

Accésit SECF en el apartado de Proyecto o Trabajo Fin de Carrera o de Grado

**Efecto preventivo y curativo del fosfito pulverizado
en combinación con enmiendas edáficas
en plántulas de *Quercus ilex* y *Q. suber*
ante *Phytophthora cinnamomi***

**Preventive and curative effects of phosphite spray
and soil amendments against *Phytophthora*
cinnamomi in *Quercus ilex* and *Q. suber* seedlings**

Oliva, B.¹; García, J.¹; Camisón, A.^{1,2}; Solla, A.^{1*}

¹ *Ingeniería Forestal y del Medio Natural, Instituto de Investigación de la Dehesa (INDEHESA),
Universidad de Extremadura. Avenida Virgen del Puerto 2, 10600 Plasencia, España.*

² *Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM), Department of Biology,
University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal*

* Autor de correspondencia: asolla@unex.es

Resumen

Para mitigar el decaimiento de encinas y alcornoques debido a *Phytophthora cinnamomi* (*Pc*) resulta preciso investigar métodos de control que inhiban al patógeno y que induzcan tolerancia en la planta, conjuntamente. En noviembre de 2020 se recolectaron bellotas de encina y alcornoque de una dehesa próxima a Cañaveral (Cáceres), que se sembraron en contenedores. Las plántulas fueron sometidas a enmiendas de suelo, pulverización foliar de fosfito potásico (Fi) y a una combinación de ambos. En mayo de 2021, las plantas se inocularon con una cepa virulenta de *Pc*, evaluándose la mortalidad durante 4 meses, y en plantas no inoculadas se evaluó el crecimiento. La aplicación de enmiendas y/o de Fi no afectó al crecimiento de las plantas ni provocó fitotoxicidad. A las dosis usadas, las enmiendas aplicadas de forma individual no redujeron la mortalidad causada por *Pc* en *Q. ilex*, pero sí en *Q. suber*. Una sola aplicación de Fi foliar fue suficiente para inducir resistencia a *Pc* en *Q. suber*, tanto de forma preventiva como curativa. En general, las enmiendas no potenciaron el efecto protector de Fi ante *Pc*, pero la enmienda fosfórica en combinación con Fi curativo al 0,56% resultó el mejor tratamiento para *Q. suber* ante *Pc*. Se concluye que es preciso ensayar las enmiendas a dosis más altas y probar en dehesas de alcornoque si el Fi pudiera ser efectivo ante la seca.

Palabras clave: alcornoque, decaimiento, encina, fosfonato potásico, sanidad forestal, seca.

Summary

To mitigate the decline of holm and cork oaks due to *Phytophthora cinnamomi* (*Pc*), it is necessary to investigate control methods that combinedly inhibit the pathogen and induce tolerance in plants. In November 2020, holm and cork oak acorns were collected from a dehesa located in Cañaveral (Cáceres) and planted in containers. The seedlings were subjected to soil amendments, foliar spray with potassium phosphite (Fi) and a combination of both. In May 2021, plants were inoculated with a virulent strain of *Pc*, mortality was evaluated for 4 months, and growth was evaluated in non-inoculated plants. The application of amendments and/or Fi did not alter plant growth or cause phytotoxicity. At the doses used, individually applied amendments did not reduce mortality caused by *Pc* in *Q. ilex*, but in *Q. suber*. A single application of foliar Fi was enough to induce resistance to *Pc* in *Q. suber*, both preventively and curatively. In general, the amendments did not enhance the protective effect of Fi against *Pc*, but the phosphoric amendment in combination with curative Fi at 0,56% was the best treatment for *Q. suber* against *Pc*. We conclude that it is necessary to test the amendments at higher doses and to test in the field if Fi would be effective against *Pc*-induced oak decline.

Key words: cork oak, forest health, holm oak, oak decline, potassium phosphonate.

1. Introducción

La dehesa padece una serie de problemas de origen diverso que contribuyen a su degeneración y decaimiento (Moreno y Pulido, 2008). Uno de estos factores es ‘la seca’, síndrome generado por diversos factores entre ellos *Phytophthora cinnamomi* (*Pc*), que afecta principalmente a encinas y alcornoques (Jung *et al.*, 2018). Actualmente, el control integral de la seca es la forma más eficaz para reducir el impacto de *Pc* en suelos infestados, y la reducción de la capacidad infectiva y virulencia del patógeno es uno de sus principales objetivos. Dentro de las medidas de control químico, las más empleadas son las enmiendas de suelo, los fungicidas y los inductores de resistencia (Rahman and Punja 2007; Solla *et al.*, 2021). Las enmiendas calizas reducen la capacidad multiplicadora e infectiva de *Pc*, aunque no logran erradicar al patógeno del suelo (Serrano *et al.*, 2012). Las enmiendas fosfóricas, también presentan efectos supresores ante diferentes plagas y enfermedades (Walters and Bingham, 2007). Las mayoría de sales del ácido fosforoso son fungicidas sistémicos y actúan bien directamente sobre el patógeno mediante la inhibición de su esporulación y desarrollo (Deliopoulos *et al.*, 2010), o bien indirectamente estimulando los mecanismos de defensa de las plantas (Trindade *et al.*, 2020). El fosfito de potasio (Fi) es un compuesto que inhibe el crecimiento de *Pc in vitro* (Groves *et al.*, 2015) e induce resistencia frente a oomicetos y hongos de forma sistémica (González *et al.*, 2017). Actualmente no existe información acerca de si las enmiendas cálcicas y fosfóricas en combinación con Fi protegen a *Q. ilex* y *Q. suber* ante *Pc*. También se desconoce si la aplicación de Fi pudiera potenciar el efecto protector de las enmiendas y viceversa, siendo ésta la hipótesis principal que se pretende elucidar en este trabajo.

2. Objetivo

El objetivo es estudiar en plántulas de encina y alcornoque el efecto protector frente a *Pc* de enmiendas de suelo y fosfito pulverizado en hoja, aplicados individual y combinadamente.

3. Material y métodos

3.1. Material vegetal

Se seleccionaron 3 encinas y 3 alcornoques asintomáticos del Monte de Utilidad Pública 147-CC ubicado en Cañaveral, Cáceres, y se recolectaron 400 bellotas de cada árbol. Las bellotas se estratificaron 38 días a 4°C y posteriormente se sembraron aleatoriamente, 9 por árbol, en 15 contenedores de 35 l. El substrato estaba formado por una mezcla homogénea de turba, vermiculita y fertilizante NPK 15-9-10 en proporciones 10:0,5:0,1. El experimento incluyó un total de 2 especies x 3 árboles madre x 9 bellotas x 15 tratamientos = 810 plantas.

