



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Resistencia de *Quercus ilex* de varias poblaciones del suroeste de España a la sequía y a *Phytophthora cinnamomi*

FERNÁNDEZ GARCÍA, M.L.¹, CANUTO AMARAL, G.¹, SORIANO BERMÚDEZ, J.J.¹, QUEVEDO DÍAZ, A.¹, FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M.¹ Y TAPIAS MARTÍN, R.¹

¹ Departamento de Ciencias Agroforestales de la Universidad de Huelva.

Resumen

La encina es una especie ampliamente distribuida en la cuenca mediterránea con gran importancia socioeconómica. El Cambio climático y la enfermedad de la seca amenazan la supervivencia de esta especie. Así, el objetivo principal es la evaluación de familias según su tolerancia a la sequía y a *Phytophthora cinnamomi*. De este modo, plantas de 24 familias del suroeste de la península ibérica (Andévalo, Extremadura y Sierra) fueron sometidas a ciclos de sequía y a infección por *P. cinnamomi*. Se evaluó el crecimiento en altura y diámetro, defoliación, mortalidad y producción de biomasa seca. Las familias F2 y F24, son las que presentaron las mejores características de crecimiento y resistencia a los efectos del estrés hídrico. Mientras las familias F9, F23 y F51, obtuvieron menor mortalidad tras la infección y están entre las plantas con mayor peso de biomasa seca total, indicando que pueden ser buenos candidatos para realizar la posterior propagación de genotipos. De una forma general las plantas de las familias localizadas en la zona de Extremadura mostraron mejor desarrolló y son más resistentes a la sequía y a la infección por *P. cinnamomi*.

Palabras clave

Encina, estrés hídrico, *Phytophthora cinnamomi*, mortalidad, crecimiento.

1. Introducción

Desde hace algunas décadas, se ha venido observando un espectacular descenso del número de árboles del género *Quercus* en las dehesas mediterráneas (Cobos et al., 1993), provocado por un conjunto de factores, que, en suma, son la causa de lo que se ha denominado como “el decaimiento” de los *Quercus*. Esta enfermedad forestal de etimología compleja, se caracteriza porque origina un deterioro progresivo y generalizado del árbol, hasta causar su muerte (Trapero et al., 2006).

De entre todos los factores contribuyentes, se ha señalado a *P. cinnamomi* como el factor que está afectando con mayor gravedad al decaimiento y seca de los *Quercus*, dada su presencia en la mayoría de zonas afectadas y las graves consecuencias de su acción (Moreira et al., 1993; Brasier, 1993; Brasier et al., 1993; Cobos et al., 1993). *P. cinnamomi* es un oomiceto presente en el suelo, ampliamente distribuido por todo el mundo. Es la especie de su género más común y destructiva, afectando principalmente a especies forestales (Zentmeyer, 1980), a las que ataca sus raíces reduciendo la capacidad de los árboles para absorber el agua y los nutrientes del suelo, originando unos síntomas iniciales parecidos a los que causa la sequía. Las evidencias que relacionan a *P. cinnamomi* con el decaimiento se han basado en la presencia del patógeno en individuos en los que se observa la misma sintomatología, la cual está caracterizada por la marchitez y muerte de la parte aérea, súbita o lentamente (Sanchez et al., 2000) empezando generalmente por la copa, la aparición de chancros sangrantes en el tronco de algunos pies afectados y la producción de brotes adventicios, todo ello indicativo de algún tipo de estrés radical (Brasier, 1996), y finalmente el decaimiento crónico que lleva a la muerte del árbol afectado al cabo de una o dos estaciones (Ragazzi et al., 1989).

Es conveniente conocer ciclo de vida de este patógeno y las diferentes estrategias de supervivencia para comprender mejor como actúa. En estado vegetativo, *P. cinnamomi* forma un micelio de hifas finas, hialinas, de estructura coraloide y con protuberancias (EPPO, 2004). Este

micelio desarrolla estructuras de reproducción asexual, que corresponden a esporangios elipsoidales no papilados. Los esporangios pueden germinar directamente en condiciones favorables generando nuevas hifas, o generan zoosporas biflageladas (principales formas infectivas), ante determinadas condiciones ambientales como descenso de la temperatura, alto contenido hídrico, alto potencial iónico o aireación (Chen y Zentmyer, 1970). Y también desarrolla una fase sexual, en la que se generan oosporas tras la unión de anteridios y oogonios. Cuando las condiciones del sustrato son desfavorables (suelos secos), el micelio desarrolla otro tipo de esporas, llamadas clamidiosporas. Son estructuras de resistencia capaces de permanecer hasta 6 años en el tejido de las plantas hospedantes o en suelos con un mínimo contenido de agua (O'gara et al., 2005). A la llegada de las condiciones favorables, las clamidiosporas eclosionan generando nuevas hifas de las que rápidamente surgirán nuevas clamidiosporas y esporangios, los cuales producirán nuevas zoosporas con las que seguir infectando otras partes de la planta o nuevos huéspedes (Hardham, 2005; O'gara et al., 2005).

