

9CFE-1423



Planificación de la extracción del corcho y el clima: La humedad del aire elevada favorece la disponibilidad de inóculo aéreo de *Diplodia corticola*

ANDREU MEIJER (1), ANAND B. UPPARA (2,3), DALMAU ALBÓ (1,2), CARLOS COLINAS (1,2) y E. JORDÁN MUÑOZ-ADALIA (1,4)

(1) Centro de Ciencia y Tecnología Forestal de Cataluña (CTFC), Carretera St. Llorenç de Morunys, km.2 Solsona, Cataluña E-25280, España

(2) Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agraria, Universidad de Lleida, Av. de l'Alcalde Rovira Roure 191 Lleida, E-25198, España

(3) Forest Bioengineering Solutions, S.A., Carretera St. Llorenç de Morunys, km.2 Solsona, Cataluña E-25280, España

(4) Departamento de Ciencias Agroforestales - iuFOR, Universidad de Valladolid, Av. de Madrid 57, Palencia 34004, España

Resumen

La enfermedad del escaldado causada por *Diplodia corticola* Phillips, Alves & Luque, es una patología emergente que afecta especialmente al alcornoque (*Quercus suber* L.). Pese a la elevada incidencia de este hongo en algunas regiones del Mediterráneo, su estrategia de dispersión es todavía poco conocida. En el verano de 2020 se instalaron trampas de esporas semi-pasivas para evaluar la presencia de inóculo de *D. corticola* en el aire en 8 rodales de alcornoque durante la temporada de extracción de corcho en Cataluña. Las trampas se revisaron semanalmente y se estimó el número de esporas mediante un protocolo de detección molecular basado en qPCR anidada. Se utilizaron modelos aditivos generalizados (GAMs) para el análisis de la distribución espaciotemporal de la acumulación de inóculo en el aire. Se observó que la disponibilidad de inóculo sigue un patrón basado en picos de esporulación (1050-60540 esporas estimadas/muestra) ligados al aumento de la humedad relativa del aire, similar al descrito en otros miembros de Botryosphaeriaceae. Este estudio aborda el mecanismo de diseminación de esporas de este patógeno y ofrece información clave para desarrollar estrategias de control del escaldado basadas en concentrar la extracción de corcho en los periodos de baja disponibilidad de inóculo.

Palabras clave

Botryosphaeria corticola, enfermedad forestal emergente, GAM (Modelos Aditivos Generalizados), detección de inóculo, qPCR anidada.

1. Introducción

El alcornoque (*Quercus suber* L.) es un ejemplo destacado de especie multifuncional en los bosques mediterráneos. En la cuenca mediterránea occidental, especialmente en Portugal y España, la silvicultura de esta especie se centra en maximizar la producción de corcho, que se utiliza en diversas industrias, como la fabricación de tapones de vino, materiales de aislamiento, compuestos sintéticos y productos artesanales, entre otros (Gil, 2015). Este uso forestal es compatible con otras actividades productivas como la ganadería en extensivo, la



caza, la recolección de leña, la apicultura, la recolección de setas y el turismo. Los bosques de alcornoque se gestionan tanto como dehesas y montados en la parte occidental de la Península Ibérica como bosques monoespecíficos de densidad media (en el noreste de España), con el objetivo de seleccionar los árboles más vigorosos para fines productivos. El descorche o pela se realiza por primera vez cuando los árboles alcanzan un perímetro de 60-65 cm de diámetro normal, aunque este corcho inicial no es útil para la industria de tapones de vino y generalmente tiene un bajo valor de mercado. Los descorches sucesivos se realizan en verano cada 9-14 años, dependiendo de las condiciones climáticas y el espesor de corcho alcanzado (Montero y Cañellas, 1999).

