAL	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
272 100%	40 14,7%	205 75,4%	27 9,9%

AÑO 2020 TESTIGO, ENCINA

TOTAL	ASINTOMÁTICAS	CON SÍNTOMAS	MUERTAS
34	30 88,2%	3 8,8%	1 3%

## Conclusiones

Analizando la tabla de resultados puede verse como los porcentajes de plantas asintomáticas, con síntomas y muertas en las distintas repeticiones del ensayo no tienen una diferencia llamativa.

Los datos de los testigos sí difieren mucho con los de las plantas inoculadas, especialmente en encina. En alcornoque, el porcentaje de plantas totalmente asintomáticas del testigo baja notablemente con respecto a la encina, pero hay que tener en cuenta que la evaluación se hizo cuando la planta tenía 20 meses y es complicado mantener con buen color a las plantas de esta especie durante tanto tiempo en alveolos.

Los criterios de recogida de bellota, siembra e inoculación han sido los mismos cada año, pero el manejo tras la inoculación del año 2020 fue diferente, tratando de adelantar los síntomas. Se consiguió el objetivo pero se reduce la precisión del método, aumentando algo el porcentaje de asintomáticas. Como ventaja tenemos las plantas listas para plantar con una savia.



## Ricardo Alarcón Roldán

Director Técnico del Equipo de Diagnóstico de la Seca

**Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera  
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible  
Junta de Andalucía**

E-mail: eds.cagpds@juntadeandalucia.es

Teléfono: 955 03 26 16

# EL EQUIPO DE DIAGNÓSTICO DE LA SECA, UNA HERRAMIENTA DESDE LO PÚBLICO PARA LA DEHESA

Ricardo Alarcón Roldán<sup>1</sup>

M.<sup>a</sup> Luisa Sillero Almazán<sup>2</sup>

.....

## Introducción (dehesa y seca)

En las últimas décadas del siglo XX, se empezó a observar la aparición de un número elevado de ejemplares de encinas y alcornoques vegetando con dificultad y que, con frecuencia, acababan muriendo. Esta situación se englobó bajo el término de “seca”, representando un estado del arbolado en el que, sin entrar a determinar su origen, se aprecia un deterioro del mismo que puede acabar en su muerte.

Con el paso del tiempo, la “seca de los *Quercus*” se ha convertido en un término coloquial asociado a un tipo de daño que afecta al arbolado de las dehesas y otros montes de *Quercus* (alcornocales y encinares densos) y que se caracteriza por mostrar un desarrollo vegetativo deficiente, lánguido, moribundo, pudiendo llegar a morir. Este progresivo deterioro y muerte de árboles, junto con la falta de regeneración del arbolado, son motivos de honda preocupación social, tanto en Andalucía como en el resto de su ámbito de distribución en España y Portugal, una preocupación que trasciende la vertiente productiva o ambiental de la dehesa.

---

<sup>1</sup> Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía

<sup>2</sup> Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (AMAYA). Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía

Los síntomas asociados a la "seca" son inespecíficos y similares a los provocados por otras afecciones que provocan la desecación total o parcial de la planta, observándose frecuentemente una pérdida progresiva de hojas, aunque también puede manifestarse como una muerte súbita del árbol. Este concepto, ampliamente adoptado por la sociedad, engloba situaciones semejantes, pero provocadas por causas diferentes, haciendo imposible encontrar una solución única para todas ellas. Sólo la realización de un diagnóstico de laboratorio, que determine a los agentes nocivos implicados y el grado de participación de cada uno de ellos, permitirá clarificar la situación. La identificación del agente (o agentes) responsable supondrá el abandono del término "seca" en favor del correspondiente en función de la causa establecida.

En este sentido, es crucial detectar la posible presencia de patógenos de suelo responsables de la enfermedad conocida como podredumbre radical, dada su importante relación con los procesos de mortandad de las especies del género *Quercus*. Estos patógenos son oomicetos del género *Phytophthora*, fundamentalmente *Phytophthora cinnamomi*, pero también diferentes especies del género *Pythium* y su detección y aislamiento es fundamental para establecer un diagnóstico, pasando en este caso de hablar de un problema genérico de "seca" a hablar de podredumbre radical de los *Quercus*.

Otra enfermedad causada por *Phytophthora cinnamomi*, y otros patógenos del género *Phytophthora*, es la tinta del castaño que afecta a esta especie y que está extendida por todo el norte de España, habiendo destruido muchos castaños y llegando posteriormente a zonas más bajas, como Salamanca. En Andalucía no ha sido señalada aún con carácter grave, apareciendo en rodales de extensión variable según las zonas, así como en árboles individuales muertos y puntisecos.

