



**2025** | **16-20**  
GIJÓN | JUNIO

9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

**9CFE-1619**

---

Organiza





Efectos de la intensidad del fuego en la calidad del corcho: aplicaciones al uso del fuego prescrito como tratamiento selvícola en alcornoques orientados a tapón de vino

LARA E.L. (1), ESTEBAN C. (2), MADRIGAL J. (2), SÁNCHEZ M. (2)

(1) Montes-UPM

(2) ICIFOR-INIA (CSIC)

Resumen

El corcho afectado por incendios forestales suele desecharse fundamentalmente por la afección de la raspa, carbonización de la parte más exterior de la pana y por la aparición de sustancias químicas que afectan a las propiedades organolépticas del vino. La reducción de inversiones en desbroces ha aumentado la intensidad de fuego recibida por las panas, con lo que la calidad del corcho quemado se ve muy afectada. Este trabajo pretende evaluar la posibilidad de usar la quema prescrita bajo arbolado para mejorar la selvicultura preventiva de estas masas, explorando la viabilidad del corcho afectado por fuego (incendios de baja intensidad en quemas prescritas) para tapón de vino. Se parte de la hipótesis que el fuego de baja intensidad no genera cambios significativos en las propiedades del corcho para su uso taponero. Se ha realizado un muestreo de 27 calas en 10 árboles en masas de alcornoque gestionadas con quema prescrita para obtener probetas de 10 x 10 cm que se han ensayado en laboratorio en un calorímetro simulando incendios de 3 intensidades (15, 25 y 50 kW/m<sup>2</sup>) para caracterizar su régimen térmico y carbonización, explorando su calidad para la industria taponera. Los resultados muestran que las intensidades bajas que simulan una quema prescrita no generan carbonización del corcho ni afección de temperaturas letales en la barriga en contacto con el felógeno. Se han generado modelos lineales mixtos que describen el proceso de calentamiento en función de variables predictoras como el espesor de la pana, el espesor de la raspa y la intensidad de radiación.

Palabras clave

Calorímetro, Cambio Global, Carbonización, combustibilidad, nivel de intensidad del fuego, régimen térmico

## 1, Introducción

Las especies forestales han desarrollado diferentes mecanismos de adaptación al régimen de incendios en la cuenca mediterránea. Algunos ejemplos de estas adaptaciones son la capacidad de rebrotar tras incendios (por ejemplo género *Quercus*) o la generación de conos serótinos (por ejemplo algunas especies del género *Pinus*), así como tejidos resistentes y de almacenamiento de semillas en el dosel o bajo el suelo, permitiendo la regeneración rápida de la masa tras los incendios (RUNDEL et al., 2018). Un ejemplo concreto paradigmático de la flora mediterránea es el caso del alcornoque, *Quercus suber* L. Esta especie es la única en el Mediterráneo y de las pocas especies arbóreas en el mundo que genera cortezas corchosas. Este material es rico en suberina, que al ser un material ceroso le proporciona un aislamiento natural frente a altas temperaturas. El corcho es un material de baja densidad, aislante térmico e impermeable al agua (PEREIRA et al., 1987). Presenta también la extraordinaria capacidad de presentar una actividad continua del felógeno o capa madre, propiedad que le permite regenerar su corteza tras los incendios, además de proteger las yemas epicórmicas en tronco y ramas.



Estas características tan particulares del corcho ha permitido que pueda ser aprovechado por los humanos y que, además, sea un recurso renovable, debido a que puede extraerse el corcho de forma sostenible cada 9-12 años (SILVA et al., 2005), lo que ha hecho que se genere una industria a su alrededor por las aplicaciones de este material. A pesar de tener múltiples finalidades como aislante térmico, sonoro o antivibración, el destino principal que se le da al corcho es el dirigido a la industria taponera por su alto valor añadido. Este material es óptimo para la fabricación de corcho para el tapón de botella de vino puesto que es impermeable tanto al agua como al aire, permitiendo un almacenamiento para el vino duradero en el tiempo, permitiendo el intercambio gaseoso con su entorno y mejorando con ello su maduración y/o conservación (SILVA et al., 2005).