3.2. Aplicación individual y combinada de enmiendas y pulverización de fosfito

Se ensayó la eficacia de una enmienda cálcica (formulación granulada “G1”) y de otra fosfórica y potásica (“Fo”), que se aplicaron en los contenedores 15 días antes de la siembra, a dosis de 0,27 g l⁻¹ (~600 kg ha⁻¹) y 0,08 g l⁻¹ (~170 kg ha⁻¹), respectivamente. Para testar la acción protectora de las enmiendas ante *Pc*, se establecieron los tratamientos ‘C’ (control), ‘Pc’, ‘Fo + Pc’, ‘G1 + Pc’, un tratamiento por contenedor. Para el fosfito se utilizó una disolución de Kalex[®] en agua (0,56% (v/v)), que se pulverizó en hoja, con un spray, hasta el punto de goteo. Para testar la acción protectora del fosfito frente a *Pc* se estableció el tratamiento preventivo ‘Fi + Pc’ (15 días antes de la inoculación) y el curativo, ‘Pc + Fi’ (15 días después de la inoculación). Para evaluar el posible efecto protector de enmiendas y fosfito de forma combinada, se establecieron los tratamientos ‘G1 + Fi + Pc’, ‘Fo + Fi + Pc’, ‘G1 + Pc + Fi’ y ‘Fo + Pc + Fi’, uno por contenedor. Por último, se incluyeron contenedores control sin inocular (‘G1’, ‘Fo’, ‘Fi’, ‘G1 + Fi’ y ‘Fo + Fi’) con el fin de evaluar fitotoxicidad y el crecimiento de las plantas. (*Tablas 1 y 2*).

Tabla 1. Detalle de los productos utilizados.

Tipo de aplicación	Foliar	Suelo	
Tipo de producto	Inductor sistémico	Enmienda caliza	Fertilizante potásico
Producto y cantidad	Fosfito de Potasio Kalex [®] (70% fosfito potásico) (DM Agro, Italia) Disolución al 0.56% v v ⁻¹	G1 9.44 g/contenedor (0,27g l ⁻¹)	Fo di-Potasio hidrogeno- fosfato anhidro, ExpertQ [®] 2.84 g/contenedor (0,08 g l ⁻¹)
Composición química	70% fosfito potásico, 42% P ₂ O ₅ y 28% K ₂ O	CaCO ₃ 91% (CaO 50% y Ca 36%), MgCO ₃ 2% Riqueza Ca: 36%	K ₂ HPO ₄ Riqueza P: 17,6%
Tratamientos	Fi Fi + Pc Pc + Fi G1 + Fi G1 + Fi + Pc G1 + Pc + Fi Fo + Fi Fo + Fi + Pc Fo + Pc + Fi	G1 G1 + Fi G1 + Pc G1 + Fi + Pc G1 + Pc + Fi	Fo Fo + Fi Fo + Pc Fo + Fi + Pc Fo + Pc + Fi

Tabla 2. Códigos de los 15 tratamientos ensayados. Se utilizó un contenedor por tratamiento, incluyendo cada contenedor 27 encinas y 27 alcornoques de una savia.

		Espray foliar				
		Sin fosfito		Con fosfito (Fi)		
		Control	Pc	Control	Pc	
					Preventivo	Curativo
Tratamiento de suelo	Control	Control	Pc	Fi	Fi + Pc	Pc + Fi
	G1	G1	G1 + Pc	G1 + Fi	G1 + Fi + Pc	G1 + Pc + Fi
	Fo	Fo	Fo + Pc	Fo + Fi	Fo + Fi + Pc	Fo + Pc + Fi

3.3. Preparación del inóculo de *P. cinnamomi* e inoculación de las plantas

Las plantas se inocularon mediante el método de infestación del suelo (Jung *et al.*, 1996), mezclando y autoclavando en frascos Erlenmeyer, vermiculita, copos de avena y una disolución de zumo de vegetales ($200 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$ de V8, $800 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$ de agua destilada y 3 g l^{-1} de CaCO_3). Se añadieron al medio de cada matraz porciones de Pc de una cepa virulenta y se mantuvieron en incubadora 30 días a 23°C . El inóculo homogeneizado se enjuagó con agua destilada y se enterró la cantidad de una cucharada cerca del cuello de la raíz de cada plántula. A continuación, todos los contenedores fueron rellenados con agua desclorada hasta el cuello de las raíces, y se drenaron 48 h más tarde. Esta inundación seguida de drenaje se realizó una vez al mes.

3.4. Toma de datos, determinación del crecimiento y del pH del suelo

Se determinó el peso de las bellotas, la fecha de emergencia, la altura previa a la inoculación y final, y la mortalidad semanal. Para evaluar el desarrollo de las plantas se utilizaron dos estimadores:

1. La altura al final del experimento.
2. El incremento altura final - altura previa a la inoculación. Se midió el pH de los tratamientos Control, G1, Fo, Fi, G1 + Fi, y Fo + Fi siguiendo protocolos estandarizados, adaptando el procedimiento al tipo de suelo (orgánico).

3.5. Análisis estadístico

Las diferencias en crecimiento entre tratamientos fueron analizadas mediante Kruskal-Wallis. La supervivencia de las plantas se evaluó mediante el procedimien-

to Survival Time Analysis (Solla *et al.*, 2009). Se empleó el estadístico de Kaplan-Meier para estimar la probabilidad de supervivencia de las plantas como una función del tiempo (curvas de supervivencia) y el test log-rank para evaluar posibles diferencias entre curvas.

4. Resultados y discusión

4.1. El uso individual y combinado de enmiendas cálcicas y fosfóricas y fosfito potásico no afectó al crecimiento en altura de *Q. ilex* y *Q. suber*

La aplicación de las enmiendas y el fosfito no influyeron significativamente en el crecimiento en altura de las plantas de *Q. ilex* y *Q. suber*, ni de forma individual ni combinadamente (Figuras 1, 2 y 3), y tampoco provocaron efectos fitotóxicos. En cuanto a las enmiendas, los resultados coinciden con los de estudios previos realizados con plántulas de varias especies de *Quercus*, donde se demostró que, en las primeras fases del desarrollo, el crecimiento depende principalmente de la reserva nutricional de los cotiledones y del tamaño de la semilla (Yi and Wang 2016). En cuanto al fosfito, su falta de estimulación en el crecimiento de las plantas ya ha sido reportada en estudios previos (Thao and Yamakawa 2009). A pesar de que la mayoría de las plantas absorben y translocan fácilmente el P_i , son incapaces de metabolizarlo y utilizarlo como fuente de fósforo (Solla *et al.*, 2021), y por lo tanto su aplicación no estimula el crecimiento de las plantas.

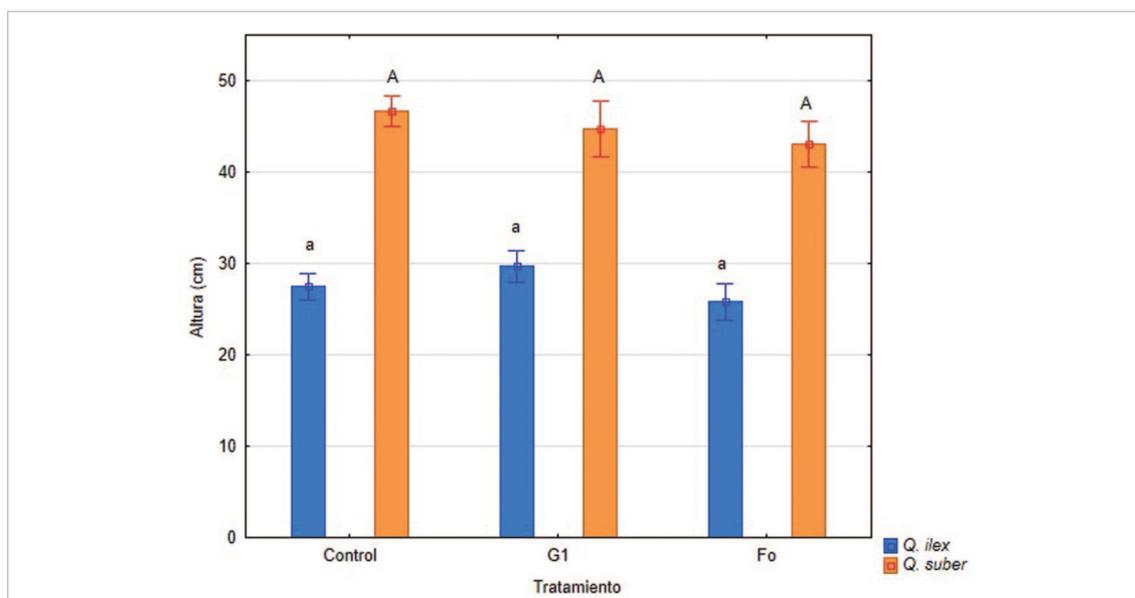


Figura 1. Efecto de las enmiendas en la altura media de encinas y alcornoques al final del ensayo. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos. Letras minúsculas corresponden a comparaciones realizadas para *Quercus ilex* y mayúsculas para *Q. suber*. Las barras indican el error estándar de la media.