## El Equipo de Diagnóstico de la seca (EDS)

Dicha dificultad para identificar la causa o causas claras (bióticas o abióticas) que pueden estar detrás de la muerte del arbolado de la dehesa, así como la complejidad que entraña la gestión de una zona arbolada con podredumbre radical, es lo que animó a la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía a poner en marcha un servicio que ayudara a los propietarios de las dehesas y montes de *Quercus* a identificar el agente o agentes causales responsables de la "seca" y poder ofrecerle las recomendaciones adecuadas en base al conocimiento científico disponible.

El EDS nace, por tanto, como un servicio público que ofrece apoyo y asesoramiento a propietarios de dehesa, montes de *Quercus* y formaciones de castaño para el diagnóstico de la causa que se encuentra detrás del deterioro que presentan estas formaciones arbóreas, proporcionando recomendaciones oportunas para una mejor gestión fitosanitaria y de manejo de las mismas, principalmente enfocada a la prevención y/o gestión de la podredumbre radical. Este servicio es gratuito, disponible para todos aquellos propietarios de terrenos de montes de *Quercus* o formaciones de castaño de Andalucía que lo soliciten.

El diseño de este servicio se basa en la amplia experiencia de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible en materia de sanidad forestal, fruto de una amplia coordinación interna y como herramienta de transferencia de tecnología y actividades I+D+i.

## Funcionamiento del Equipo de Diagnóstico de la Seca

El EDS está formado por un equipo técnico de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía que cuenta con la participación de la Red de Laboratorios de Producción y Sanidad Vegetal de la CAGPDS (AGAPA) y con el apoyo técnico y de conocimiento de un grupo asesor.

La labor del Equipo de Diagnóstico de la Seca comienza por iniciativa de una persona solicitante de los trabajos, la cual puede ser la propiedad o una representación de ésta. Esta solicitud se realiza de forma telemática desde el *Catálogo de Procedimientos y Servicios* de la página web de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía (<https://juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/servicios/procedimientos/detalle/19371/como-solicitar.html>). Dentro de este apartado se puede acceder al formulario de solicitud, así como al trámite electrónico para el envío de la solicitud, siendo necesario, para la tramitación electrónica, disponer de certificado digital.

Con objeto de facilitar el acceso a los servicios del EDS, sobre todo, para aquellos solicitantes que no dispongan de certificado digital, se cuenta con la colaboración de las organizaciones profesionales agrarias y forestales de Andalucía, así como con las Oficinas Comarcales Agrarias (OCA), la unidad administrativa de la Consejería más cercana al medio rural y donde los interesados son atendidos, se recaban los datos necesarios y se les informa sobre el funcionamiento del servicio, pudiendo realizar la solicitud los propios técnicos de estas entidades colaboradoras. Los datos necesarios para la realización de la solicitud son muy sencillos pero a la vez se necesita que estén cumplimentados en su totalidad de cara a facilitar el trabajo posterior del EDS.

Una vez recibida la solicitud del EDS, el equipo técnico que forma parte del mismo procesa la misma y contacta con el propietario, solicitante o persona de contacto establecida, para realizar una visita de campo. Previamente a la visita, se realiza un importante trabajo de gabinete donde se analizan los datos aportados en el formulario de solicitud y se prepara toda la información necesaria para que la visita de campo sea lo más completa y fructífera posible.

Esta visita de campo es el eje central del trabajo del EDS, en la misma, el personal técnico del EDS, acompañado de una persona conocedora de la explotación, realiza un análisis y caracterización del estado de la misma, recopilando datos de su manejo, situación actual y pasada, e identifica y localiza las zonas en las que se evidencian síntomas de deterioro o mortandad del arbolado. Estos datos tomados

en campo son fundamentales para establecer un correcto diagnóstico del estado fitosanitario del arbolado y posterior análisis de resultados.

El EDS trabaja con un enfoque integral, intenta abordar de manera global la problemática de la dehesa y trata de identificar las causas que pueden estar detrás de la muerte del arbolado. Sin embargo, dada la gran importancia que tiene la presencia de los patógenos de suelo *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spiculum* como responsables de graves problemas de mortandad de las especies de *Quercus* de las dehesas españolas, el equipo técnico del EDS lleva a cabo un seguimiento especial de dichos organismos nocivos. Para ello, es fundamental la visita de campo en la que se identifican posibles síntomas de podredumbre radical, así como la localización y delimitación de focos de podredumbre radical, siendo uno de los procesos más importantes durante la misma la localización de los árboles adecuados para la toma de muestras de suelo y el propio proceso de toma de las mismas.

Una vez recogidas y codificadas las muestras de tierra y raíz, se envían a los laboratorios de Sanidad Vegetal de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, donde se realizan los análisis necesarios para el posible aislamiento de los patógenos relacionados con la enfermedad de la podredumbre radical y la tinta del castaño.

