



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



Efecto de diferentes fertilizaciones cárnicas y de su combinación con productos inductores de resistencia en encinas afectadas por podredumbre radical

CARBONERO MUÑOZ, M.D.¹; BARBANCHO PÉREZ, J.J.¹; AVILA DE LA CALLE, A.

¹ Instituto de Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA), Hinojosa del Duque, Córdoba. ² Montarsa Medioambiente SLU.

Resumen

La podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* constituye la mayor amenaza a corto plazo para la encina en la dehesa. Su control requiere integrar diferentes técnicas entre las que se encuentran las fertilizaciones cárnicas y las inyecciones al tronco de productos inductores de resistencias. En este trabajo se va a testar respuesta del arbolado a dos tipos de fertilizaciones cárnicas en combinación con la aplicación de Fosetyl-Al. Para ello en 2019 se seleccionaron 2 fincas de dehesa en Los Pedroches (Córdoba) en las que existían focos con diagnóstico positivo en *Phytophthora cinnamomi*. Los tratamientos ensayados fueron Control, fertilización con carbonato cárneo granulado, fertilización con sulfato cárneo, y una combinación de endoterapia con fertilización cárnea. En cada tratamiento se seleccionaron 30 árboles segmentados en tres clases de defoliación (nula, leve y moderada) con el mismo número de individuos. Anualmente (Otoño 2020 y 2021) se evaluó la defoliación, el peso seco del brote del año y la producción de bellota. Los resultados indican que dentro de los árboles tratados sólo con fertilizante, evolucionan mejor los correspondientes al tratamiento con sulfato cárneo. Además ambas fertilizaciones mejoran los resultados cuando se combinan con la endoterapia. .

Palabras clave

Seca, *Phytophthora cinnamomi*, dehesa, endoterapia, calcio.

1. Introducción

La **podredumbre radical** de los *Quercus* es una enfermedad causada por los patógenos *Phytophthora cinnamomi* y *Pythium spiculum*, que provoca la muerte progresiva de las raíces absorbentes de las plantas encargadas de obtener agua y nutrientes del suelo, pudiendo desembocar en la muerte del árbol. Actualmente es la **mayor amenaza** a corto plazo para la pervivencia del **arbolado** de la dehesa (Serrano et al., 2013). Actualmente su avance está siendo especialmente rápido en muchas zonas de dehesa a través de prácticas como el cultivo, la incorporación de forestaciones o el compartir maquinaria para el laboreo (Abellanas et al., 2017).

Su control es complejo por muchas razones, y pasa por la integración de medidas preventivas que eviten la dispersión y disminuyan la cuantía del patógeno en el suelo, y medidas terapéuticas que permitan remitir la severidad de la enfermedad en árboles afectados (Serrano et al., 2011). Entre las primeras podrían citarse la desinfección de aperos y vehículos, evitar el cultivo de especies susceptibles como el altramuz o la aplicación de fertilizantes al suelo, y entre las segundas la aplicación a los árboles de productos inductores de resistencia como el Fosetyl-Aluminio o el cultivo de especies biofumigantes (Sánchez, 2019). Recientes estudios han estudiado la efectividad de algunos fertilizantes cárnicos en polvo sobre la defoliación en encinas moderada y gravemente afectadas encontrando que pueden atenuar los efectos de la enfermedad pero sus efectos son efímeros y muy relacionados con las condiciones climáticas (Leal et al., 2017). Otros trabajos han abordado el uso de la endoterapia con productos inductores de defensas indicando un efecto protector y terapéutico significativo (Romero et al., 2019), aunque en otros trabajos se relacionan su efectividad de manera muy importante con el contenido de agua en el suelo (Pérez et al. 2009).

2. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo ha sido evaluar, en condiciones de campo y para un período de 2 años, la eficacia de diferentes fertilizaciones cárnicas en formatos de fácil aplicabilidad, y su combinación con la endoterapia de Fosetyl-Aluminio aplicada mediante cápsulas presurizadas reutilizables en encinas afectadas por podredumbre radical.