En la búsqueda de tratamientos para paliar la enfermedad del decaimiento en los *Quercus*, no conviene pensar en una única solución eficaz, dada la complejidad con que actúan los factores implicados. Es por tanto aconsejable, aunar diferentes actuaciones que vayan encaminadas a paliar los diferentes factores implicados. Así, los manuales de buenas prácticas culturales en el manejo de las dehesas (Navarro et al., 2000 a y b), se postulan como una actuación preventiva frente a los factores “que predisponen” a la enfermedad. Por su parte, las cambiantes condiciones climáticas no son controlables por la acción humana, pero son predecibles en cierta medida y, en este sentido, se pueden anticipar actuaciones dirigidas a paliar periodos de sequía y de incremento de temperaturas, que tanto afectan al estado vegetativo de los árboles, y que además favorecen el ataque de insectos y patógenos. Sobre las enfermedades y patologías que lo causan, las investigaciones llevadas a cabo han ido dirigidas tanto a la búsqueda de métodos paliativos, como por ejemplo, la aplicación de compuestos fungicidas (Fernández Escobar et al., 1999; Navarro Cerrillo et al., 2004), o los estudios moleculares sobre la interacción planta-patógeno (Horta et al., 2008; Maia et al., 2008; Coelho et al., 2006), como a la búsqueda de actuaciones preventivas, por ejemplo, el control de plagas (Fernández Rebollo, 2007; Domínguez Nevado, 2008; López Pantoja, 2008) y los estudios de resistencia/tolerancia que permiten la selección y propagación de individuos elite (Tapias et al., 2005 y 2008; León Sánchez, 2013; León et al. 2017).

2. Objetivos

El objetivo de este ensayo es la selección de individuos elites tolerantes a la sequía y a *P. cinnamomi* para la posterior propagación de estos genotipos.

3. Metodología

El experimento se desarrolló en el área experimental de la Universidad de Huelva, Huelva, España, (latitud 37° 12'003" N, longitud 6° 54'53" W y altitud 5 m), realizado en invernadero. Durante todo el período del ensayo, la temperatura y la humedad del aire dentro del invernadero se mantuvieron en condiciones ambientales. El experimento consta de dos fases: inicialmente las plantas fueron sometidas a ciclos de sequía, e, posteriormente a la infección con el patógeno para evaluar su resistencia a ambas circunstancias.

Plantas de encinas (*Quercus ilex*) germinadas de bellotas con un año de edad aproximadamente, con tamaño medio de 55 cm altura y 4.13 mm de diámetro fueron plantadas en cajas de poliestireno expandido 492 x 412 x 260 mm (largo x ancho x alto interior) relleno con perlita hasta el cuello de la raíz. Para el ensayo se han seleccionado 24 familias (tabla 1) del suroeste de la península ibérica, con un total de 6 plantas por familia, las cuales se han plantado en 12 cajas, con 12 plantas cada caja dispuesta aleatoriamente.

Después de trasplantar a las cajas, las plantas pasaron por un período de establecimiento de acerca de 15 días. Al inicio del ensayo las plantas recibieron un riego inicial a capacidad de campo y

después se sometieron a ciclos de sequía de progresiva intensidad que consiste en dejar de regar hasta alcanzar niveles de humedad cada vez más bajos. Los ciclos tuvieron distinta duración según la época del año variando entre los dos meses en invierno y los 20 días en verano. El riego de las cajas que contenían las plantas se realizó en base al pesaje, con reposición del agua perdida por evapotranspiración (Freire et al. 1980). El experimento de sequía duró un año.

Tabla 1. Familias y localización de las Encinas estudiadas.

Región	Familia	Ubicación	Coordenadas	Peso bellota
EXT	2	Alburquerque (Ba)	39° 9'44.64"N 6°54'6.12"W	5.57
EXT	3	Alburquerque (Ba)	39°10'21.72"N 6°54'17.28"W	4.61
SIERRA	4	Almonaster la Real (Hu)	37°50.475 6°47.603	2.79
SIERRA	7	Almonaster la Real (Hu)	37° 50'38.0"N 6° 47'43.1"W	7.99
SIERRA	9	Almonaster la Real (Hu)	37° 50'38.8"N 6° 47'51.4"W	5.05
AND	10	Paymogo (Hu)	37°41.936 7°21.955	4.56
AND	11	Paymogo (Hu)	37°41.510 7°21.808	5.46
AND	12	Paymogo (Hu)	37°41.756 7°21.440	4.07
AND	13	Paymogo (Hu)	37°42.365 7°22.293	4.78
AND	14	Paymogo (Hu)	37°42.432 7°22.466	7.67
AND	16	Paymogo (Hu)	37°39.982 7°24.711	3.24
AND	17	Paymogo (Hu)	37° 40'19.7"N 7° 23'47.6"W	6.01
AND	18	S. Bartolomé (Hu)	37°26.655 7°12.893	9.37
AND	19	S. Bartolomé (Hu)	37°26.828 7°13.039	2.38
AND	20	S. Bartolomé (Hu)	37°27.087 7°12.807	2.62
AND	21	Palos de la Front (Hu)	37° 12'10.5"N 6° 55'14.5"W	8.98
AND	22	El Saucejo (Se)	37° 06'21.6"N 5° 05'03.4"W	4.68
EXT	23	Olivenza (Ba)	38° 38'34.2"N 7° 07'30.6"W	11.69
EXT	24	Higuera la Real (Ba)	38° 08'14.6"N 6° 42'15.8"W	11.94
EXT	25	Higuera la Real (Ba)	38° 08'15.4"N 6° 42'22.9"W	6.79
EXT	26	Higuera la Real (Ba)	38° 08'14.2"N 6° 42'22.6"W	9.24
SIERRA	51	El Madroño (Se)	37° 38'04.0"N 6° 25'56.6"W	7.25
SIERRA	53	El Madroño (Se)	37° 38'10.5"N 6° 27'10.7"W	4.49
SIERRA	54	El Madroño (Se)	37° 38'07.0"N 6° 27'03.6"W	5.91

Durante el período experimental de la fase sequía se evaluó el crecimiento en altura y diámetro a los días 1, 120 y 240 de ensayo. La altura medida con una regla (precisión de 0,1 cm) y diámetros con un calibre digital (precisión de 0,01 mm). Además, también se evaluó el porcentaje de mortalidad y defoliación.

