



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



Aplicaciones del modelo de utilidad “ES 1224321” para evaluar la supervivencia de tejidos vivos bajo la corteza de los árboles: supervivencia del felógeno (*Quercus suber*) y el cambium (*Pinus nigra*) expuestos al fuego

MADRIGAL, J.^{1,4,5}, CARRILLO, C.^{1,4}, ESPINOSA, J.^{1,7}, GUIJARRO, M.^{1,5}, HERNANDO, C.^{1,5}, DÍEZ, C.¹, DE LA CRUZ, A.C.¹, MATEO, J.F.³, ALMODOVAR, J.³, SANTOS, P.F⁶, JIMÉNEZ, E.², VEGA, J.A.², FONTURBEL, T.², GONZÁLEZ-ADRADOS J.R.⁴

¹ Centro de Investigación Forestal (INIA, CSIC). incendio@inia.es; javier.madrigal@csic.es

² Centro de Investigación Forestal de Lourizán.

³ Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Delegación provincial de Cuenca.

⁴ ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Madrid (UPM) javier.madrigal@upm.es

⁵ iuFOR, El Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible, uVA-INIA.

⁶ Junta de Extremadura. Delegación provincial de Cáceres.

⁷ ETSIAA Palencia. Universidad de Valladolid.

Resumen

Se evalúa el modelo de utilidad bajo propiedad industrial INIA-UPM ideado para determinar la presencia de tejidos vivos bajo la corteza de los árboles. La aplicación inicial de este dispositivo fue la de tener un diagnóstico precoz de la muerte del felógeno en alcornocales afectados por incendios. Durante el verano de 2018 se realizó el testeo del dispositivo establecido en el incendio de Valcorchero, Cáceres (2014) en un total de 100 árboles afectados por el fuego. Se realizó la extracción de 6 calas (a 30, 60 y 130 cm, a sotavento y barlovento de la llegada del frente de llama) para evaluar los aciertos y errores mediante evaluación cualitativa. Con el objeto de explorar nuevas aplicaciones del dispositivo, éste se utilizó en la red de parcelas permanentes de quema prescrita GEPRIF-VIS4FIRE establecida en Cuenca donde, por primera vez en la provincia, se realizó una quema experimental en verano en el año 2019 y donde se preveía la muerte de ejemplares de pino laricio. Se utilizó una muestra total de 45 árboles en los que se midió antes y después del paso del fuego, así como 2 meses y 18 meses tras los experimentos. Se discuten las ventajas y limitaciones del dispositivo.

Palabras clave

Alcornoque; incendios forestales; pino laricio; quemas prescritas; vulnerabilidad.

1. Introducción

El objeto de la invención ES 1224321 “DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUPERVIVENCIA DE TEJIDOS VIVOS BAJO LA CORTEZA DE LOS ÁRBOLES” (GONZÁLEZ ADRADOS et al. 2019) es un nuevo dispositivo electrónico que permite detectar la supervivencia de tejidos vivos bajo la corteza de árboles que han sido sometidos a estrés como consecuencia de un fuego forestal, cuyo prototipo fue desarrollado con el *Know-how* de la empresa COVELESS.

La corteza de los árboles o ritidoma es un órgano que permite a las plantas protegerse de diferentes perturbaciones, entre las que se encuentra el fuego. En la evaluación de los daños producidos por los incendios es frecuente encontrar árboles en los que el fuego no ha afectado a las copas de los árboles pero que finalmente terminan muriendo porque su supervivencia depende, en gran medida, de la afectación de los tejidos que forman el tronco, existiendo un equilibrio inestable (RESCO DE DIOS 2020) para la supervivencia del ejemplar entre la afectación de las copas y la de los tejidos vivos bajo corteza: el cambium, el leño, el líber y el felógeno. Así, existen especies cuya copa muere tras el incendio, pero sobreviven regenerando la copa después si las yemas han sobrevivido y el cambium no ha sido anillado en el tronco (*Quercus* spp). En cambios la mayoría de las coníferas tiene escasa o nula capacidad de regenerar la copa tras ser afectada por el fuego (excepto el caso

particular del pino canario), con lo que la supervivencia de aquellos ejemplares con copa poco afectada depende en gran medida de la supervivencia del cambium y el mantenimiento de los procesos hídricos (RESCO DE DIOS et al. 2020).