3. Metodología

El estudio se realizó en dos fincas localizadas en la comarca de Los Pedroches al norte de la provincia de Córdoba (Andalucía) durante el periodo 2019-2021. Dicha comarca alberga 289.800 has de superficie de esta formación de las 1.263.000 has que posee Andalucía (Costa et al., 2006). Las características de ambas fincas pueden consultarse en la tabla 1; ambas se caracterizan por presentar suelos silíceos, de carácter ácido, con baja fertilidad química, buenos contenidos en materia orgánica y textura arenosa. Los datos meteorológicos correspondientes al periodo estudiado pueden consultarse en la tabla 2, procediendo de la estación meteorológica del IES Los Pedroches la más próxima a las fincas, ubicada en Pozoblanco, y que cuenta con registros diarios. En cada finca fueron seleccionadas dos parcelas una control (C) y otra en la que en otoño de 2019 fue aplicado un fertilizante cárneo en dosis de 1000 kg/ha mediante abonadora centrífuga. Para la finca A el fertilizante fue sulfato cárneo (SC, 0,3 mm partícula) y para la B fue carbonato cárneo granulado (CC, 3 mm partícula). Se eligieron estos 2 formatos por ser habitual su uso en dehesas afectadas por podredumbre radical, dado su bajo coste y fácil aplicación. La presencia de *P. cinnamomi* fue confirmada en cada parcela antes de la aplicación del tratamiento. Dentro de cada parcela, en 2019 se seleccionaron 30 árboles de morfología similar segmentados en tres clases de defoliación: nula, leve y moderada según la escala propuesta por Romero et al. (2019) (0= defoliación nula, 1= defoliación leve, 2= defoliación moderada, 3=defoliación grave, 4=defoliación muy grave y 5=muerto) con el mismo número de individuos por clase. Adicionalmente y dentro de la parcela en que fue aplicado el fertilizante cárneo se seleccionaron otros 30 árboles según los criterios expuestos, que fueron tratados con Fosetyl-Aluminio (E) mediante cápsulas presurizadas reutilizables modelo Chemjet (Sánchez et al., 2016). Cada capsula presurizada contiene 20 ml que se rellena con una dosis al 4% de producto comercial (ALIETTE, Bayer Crop Science), colocándose 1 cápsula cada 20-25 cm de perímetro de tronco según indica Romero et al. (2019). En total se testaron los siguientes tratamientos: Control (C), Sulfato cárneo (SC), Carbonato cárneo granulado (CC), y endoterapia al árbol junto a sulfato cárneo en finca A (SC+E) o carbonato cárneo en finca B (CC+E).

Durante los otoños de 2020 y 2021 se evaluó el nivel de defoliación para la copa de cada árbol y el nivel de producción de bellota (1=Nula o muy baja, 2=baja, 3=media, 4=alta y 5=muy alta) (Koenig et al., 2013). Adicionalmente se midió el crecimiento del año en la encina a través del peso seco del brote del año. Para ello durante el verano se recolectaron 5 brotes por árbol aproximadamente a 2 m de altura distribuidos por toda la copa (Pérez et al., 2009).

Dentro de cada finca y para cada año se testó el efecto de los tratamientos empleados sobre el nivel de defoliación, producción y peso seco del brote. Adicionalmente y para todos los árboles seleccionados se evaluó el efecto de los diferentes tratamientos empleados sobre la defoliación. También se analizó el efecto de los tratamientos en función del nivel inicial de defoliación (Año 2019). Para estos análisis se empleó un análisis de la varianza, utilizando para la formación de grupos homogéneos el test de Tukey. La normalidad de los datos se testó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homoscedasticidad mediante la prueba de Levene. Todos los análisis se realizaron usando el software STATISTICA 6.0.