Cuando se producen incendios en las masas de alcornoque, todos los pies afectados por el fuego son descartados para la industria taponera. Esto es debido a que los tapones elaborados a partir del corcho situado un centímetro por debajo la parte afectada por el incendio, a pesar de que continúa conservando sus propiedades físicas, podrían afectar a las propiedades organolépticas del vino, pudiéndose transferir el olor a quemado (CARDILLO, 2007). Por otro lado, los alcornoques son masas en las cuales las especies acompañantes presentan una alta inflamabilidad, lo que hace que aumente la vulnerabilidad del conjunto de la masa al fuego (DEHANE et al., 2015). Para evitar esta situación y las pérdidas económicas que conllevan, es recomendable eliminar o al menos reducir la carga del combustible existente en el suelo de superficie, especialmente en plantaciones o masas ordenadas o con una elevada productividad (CATRY et al., 2012), en las que estos tratamientos son clave a mitad de ciclo. Si hubiera un incendio a principio del ciclo de descorche, los árboles son muy vulnerables al fuego puesto que aún presentan un espesor de corcho reducido, inferior a 1-2 cm. Pero por otro lado los desbroces realizados antes del descorche, normalmente en forma de corros y ruedos para la mayor facilidad de acceso a los corcheros, reducen en esta fase el peligro de incendios muy intensos. Si el incendio se produce a final del turno el corcho presenta espesores de más de 2 cm a lo largo del tronco y la supervivencia del arbolado es muy alta (MADRIGAL OLMO et al. 2017), aunque si la intensidad del fuego es elevada podría descartar el uso del corcho para tapón. Se ha propuesto que el corcho quemado a mitad de ciclo se podría emplear en la industria taponera puesto que la espalda del corcho se limpia gracias a la acción de la lluvia y el viento, y además se ampliaría la edad de descorche haciendo que estas panas tuviesen un grosor extra (CARDILLO, 2007). MOLINA et al. (2018) afirman que la eliminación de combustible junto con la ejecución de quemas prescritas hace que disminuya la probabilidad de mortalidad de los pies tras un incendio y por tanto se reducirían las consecuentes pérdidas económicas. Estos tratamientos de silvicultura preventiva permiten que se aumente el volumen y calidad de corcho (MOLINA et al., 2018), puesto que se consigue un espesor de corcho igual o superior a 3,7 centímetros, evitando la muerte del tejido de la capa madre. Otros autores fijan este límite de resistencia del corcho en 2 cm (DEHANE et al. 2015).

Estos antecedentes sugieren que el fuego prescrito de baja intensidad podría usarse para reducir la carga de combustible de superficie en masas de alcornoque antes de su entrada en producción (bornizos, MOLINA et al. 2018) o en masas a mitad del turno (CARDILLO 2007). En el caso de los bornizos permitirían una reducción del peligro de incendios y mayor accesibilidad para poder entrar en producción, siempre que el fuego no afecte a la capa madre. En el caso de alcornoques a mitad del turno, (1) el corcho ya tiene un espesor suficiente para



garantizar la protección del felógeno y (2) la cantidad de combustible de superficie es suficientemente alto como para que aumente significativamente el peligro de incendio y con ello la muerte del arbolado (CATRY et al. 2012) o la destrucción de la capa madre que comprometería futuras producciones (DEHANE et al. 2015). Sin embargo, no existe experimentación ni información suficiente sobre la resistencia de estos espesores de corcho a fuegos de diferente intensidad ni de si el efecto de ese fuego pudiera generar en las propiedades organolépticas del corcho para su posible uso taponero.

La hipótesis de este trabajo es que se pueden simular diferentes intensidades de fuego en condiciones de laboratorio para caracterizar el régimen térmico del corcho durante los incendios o quemas prescritas y si estos efectos son diferentes a diferentes alturas de la pana.

El presente estudio está englobado en un estudio más amplio dentro del contexto de empleabilidad del corcho quemado en la industria taponera, como una parte de la acción A2 del proyecto FUTURECORK financiado por la Fundación Biodiversidad. En esta acción se propone caracterizar la resistencia al fuego del corcho a diferentes intensidades y comparar sus propiedades químicas que ratifiquen o descarten su uso para tapón de vino.