La enfermedad causada por el hongo ascomiceto *Diplodia corticola* Phillips, Alves & Luque, conocida como escaldado del alcornoque, es una de las patologías emergentes más importantes que afectan a los robles mediterráneos. Ha sido descrita en bosques de Argelia, Francia, Grecia, Italia, Marruecos, Portugal, España y Túnez (Mahamedi et al., 2020). En alcornoques maduros, el hongo coloniza la capa subero-felodérmica (“capa madre”), provocando la formación de chancros oscuros de color marrón con exudaciones abundantes. Estas lesiones dificultan la regeneración del corcho, debilitan al árbol al reducir su vigor y exponen el interior del tronco a pudriciones del duramen y ataques de perforadores de madera. Asimismo, el hongo genera clorosis, marchitamiento y mortalidad en plántulas de *Quercus* spp. (Luque et al., 2008).

Actualmente no se conoce en detalle la etiología de la enfermedad, aunque se ha confirmado que el hongo (propágulos) puede ser transportado por algunos insectos (Coleoptera: Buprestidae, Curculionidae y Cerambycidae). (Pinna et al., 2019), (Muñoz-Adalia et al., 2022b) Sin embargo, también se ha sugerido su posible papel como hongo endófito (Franceschini et al., 2005). El transporte de las esporas por viento y las gotas de lluvia es una de las principales hipótesis sobre la dispersión del inóculo de este hongo, como se ha confirmado en otras especies de Botryosphaeriaceae (Kuntzmann et al., 2009), aunque esto aún no se ha demostrado. En este sentido, los gestores forestales tienden a pensar que la diseminación de esporas por el viento podría ser el factor clave para el desarrollo de la infección en verano, ya que el descorche favorece el contacto efectivo entre las esporas en el aire y los tejidos vegetales susceptibles que quedan expuestos tras la pela.

2. **Objetivos** El objetivo de este estudio fue evaluar si el inóculo aéreo de *D. corticola* está presente durante la temporada de extracción de corcho (desde mediados de junio hasta mediados de julio en el noreste de España). Además, se buscó determinar si la liberación de esporas es un proceso continuo o si es dependiente de eventos meteorológicos.

3. Metodología

En junio de 2020 se establecieron ocho parcelas de muestreo en Cataluña (noreste de España) para investigar la disponibilidad de inóculo aéreo de *D. corticola* durante la temporada de extracción de corcho. Las parcelas de muestreo fueron seleccionadas para cubrir completamente el rango de distribución de *Q. suber* en

esta región, incluyendo diferentes ubicaciones, condiciones microclimáticas, estructuras de los rodales e intensidades de infección del chancro de *D. corticola* (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción de las parcelas de muestreo.

Parcela	Lugar (Provincia)	Coordenada U TM	Elevación	(m.s.n.m.)	Altura trampa (m)	Incidencia	**
I	Arbúcies	(Girona)	41.80506 /	2.55770	364,8	1,12	Alta
II	Capmany*	(Girona)	42.37313 /	2.91307	190,2	1,28	Media - Alta
III	Fitor	(Girona)	41.91067 /	3.09685	226,31	1,16	Media - Alta
IV	Pals*	(Girona)	41.96365 /	3.15300	41,9	1,25	Baja
V	Sant Feliu de Buixalleu*	(Girona)	41.78989 /	2.58350	375,8	1,26	Alta
VI	Tordera 1	(Barcelona)	41.71646/ 2.68003	58,69	1,30		Media
VII	Tordera 2	(Barcelona)	41.69946/ 2.65492	195,5	1,26		Baja
VIII	Tordera 3	(Barcelona)	41.67530 /	2.65820	144,6	1,17	Media

* Parcelas incluidas en la Red Europea de Sanidad Forestal (nivel 1). **: Severidad de afectación por *Diplodia corticola* evaluada visualmente según una escala cualitativa [Baja (< 20% alcornos sintomáticos), Media (20-60%), Media-Alta (60-80%) y Alta (> 80%)].