Después de pasar por la fase de sequía, las plantas vivas pasaron por un período de recuperación y luego fueron sometidas a la infección por patógenos. Las plantas han sido inoculadas con tres cepas de *Phytophthora cinnamomi*, se añadió 300 gramos de patógeno (cultivado anteriormente en medio V8 en sustrato de vermiculita y semillas de avena) por caja, dejando una de las cajas como control. Estas cajas infectadas se sometieron a un encharcamiento durante 3 días consecutivos y posteriormente se drenó el agua sometiendo a un periodo de estrés hídrico severo. Estos ciclos se repitieron con una periodicidad mensual aproximadamente en los que se volvió a encharcar todas las cajas durante otros tres días, con el objetivo de reactivar el patógeno y aumentar su capacidad infectiva. Por último, tras haber pasado un año de la primera infección se volvió a realizar una segunda infección del mismo modo, con un encharcamiento de 6 días en este caso.

Durante todo el periodo de tiempo que ha durado el ensayo se ha evaluado la resistencia de cada genotipo. Para ello, se tomaron medidas de diámetro y altura de cada planta al inicio del ensayo y al final de este. Además, semanalmente se ha realizado un control de supervivencia determinando el grado de afectación de cada planta. Y finalmente, se ha determinado la biomasa total de cada planta.

Para analizar el crecimiento de las diferentes familias de encinas a los tratamientos de sequía e infección por *P. cinnamomi*, los datos fueron sometidos a análisis de variancia (ANOVA) y, cuando fue significativo las medias fueron comparadas mediante el de Tukey ($p \leq 0,05$).

4. Resultados

Respuesta al estrés hídrico

El crecimiento en altura fue muy reducido en los primeros 120 días del ensayo en el conjunto de las familias, sin embargo, a los 240 días se observaron diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de las familias (Fig. 1). 5 de las 24 familias no tuvieron un crecimiento significativo en altura durante todo el ensayo (F22, F23, F24, F26 y F54, Fig. 1A). dentro de este grupo destaca la familia F22 con un crecimiento de apenas un 4,2% en relación al inicio del ensayo. En el extremo opuesto se encuentra la familia F2 que tuvo un incremento en altura del 40,4%.

La comparación del incremento de altura presentó diferencias estadísticamente significativas entre las familias (Fig. 1B). Destacó la F2 con un incremento 87,6% mayor que el crecimiento de la F22 (familia que presentó menor incremento a pesar de tener alturas iniciales superiores a la media).

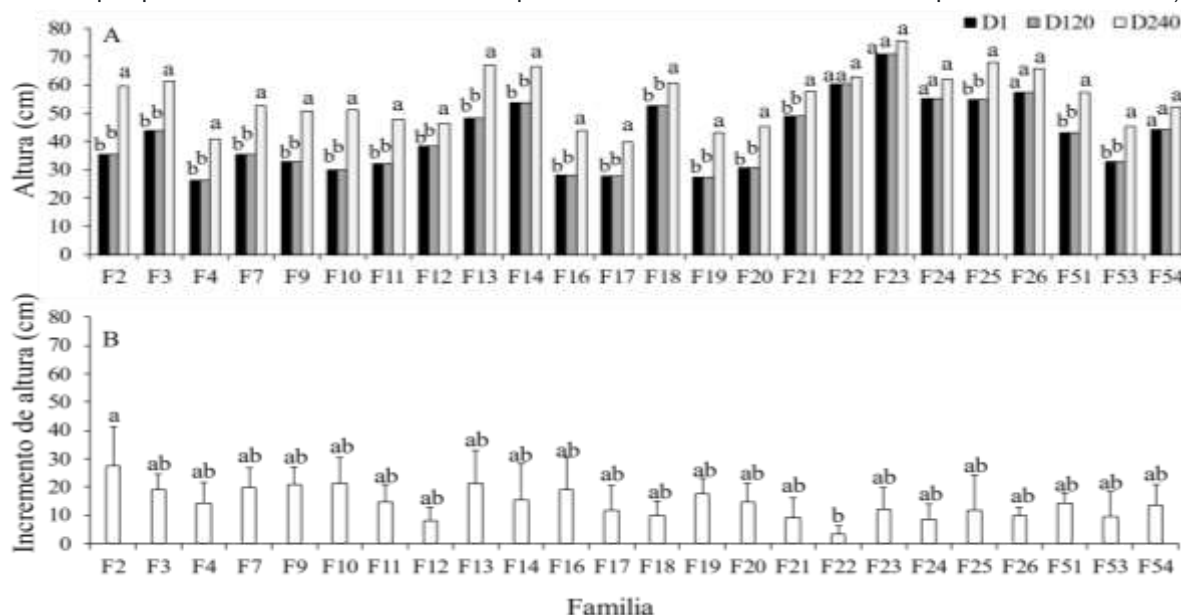


Figura 1. Altura (A) y crecimiento en altura en 240 días (B) de diferentes familias de encinas sometidas a ciclos de sequía. Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p \leq 0,05$) entre días para altura (A) y entre las familias para el incremento de altura (B). Los valores representan medias \pm error típico.

El comportamiento del crecimiento en diámetro fue estadísticamente diferente entre fechas y familias (Fig. 2). El crecimiento del diámetro hasta los 120 días de ensayo es pequeño, pero a los 240 días hay un efecto significativo para todas las familias. Destaca la familia F24 que, a pesar de no tener un crecimiento en altura significativo durante el ensayo, presentó para el diámetro un comportamiento contrario y logró el mejor crecimiento de todas las familias, seguido por la F18. Además, la F24 presentó crecimiento a los D240 32,6% mayor que el D1 (Fig. 2A).