4. Resultados

Los ensayos realizados partían de dos fincas con suelos muy similares (Tabla 1) y un nivel de defoliación idéntico en todas las parcelas, observándose que en la finca A, la parcela control es la única que incrementa la defoliación respecto de la situación inicial y que los árboles tratados con endoterapia tienen menor defoliación que los tratados sólo con sulfato aunque no de manera significativa (Tabla 3). Para la finca B, no se observan diferencias significativas de la defoliación entre parcelas, aunque la parcela que menos empeora es aquella en que fue aplicada la endoterapia (Tabla 3).

Cuando analizamos la defoliación entre tratamientos, encontramos una distribución parecida en los dos años analizados (Figura 1). Los árboles que más mejoran respecto de la situación inicial son los tratados con sulfato cálcico más endoterapia (SC+E); a continuación irían los tratados con sulfato cálcico (SC) que mejoran algo más rápidamente que aquellos tratados con carbonato cálcico más endoterapia (CC+E), aunque en 2021 presentan ambas parcelas los mismos resultados. La que peores datos ofrece es la parcela tratada sólo con carbonato cálcico (CC). Dentro de los árboles en que se aplicó sólo fertilizante (SC vs CC), evolucionan mejor aquellos con sulfato cálcico, y ambas fertilizaciones mejoran los resultados cuando se combinan con la endoterapia especialmente la tratada con carbonato cálcico.

Si analizamos el efecto de los tratamientos según el nivel inicial de defoliación en el árbol, encontramos que para aquellos árboles con valores nulos (Defoliación=0) sólo empeoran su estado aquellos bajo tratamiento con carbonato cálcico (Tabla 4). En el grupo de árboles con niveles de defoliación leve (Defoliación=1), mejoran todos los tratados con endoterapia pero más rápidamente aquellos bajo fertilización con sulfato cálcico combinada con endoterapia. Los tratados sólo con sulfato cálcico mantienen su situación inicial y aquellos bajo carbonato cálcico empeoran significativamente. Para los niveles de defoliación moderados (Defoliación=2) empeoran significativamente los tratados sólo con carbonato cálcico y mejoran el resto. Los que más incrementan su cantidad de hoja son aquellos tratados con endoterapia más sulfato cálcico. El estado del grupo tratado con sulfato cálcico es similar al tratado con endoterapia más carbonato cálcico aunque el primero tiene una mejora más rápida.

En cuanto al peso seco y la producción de bellota no mantienen una evolución sostenida. En 2020 los valores mayores de peso seco para ambas fincas se obtienen bajo el tratamiento de endoterapia (SC+E, CC+E) aunque es mayor en la parcela que añade el sulfato cálcico. En 2021 los mayores valores para ambas fincas se obtienen bajo las parcelas tratadas con calcio (SC y CC). Para la producción de bellota los valores mayores en 2020 para ambas fincas se obtienen en las parcelas tratadas con endoterapia (SC+E, CC+E) , mientras que en 2021 las mayores producciones se obtienen en las parcelas control.

Los costes medios de la aplicación de los fertilizantes cálcicos (producto, transporte a la finca más reparto) en dehesas llanas como las estudiadas fueron de aproximadamente 80 euros/ha. Los costes medios de aplicación de la endoterapia (producto más aplicación) fueron de 7 euros por árbol.

5. Discusión

En el trabajo expuesto se observa que la endoterapia disminuye la defoliación cuando se combina con las 2 fertilizaciones en consonancia con lo expuesto por Romero *et al.* (2019) que indica que el Fosetyl-Aluminio detiene el desarrollo de la enfermedad e incluso incrementa la densidad de la copa en los árboles tratados. Con respecto al trabajo citado, los efectos son más rápidos, observándose mejoras en el arbolado al año del tratamiento, en el caso del sulfato cálcico, frente a los dos años indicados por Romero *et al.* (2019). Estas diferencias en la mejoría podrían achacarse a

múltiples factores como la diferente meteorología, nivel de infección inicial en los árboles, cantidad de patógeno en suelo, etc., y también por el efecto del calcio en el presente trabajo al inhibir la producción y germinación de esporangios (Serrano *et al.*, 2011), y mejorar la producción de raíces absorbentes (Torres *et al.*, 2017). Para la parcela que fue tratada con carbonato cálcico más endoterapia los plazos de tiempo son similares a Romero *et al.* (2019). Son estudios con resultados coherentes en ambos casos.