Se instaló una trampa semipasiva de esporas en cada parcela (Figura 1). Sobre la placa central de cada trampa se colocó un trozo de hule de 12 × 5 cm, fijado con dos pinzas de madera. La superficie del hule se cubrió con ~1 g de vaselina inodora como sustancia extractante. Las trampas se muestrearon semanalmente (desde el 17/06/2020 hasta el 10/09/2020; primera fecha de recolección: 26/06/2020; Figura 2). En cada evento de muestreo (frecuencia semanal) la pieza de hule se retiró y sustituyó y se transfirió a un tubo de plástico estéril de 50 mL. Las muestras se almacenaron a 4 °C hasta su procesamiento.

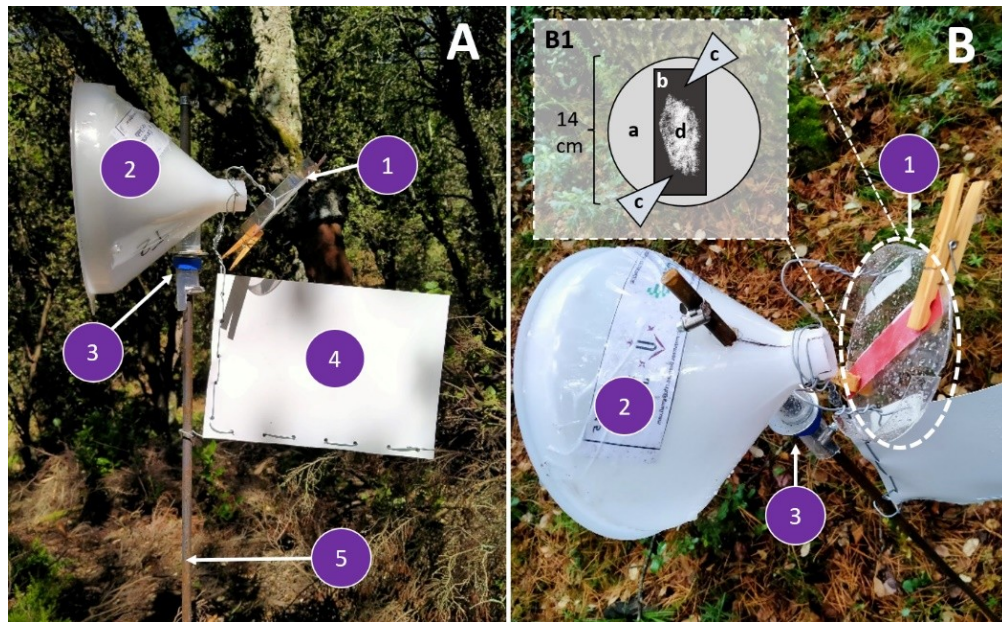


Figura 1. Trampa de esporas semipasiva utilizada en el estudio. A: Vista lateral, B: Vista aérea. 1: Trampa; 2: Embudo de plástico de 25 cm de diámetro; 3: Eje de rotación; 4: Veleta; 5: Barra metálica. B1: Esquema de la trampa: a: placa de plástico de 14 cm de diámetro; b: trozo de tejido de hule de 12 x 5 cm; c: pinza de madera; d: vaselina. Fuente: Muñoz-Adalia et al. (2023).