Se encontraron diferencias significativas en el incremento de diámetro entre familias (Fig. 2B), la F24 presentó el mayor incremento, que fue un 50,3% mayor que el crecimiento de la F16 (familia con menor incremento).

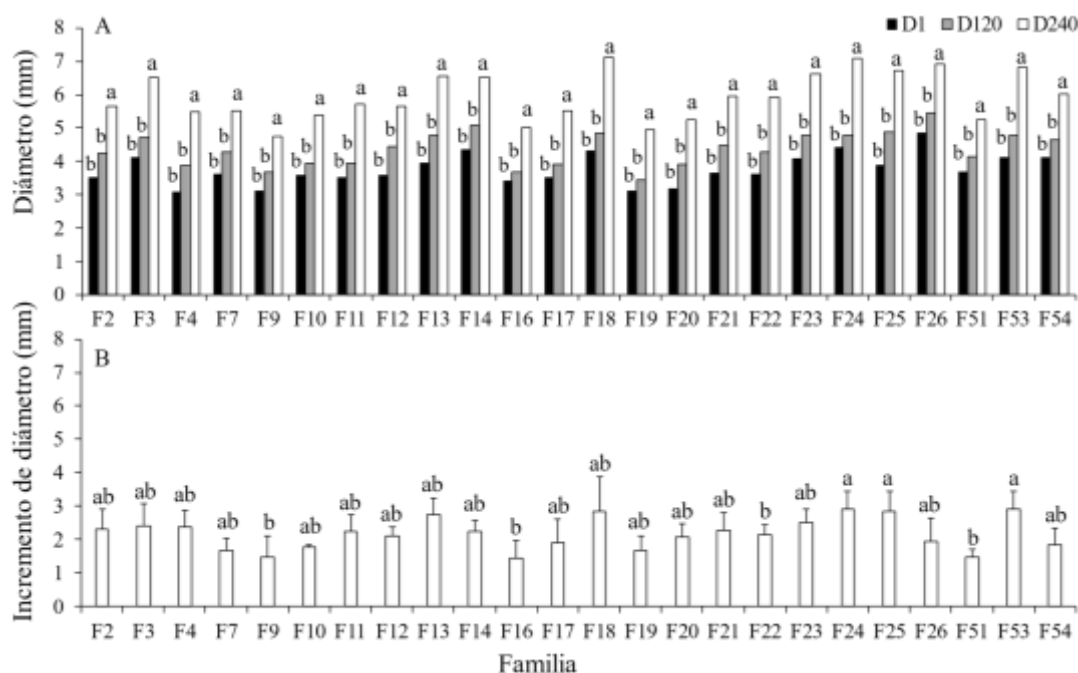


Figura 2. Diámetro (A) e incremento de diámetro a los 240 días (B) de diferentes familias de encinas sometidas a ciclos de sequía. Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p \leq 0,05$) entre días para diámetro (A) y entre las familias para el incremento de diámetro (B). Los valores representan medias \pm error típico.

En la tabla 2 se muestra el efecto de la sequía sobre la supervivencia y la defoliación de las familias. El porcentual de defoliación fue más severo en la F23 seguido de las F51 y F17, donde las plantas perdieron aproximadamente 25,6%, 24,7% y 24,6% de las hojas respectivamente. La mortalidad estuvo presente en la mitad de las familias estudiadas y con un porcentaje máximo de 16,7%. La mitad de las familias tuvieron una defoliación superior al 10% y resistieron el estrés y pudieron recuperarse. Destacan por su baja defoliación y mortalidad las familias F13, F22 y F54, pues obtuvieron defoliación \leq a 2,7% y 0% de mortalidad.

Tabla 2. Media del porcentaje de defoliación y mortalidad de plantas al final de la fase experimental sequía.

Familia	Defoliación (%)	Mortalidad (%)
2	9.2	0.0
3	19.5	16.7
4	23.4	16.7
7	12.6	0.0
9	8.3	0.0
10	23.8	16.7
11	18.2	16.7

12	21.9	16.7
13	2.4	0.0
14	4.4	0.0
16	10.3	0.0
17	24.6	16.7
18	21.6	16.7
19	9.8	0.0
20	21.8	16.7
21	19.3	16.7
22	2.0	0.0
23	25.6	16.7
24	10.3	0.0
25	22.2	16.7
26	7.0	0.0
51	24.7	16.7
53	6.2	0.0
54	2.7	0.0

Supervivencia a P. cinnamomi

Todas las familias fueron afectadas intensamente por *P. cinnamomi*, pero con importantes diferencias entre familias (tabla 3). Entre las familias más afectadas, destaca la F20 con 100% de mortalidad. En el extremo opuesto, llama la atención las familias F9, F23 y F51, con resultados \leq a 20% de mortalidad. También es importante destacar que la F17 a pesar de la mortalidad de 50% de las plantas estudiadas, 40% de esas plantas no mostraron síntomas significativos en la parte aérea.

Tabla 3. Mortalidad de plantas de encinas causadas por el efecto de la infección con *P. cinnamomi*.