El hecho de que la endoterapia tenga un efecto más positivo en la parcela tratada con sulfato cálcico que con carbonato cálcico podría achacarse a la mejor solubilidad y penetración del sulfato cálcico frente al carbonato cálcico (Mora *et al.*, 1999, Leal *et al.*, 2017), efecto que se ve potenciado por el mayor gránulo que presenta este último y que hace muy difícil su disolución especialmente en las condiciones de bajas precipitaciones acaecidas en los años estudiados (tabla 2 y figura 2). Es así que la parcela que peores resultados ofrece es la sometida a tratamiento de carbonato cálcico con niveles de defoliación similares a la parcela control (Finca B). Es por ello que si se opta por la aplicación de carbonato cálcico frente a otros fertilizantes cálcicos debieran elegirse formatos con granulación muy fina, pese a la peor aplicabilidad, pues lo que interesa en el caso del control de la podredumbre radical es el efecto rápido del calcio que no aporta un gránulo mayor. El efecto del sulfato cálcico con endoterapia, es sólo ligeramente mejor que si se utiliza sulfato cálcico, al menos durante los dos primeros años de seguimiento.

En cuanto al efecto de los diferentes tratamientos en función del nivel inicial de defoliación en el árbol, lógicamente el peor tratamiento para todos los niveles, pero especialmente para los árboles con defoliación inicial moderada, sería el del carbonato cálcico granulado pues la escasísima protección que proporciona en una situación tan delicada para el árbol compromete de manera importante su evolución futura. En árboles con defoliaciones nulas y leves, el efecto del tratamiento de sulfato cálcico sólo y en combinación con endoterapia es muy similar, indicando que el efecto del calcio al disminuir la cantidad de inóculo en el suelo parece ser suficiente. Lógicamente la endoterapia en árboles apenas afectados aporta protección (Romero *et al.*, 2019), pero no grandes mejoras, pues los árboles parten de un nivel de defoliación bajo. Para árboles con defoliación moderada el efecto de la endoterapia combinado con el sulfato (SC+E) es más eficaz que si usamos sólo sulfato cálcico (SC), pues a los efectos indicados anteriormente se une el efecto terapéutico de la endoterapia (González *et al.*, 2017) remitiendo la infección.

El uso de las variables peso seco y producción de bellota como indicadores de la evolución del arbolado no parece ofrecer unos resultados tan precisos como para el caso de la defoliación probablemente porque se encuentran ligados a más procesos fisiológicos en el árbol (Koenig *et al.*, 2013), y por lo tanto los hacen menos interesantes para ser utilizados en el corto plazo como herramienta de seguimiento en estudios de este tipo.

6. Conclusiones

Los resultados indican que dentro de los árboles tratados sólo con fertilizante, evolucionan mejor los correspondientes al tratamiento con sulfato cálcico, dada la baja solubilidad del carbonato cálcico granulado y por tanto su efecto más lento. Además ambas fertilizaciones, y especialmente la referente al sulfato cálcico, mejoran los resultados cuando se combinan con la endoterapia, sobre todo cuando abordamos tratamiento de árboles con defoliaciones más importantes. Para árboles con defoliaciones nulas o leves la aplicación única de sulfato cálcico ofrece resultados positivos sobre el arbolado y similares a los obtenidos cuando el sulfato cálcico se combina con la endoterapia. Sin embargo y dado el corto periodo analizado, sería necesario un análisis durante más tiempo para descartar otros efectos en la evolución de los árboles.