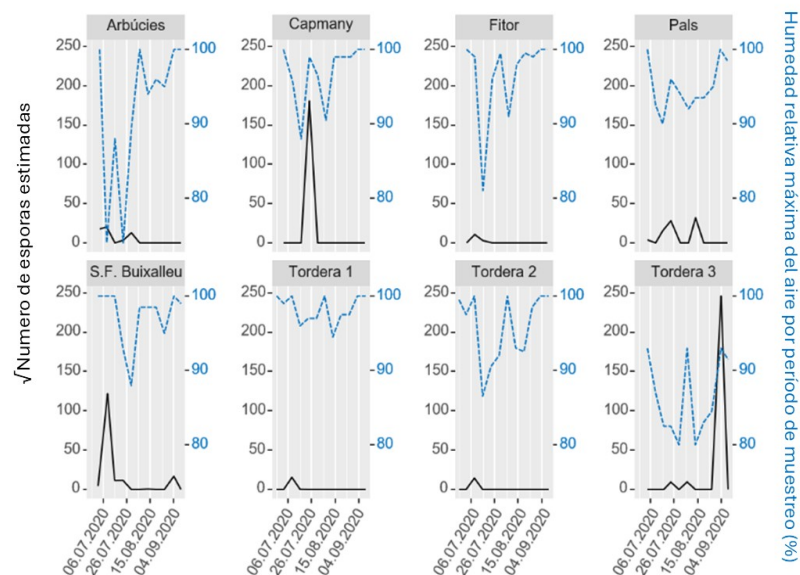


Figura 2. Disponibilidad de inóculo aéreo (raíz cuadrada del número estimado de esporas) por parcela de muestreo en el periodo estudiado. Abreviaturas: S.F. Buixalleu: Sant Feliu de Buixalleu. Fuente: modificada de Muñoz-Adalia et al. (2023)

La humedad relativa (%) y la temperatura del aire (°C) se registraron cada hora durante el período de muestreo en las parcelas utilizando registradores de datos EL-USB-2 (Lascar Electronics, Reino Unido). Se calcularon los registros máximos,



mínimos y medios de la humedad relativa del aire y la temperatura para cada período entre eventos consecutivos de muestreo (Hrpmax, Hrpmin, Hrpm, Tpmax, Tpmin y Tpm, respectivamente).

El ADN genómico total se extrajo de 250 mg de cada muestra de vaselina utilizando el kit DNeasy PowerSoil (Qiagen, Alemania), siguiendo las instrucciones del fabricante, y se mantuvo a -20°C hasta su procesamiento. La calidad y cantidad del ADN extraído se estimaron utilizando un espectrofotómetro (NanoDrop 1000, Thermo Scientific, EE.UU.). La presencia de *D. corticola* en las muestras se evaluó siguiendo el protocolo de qPCR anidada descrito por Muñoz-Adalia et al. (2022b).

Para cuantificar el inóculo se extrajo el ADN genómico utilizando el kit E.Z.N.A.® Plant DNA a partir de ~100 mg de micelio liofilizado de la cepa de *D. corticola* CAA007-1 (números de acceso en GenBank del NCBI: MW699645/MW699639), pulverizado en un disruptor de tejidos modelo Bead Mill 24 (Fisherbrand, EE.UU.) durante 20 segundos a 3,2 m/s. Una vez extraído y cuantificado el ADN utilizando un espectrofotómetro NanoDrop, se prepararon diluciones seriadas utilizando agua MilliQ doblemente esterilizada (1:1, 1:10, 1:102 y 1:103). Las diluciones seriadas se amplificaron como controles positivos, tal como se ha descrito anteriormente para las muestras de las trampas de esporas. Los valores *ct* resultantes de las diluciones seriadas y sus correspondientes concentraciones de ADN en la qPCR anidada se utilizaron para ajustar una curva estándar en el entorno de programación R (R core team, 2022), cuya ecuación se empleó para estimar la biomasa relativa de *D. corticola* (pg de ADN/trampa) en cada evento de muestreo y ubicación. El número de esporas (S) correspondiente a la biomasa calculada de cada muestra se estimó utilizando el tamaño del genoma nuclear haploide (C-valor) proporcionado por Muñoz-Adalia et al. (2022b) como referencia para la cantidad esperada de ADN en un único conidio de *D. corticola*.

El análisis de la variación en la liberación de esporas durante el verano se realizó mediante el cálculo de modelos aditivos generalizados (GAMs) utilizando el paquete “mgcv” (Wood, 2021) en R. Cada modelo se ajustó considerando el número estimado de esporas como variable de respuesta (S), mientras que la fecha de muestreo (fecha juliana correlativa) y la parcela se usaron como variables explicativas. Los datos microclimáticos (Hrpmax, Hrpmin, Hrpm, Tpmax, Tpmin y Tpm) también se incluyeron como variables explicativas tras evaluar su posible correlación utilizando el paquete “corrplot” en R (Wei y Simko, 2021). Se calcularon un total de 30 GAMs considerando la fecha juliana como una variable explicativa suavizada. La parcela de muestreo se consideró en 25 de estos modelos como un factor explicativo. Dieciocho GAMs consideraron la fecha juliana como una variable suavizada separada por parcela, mientras que el resto de los modelos incluyó la parcela como un factor independiente. Las variables climáticas se incluyeron en 28 modelos como predictores suavizados o como *tensor product* cuando se consideró la interacción de las variables. La selección del modelo más explicativo se realizó utilizando tres indicadores complementarios: (i) valor de AIC, (ii) porcentaje de desviación explicada y (iii) R^2 . Los dos modelos con valores más bajos de AIC se compararon utilizando la prueba de χ^2 . El paquete “gratia” de R (Simpson, 2021) se utilizó para evaluar el ajuste del modelo y visualizar las