Familias	N° total de Plantas	Muertas	Afectadas $\approx 75\%$	Afectadas $\approx 50\%$	Afectadas $\approx 25\%$	No afectadas
F2	5	3	1	1	0	0
F3	5	3	1	0	1	0
F4	6	5	0	0	1	0
F7	6	5	1	0	0	0
F9	6	2	2	0	1	1
F10	5	3	1	1	0	0
F11	5	3	1	0	0	1
F12	5	4	0	0	0	1
F13	6	3	1	1	0	1
F14	5	4	0	0	0	1
F16	5	3	1	0	0	1
F17	6	3	1	0	0	2
F18	6	3	2	0	0	1
F19	5	3	2	0	0	0
F20	6	6	0	0	0	0

F21	6	4	1	0	0	1
F22	6	3	1	1	1	0
F23	6	2	0	3	0	1
F24	5	3	0	0	2	0
F25	5	3	1	1	0	0
F26	5	3	0	0	1	1
F51	5	2	1	0	2	0
F53	6	3	2	1	0	0
F54	6	4	0	0	2	0

La producción de biomasa seca de las plantas resultó afectada significativamente ($p \leq 0,001$) después de pasar por un periodo de estrés hídrico y posterior infección por *P. cinnamomi*, (Fig. 3). La mayoría de las familias no se diferenciaron estadísticamente para la biomasa seca de parte aérea (Fig.3A), pero se destacó la F13 con lo mejor resultado, presentando 61,7% mayor que la F19 que obtuvo valor más bajo.

Los resultados de biomasa seca de raíces también muestran diferencias entre familias. La F9 y F11 fueron las más afectadas (Fig. 3B). Por otro lado, la F25 fue la familia que asignó mayor cantidad de biomasa a las raíces, mostrando un 58,5% más que F9 y F11.

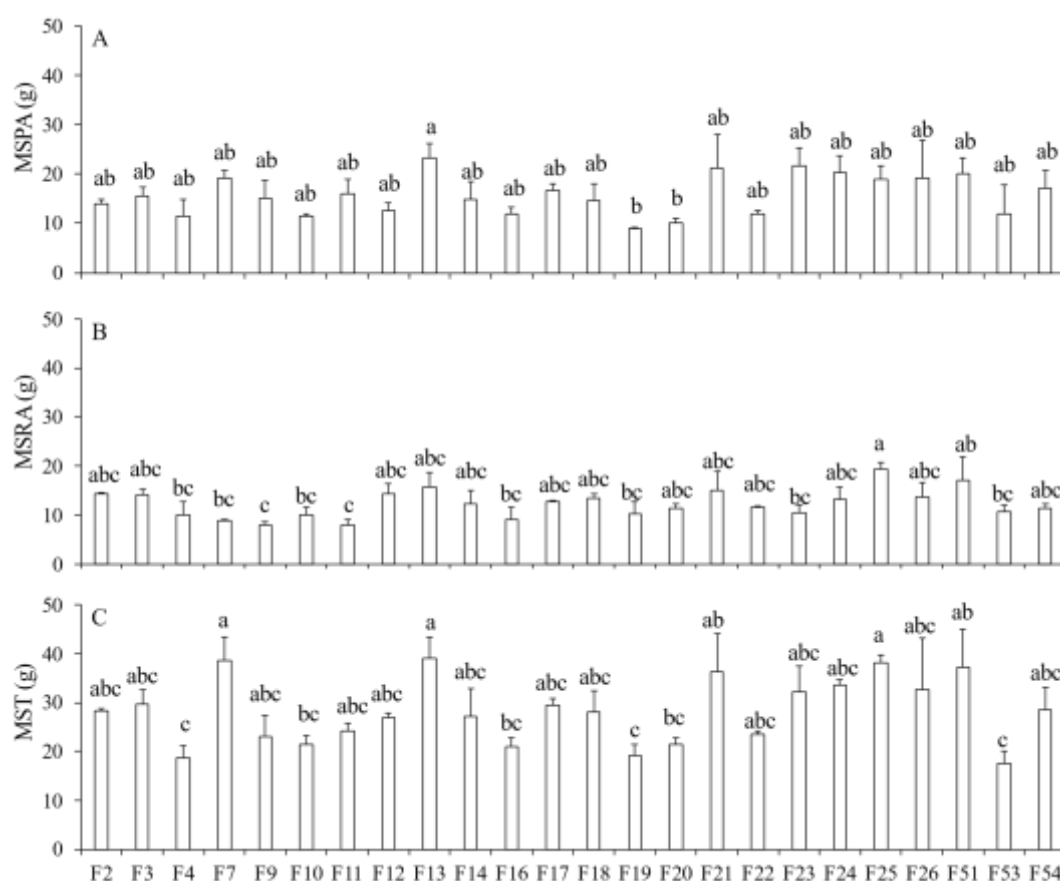


Figura 3. Biomasa seca de parte aérea (A), biomasa seca de raíces (B) y biomasa seca total de plantas de diferentes familias de encina sometidas a ciclos de sequía e infección por *P. cinnamomi*. Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p \leq 0,05$) entre las familias. Los valores representan medias \pm error típico.

La diferencia entre familias de la biomasa seca total fue significativamente diferente (Fig. 3C). Las familias más afectadas por los tratamientos fueron F4, F19 y F53, pues presentaron los menores valores comparados con las demás familias. Destaca la F7, F13 y F25 con los mejores resultados que superan de media un 52,4% a las familias F4, F19 y F53.

En una evaluación por región se encontró comportamientos distintos en cada zona, tanto en el efecto de la sequía como por la infección por *P. cinnamomi*. (Tabla 4).

Tabla 4. Mortalidad y crecimiento en altura de familias de encinas por región de Suroeste de España sometidas a sequía e infección por *P. cinnamomi*.