Existe el caso paradigmático del alcornoque (*Quercus suber* L.), una especie con una corteza suberosa muy gruesa y resistente al fuego que es aprovechada industrialmente. La estimación de la supervivencia tras un incendio del felógeno (cambium suberoso), encargado de producir corcho de nuevo en los árboles supervivientes, tiene implicaciones económicas de alto impacto en la toma de decisiones tras incendios forestales y por tanto su conocimiento es de alto valor en ingeniería forestal para planificar y priorizar las actuaciones de emergencia tras los incendios, la saca de madera quemada y la restauración posterior de la masa forestal (HERNANDO et al. 2017).

Por otro lado, la quema prescrita bajo arbolado es una técnica de prevención de incendios en la que se reduce la carga de combustible forestal mediante el uso tecnificado del fuego de manera controlada y planificada que está extendiendo su práctica lentamente en la Europa Mediterránea (FERNANDES et al. 2021). La evaluación de los daños producidos por el fuego en los tejidos vivos bajo la corteza resulta imprescindible para mejorar las prescripciones y valorar adecuadamente la eficacia y compatibilidad ecológica del tratamiento.

Actualmente no existe ningún dispositivo específicamente diseñado con el propósito de valorar la supervivencia de los tejidos vivos de los árboles bajo la corteza mediante un método que no implique daños al arbolado, por ejemplo los motivados por las “calas” en masas de alcornocal, que se practican en los árboles para investigar si el fuego ha afectado a todos los tejidos vivos del tronco del árbol, o solo parcialmente a parte de los mismos, en función del grosor de la cala practicada. El nuevo dispositivo propuesto permite detectar la presencia de tejidos vivos y muertos bajo la corteza y por tanto ser utilizado en la toma de decisiones en ingeniería forestal tras incendios o fuegos prescritos.

Este dispositivo se basa en el uso conocido de la medida de la resistencia eléctrica para detectar los cambios en el contenido de humedad de los tejidos vivos, tal como se describe en las patentes españolas desarrolladas por la empresa COVELESS. No obstante, ninguna de estas invenciones resuelve específicamente el problema planteado y estrictamente relacionado con los incendios forestales y el análisis de los daños causados por el fuego en los árboles ya que la metodología descrita en dichas patentes está referida a la medición únicamente del grosor de la corteza de los alcornoques para mejor apreciar así la producción de corcho de cada árbol. La presente invención permite la detección de tejidos vegetales vivos o muertos en los troncos de los árboles, cualquiera que sea la causa que ha provocado la muerte total o parcial de los mismos. En este sentido, aunque la invención se aplica de forma preferentemente a árboles que han sufrido un fuego, es también perfectamente aplicable a árboles que han sufrido muerte de sus tejidos por otras causas tales como enfermedades, plagas, rayos, longevidad, decaimiento, etc.

Para testar este dispositivo se eligieron dos especies contrastadamente diferentes afectadas por el fuego de alta intensidad: *Quercus suber* y *Pinus nigra* subsp. *salzmanii*. Partimos de la hipótesis que el dispositivo puede penetrar a lo largo de la corteza y obtener la resistividad bajo la misma como estimador de la actividad de los tejidos vivos. En el caso del alcornoque se evaluaría la actividad del ritidoma o “capa madre”, encargada de regenerar el corcho de reproducción. En el caso del pino laricio se evaluaría la actividad del cambium cuya mortalidad podría generar potenciales cicatrices o en el peor de los casos la muerte del ejemplar tras el paso del fuego.