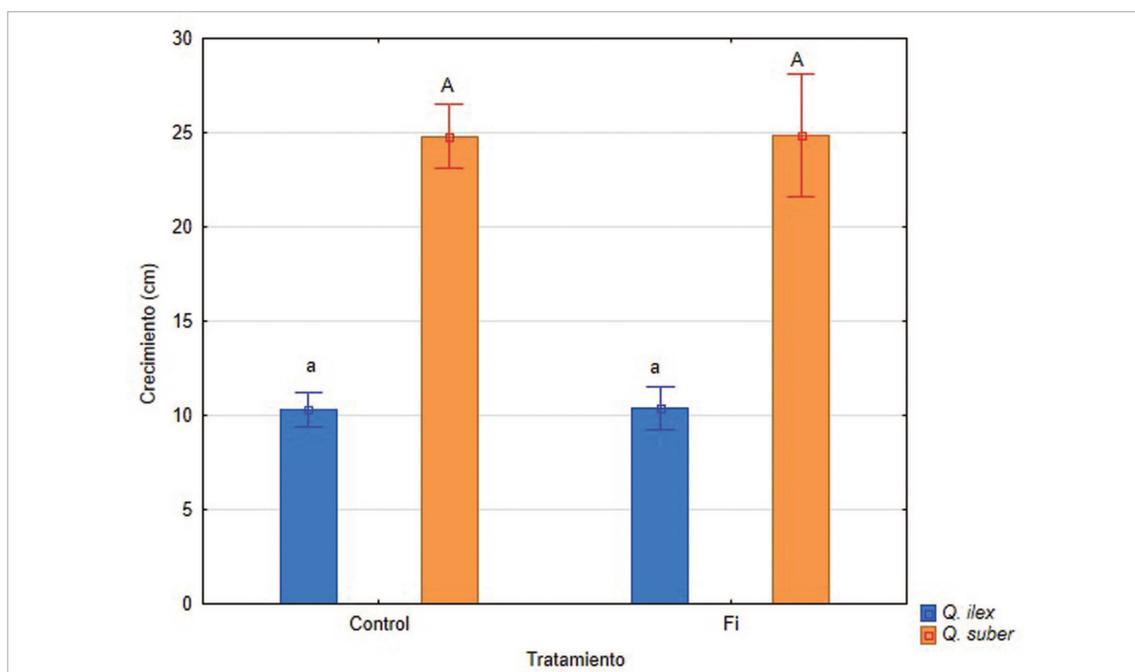


Figura 2. Crecimiento de encinas y alcornoques sin tratar vs tratadas con fosfito (Fi), desde el 3 de mayo al 23 de agosto de 2021. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos. Letras minúsculas corresponden a comparaciones realizadas para *Quercus ilex* y mayúsculas para *Q. suber*. Las barras indican el error estándar de la media.

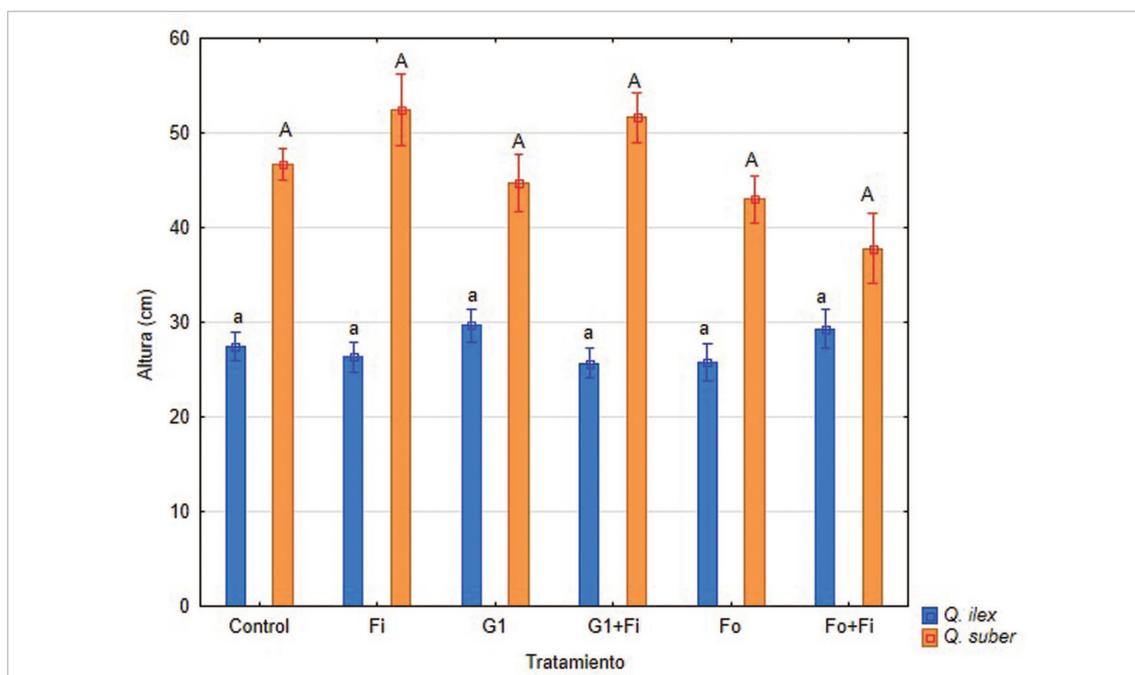


Figura 3. Alturas al final del ensayo de encinas y alcornoques sometidas a enmiendas (G1 o Fo) y fosfito (Fi), de manera individual o combinada, no inoculadas. Diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos. Letras minúsculas corresponden a comparaciones realizadas para *Quercus ilex* y mayúsculas para *Q. suber*. Las barras indican el error estándar de la media.

4.2. El uso individual de las enmiendas cálcica y fosfórica no redujo la mortalidad de *Q. ilex* ante *P. cinnamomi*, pero sí de *Q. suber*

Las enmiendas no aumentaron significativamente la probabilidad de supervivencia de las plántulas de *Q. ilex* infectadas, en comparación con el tratamiento Pc (Tabla 3; Figura 4). El log-rank test tampoco resultó significativo entre curvas de mortalidad de la planta de *Q. suber* tratada (Figura 5). No obstante, las mortalidades finales de *Q. suber* en G1 + Pc y Fo + Pc fueron 43,3 y 23,5% menores que las observadas en el tratamiento Pc (Tabla 3). Ante los tratamientos con Pc (G1 + Pc, Fo + Pc y Pc) la supervivencia fue mayor en alcornoques que en encinas (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentajes de mortalidad de plantas de *Quercus ilex* y *Q. suber* control, enmendadas (G1 y Fo), enmendadas e inoculadas (G1 + Pc y Fo + Pc) e inoculadas sin tratamiento (Pc).