7. Agradecimientos

A los proyectos de demanda institucional IFAPA PP.DEI.DEI2018.2 (“Mejora en la sostenibilidad de las explotaciones de dehesa”) y PR.PEIT.IDF201901.004 (“Mejora de la sostenibilidad de las explotaciones de dehesa y castaño en Andalucía”) financiados al 80% del Fondo Europeo de Desarrollo Regional, dentro del Programa Operativo FEDER de Andalucía 2014-2020, y las fincas Navarredonda y La Posadilla por su valiosa colaboración.

8. Bibliografía

ABELLANAS-OAR, B.; FERNÁNDEZ-REBOLLO, P.; HIDALGO, M.T.; LEAL, J.R.; CARBONERO, M.D.; GONZÁLEZ-DUGO, M.P; 2017. Análisis espacial de la evolución del decaimiento de *Quercus*: relación con las estructuras lineales del paisaje. Actas del 7º Congreso Forestal Español. Plasencia. 7CFE01-498. ISBN: 978-84-941695-2-6.

COSTA, J. C.; MARTÍN, A.; FERNÁNDEZ, R.; ESTIRADO, M.; 2006. Dehesas de Andalucía. Caracterización ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

GONZÁLEZ, M.; CAETANO, P.; SÁNCHEZ, M. E.; 2017. Testing systemic fungicides for control of *Phytophthora* oak root disease. Forest Pathology, 47, e12343.

KOENIG, W.D.; DÍAZ, M.; PULIDO, M.; ALEJANO, R.; BEAMONTE, E.; KNOPS, J.M.H.; 2013. Acorn production patterns. En: Campos et al. (ed) Mediterranean oak woodland working landscapes. Springer Verlag. pp 181-212

LEAL, J.R.; CARBONERO, M.D.; GARCÍA, A.; HIDALGO, M.T.; FÉRRIZ, M.; SERRANO, M.; FERNÁNDEZ-REBOLLO, P.; 2017. Effects of limestone amendments in the response of holm oak infected by *Phytophthora cinnamomi*. IOBC-WPRS Bulletin, 127:96-100 (8th IOBC-WPRS Working Group Integrated Protection in Oak Forests).

MORA, G.M.; DEMANET, F.R.; 1999. Uso de enmiendas calcáreas en suelos acidificados. Frontera Agrícola (Chile) 5, 43-58.

PÉREZ, A.; CUBERO, E.; MORENO, G.; SOLLA, A.; 2009. Evaluación de las inyecciones de fosfonato potásico en un foco de seca en Extremadura. Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila. 5CFE01-487. ISBN: 978-84-936854-6-1

ROMERO, M.A.; GONZÁLEZ, M.; SERRANO, M.S.; SÁNCHEZ, M.E.; 2019. Trunk injection of fosetyl-aluminium controls the root disease caused by *Phytophthora cinnamomi* on *Quercus ilex* woodlands. Annals of Applied Biology. 174: 313-318.

SÁNCHEZ, M.E.; VEGA, J.M.; PAEZ, J.I.; 2016. Tratamientos de encinas y alcornoques contra la podredumbre radical causada por *Phytophthora cinnamomi* mediante inyecciones al tronco. En: Ecosistemas de dehesa: Desarrollo de políticas y herramientas para la gestión y conservación de la biodiversidad LIFE11/BIO/ES/000726

SÁNCHEZ, M.E.; 2019. Fosetyl-Aluminio un fosfonato efectivo contra la enfermedad de la “seca de la encina”. Phytoma España, 311, 46-48

SERRANO, M.S.; FERNANDEZ-REBOLLO, P.; SÁNCHEZ, M.E.; 2011. La fertilización cárlica para el control de la podredumbre radical de la encina. *Vida rural*, 335, 14-19

SERRANO, M.S.; FERNANDEZ-REBOLLO, P.; DE VITA, P.; SÁNCHEZ, M.E.; 2013. Calcium mineral nutrition increases the tolerance of *Quercus ilex* to *Phytophthora* root disease affecting oak rangeland ecosystems in Spain. *Agroforestry Systems*, 87, 173-179.