2. Objetivos

- 1) Testar la eficacia del modelo de utilidad ES 1224321 para determinación la supervivencia de los tejidos vivos bajo corteza en masas de alcornoque afectadas por incendios para evaluar la supervivencia del felógeno.
- 2) Testar la eficacia del modelo de utilidad ES 1224321 para determinación del estado de los tejidos vivos bajo corteza en masas de pinar sometidas a fuego de alta intensidad para

evaluar la supervivencia y cambios en la actividad del cambium como consecuencia del calentamiento de las cortezas y la copa tras el paso del fuego.

3. Metodología

3.1. Dispositivo ES1224321

Este dispositivo consiste en un nuevo sistema en el que se introducen dos electrodos que avanzan simultáneamente desde el exterior al interior de la corteza ofreciendo una medida en continuo de la resistencia eléctrica en todo el espesor de corteza explorado por los dos electrodos. Para asegurar la eficacia de la medida, el sistema dispone de un medidor de resistencias eléctrica u ohmímetro, con un amplio rango de medida que asegura la detección de señal para muy bajos niveles de humedad. El dispositivo dispuesto de esta manera detecta una resistencia eléctrica muy alta en la capa exterior de la corteza puesto que es un tejido muerto con muy baja humedad; la resistencia eléctrica disminuye rápidamente al aproximarse los electrodos a los tejidos vivos situados en el interior, que tienen un elevado contenido de humedad. Si el dispositivo no muestra cambios en la resistencia a lo largo de la medición o dichos cambios implican resistencias altas, en principio por encima de 1000-5000 Ω (aunque dichos umbrales se deben calibrar en cada caso), se considera que no se han detectado tejidos vivos y que por tanto el tejido bajo la corteza está muerto en el punto de medición.

Los electrodos son de pequeña sección para permitir su fácil introducción a través de la capa externa de la corteza y reducir los daños causados al árbol. Dichos electrodos se sitúan en paralelo de tal manera que el sistema puede medir la resistencia eléctrica entre ambos, conforme van penetrando en la corteza (Figura 1). Para desplazar los electrodos por el interior de la corteza, desde el exterior del árbol hasta la zona en que se pueden encontrar tejidos vivos se ha diseñado un sistema de presión consistente, por un lado, en un mango con el que sujetar manualmente el dispositivo y por el otro en un bastidor que actúa a la vez de guía para los dos electrodos y de tope para apoyarse en el árbol. La presión ejercida por el operador permite la introducción de los electrodos en la corteza en dirección perpendicular al eje del árbol. El sistema está conectado electrónicamente a una tableta digital que permite visualizar los resultados del ensayo de forma numérica y gráfica, además de almacenar los datos automáticamente en una tarjeta de memoria.