Tratamiento	<i>Quercus ilex</i>	<i>Quercus suber</i>
Control	10,8	19,6
G1	0,0	4,4
G1 + Pc	87,5	42,9
Fo	4,2	0,0
Fo + Pc	90,5	57,9
Pc	82,6	75,7

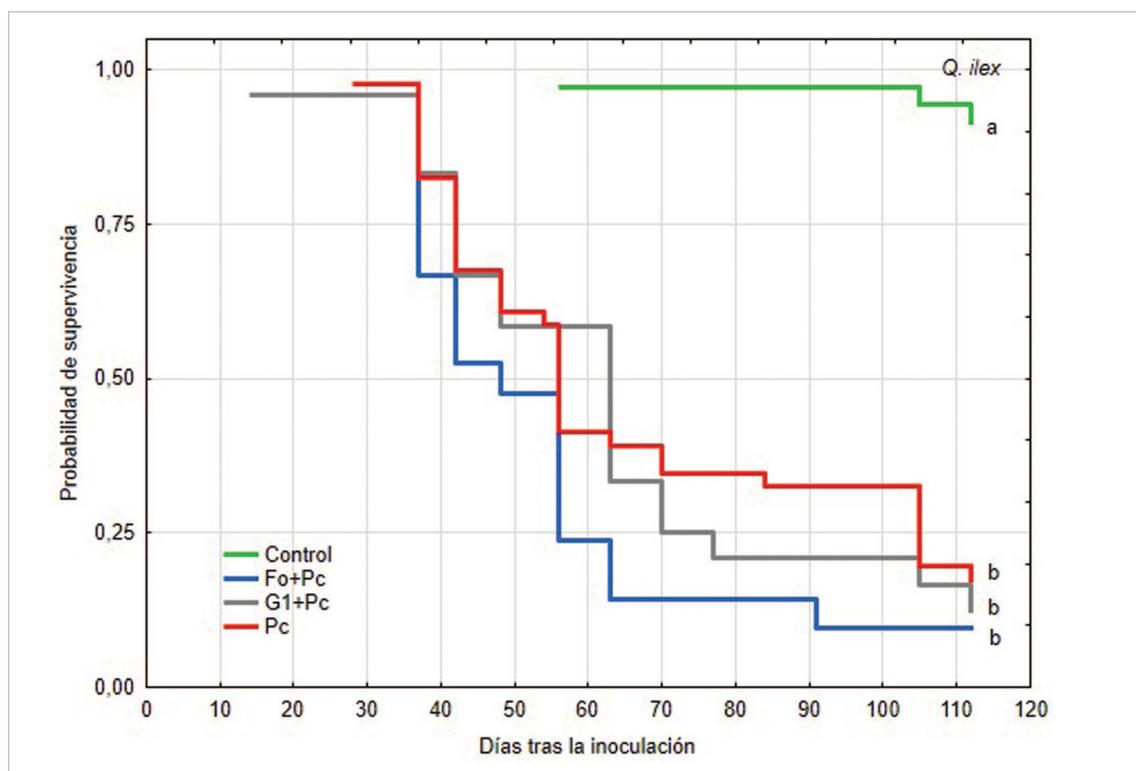


Figura 4. Probabilidad de supervivencia acumulada en *Quercus ilex* ante los tratamientos control, G1 + Pc, Fo + Pc, y Pc. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

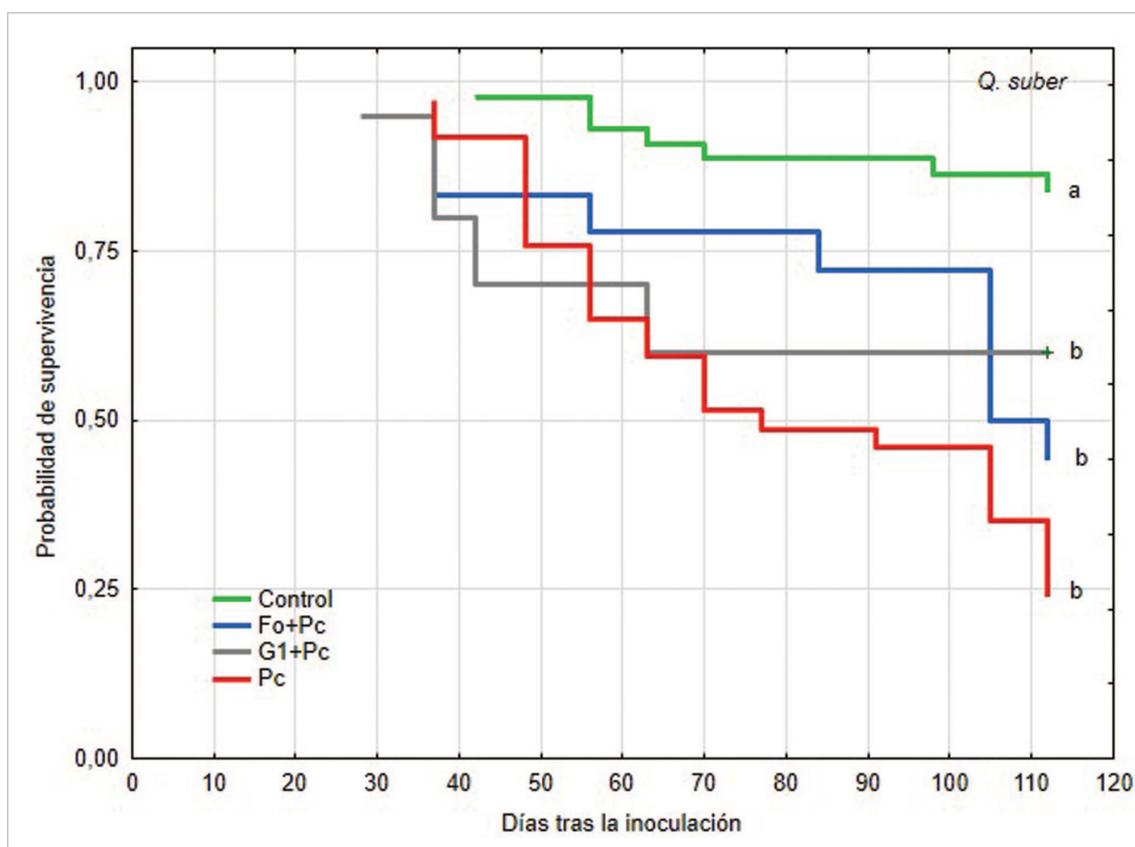


Figura 5. Probabilidad de supervivencia acumulada en *Quercus suber* ante los tratamientos control, G1 + Pc, Fo + Pc, y Pc. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

En estudios previos se observó que la aplicación de enmiendas cálcicas reducía de forma significativa la severidad de síntomas foliares y radiculares en *Q. ilex* infectados por *Pc* (Serrano *et al.*, 2012) y que la aplicación de sales de fosfato protegía a las plantas de enfermedades provocadas por hongos y oomicetos, aunque las aplicaciones habitualmente se realizaban mediante pulverización foliar (Deliopoulos *et al.*, 2010), y no como enmienda al suelo. Nuestros resultados podrían responder a que G1 se aplicó a dosis insuficientes para elevar el pH de la turba (Tabla 4), extremadamente ácido en comparación con el pH del suelo en dehesas (~ 5) y, por lo tanto, el efecto esperado de inhibición de *Pc* no se observó. Por el mismo motivo, es posible que el fosfato aportado por Fo no fuera solubilizado en la turba y posteriormente absorbido por las plantas; pues para ello conviene un pH comprendido entre 6,5 y 7,5 (Deliopoulos *et al.*, 2010). La mayor susceptibilidad de la encina que el alcornoque ante *Pc* tal vez explique que el leve efecto de las enmiendas sobre el patógeno haya beneficiado sólo al alcornoque.