TORRES, F.; LEAL, J.R.; HIDALGO, M.T.; FERNÁNDEZ-REBOLLO, P.; 2017. Efecto de la adición de CaCO₃ al sustrato de cultivo en el desarrollo inicial de la raíz en encina y alcornoque. En: *Actas del 7 Congreso Forestal Español*. Plasencia, España.

Tabla 1. Características de las fincas participantes en el ensayo. Para las variables pH, MO (Materia orgánica, %), CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico, meq/100 g) y Ca (Contenido en calcio, meq/100 g) se indica el valor inicial y final del periodo estudiado.

Municipio	Finca	Clasificación climática (Allue)	Textura Suelo	pH	MO	CIC	Ca	Uso
Hinojosa del Duque	A	IV3	Arenoso-Franco	5,5-5,6	4,1-4,7	8,26-8,20	5,6-5,7	Pastoreo
Alcaracejos	B	IV3	Arenoso-Franco	5,5-5,7	2,3-2,9	6,07-6,26	3,7-4,0	Pastoreo

Tabla 2. Características meteorológicas del periodo 2019-2020 según la estación meteorológica del IES Los Pedroches (Pozoblanco).

	2019	2020	2021
Precipitación (mm)	377	530	348
Nº días sin lluvia	257	254	274
Días con T ^o menor de 0 ^o	3	2	11
T ^o mínima anual	-1,3	-1,2	-3,6
T ^o máxima anual	40,8	41,4	44,1

Tabla 3. Efecto de tres tratamientos (C/CA/CA+E) sobre el nivel de defoliación, producción de bellota y peso seco del brote del año para encinas afectadas por podredumbre radical. Los datos fueron recogidos en 2020 y 2021 en 2 fincas experimentales (A y B). Diferencias significativas dentro de cada finca y año se indican mediante letras diferentes según test de Tukey ($p<0,05$).

	Fincas	n	Nivel de defoliación		Producción de bellota		Peso seco (g)	
			A	B	A	B	A	B
2020	C	30	1,33±0,23b	1,17±0,13 ^a	2,23±0,21 ^a	1,37±0,13 ^a	0,60±0,04 ^a	0,73±0,05 ^a
	CA	30	0,67±0,15 ^a	1,53±0,17 ^a	2,40±0,16ab	1,27±0,11 ^a	0,67±0,06ab	0,69±0,05 ^a
	CA+E	30	0,43±0,12 ^a	1,10±0,16 ^a	2,93±0,20b	1,55±0,12 ^a	0,84±0,07b	0,85±0,06 ^a
2021	C	30	1,13±0,19 ^a	1,30±0,13 ^a	2,80±0,23 ^a	2,07±0,21b	0,59±0,05 ^a	0,50±0,04ab
	CA	30	1,00±0,14 ^a	1,43±0,16 ^a	2,20±0,21 ^a	1,40±0,11 ^a	0,67±0,05 ^a	0,58±0,05b
	CA+E	30	0,83±0,15 ^a	1,03±0,14 ^a	2,57±0,21 ^a	1,71±0,16ab	0,54±0,04 ^a	0,36±0,03 ^a

Tratamientos : C=Control; CA=Fertilización cálcica (Sulfato cálcico en finca A y Carbonato cálcico granulado en finca B); E=Endoterapia al árbol con Fosetil-Al

Tabla 4. Evolución de la defoliación en encinas afectadas por podredumbre radical con un nivel distinto de defoliación inicial y sometidas a diferentes tratamientos ((SC=Sulfato cálcico, CC=Carbonato cálcico granulado, E=Endoterapia al árbol con Fosetil-Al). Los datos fueron recogidos en 2020 y 2021. Diferencias significativas dentro de cada nivel de defoliación y año se indican mediante letras diferentes según test de Tukey ($p<0,05$).