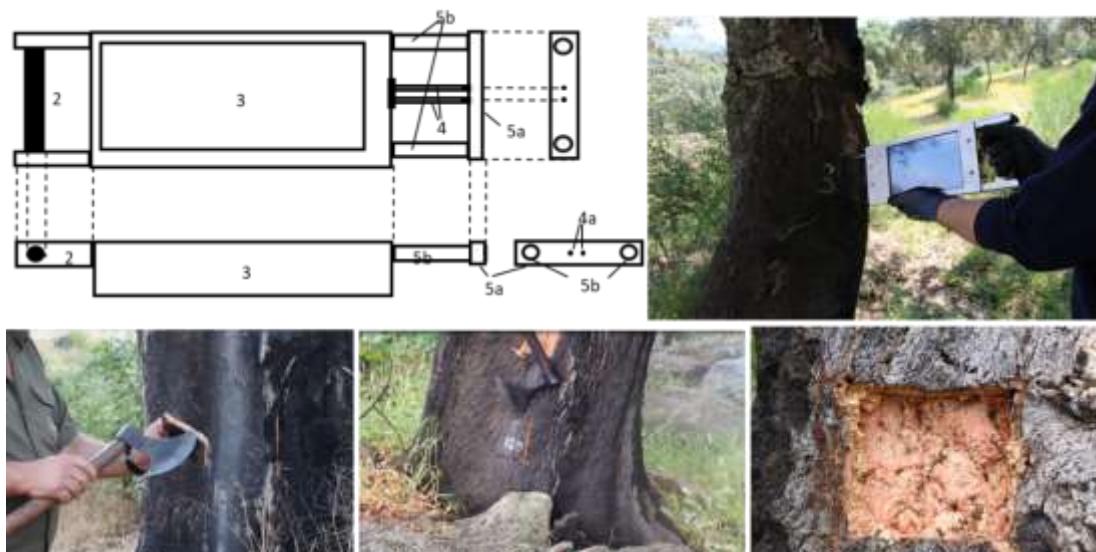


Figura 1. Prototipo para desarrollo del modelo de utilidad ES1224321 y forma de medición en campo sobre alcornoques en el dispositivo de Valcorchero (Cáceres). El dispositivo consta de (2) un mango para empujar la sonda (3) un cuerpo del dispositivo donde alojar la electrónica y la interfaz (tableta electrónica) (4) una sonda para medir la resistencia eléctrica entre los dos electrodos que penetra en la corteza tras el empuje del operador y (5) un bastidor móvil que permite guiar la sonda y apoyar el dispositivo en la superficie exterior de la corteza para que permanezca en la misma posición durante la penetración de la sonda en la corteza.

3.2. Toma de datos

Los datos para validar el modelo de utilidad se obtuvieron de dos dispositivos experimentales bien diferenciados:

- 1) Dispositivo de parcelas temporales en una masa de *Quercus suber* afectada por el incendio de Valcorchero (Cáceres 2014) en el que se evaluó el estado de 150 árboles (100 árboles quemados y 50 controles sin quemar en masas adyacente) en tres transectos altitudinales en el año 2016 (más detalles en HERNANDO et al. 2017). Se obtuvieron 6 calas de corcho a 30, 60 y 130 cm de altura, tanto a barlovento como a sotavento del avance del fuego para cada uno de los árboles muestreados con lo que se obtuvieron un total de 600 calas en árboles quemados. En los 50 árboles del transecto control se tomó una sola cala a 130 cm (total 650 calas). En cada uno de dichos puntos de obtención de la cala se realizó una medida con el modelo de utilidad. Por tanto, se conocía con seguridad la relación directa entre la medida de resistencia y la supervivencia de la capa madre bajo la corteza.
- 2) Dispositivo de parcelas permanentes en masas de *Pinus nigra* sometidas a quemas experimentales de alta intensidad (MADRIGAL et al. 2022) en Beteta (Cuenca). Se dispone de 3 parcelas de 50 m x 50 m quemadas en junio de 2019 con una prescripción para simular una quema de superficie de alta intensidad bajo pinar. Se seleccionaron 15 árboles representativos de la masa por parcela (N=45) en los que se midió la temperatura del cambium a 60 cm de altura mediante la colocación de termopares tipo K de 1 mm de diámetro. En el mismo punto se estimó la resistividad del cambium usando el modelo de utilidad antes del experimento (prequema), inmediatamente después (postquema), dos meses después y finalmente 18 meses después del experimento. En dichos árboles se midió también la altura de chamuscado de tronco y la altura de soflamado de la copa dos meses después del experimento como indicador de la afectación de las copas por la columna convectiva durante la quema.

3.3. Tratamiento estadístico

El dispositivo genera automáticamente curvas continuas de Resistividad (Ω) conforme va penetrando en la corteza hasta que llega al leño donde se asume que están los tejidos vivos. Por tanto, la salida gráfica es una curva en la que en el eje de ordenadas se muestra la resistividad y en el eje de abscisas el espesor de la corteza, ofreciendo una asíntota de resistencia mínima cuando la sonda deja de penetrar y está en contacto con el tejido vivo.