Tabla 4. Valores del pH del sustrato (turba:vermiculita 10:0,5) según los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Producto y composición química	pH
Control	-	3,86
G1	CaCO ₃ 91%, MgCO ₃ 2%	3,75
Fo	di-Potasio hidrogenofosfato anhidro, ExpertQ®	3,95
Fi	Kalex® (70% fosfito potásico, 42 % P ₂ O ₅ y 28% K ₂ O)	3,82
G1 + Fi		3,91
Fo + Fi		4,10

4.3. El fosfito como inductor de resistencia ante *P. cinnamomi* fue efectivo según la especie

El fosfito no incrementó significativamente la supervivencia de las plantas infestadas por *Pc* en *Q. ilex* (Tabla 5; Figura 6). En *Q. suber*, sin embargo, Fi mejoró la supervivencia de las plántulas actuando como preventivo (Fi + Pc) y curativo (Pc + Fi) ante *Pc* (Tabla 5; Figura 7).

Tabla 5. Porcentajes de mortalidad de plantas de *Quercus ilex* y *Q. suber* control, pulverizadas con fosfito (Fi), pulverizadas con Fi a modo preventivo (Fi + Pc) y curativo (Pc + Fi) ante *Phytophthora cinnamomi*, e inoculadas con *P. cinnamomi* (Pc).

Tratamiento	<i>Q. ilex</i>	<i>Q. suber</i>
Control	10,8	19,6
Fi	0,0	5,0
Fi + Pc	70,0	21,1
Pc + Fi	86,4	31,6
Pc	82,6	75,7

En estudios previos, se ha demostrado que las sales de fosfito reducen la susceptibilidad de las plantas ante enfermedades causadas por *Phytophthora* spp. (Delio-poulos *et al.*, 2010), bien actuando directamente sobre el crecimiento micelar del patógeno, o bien indirectamente sobre los mecanismos de defensa del huésped (Jackson *et al.*, 2000). En nuestro estudio, la encina se caracterizó por una falta de respuesta a la aplicación única de Fi, en contraste con el alcornoque, en el cual una aplicación de Fi preventiva o curativa bastó para reducir la mortalidad a niveles similares a los controles sin inocular. Los resultados obtenidos para *Q. ilex* podrían indicar que es necesario aplicar más de una pulverización para inducir la resistencia en esta especie, o utilizar una mayor dosis. La menor susceptibilidad del alcornoque ante *Pc* podría indicar la necesidad de menores dosis de Fi que para la encina. Los resultados apuntan a que la pulverización de fosfito (Kalex® al 0,56%) podría ser un método adecuado y de bajo coste para el control de *Pc* en dehesas de alcornoque, aunque habría que probarlo en campo.

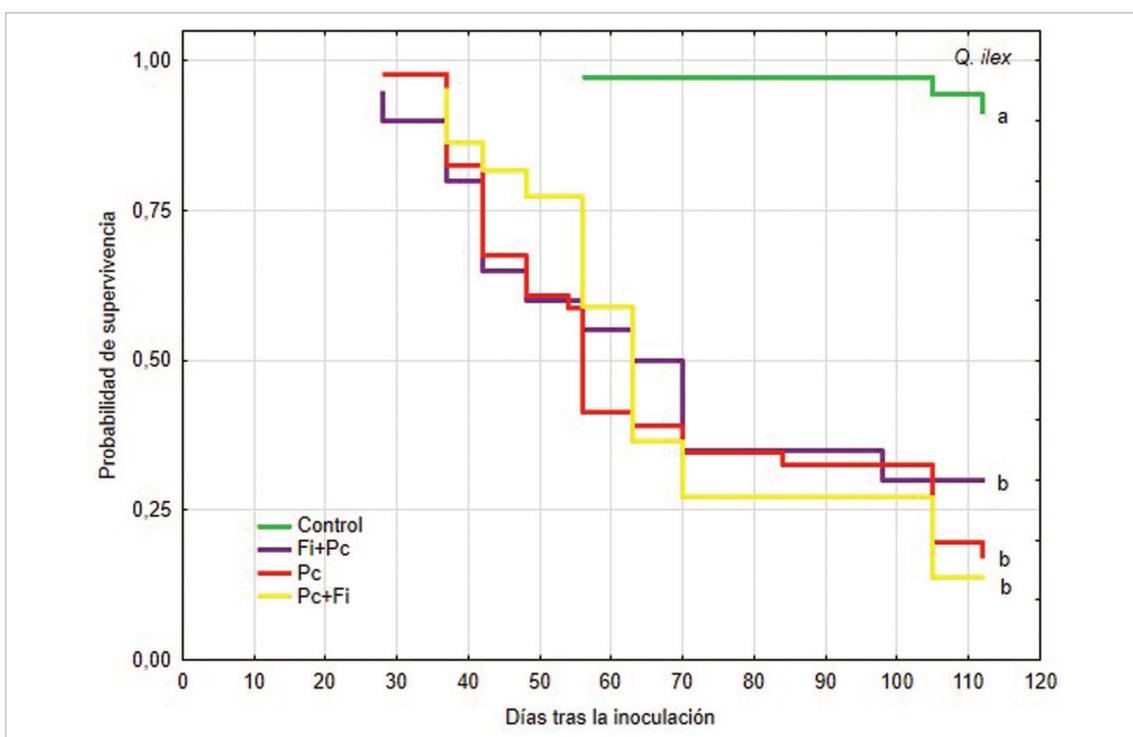


Figura 6. Probabilidad de supervivencia acumulada en plántulas de *Quercus ilex* ante los tratamientos control, Fi + Pc, Pc + Fi y Pc. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