funciones de los predictores.

4. Resultados

El estudio de las trampas de esporas realizado en este trabajo reveló la disponibilidad de inóculo aéreo durante el verano, incluyendo la temporada de extracción del corcho (Figura 2). Específicamente, encontramos un 44,44% de amplificaciones positivas. La biomasa de *D. corticola* estimada por muestra (conjunto de datos completo) fue de $46,79 \pm 29,10$ pg de ADN/muestra, lo que corresponde a $1245,57 \pm 774,76$ esporas estimadas/muestra.

La disponibilidad de esporas no fue constante durante el período de muestreo, describiendo un patrón basado en picos (Figura 2). Esta observación fue respaldada por los resultados del Modelo GAM Model2y, que mostró los indicadores de ajuste más altos. Específicamente, cuatro de las parcelas analizadas (Arbúcies, Fitor, Tordera 1 y Tordera 2; Figura 2) mostraron una disponibilidad escasa de inóculo aéreo durante el período de muestreo que no varió significativamente según la fecha (Tabla 2). La disponibilidad de esporas en Pals no cambió significativamente según la fecha, aunque se registraron dos picos marcados (tres eventos de muestreo) de menos de 1050 esporas estimadas/muestra (Figura 2). La fecha juliana se relacionó significativamente con la disponibilidad de esporas en Capmany, Sant Feliu de Buixalleu y Tordera 3 (Tabla 2), donde se detectaron de 1 a 3 picos pronunciados por parcela (Figura 2). El único registro notable de esporas en el rodal de alcornoques de Capmany correspondió a un pico marcado entre el 17 y el 24 de julio (aproximadamente 32600 esporas/muestra). Un pico más tardío se detectó en Tordera 3 (aproximadamente 60540 esporas/muestra entre el 27 de agosto y el 4 de septiembre), mientras que Sant Feliu de Buixalleu exhibió una mayor disponibilidad de inóculo en términos generales, registrándose allí un pico de acumulación entre el 2 y el 10 de julio, cuando la carga de inóculo estimada alcanzó las 14754 esporas/muestra.

Tabla 2. *Resumen de predictores del GAM ajustado para la producción de esporas (Modelo2y). S, carga de esporas estimada por trampa; Hrpmax, humedad relativa máxima del aire registrada entre los eventos de muestreo en cada parcela;. Abreviatura: gle, grados de libertad efectivos.*

Variable respuesta	Término suavizado	gle	p-valor
S (n =90)	Hrpmax	8,97	< 0,01
Julian (Arbúcies)	1,00	0,38	
Julian (Capmany)	9,89	< 0,01	
Julian (Fitor)	1,00	0,39	
Julian (Pals)	1,00	0,98	
Julian (Sant Feliu de Buixalleu)	8,94	< 0,01	
Julian (Tordera 1)	1,00	0,96	
Julian (Tordera 2)	1,00	0,73	
Julian (Tordera 3)	8,99	< 0,01	

La humedad relativa del aire entre las fechas de muestreo (registros máximos; Hrpmax) registrada en las parcelas de muestreo resultó ser una variable explicativa significativa para la disponibilidad de inóculo, según el Model2y. En consecuencia, la función suavizada del predictor destaca una respuesta positiva en el número estimado de esporas para valores de Hrpmax comprendidos entre el 81% y el 91% (Figura 3).