En función del dispositivo experimental se ha establecido un protocolo de análisis de datos:

- 1) Para testar la capacidad del dispositivo para detectar tejidos muertos en alcornocales se ha establecido una evaluación cualitativa con un número reducido de datos usando los árboles muertos del dispositivo (escasamente un 10% de la muestra total) de forma que se detectara la capacidad de detectar adecuadamente los tejidos vivos y posibles errores para detectar la supervivencia/mortalidad.
- 2) Para testar la capacidad del dispositivo de detectar tejidos muertos en masas de pinar se usaron los datos de cada parcela de quema (15 árboles por parcela, total N=45) comprobando si los datos obtenidos coincidían con los signos visuales obtenidos en campo a lo largo del período de seguimiento de 18 meses. De igual forma se exploró la capacidad del dispositivo de detectar posibles cambios de resistividad en el cambium en árboles con fuerte calentamiento del cambium (más de 1 min por encima de 60°C). Se relacionó la diferencia de resistividad en cambium prefuego frente a postfuego con variables de estimación visual de daños como las alturas de chamuscado de tronco y de soflamado de copa.

4. Resultados

Los resultados obtenidos para clasificar la supervivencia de la capa madre del alcornoque afectado por el incendio de Valcorchero mostraron que detectaron adecuadamente la presencia de tejidos muertos bajo corteza, fijando en 1000-5000 Ω el límite aproximado de resistividad en la capa madre para considerar los tejidos muertos en comparación con los árboles muestreados con tejidos vivos que ofrecieron una resistividad inferior a 100 Ω (Figura 2). Se observaron un número reducido de falsos negativos (siendo negativo la muerte del tejido). Esto es, el dispositivo detectaba tejidos vivos cuando objetivamente estaban muertos al realizar la cala. Los falsos positivos detectados (detectar muerte del tejido cuando estaba vivo) se debieron en todos los caso a la ejecución de medidas en puntos con espesores de corteza mayores de 10 cm que es la longitud máxima de los electrodos en la configuración actual del prototipo.

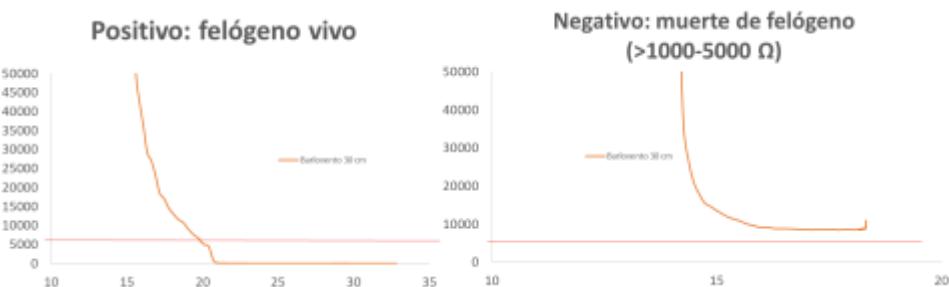


Figura 2. Evaluación cualitativa del modelo de utilidad ES1224321 en masas de alcornocal afectadas por el incendio de Valcorchero (Cáceres). Testado: 600 mediciones a sotavento y barlovento de 100 alcornoques del dispositivo experimental.. Comprobación mediante obtención de “cala” en el lugar de medición (30/60/130 cm de altura del arbolado según Figura 1)

Los resultados cuantitativos obtenidos para clasificar la supervivencia del cambium en masas de pinar muestran una alta sensibilidad para detectar todos los árboles muertos de la parcela cuyo límite de resistividad observado fue de 100 Ω , a partir del cual se detectan tejidos muertos (Figura 3). Se detectó una correlación positiva entre la resistividad del punto de muestreo antes y después de la quema ($r=0,435$, $p<0,05$). Esta diferencia tenía además una tendencia positiva en aquellos árboles con mayores afectaciones de copa (Figura 3).