Año	Nivel defoliación 2019	n	SC	CC	SC+E	CC+E
2020	0 (Nula)	10	0,1±0,1a	0,6±0,2b	0,0±0,0a	0,2±0,2a
	1 (Leve)	10	0,5±0,2a	1,5±0,2b	0,3±0,2a	1,3±0,2b
	2 (Moderada)	10	1,4±0,3ab	2,5±0,2c	1±0,3a	1,9±0,2bc
2021	0 (Nula)	10	0,3±0,2a	0,6±0,2a	0,4±0,2a	0,3±0,2a
	1 (Leve)	10	1,2±0,4 ab	1,5±0,5 b	0,8±0,6a	1,0±0,4a
	2 (Moderada)	10	1,5±0,9ab	2,2±0,3b	1,3±0,9a	1,8±0,6ab

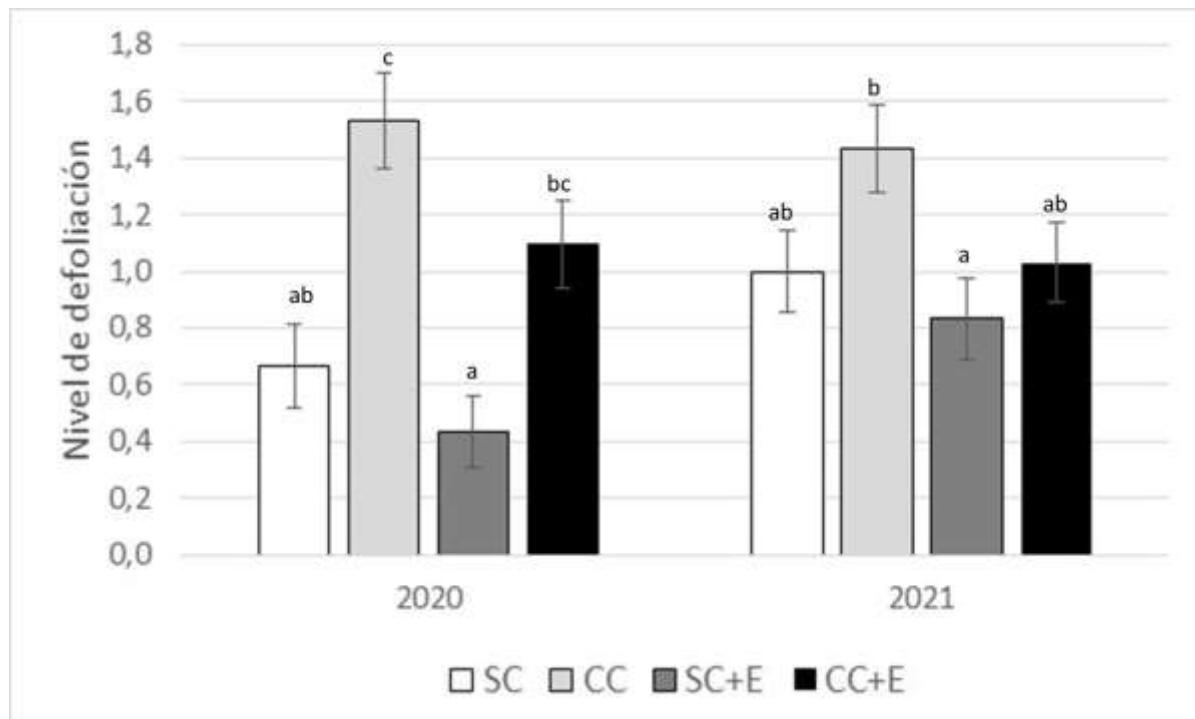


Figura 1. Evolución del nivel de defoliación en encinas afectadas por podredumbre radical bajo diferentes tratamientos (SC=Sulfato cálcico, CC=Carbonato cálcico granulado, E=Endoterapia al árbol con Fosetil-Al). El nivel de defoliación inicial para cada parcela fue de 1. Diferencias significativas dentro de cada año entre tratamientos se indican mediante letras diferentes según test de Tukey ($p<0,05$).



Figura 2. Gránulos de carbonato cálcico sin disolver en otoño de 2021 en finca B.