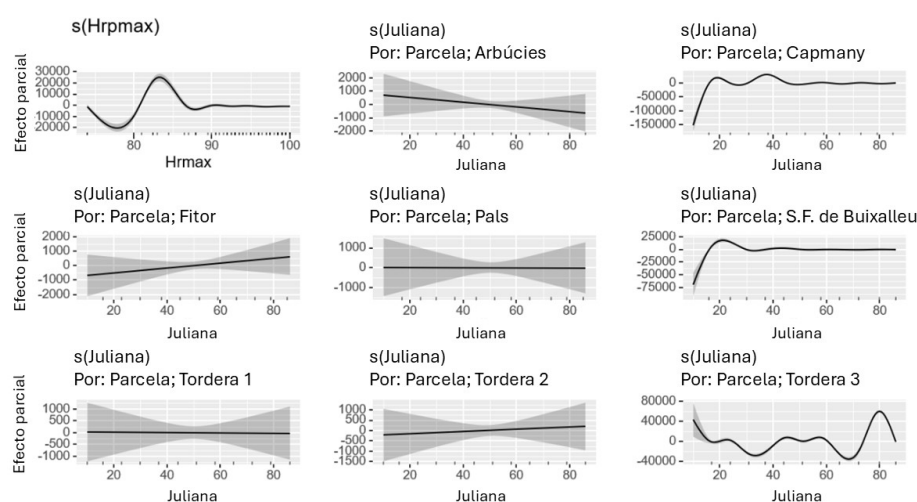


Figura 3. Efecto estimado de la función de coeficiente suavizado de la humedad relativa del aire máxima por periodo de muestreo (Hrpmax), y fecha juliana por parcela experimental. Las áreas sombreadas en gris representan intervalos de confianza del 95%. Los valores positivos del efecto predictor indican efectos positivos

*de la variable suavizada sobre la estimación del número de esporas de *Diplodia corticola* por periodo de muestreo. Fecha juliana: 20 (06.07.2020), 40 (26.07.2020), 60 (15.08.2020) y 80 (04.09.2020). Abreviaturas: S.F. de Buixalleu: Sant Feliu de Buixalleu. Fuente: modificada de Muñoz-Adalia et al. (2023)*

Se produjeron picos de esporulación en Capmany, Tordera 3 y Sant Feliu de Buixalleu durante períodos de aumento de la humedad relativa. Por ejemplo, el pico en Capmany (32,600 esporas/muestra) ocurrió después de un breve episodio húmedo el 20 de julio (Hrpmax = 85%). De manera similar, el pico tardío en Tordera 3 (60,540 esporas/muestra) coincidió con un período de alta humedad el 30 de agosto (Hrpmax = 91%). Mientras tanto, el pico temprano en Sant Feliu de Buixalleu (14,754 esporas/muestra) se presentó durante un breve período húmedo el 5 de julio (Hrpmax = 84%). Estos eventos se alinean con la hipótesis de que la dispersión de esporas de *D. corticola* está asociada con desencadenantes ambientales específicos.

5. Discusión

Este estudio confirmó la presencia de inóculo aéreo de *D. corticola* durante el verano utilizando un método molecular altamente específico. La disponibilidad de esporas describió un patrón basado en picos que parece ser la estrategia de diseminación más común entre los patógenos forestales (Iturrutxa et al., 2007; Wyka et al., 2018), aunque se han descrito algunas excepciones a este patrón (Dvořák et al., 2017). La detección de inóculo en nuestras ocho parcelas de muestreo apunta a que las esporas transportadas por el viento de *D. corticola* se liberan en oleadas. Paralelamente, la carga de esporas de *D. corticola* estimada en insectos portadores (*Platypus cylindrus* F.) utilizando el mismo protocolo molecular también resultó ser bastante variable a lo largo del verano (Muñoz-Adalia et al., 2022b), sugiriendo que *D. corticola* aprovecha condiciones ambientales específicas para la diseminación de esporas, al menos durante la estación más seca. Se han registrado patrones similares en otros miembros de Botryosphaeriaceae. En este sentido, Kuntzmann et al. (2009) llevaron a cabo un programa de monitoreo a largo plazo sobre la liberación de esporas en viñedos. Estos autores encontraron que el 90% de las esporas de *Diplodia seriata* De Not. y *Diplodia mutila* (Fr.) Mont. se liberaron durante la temporada de crecimiento (es decir, de abril a octubre), con algunos picos notables de acumulación de esporas a lo largo del año. Más específicamente, *D. mutila* presentó picos más marcados que *D. seriata*, con una acumulación de esporas liberadas durante el verano. Esta tendencia coincide completamente con los resultados obtenidos aquí para *D. corticola*.