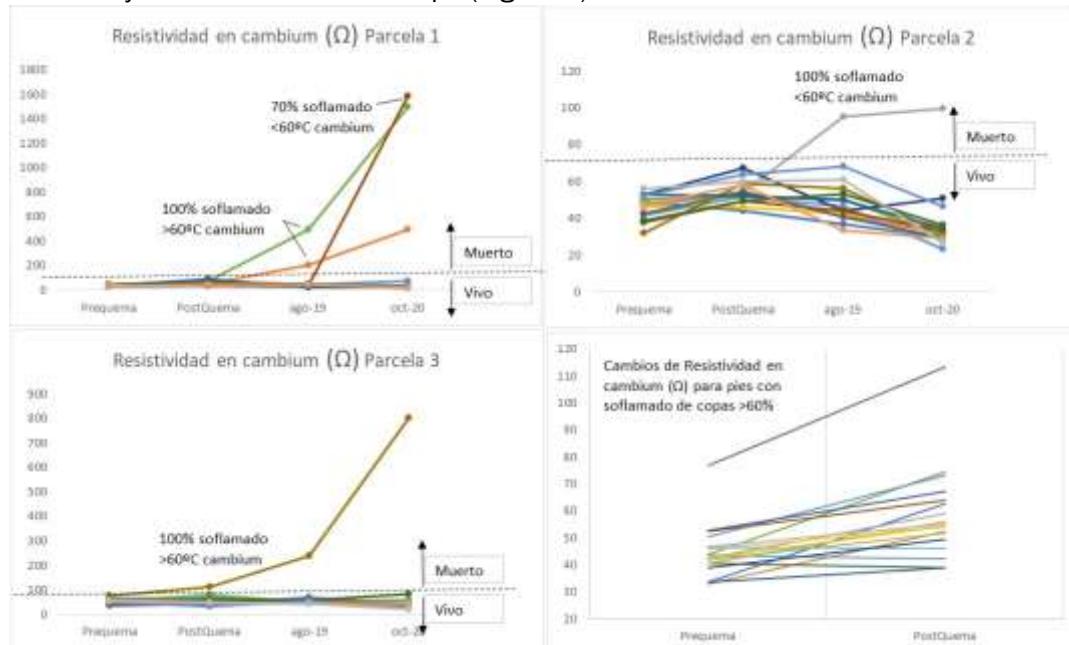


Figura 3. Evaluación del modelo de utilidad ES1224321 en la estimación de la mortalidad de cambium en las tres parcelas de quema experimental sobre masas de *Pinus nigra* en Beteta (Cuenca)

A la vista de estos resultados y como partíamos de la hipótesis que potenciales daños en el cambium podían ofrecer diferencias en la resistividad, se seleccionaron los árboles en los que se detectó una temperatura en cambium mayor de 60°C durante más de un minuto. Se obtuvo la diferencia en las medidas de resistividad pre y postquema. Se obtuvieron malas correlaciones de la diferencia de resistividad con la altura de chamuscado de tronco pero correlaciones significativas ($r^2=0,33$, $p>0,05$) con la altura de soflamado de la copa (Figura 4).

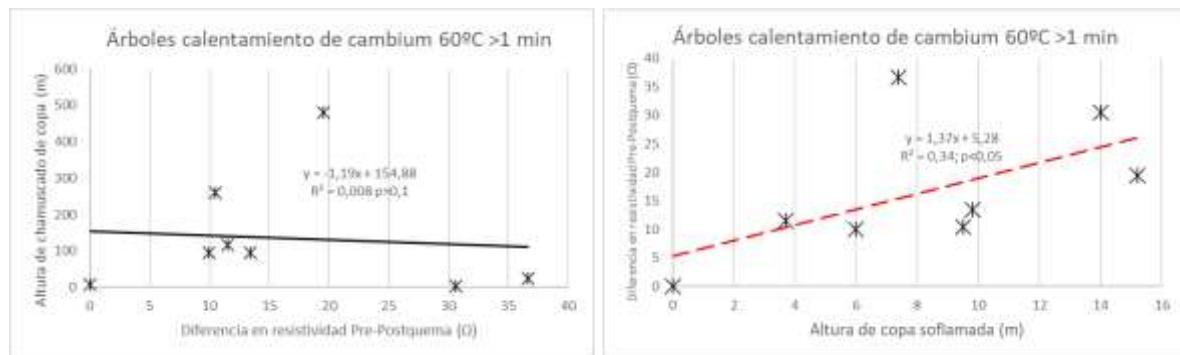


Figura 4. Evaluación del modelo de utilidad ES1224321 en la estimación de los cambios de resistividad de cambium en función de las alturas de chamuscado de tronco y soflamado de copa en las tres parcelas de quema experimental sobre masas de *Pinus nigra* en Beteta (Cuenca)