Población	N° total de plantas	N° de plantas muertas	Porcentaje de Mortalidad (%)	Altura media (cm)	Diámetro medio (mm)
Plantas sometidas a la sequía					
AND	72	7	9,72	52.7	5.79
EXT	36	3	8,33	65.4	6.58
SIERRA	36	2	5,55	49.9	5.63
Plantas sometidas a infección por <i>P. cinnamomi</i>					
AND	66	42	63,63	-	-
EXT	31	17	54,83	-	-
SIERRA	35	21	60,00	-	-

El efecto de la sequía fue más acusado en plantas de la zona del Andévalo, resultando un 4,22% superior a las plantas de la zona de la Sierra. Por otro lado, el crecimiento en altura y diámetro fueron más afectados en plantas de la Sierra. Plantas de la zona de Extremadura obtuvieron una altura 15,5 cm y diámetro 0,95 mm mayor que plantas la zona de la Sierra. Después de someter las plantas a infección, se observó que las familias que están en la zona de Andévalo son las más afectadas a los efectos de infección por *P. cinnamomi*, superando un 8,8% de plantas muertas a la zona de Extremadura y un 3,3% a la zona de la Sierra.

5. Discusión

Las plantas de las diferentes familias de encinas se adaptaron progresivamente a los ciclos de estrés hídrico. Esta adaptación se manifiesta en una progresiva aclimatación morfológica y fisiológica de las plantas, pues la escasez de agua afecta directamente la conductancia estomática y fotosíntesis, e indirectamente la difusión de nutrientes (Chapin, 1980), resultando en una reducción del crecimiento (Noia Junior et al. 2019). En estudio con sequía realizado por Fonti et al (2013) detectaron cambios en variables morfológicas en *Q. robur*, *Q. pubescens* y *Q. petraea*.

Los resultados de ese trabajo muestran que algunas familias presentaron mayor capacidad de direccionar con más eficiencia los carbohidratos para el crecimiento en altura y diámetro, indicando un proceso de aclimatación y ajustes de redistribución de biomasa. Ese posible cambio de asignación de biomasa es una respuesta de aclimatación en plantas (Costa et al. 2004), puesto que, en condiciones de sequía, las plantas distribuyen la biomasa para sus diferentes órganos, pero no redistribuyen la biomasa existente (Reynolds e Thornley 1982).

Los mejores incrementos de altura y diámetro de algunas Familias (Figs. 1 y 2) pueden estar asociado a su mayor capacidad de resistir el estrés hídrico. Cuando el agua es limitante, la expansión de hojas se reduce antes de que la fotosíntesis sea afectada. De esta manera, se reduce el consumo de carbono y energía, y, una proporción mayor de asimilados pueden ser traslocados para el crecimiento de raíces y de tallo (Taiz e Zeiger 2013). Con raíces y tallos más desarrollados las plantas tienden a optimizar la absorción de agua y entonces maximizan la tasa de crecimiento en esas condiciones (Bloom et al. 1985).

Las condiciones de estrés hídrico, además de afectar los procesos fotosintéticos y anatómicos, con mayores intensidades resulta en defoliación y/o mortalidad de las plantas. La defoliación causada por el estrés hídrico ocurre como un mecanismo de defensa de las plantas para reducir el consumo de energía y mantenerse viva, ya que su escasez de agua causa el cierre estomático, para que haya reducción de la transpiración, cambios anatómicos, alteración fotosintética y marchitez de la hoja (Marengo y Lopes, 2005). Los resultados de ese trabajo muestran también que para algunas familias las condiciones de estrés hídrico no fueron soportadas en todas las plantas y causaron su muerte, resultado esperado pues en condiciones de limitación de agua por periodos prolongados pueden ocurrir la muerte de las plantas (Cavalcante et al., 2009).

Después de someter las plantas a sucesivos ciclos de sequía y observar que ocurrieron cambio en el patrón de resistencia y crecimiento, la infección con *P. cinnamomi* causó todavía más perjuicio de mortalidad. Además, el patrón de los niveles de mortalidad resultó menos plástico. Esto muestra la susceptibilidad del *Q. ilex* a la infección con *P. cinnamomi* (Moralejo et al. 2009; Gómez et al. 2018) y tolerancia al estrés hídrico (Quero et al. 2011).

La mayor asignación de biomasa para las raíces presentes en algunas familias es consistente e indica una respuesta adaptativa de tolerancia a las condiciones de estrés a la que las plantas fueron sometidas (Leiva et al. 1998; Villar-Salvador et al. 2004). Los mejores resultados de producción de biomasa seca total (Fig. 3) encontrada en algunas familias pueden estar más asociadas a los ciclos de estrés hídrico sometidos antes de la infección con *P. cinnamomi*. Esto es debido a que las plantas sometidas al estrés recurrente pueden aclimatarse y, tras un período largo, volver a desarrollar el crecimiento. Por otro lado, plantas sometidas a *P. cinnamomi* detuvieron completamente su crecimiento y sufrieron importante defoliación como estrategias de supervivencia (Gómez et al. 2018). La asociación del estrés hídrico y la infección por el patógeno reduce los procesos fisiológicos y pueden producir la muerte de la planta (Gómez et al. 2018) con mayor intensidad que si aparecen por separado. Para entender mejor los efectos de la sequía e infección en las familias estudiadas es importante desarrollar nuevos proyectos evaluando variables de los procesos fotosintéticos y morfológicos.

6. Conclusiones

El conjunto de las familias estudiadas mostró una notable resistencia al estrés hídrico continuado y severo al que fueron sometidas. Se encontraron diferencias significativas en el crecimiento en altura, diámetro y defoliación entre algunas familias.

La especie en su conjunto resultó bastante vulnerable a la acción conjunta del patógeno *P. cinnamomi* y el estrés hídrico posterior. Se identificaron tres familias con resultados significativamente superiores tanto en supervivencia como en crecimiento.