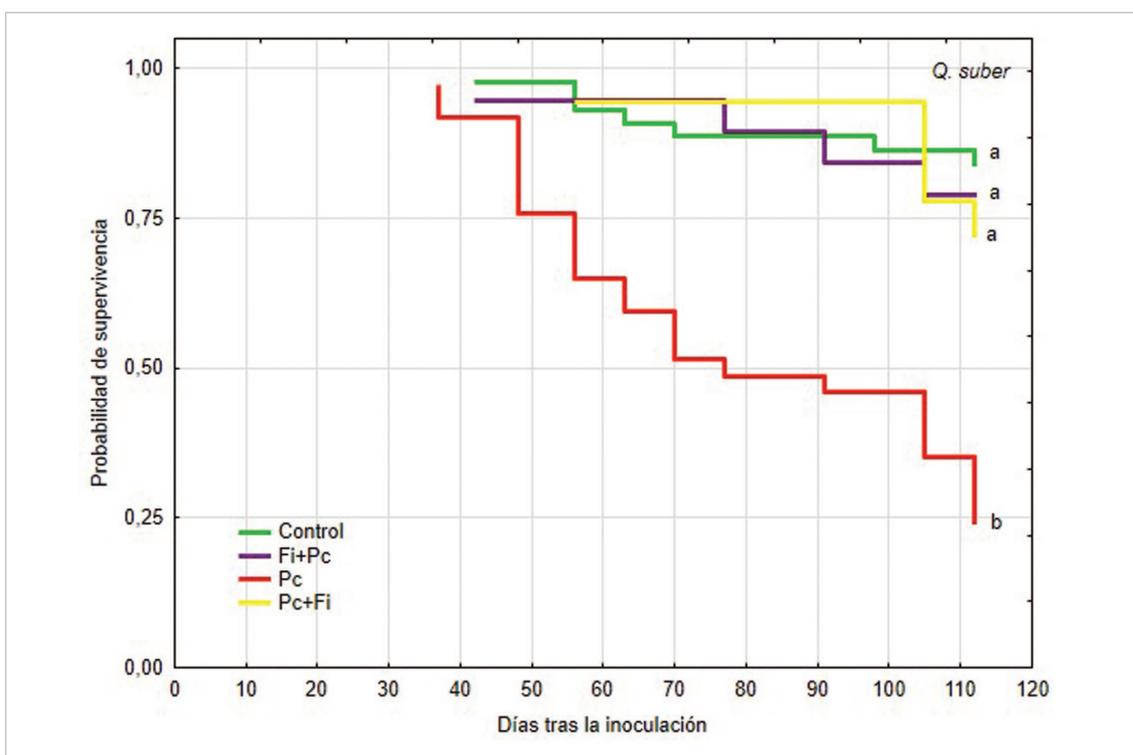


Figura 7. Probabilidad de supervivencia acumulada en plántulas de *Quercus suber* ante los tratamientos control, Fi + Pc, Pc + Fi y Pc. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

4.4. La aplicación conjunta de enmiendas y fosfito potásico no incrementó la acción protectora ante *P. cinnamomi*

La encina resultó insensible a una dosis única de fosfito, preventiva o curativa, y ninguna de las enmiendas logró mejorar la supervivencia de las plantas tratadas con Fi (Tabla 6; Figuras 8 y 9). En *Q. suber*, las enmiendas no incrementaron el efecto preventivo de Fi (Tabla 8; Figura 10), pero Fo sí incrementó el efecto curativo de Fi (la mortalidad en Fo + Pc + Fi fue 57% menor que en Pc + Fi; Tabla 7). Esta tendencia no se observó con la enmienda G1 (Tabla 6; Figuras 10 y 11). Thao and Yamakawa (2009) observaron que el efecto protector de Fi en planta depende del estado nutricional de P en las mismas, y Solla *et al.*, (2009, 2021) sugirieron que la baja disponibilidad de P en suelo de dehesas pudo ser un limitante para la efectividad de Fi ante *Pc*. En el presente estudio se confirman las observaciones previas, pues la aplicación de Fi curativo en plantas con enmienda fosfórica resultó el mejor tratamiento para la supervivencia de *Q. suber* ante *Pc*.

Tabla 6. Porcentaje de mortalidad de plantas de *Quercus ilex* y *Q. suber* control, pulverizadas con fosfito preventivo + inoculadas (Fi + Pc), enmendadas + pulverizadas (G1 + Fi, Fo + Fi), enmendadas + inoculadas (G1 + Pc, Fo + Pc), enmendadas + pulverizadas de forma preventiva (G1 + Fi + Pc, Fo + Fi + Pc) o curativa (G1 + Pc + Fi y Fo + Pc + Fi) con Fi + inoculadas, e inoculadas con *Phytophthora cinnamomi* (Pc).

	<i>Q. ilex</i>	<i>Q. suber</i>
Control	10,8	19,6
Fi + Pc	70,0	21,1
G1 + Fi	0,0	0,0
G1 + Pc	87,5	42,9
G1 + Fi + Pc	86,4	30,0
G1 + Pc + Fi	95,5	77,8
Fo + Fi	0,0	13,6
Fo + Pc	90,5	57,9
Fo + Fi + Pc	96,0	57,1
Fo + Pc + Fi	95,7	13,6
Pc	82,6	75,7

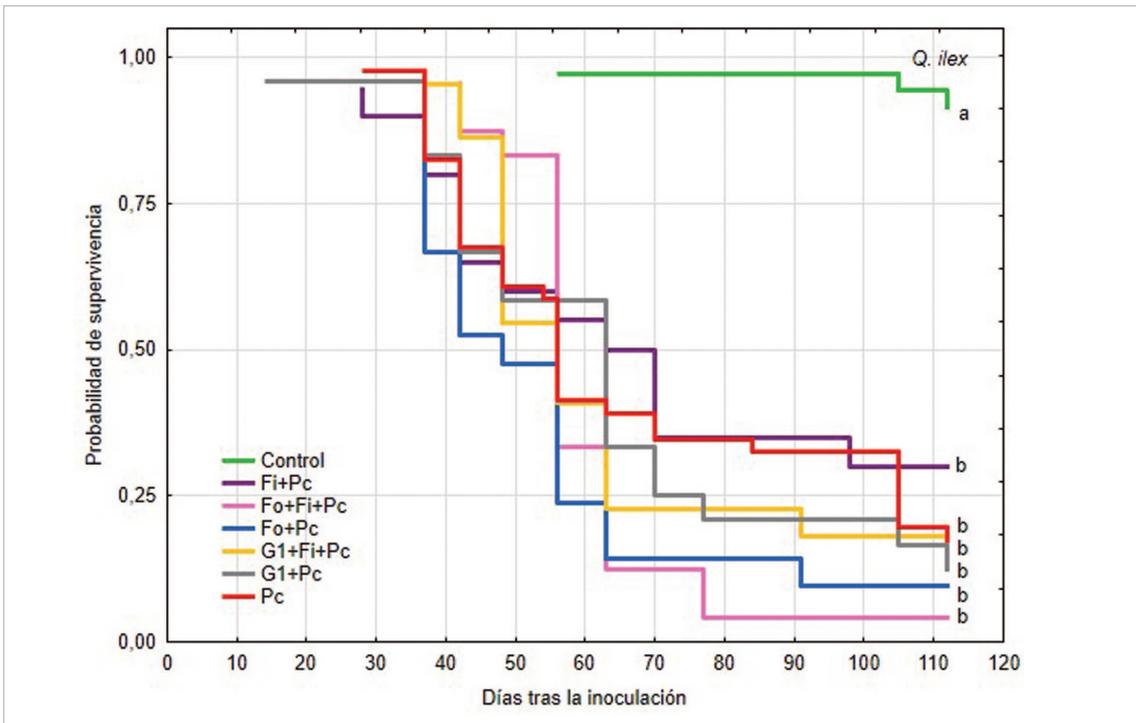


Figura 8. Probabilidad de supervivencia acumulada en plántulas de *Quercus ilex* ante los tratamientos control, Fi + Pc, G1 + Pc, G1 + Fi + Pc, Fo + Pc, Fo + Fi + Pc y Pc. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