5. Discusión

Los datos obtenidos en masas de alcornoocal muestran buenos resultados de aplicación del dispositivo. Sin embargo se han detectado ciertos problemas que es necesario solucionar o, al menos, tener en cuenta como limitante de aplicación del dispositivo. La aparición de falsos negativos muestra que el dispositivo es muy sensible a la aparición de humedad bajo corteza, con lo que la presencia de agua, ya sea de forma libre a través de grietas de la corteza o ya sea en tejidos muertos con agua acumulada, aumentaría la probabilidad de estos falsos negativos, asumiendo como vivos aquellos tejidos que en realidad están muertos. Éste sería el error más grave si se quisiera usar este dispositivo como apoyo a la decisión en la gestión postincendio de estas masas (HERNANDO et al. 2017). Efectivamente, el gestor tiene serias dudas sobre si cortar ejemplares de alcornoque aparentemente vivos pero que no sabe si la capa madre producirá corcho en sucesivos turnos de descorche. En estos casos puede ser más razonable cortar para tener un primer bornizo en aproximadamente 25 años y empezar los descorches con una parte área renovada (CARDILLO et al. 2007). Por tanto, parece necesario descartar posibles entradas de humedad entre el corcho y la capa madre que pueda alterar las medidas si queremos reducir este tipo de errores. Igualmente puede ser necesario reducir la sensibilidad del resistómetro incluido en el dispositivo para que la presencia de humedad en los tejidos sea claramente debida a tejidos vivos. Parece necesario indagar más en cómo solucionar estos falsos negativos para mejorar la aplicabilidad del prototipo o caracterizar bien los niveles de resistencia debidos a humedad en tejidos muertos y vivos. Los resultados de falsos positivos mostrarían que 10 cm podría ser una longitud pequeña de los electrodos para muestrear en algunas masas de alcornoque, sobre todo si el punto de muestreo es en alturas cercanas a la base donde se han detectado espesores de corcho de más de 15 cm.

Los datos obtenidos en masas de pinar muestran igualmente buenos resultados para detectar disminución en la actividad de cambium (aumento de resistividad) en los árboles muertos, incluso inmediatamente después de la quema en algunos casos y muy claramente a partir de 2 meses después del experimento (Figura 3). En comparación con el alcornoque, el modelo de utilidad detecta indicios de muerte/afectación de cambium con pequeños incrementos de la resistencia superior a 100 Ω , pudiendo considerarse el límite de predicción a partir del cual habrá daños

importantes en el arbolado. El aumento de resistividad en cambium en la mayoría de los árboles en los que se observó alto volumen de copa soflamado ($>60\%$) mostraría que: 1) Existe una fuerte relación entre el daño en copas, la actividad del cambium y la conductividad hidráulica (ESPINOSA et al. 2020;; RESCO DE DIOS 2020;) 2) la evaluación combinada de la afectación de copas y la actividad de cambium inmediatamente tras la quema (JIMÉNEZ et al. 2017) podría predecir la muerte o al menos dificultades del estado vegetativo del ejemplar que puedan terminar con su muerte en años posteriores. Efectivamente, la exploración por primera vez del uso de este dispositivo en árboles que se sabía que habían tenido una fuerte afectación del cambium y su relación significativa con la afectación de la copa (Figura 4) mostraría la necesidad de la evaluación conjunta de ambas variables para caracterizar la severidad del fuego y la vulnerabilidad de la masa a medio plazo.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran el comportamiento adecuado del modelo de utilidad ES 1224321 para determinación la supervivencia de los tejidos vivos bajo corteza según su invención, diseño e implementación mediante prototipo desarrollado por COVELESS. La disponibilidad de dicho dispositivo por los gestores permitiría mejorar la toma de decisiones en la gestión postincendio en masas de alcornocal y mejorar la evaluación de quemas prescritas en masas de pinar. Si a ello añadimos la posibilidad de obtener la afectación de copa mediante sensores remotos como FORESTEREO (ESPINOSA et al. 2018), las perspectivas futuras de evaluación de masas supervivientes a incendios de media intensidad o tratadas con quemas prescritas se podría tecnificar de manera que resultados que de forma clásica se han obtenido de forma cualitativa se podrían medir cuantitativamente. Es necesario seguir testando el dispositivo en otras especies y situaciones para valorar la utilidad de cara al potencial uso de la herramienta en labores de investigación y gestión.