Las diferencias de resistencia a estrés por sequía y *P. cinnamomi* entre las tres subregiones analizadas no fueron significativas. Las familias estudiadas de la zona de Extremadura mostraron un mayor crecimiento y resistencia a la sequía y a la infección por *P. cinnamomi* que las otras dos subregiones (Andévalo y Sierra).

Las diferencias de resistencia al estrés hídrico y a la infección pueden ser aprovechadas para la selección de progenitores y de individuos dentro de las familias.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero y colaboración de la Junta de Andalucía (PE07-RNM-03108), la empresa Sánchez Romero Carvajal Jabugo SL y los proyectos 0753_CILIFO_5_E y FIREPOCTEP financiados por el Programa de Cooperación Transfronteriza Interreg VA España-Portugal.

8. Bibliografía

- BRASIER, C. M. (1993). "*Phytophthora cinnamomi* as a contributory factor in European oak declines". In: *Proceedings of the International Congress. Recent advances in studies on oak decline*. N. Luisi, P. Lerario & A. Vannini, Eds. Pp. 49-57.
- BRASIER, C. M.; ROBREDO, F.; FERRAZ, J. F. P. (1993). "Evidence for *P. cinnamomi* involvement in Iberian oak decline". *Plant Pathology*, 42: 140-145.
- BRASIER, C.M. (1996). "*Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change". *Ann. Sci. Forest*, 53: 347- 358.
- CHEN, D.W.; ZENTMYER, A.G. (1970). "Production of sporangia by *Phytophthora cinnamomi* in axenic culture". *Mycologia*, 62 (2): 397-402.
- COBOS, J.M.; MONTROYA, R.; TUSET, J.J. (1993). "New damages to the *Quercus* woodlands in Spain. Preliminary evaluation of the possible implication of *Phytophthora cinnamomi*". In: *Proceedings of an International Congress. Recent advances in studies on oak decline*. Luisi, N.; Lerario, P. & Vannini, (Eds.) Pp. 163-170, Putignano (Brindisi), Italia.
- COELHO, A. C.; HORTA, M.; NEVES, D.; CRAVADOR, A. (2006). "Involvement of a cinnamyl alcohol dehydrogenase of *Quercus suber* in the defense response to infection by *Phytophthora cinnamomi*". *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 69: 62–72.
- DOMINGUEZ NEVADO, LUIS; SANCHEZ OSORIO, ISRAEL; LOPEZ PANTOJA, GLORIA; SANCHEZ GARCIA, INIGO; ZARAGOZA, JUAN. (2008). "Foresia de Mesochelifer Fradei Vachon, 1940 (Pseudoscorpiones: Cheliferidae), Sobre coleopteros Cerambicidos en el sur de Espana. Nuevos registros para la especie". *Revista Ibérica de Aracnología*, 16: 71-81.
- EPPO (2004). "Diagnostic protocols for regulated pests". *EPPO Bulletin* No 34, pp. 201-207.
- FERNANDEZ ESCOBAR, R.; GALLEGU, F. J.; BENLLOCH, M.; MEMBRILLO, J.; INFANTE, J., Y PEREZ DE ALGABA, A. (1999). "Treatment of oak decline using pressurized injection capsules of antifungal materials". *Eur. J. For. Path.*, 29: 29-38.
- FERNANDEZ REBOLLO, M.P.; CARBONERO MUNOZ, M.D.; SANCHEZ HERNANDEZ, M.E.; SERRANO MORAL, M.; VICENTE DOMINGUEZ, M.; TRAPERO CASAS, A; LOPEZ LEÓN I.; GARCÍA J.J.; FERNÁNDEZ M.; VÁZQUEZ-PIQUÉ J.; TAPIAS R.; 2017. Differences in root growth of *Quercus ilex* and *Quercus suber* seedlings infected with *Phytophthora cinnamomi*. *Silva Fennica* 51, 6991.
- PANTOJA, G.; DOMINGUEZ NEVADO, L. (2007). "El estado del arbolado en las Dehesas Andaluzas. Podredumbre Radical e Incidencia de Cerambicidos Xilofagos". *Informes, Estudios, Trabajos y Dictámenes*.
- HARDHAM, A.R. (2005). "Pathogen profile: *Phytophthora cinnamomi*". *Molecular Plant Pathology*, 6 (6): 589-604

HORTA, M.; SOUSA, N.; COELHO, A.C.; NEVES, D.; CRAVADOR, A. (2008). "In vitro and in vivo quantification of elicitin expression in *Phytophthora cinnamomi*". *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 73: 48–57.

LEON SANCHEZ, I. (2013). "Selección de progenies de encina (*Quercus ilex* L. spp. *ballota*) y alcornoque (*Quercus suber* L.) tolerantes al patógeno *Phytophthora cinnamomi* Rands". Tesis Doctoral del Dpto. Ciencias Agroforestales, Universidad de Huelva, España.

LOPEZ PANTOJA, G.; DOMINGUEZ NEVADO, L.; SANCHEZ OSORIO, I. (2008). "Markrecapture estimates of the survival and recapture rates of *Cerambyx welensii* KuSter (Coleoptera Cerambycidae) in a cork oak dehesa in Huelva (Spain)". *Central European Journal of Biology*, 3 (4): 431-441.

MAIA, I.; MEDEIRA, C.; MELO, E.; CRAVADOR, A. (2008). "*Quercus suber* infected by *Phytophthora cinnamomi*. Effects at cellular level of cinnamomin on roots, stem and leaves". *Microscopy and Microanalysis*, 14 (S3): 146-147.

MOREIRA, A.C.; CAETANO, P.; CORREIA, S.; BRASIER, C. M.; FERRAZ, J. F. P. (1993). "*P.Cinnamomi* associated with cork oak decline in southern Portugal". *Abstracts of the 6th International Congress of Plant Pathology*, Montreal, Canada.