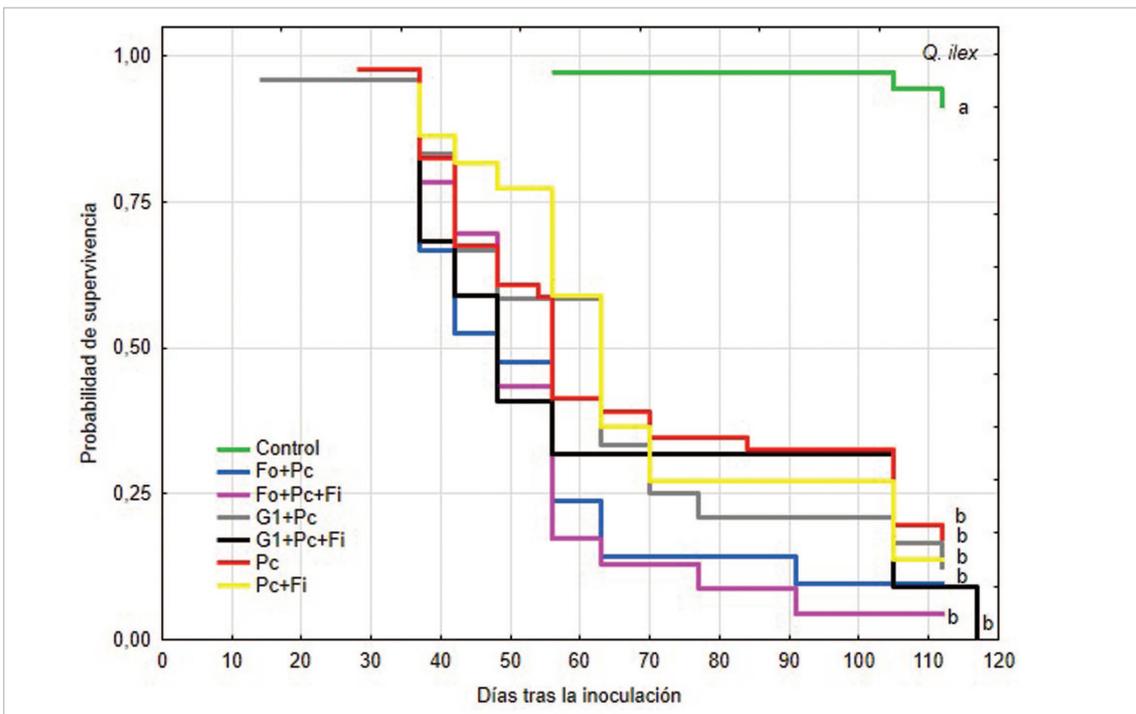


Figura 9. Probabilidad de supervivencia acumulada en plántulas de *Quercus ilex* ante los tratamientos control, Pc + Fi, G1 + Pc, G1 + Pc + Fi, Fo + Pc + Fi y Pc. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

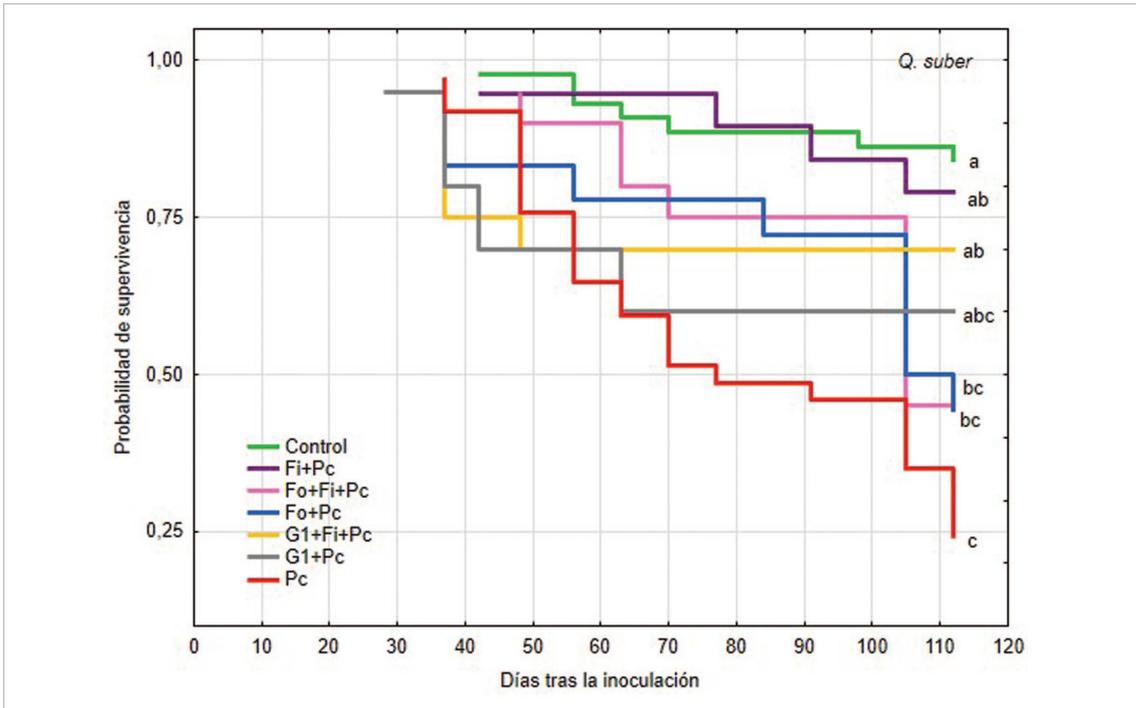


Figura 10. Probabilidad de supervivencia acumulada (Kaplan-Meier) para *Q. suber* ante los tratamientos Control, Fi + Pc, G1 + Pc, G1 + Fi + Pc, Fo + Pc, Fo + Fi + Pc y Pc. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

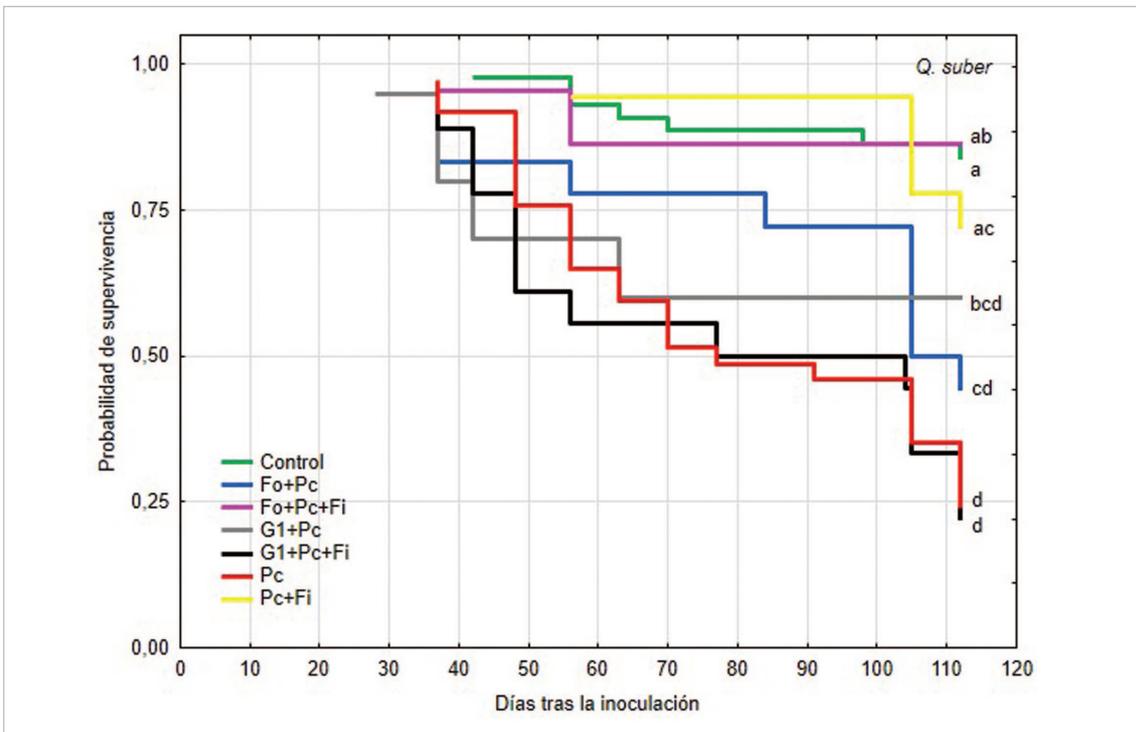


Figura 11. Probabilidad de supervivencia acumulada (Kaplan-Meier) para *Q. suber* ante los tratamientos control, Pc + Fi, G1 + Pc, G1 + Pc + Fi, Fo + Pc + Fi y Pc. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