## Informe de diagnóstico y recomendaciones

Con la información recabada en la visita a la explotación, la toma de muestras y los resultados de laboratorio, el EDS redacta un informe técnico en el que se identifica la causa o las causas responsables de la mortandad del arbolado y se realizan una serie de recomendaciones en función del agente causal. Especial importancia reciben las recomendaciones en aquellos casos en los que se detecta un problema de podredumbre radical por la presencia de *Phytophthora cinnamomi* o *Pythium spiculum*. Este informe se hace llegar de manera directa al solicitante de los trabajos del EDS, explicándole con detalle el diagnóstico y el contenido del informe, con especial hincapié en las recomendaciones de gestión de la podredumbre radical.

Uno de los apartados de mayor importancia dentro de este informe es la identificación y delimitación del foco de podredumbre radical al objeto de intentar que el patógeno se mantenga dentro del mismo y no se expanda al resto de la explotación o a fincas vecinas. De esta forma, las recomendaciones van dirigidas a que la enfermedad quede aislada dentro de los límites del foco y a reducir la severidad de los síntomas del arbolado.

En definitiva, el objetivo de los trabajos del EDS es el proporcionar al propietario y/o gestor de formaciones arboladas con podredumbre radical o tinta del castaño, las herramientas suficientes, en cuanto a información y conocimiento técnico disponible, para que pueda aplicarlas para frenar la propagación de esta enfermedad y tratar de minimizar los daños causados por la misma.

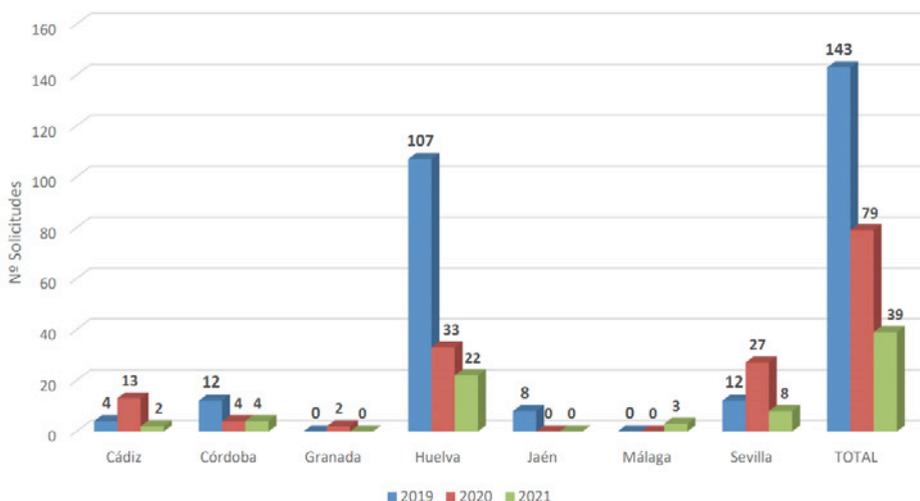
## Resultados (datos actualizados a 30 de septiembre de 2021)

### Número de solicitudes

A fecha de septiembre de 2021, se han recibido 261 solicitudes desde el inicio del EDS en octubre de 2019, de las cuales, el 55% se recibieron en los primeros meses de trabajo del EDS. Esta cifra ha ido disminuyendo en el año 2020 en la que se recibieron 79 solicitudes y en lo que lleva de 2021 se han recibido 39 solicitudes.

Por provincia, Huelva es la que mayor número de solicitudes ha recibido, en total, 162, seguida de Sevilla, con 47 solicitudes, Córdoba con 20, Cádiz con 19 y por último, Jaén y Málaga, con 8 y 3 solicitudes respectivamente.

Nº Solicitudes EDS por año

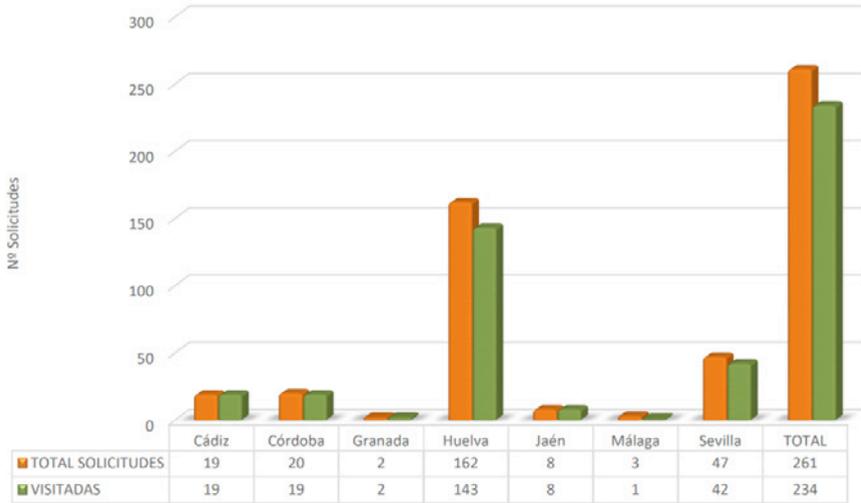


### Fincas visitadas

A la fecha de la última actualización de los datos del EDS, se han visitado 234 fincas de dehesa, un 90% del total de solicitudes.