7. Agradecimientos

Este estudio fue financiado por los proyectos GEPRIF (RTA2014-00011-C06) y VIS4FIRE INIA-RTA2017-00042-C05, del Programa Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación (Plan Estatal de I + D + I) cofinanciado por FEDER. La participación de Juncal Espinosa Prieto fue cofinanciada por el INIA (FPI-SGIT 2015) y el Fondo Social Europeo. Los autores dan su agradecimiento a todas las personas que colaboraron en el trabajo de campo y de laboratorio. Agradecemos a Rosa Rodríguez, responsable de patentes del INIA-CSIC, por su apoyo y asesoramiento en el registro del modelo de utilidad. Agradecer a la empresa COVELESS por aplicar su *Know-how* en el diseño del prototipo y asesoramiento en la mejora de la puesta en práctica de la invención.

8. Bibliografía

CARDILLO, E.; BERNAL, C., ENCINAS, M.; 2007. El alcornocal y el fuego. Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal. Mérida. ISBN -13-978-84-612-0002-3

ESPINOSA, J.; MADRIGAL, J.; DE LA CRUZ, A. C.; GUIJARRO, M., JIMENEZ, E.; HERNANDO, C. 2018. Short-term effects of prescribed burning on litterfall biomass in mixed stands of *Pinus nigra* and *Pinus pinaster* and pure stands of *Pinus nigra* in the Cuenca Mountains (Central-Eastern Spain). *Science of The Total Environment*, 618, 941-951.

ESPINOSA, J.; DE RIVERA, O. R.; MADRIGAL, J.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C. 2020. Predicting potential cambium damage and fire resistance in *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*. *Forest Ecology and Management*, 474, 118372.

FERNANDES, P.; ROSSA, C.; MADRIGAL, J.; RIGOLOT, E.; ASCOLI, D.; HERNANDO, C.; GUIOMAR, N.; GUIJARRO M. 2021. Prescribed burning in the Mediterranean basin. En: Global Application of Prescribed Fires (Weir J, Scaste J.D. ed.). CSIRO Publishing. Melbourne.

GONZÁLEZ ADRADOS, J.R.; MADRIGAL, J.; GUIJARRO, M.; HERNANDO, C. 2019. ES 1224321 Dispositivo electrónico para la determinación de la supervivencia de tejidos vivos bajo la corteza de los árboles. Oficina Española de Patentes y Marcas. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Disponible en base de datos INVENES <https://invenes.oepm.es/InvenesWeb/faces/busquedalInternet.jsp>

HERNANDO LARA, C.; MADRIGAL OLMO, J.; SANTOS SÁNCHEZ, P.F.; GUIJARRO GUZMÁN, M.; DÍEZ GALILEA, C; ESPINOSA PRIETO, J.; CARRILLO GARCÍA, C.; GARCÍA de CECA, J.L; NIETO ALMEIDA, E.; GONZÁLEZ ADRADOS, J.R. 2017. Efecto de la severidad del fuego en la producción de corcho. VII Congreso Forestal Español. 26-30 junio 2017. Plasencia.

JIMÉNEZ, E.; VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C. 2017. Response of *Pinus pinaster* Ait. trees to controlled localised application of heat to stem and crown. *Trees* 31, 1203-1213

RESCO DE DIOS, V.; 2020. Plant-Fire Interactions: Applying Ecophysiology to Wildfire Management. Vol 36. Springer Nature