5. Conclusiones

1. A las dosis empleadas, las enmiendas y el fosfito potásico no afectaron al crecimiento ni provocaron efectos fitotóxicos en plántulas de *Q. ilex* y *Q. suber*. La enmienda fosfórica redujo la mortalidad final causada por *Pc* en *Q. suber*, aunque no en *Q. ilex*. Dado que las enmiendas no incrementaron significativamente el pH del sustrato, se deben experimentar dosis más elevadas.
2. Una sola pulverización foliar de fosfito al 0,56% (Kalex®) generó protección preventiva y curativa ante *Pc* en plántulas de *Q. suber*, aunque no en *Q. ilex*. La mayor susceptibilidad de la encina que el alcornoque a *Pc* indica que tal vez sean necesarias pulverizaciones repetidas, o dosis más altas, para que el fosfito induzca resistencia en *Q. ilex*.
3. La aplicación de una enmienda fosfórica potenció el efecto curativo del fosfito en *Q. suber*, aunque no en *Q. ilex*. En dehesas con suelo deficitarios en fósforo se sugiere seguir experimentando con enmiendas fosfóricas para lograr optimizar el efecto protector del fosfito ante *Pc*.

Agradecimientos

Agradecemos la ayuda técnica de Antonio Madroñero, F. Javier Dorado y Rubén González, y las facilidades ofrecidas por Rafael Coullaut e Ignacio Baños para que el estudio se realizara con éxito. Gracias al profesor Gerardo Moreno (Universidad de Extremadura) por sus sugerencias durante el diseño del experimento.

Financiación

El trabajo fue financiado por la empresa Lithium Iberia SL a través de un convenio firmado con la Universidad de Extremadura, de código 123/20. Belén Oliva fue beneficiaria de una ‘beca de colaboración’ con el Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal concedida por el Ministerio de Educación y Formación Profesional. Álvaro Camisón es beneficiario de una ayuda ‘Margarita Salas para la formación de jóvenes doctores’ de la Universidad de Extremadura.

6. Bibliografía

- Deliopoulos, T.; Kettlewell, P.S.; Hare, M.C.; (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. *Crop Protection*, 29, 1059–1075. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.011>
- González, M.; Caetano, P.; Sánchez, M.E.; (2017). Testing systemic fungicides for control of *Phytophthora* oak root disease. *Forest Pathology*, 47, 12–14. <https://doi.org/10.1111/efp.12343>

- Groves, E.; Howard, K.; Hardy, G.; Burgess, T.; (2015). Role of salicylic acid in phosphite-induced protection against Oomycetes; a *Phytophthora cinnamomi* - *Lupinus augustifolius* model system. *European Journal of Plant Pathology*, 141, 559–569. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0562-y>
- Jackson, T.J.; Burgess, T.; Colquhoun, I.; Hardy, G.E.S.J.; (2000). Action of the fungicide phosphite on *Eucalyptus marginata* inoculated with *Phytophthora cinnamomi*. *Plant Pathology*, 49, 147–154. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2000.00422.x>
- Jung, T.; Blaschke, H.; Neumann, P.; (1996). Isolation, identification and pathogenicity of *Phytophthora* species from declining oak stands. *European Journal of Forest Pathology*, 26, 253–272. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1996.tb00846.x>
- Jung, T.; Pérez-Sierra, A.; Durán, A.; Jung, M.H.; Balci, Y.; Scanu, B.; (2018). Canker and decline diseases caused by soil- and airborne *Phytophthora* species in forests and woodlands. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 40, 182–220. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2018.40.08>
- Moreno, G.; Pulido, F.J.; (2009). The functioning, management and persistence of dehesas. In: Rigueiro-Rodríguez, A.; McAdam, J.; Mosquera-Losada, M.R.; (eds) *Agroforestry in Europe*. *Advances in Agroforestry*, vol 6. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8272-6_7
- Rahman, M.; Punja, Z.K.; (2007). Calcium and plant disease. In: *Mineral Nutrition and Plant Disease*. Eds. Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM. Minnesota: The American Phytopathological Society Press.
- Serrano, M.S.; de Vita, P.; Fernández-Rebollo, P.; Sánchez Hernández, M.E.; (2012). Calcium fertilizers induce soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* root rot of *Quercus ilex*. *European Journal of Plant Pathology*, 132, 271–279. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9871-6>
- Solla, A.; García, L.; Pérez, A.; Cordero, A.; Cubera, E.; Moreno, G.; (2009). Evaluating potassium phosphonate injections for the control of *Quercus ilex* decline in SW Spain: Implications of low soil contamination by *Phytophthora cinnamomi* and low soil water content on the effectiveness of treatments. *Phytoparasitica*, 37, 303–316. <https://doi.org/10.1007/s12600-009-0042-7>
- Solla, A.; Aguín, O.; Cubera, E.; Sampedro, L.; Mansilla, J.P.; Zas, R. (2011). Survival time analysis of *Pinus pinaster* inoculated with *Armillaria ostoyae*: genetic variation and relevance of seed and root traits. *European Journal of Plant Pathology*, 130, 477–488. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9767-5>
- Solla, A.; Moreno, G.; Malewski, T.; Jung, T.; Klisz, M.; Tkaczyk, M.; Siebyla, M.; Pérez, A.; Cubera, E.; Hrynyk, H.; Szulc, W.; Rutkowska, B.; Martín, J.A.; Belbahri, L.; Oszako, T.; (2021). Phosphite spray for the control of oak decline induced by *Phytophthora* in Europe. *Forest Ecology and Management*, 485, 118938. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118938>
- Thao, H.T.B.; Yamakawa, T.; (2009). Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer or bio-stimulator? *Soil Science and Plant Nutrition*, 55, 228–234. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00365.x>
- Trindade, M.; Moreira, A.C.; Cardillo, E.; Costa E Silva, F.; Santos Silva, M. da C.; Gonçalves, M. da C.; Ribeiro, D.; Antunes Santos, G.; Rodríguez Molina, M. del C.; Soares David, T.; (2020). *Gestión y prevención de la enfermedad causada por Phytophthora cinnamomi en dehesas y montados*. Editado por INIAV I.P. y CICYTEX. https://keep.eu/api/project-attachment/7697/get_file/

- Walters, D.R.; Bingham, I.J.; (2007). Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: Implications for plant disease control. *Annals of Applied Biology*, 151, 307–324. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00176.x>
- Yi, X.; Wang, Z.; (2016). The importance of cotyledons for early-stage oak seedlings under different nutrient levels: A multi-species study. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35, 183–189. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9516-7>