Respecto de las condiciones microclimáticas, los resultados reportados aquí revelan que la humedad relativa máxima del aire es un factor desencadenante para la disponibilidad de esporas de *D. corticola*. De manera similar, se han documentado picos de esporas para *D. seriata*, *Spencermartinsia viticola* (Phillips & Luque) Phillips, Alves & Crous, y *Neofusicoccum* sp. en viñedos chilenos (Valencia et al., 2015). En ese estudio, la abundancia de esporas en trampas pasivas reveló picos de acumulación durante el período más lluvioso del año sin detección de esporas durante el verano (clima mediterráneo semiárido). En consecuencia, consideramos que la liberación de esporas de *D. corticola* podría considerarse



dependiente de la humedad durante el verano, ya que los picos de esporulación tienden a ocurrir cuando la humedad relativa del aire se eleva (Figura 2). Futuros estudios deberían investigar los patrones de esporulación también fuera de la temporada de verano, para caracterizar completamente la ventana microclimática de infección adecuada para *D. corticola* en masas de alcornoque.

6. Conclusiones

Este estudio investigó por primera vez la disponibilidad de inóculo aéreo de *D. corticola* durante el verano. Según nuestros resultados, la disponibilidad de esporas de *D. corticola* parece ser baja durante esta estación, con algunos eventos intensos y locales de abundancia de esporas relacionados con episodios húmedos. En consecuencia, una mayor densidad de inóculo aéreo parece concentrarse en picos meteorológicamente predecibles, lo que es muy importante para los gestores de masas de alcornoque, ya que el descorche después de días de alta humedad o lluviosos podría aumentar intensamente el riesgo de infección.

Este trabajo ha sido publicado en *Forest Ecology and Management* bajo el título 'Cork harvest planning and climate: High air humidity favors availability of airborne inoculum of *Diplodia corticola*' (Muñoz-Adalia et al., 2023).

7. Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Generalitat de Catalunya, Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (España). Anand B. Uppara cuenta con una beca industrial predoctoral en Forest Bioengineering Solutions y el Centro de Ciencias Forestales de Cataluña (CTFC) (referencia: E-25-2020-0115755). Los autores agradecen a J. Heras (Generalitat de Catalunya), O. Plana (Diputació de Barcelona), A. Torrell (Forestal Catalana) y J.M. Riba por su valioso asesoramiento y apoyo en la selección de parcelas y el desarrollo del muestreo. La cepa de hongo CAA007-1 utilizada en los procedimientos moleculares fue proporcionada por el Dr. A. Alves (Universidade de Aveiro, Portugal). Los autores agradecen especialmente al Ajuntament de Tordera, Agents Rurals, al personal de Forestal Catalana y a los propietarios forestales por su apoyo en el trabajo de campo y el monitoreo de las trampas.

8. Bibliografía

- DVOŘÁK, M.; JANOŠ, P.; BOTELLA, L.; ROTKOVÁ, G.; ZAS, R.; 2017. Spore dispersal patterns of *Fusarium circinatum* on an infested monterey pine forest in North-Western Spain. *Forests* 8 432. <https://doi.org/10.3390/f8110432>.
- FRANCESCHINI, A.; LINALDEDDU, B.T.; MARRAS, F.; 2005. Occurrence and Distribution of Fungal Endophytes in Declining Cork Oak Forests in Sardinia (Italy). *Bulletin IOBC* 28 67–74.
- GIL, L.; 2015. New cork-based materials and applications. *Mater.* 8 625–637. <https://doi.org/10.3390/MA8020625>.
- ITURRITXA, E.; GANLEY, R.; WART, S.; 2007. Dispersión por vía aérea de esporas de *Diplodia pinea* en tres localidades de la Cornisa Cantábrica. *Bol. San. Veg. Plagas* 33 383–390.