Los trabajos del EDS están condicionados por la época del año en la que la probabilidad de aislamiento de los patógenos relacionados con la podredumbre radical es mayor, la cual se corresponde con condiciones de humedad del suelo próximas al 70% y temperaturas suaves. Por tanto, las visitas a las fincas que realizan solicitud de los trabajos del EDS se ven afectadas por esta estacionalidad, debiendo concentrar las salidas de campo a épocas del año muy concretas.

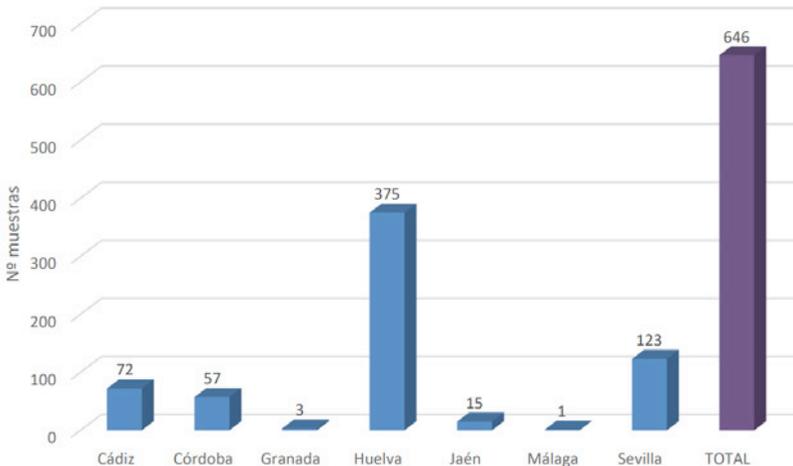
### Total fincas visitadas



### Número de muestras recogidas

De las 234 explotaciones visitadas, se han recogido un total de 646 muestras de suelo y raíces. Huelva es la provincia donde se han recogido más muestras, un total de 375, le sigue Sevilla con 123, Cádiz con 72, Córdoba con 57, Jaén con 15, Granada con 3 muestras y, por último, Málaga en la que se recogió una muestra.

### Total muestras EDS



## Patógenos identificados

Estos resultados muestran tasa de aislamiento de *P. cinnamomi* y *P. spiculum* bastante igualada, en un total de 43 muestras y 41 respectivamente. En un total de 17 muestras se ha aislado *Phytophthora* sp. a nivel de género. Destacar que en un total de 9 muestras se ha aislado *P. cinnamomi* y *P. spiculum* en una misma muestra.

En este punto se muestran los resultados a nivel de muestra. En los casos en los que se ha aislado más de un patógeno por muestra, éstos se han agrupado, tal y como se muestra en el siguiente gráfico.



En cuanto a los resultados detectados por muestra a nivel provincial, tal y como se muestra en el siguiente gráfico, hay un claro predominio de aislamiento de *P. cinnamomi* en Huelva frente a *Pythium spiculum* en Cádiz y Sevilla.



## Conclusiones

Buena acogida inicial del EDS por parte del sector, como así lo demuestra el elevado número de solicitudes en los primeros meses del EDS. El menor número de solicitudes recibidas durante el último año refleja una falta de difusión del EDS en el sector, o bien, una disminución del interés del sector en el estado fitosanitario de la dehesa.

El bajo número de solicitudes de Jaén y Málaga y el de Córdoba, en relación al total de superficie de dehesa, muestra una escasa alarma frente a la podredumbre radical de las dehesas de estas provincias, con lo que sería necesario fomentar la prevención de infectación por podredumbre radical.

El alto porcentaje de negativos por muestra demuestra la dificultad para aislar patógenos de podredumbre radical, o bien, que la podredumbre radical no está detrás de todos los procesos de deterioro o muerte de *Quercus*.

Existe un claro predominio de *Phytophthora cinnamomi* en Huelva y *Pythium spiculum* en el resto de provincias.

Para más información:

Puede contactar con el Equipo de Diagnóstico de la Seca de Andalucía (EDS) en el correo electrónico [eds.cagpds@juntadeandalucia.es](mailto:eds.cagpds@juntadeandalucia.es)

También dispone de más información sobre el EDS, así como material divulgativo sobre el problema de la "seca" y la podredumbre radical de los *Quercus* en la siguiente web,

<https://juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/areas/agricultura/sanidad-vegetal/paginas/eds.html>





**Junta de Andalucía**  
Consejería de Agricultura, Ganadería,  
Pesca y Desarrollo Sostenible