NAVARRO R.M., FERNANDEZ P., RUIZ J.M. (2000). "Evaluación de los daños producidos por la Seca de especies del género *Quercus* spp. en Andalucía". Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

NAVARRO CERRILLO, R.M.; GALLO IBANEZ, L.; SANCHEZ HERNANDEZ, M.E.; FERNANDEZ REBOLLO, P.; TRAPERO CASAS, A. (2004). "Efecto de distintas fertilizaciones de fósforo en la resistencia de brinzales de encina y alcornoque a *Phytophthora cinnamomi* Rands". *Invest. Agrar.: Sistemas de Recursos Forestales*, 13: 550-558.

O´GARA, E.; HOWARD, K.; WILSON, B AND HARDY, G. (2005) "Management of *Phytophthora cinnamomi* for Biodiversity Conservation in Australia: Part 2. National Best Practice Guidelines. A report funded by the Commonwealth Government Department of the Environment and Heritage by the Centre for *Phytophthora* Science and Management, Murdoch University, Western Australia.

RAGAZZI, A.; FEDI, I. D.; MESTURINO, L. (1989). "The oak decline: a new problema in Italy". *Eur. J. For. Path.* 19: 105-110.

SANCHEZ, M.E.; CAETANO, P.; FERRAZ, J.; TRAPERO CASAS, A. (2000). "El decaimiento y muerte de encinas en tres dehesas de la provincia de Huelva". *Bol. San. Veg. Plagas*, 26: 447-464

TAPIAS, R.; FERNANDEZ, M.; SALVADOR, L.; SANTANA, R.; GARCIA, J.; ALCUNA, M.M.; JOSE, V.; INCHUSTA, A.; VAZQUEZ, J.; TORRES, E.; CRAVADOR, A. (2008). "Physiological effect of *Phytophthora cinnamomi* infestations in *Quercus suber* seedlings". In: *SUBERWOOD 2005 Conference. New challenges for integration of cork oak forest and products*. Pag. 267-277. ISBN: 978-84-96826.

TAPIAS, R.; FERNANDEZ, M.; SAENZ, A.; ALCUNA, M.M.; JOSE, V.; INCHUSTA, A.; MOREIRA, A.C.; CRAVADOR, A. (2005). "Variabilidad de la resistencia/ tolerancia de plantulas de encina (*Quercus ilex* subsp. *Ballota* L.) al patogeno *Phytophthora cinnamomi* Rands. Evaluacion de supervivencia y crecimiento". IV Congreso Forestal Español. Zaragoza, Septiembre 2004.

TRAPERO, A.; ROMERO, M.A.; SANCHEZ, J.E.; SANCHEZ, M.E. (2006). "La seca de encinas y alcornoques en Andalucía: decaimiento y enfermedad". *Bol. Inf. Cideu*, 1: 7-14.

ZENTMEYER, G. A. (1980). "*Phytophthora cinnamomi* and diseases it causes *American Phytopathological Society Monograph*, 10: 1-96.

LEIVA, M.J.; FERNÁNDEZ-ALÉS, R. Variability in seedling water status during drought within a *Quercus ilex* subsp. *ballota* population, and its relation to seedling morphology. *For. Ecol. Manag.* 1998, 111, 147–156.

VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRIQUEZ, E.; RUBIRA, J.P. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *For. Ecol. Manag.* 2004, 196, 257–266.

BLOOM AJ, CHAPIN SF, MOONEY HA (1985) Plants-an economic analogy. *Annu Rev Ecol* 16:363–392

CAVALCANTE, A. C. R., CAVALLINI M. C., & LIMAR, N.R.C.B. (2009). Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. Documentos/Embrapa Caprinos, Sobral-CE. 50p.

CHAPIN, 1980 F.S. Chapin The mineral nutrition of wild plants *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 11 (1980), pp. 233-260

COSTA F, SHVALEVA A, MAROCO JP, ALMEIDA M, CHAVES M, PEREIRA J (2004) Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance. *Tree Physiol* 24:1165–1172

FONTI P., HELLER O., CHERUBINI P., RIGLING A., AREND M. (2013). Wood anatomical responses of oak saplings exposed to air warming and soil drought *Plant Biol.* (Stuttgart, Germany), 15 (Suppl. 1), pp. 210-219

GÓMEZ FJR, LUQUE AP, CUESTA RS, QUERO JL, CERRILLO RMN. Differences in the Response to Acute Drought and *Phytophthora cinnamomi* Rands Infection in *Quercus ilex* L. Seedlings. *Forests*. 2018; 9(10):634. <https://doi.org/10.3390/f9100634>

MARENCO, R. A., LOPES, N. F. (2005). Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa MG: UFV, 451 p.

MORALEJO, E.; GARCÍA-MUÑOZ, J.A.; DESCALS, E. Susceptibility of Iberian trees to *Phytophthora ramorum* and *P. cinnamomi*. *Plant Pathol.* 2009, 58, 271–283.

NÓIA JÚNIOR RS, AMARAL GC, PEZZOPANE JEM, FONSECA MDS, SILVA APC, XAVIER TMT (2019). Ecophysiological acclimatization to cyclic water stress in *Eucalyptus*. J For Res 1:1–10. <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00926-9>

QUERO, J.L.; STERCK, F.J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; VILLAR, R. Water-use strategies of six co-existing Mediterranean woody species during a summer drought. Oecologia 2011, 166, 45–57.

REYNOLDS JF, THORNLEY JHM (1982). A shoot:root partitioning model. Ann Bot 49:585–597.
TAIZ L, ZEIGER E (2013). Plant Physiology, 5th edn. Artmed, Porto Alegre.