- KUNTZMANN, P.; VILLAUME, S.; BERTSCH, C.; 2009. Conidia dispersal of *Diplodia* species in a French vineyard on JSTOR. *Phytopathol. Mediterr.* 48 150–154.
- LUQUE, J.; PERA, J.; PARLADÉ, J.; 2008. Evaluation of fungicides for the control of *Botryosphaeria corticola* on cork oak in Catalonia (NE Spain). *For. Pathol.* 38 147–155. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2007.00526.x>.
- MAHAMED, A.E.; PHILLIPS, A.J.L.; LOPES, A.; DJELLID, Y.; ARKAM, M.; EICHMEIER, A.; ZITOUNI, A.; ALVES, A.; BERRAF-TEBBAL, A.; 2020. Diversity, distribution and host association of *Botryosphaeriaceae* species causing oak decline across different forest ecosystems in Algeria. *Eur. J. Plant Pathol.* 158 745–765. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02116-4>.
- MONTERO, G.; CAÑELLAS, I.M.; 1999. Manual de reforestación y cultivo de alcornoque (*Quercus suber* L.). Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid, Spain. ISBN: 84-7498-475-0. 103 pp.
- MUÑOZ-ADALIA, E.J.; MEIJER, A.; COLINAS, C.; 2022. New QPCR Protocol to Detect *Diplodia corticola* Shows Phoretic Association with the Oak Pinhole Borer *Platypus cylindrus*. *Pest Manag. Sci.* 78 3534–3539. <https://doi.org/10.1002/PS.6994>.
- MUÑOZ-ADALIA, E.J.; UPPARA, A.B.; ALBÓ, D.; MEIJER, A.; COLINAS, C.; 2023. Cork harvest planning and climate: High air humidity favors availability of airborne inoculum of *Diplodia corticola*. *For. Ecol. Manage.* 536, 120935. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120935>.
- PINNA, C.; LINALDEDDU, B.T.; DEIANA, V.; MADDAU, L.; MONTECCHIO, L.; LENTINI, A.; 2019. Plant Pathogenic Fungi Associated with *Coraebus florentinus* (Coleoptera: Buprestidae) Attacks in Declining Oak Forests. *For.* 10 488. <https://doi.org/10.3390/F10060488>.
- R CORE TEAM; 2022. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. URL: <https://www.R-project.org/>.
- SIMPSON, G.; 2021. *Gratia: Graceful ggplot-Based Graphics and Other Functions for GAMs Fitted using mgcv*. <https://gavinsimpson.github.io/gratia/>.
- VALENCIA, D.; TORRES, C.; CAMPS, R.; LÓPEZ, E.; CELIS-DIEZ, J.; BESOAIN, X.; 2015. Dissemination of *Botryosphaeriaceae* conidia in vineyards in the semiarid Mediterranean climate of the Valparaíso Region of Chile. *Phytopathol. Mediterr.* 54 394–402. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-16055.
- WEI, T.; SIMKO, V.; 2021. Package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix. (Version 0.92). <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- WOOD, S.; 2021. GAM computation vehicle with automatic smoothness estimation. <https://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/mgcv.pdf>.
- WYKA, S.A.; MCINTIRE, C.D.; SMITH, C.; MUNCK, I.A.; ROCK, B.N.; ASBJORNSEN, H.; BRODERS, K.D.; 2018. Effect of Climatic Variables on Abundance and Dispersal of *Lecanosticta acicola* Spores and Their Impact on Defoliation on Eastern White Pine. *Phytopathology* 108 374–383. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-17-0065-R>.