El objetivo principal de este estudio es el análisis del comportamiento y la resistencia del corcho (*Quercus suber* L.) a su exposición a tres intensidades de radiación que representarán distintos escenarios:

- **Intensidad baja** (15 kW/m<sup>2</sup>), simulando una quema prescrita.
- **Intensidad media** (25 kW/m<sup>2</sup>), simulando un incendio de intensidad media.
- **Intensidad alta** (50 kW/m<sup>2</sup>), simulando un incendio de intensidad alta.

Las hipótesis iniciales de las que parte este estudio en lo referido a la resistencia del corcho son:

1. Probetas con mayores espesores resistirán mejor altas intensidades.
2. Intensidades bajas simulando una quema prescrita no generarán daño en la capa madre ni carbonización significativa del corcho para su uso taponero.

## 2. Material y Métodos

Se extrajeron panas de corcho procedentes de la finca Agora Park (Barcelona, SE de España). Estas panas fueron extraídas de un total de 10 pies diferentes, comprendiendo 3 alturas distintas de la pana (alta (1), media (2) y baja (3)). con un espesor suficiente para ser aceptado en la industria taponera. Todo ello implicó 9 muestras por cada una de las tres intensidades (15, 25 y 50 kW/m<sup>2</sup>), estando representadas en cada una de las intensidades las tres alturas de la pana (alta, media, baja), lo que confiere un total de 27 muestras para ensayo.

Los ensayos se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por ESPINOSA et al. (2020) para el calorímetro de pérdida de masa en posición vertical (Figura 1), en este caso no se utilizó chispa ni llama piloto. Se situó la probeta de 10 x 10 cm a 25mm del foco de radiación, durante 5 minutos. Una vez pasado dicho periodo de tiempo se apartó y se dejó enfriar hasta que la temperatura de los termopares (ver a continuación) se encontraron por debajo de 60 °C.

Este procedimiento se realizó para las tres intensidades de radiación. El cono



vertical está calibrado de manera que la intensidad de 15kW/m<sup>2</sup> corresponde con una temperatura de 530°C, 25 kW/m<sup>2</sup> con 636°C y 50 kW/m<sup>2</sup> con 805°C.

Para poder monitorear y conservar los datos de temperatura que se van alcanzando durante el ensayo, se colocaron en cada probeta 4 termopares: en la superficie de la raspa, entre la raspa y el corcho, a 1 centímetro de profundidad bajo la raspa (corcho de uso taponero) y, por último, en la barriga de la pana (corcho en contacto con capa madre). Con el objetivo de minimizar la entrada de humos y calor en la barriga y generar falsos resultados de temperatura en los termopares se envuelve la probeta en papel de aluminio y se ajusta al cestillo mediante tornillos (Figura 1). Los termopares se conectan a un *datalogger*, en el que se grabaron los datos, para posteriormente volcarlos en una hoja Excel.

Mediante el análisis de las curvas de temperatura se calcularon los tiempos para alcanzar las máximas temperaturas, así como los tiempos para alcanzar 60°C en la barriga (temperatura de muerte de tejidos vivos en capa madre) y 100°C (temperatura de carbonización del corcho para uso taponero). Estas variables se analizaron como continuas y también se generaron variables dummies binarias (1/0) con el límite de 5 minutos de tiempo de ensayo, esto es, si la barriga alcanza antes de 5 minutos 60°C o si el corcho de uso taponero (1 cm bajo la raspa) alcanza 100°C antes de 5 minutos.

Estas variables respuesta se relacionaron con las variables predictoras analizadas de acuerdo con el diseño experimental:

- La altura de la probeta en la pana: (zona alta(T1, corresponde con el dbh), media(T2, corresponde a una zona ente 50-60 cm de altura) y baja(T3, corresponde con la base del tronco). De aquí en adelante nos referiremos a esta variable como tramo
- La potencia recibida por la superficie de la probeta (15, 25 y 50 kW/m<sup>2</sup>) simulada con el calorímetro en posición vertical
- El espesor medio del corcho de cada probeta como media de 3 medidas en el corte transversal de la probeta
- El espesor medio de la raspa de cada probeta como media de 3 medidas en el corte transversal de la probeta.

Con las variables de mayor correlación tras analizar la matriz de Pearson, se generaron modelos lineales mixto generalizado (GLMM) usando la distribución Gamma para la variable respuesta continuas y la función logística para la variable respuesta binaria. Se seleccionaron como efectos fijos la potencia del ensayo y como efectos aleatorios anidados, el árbol, la altura de descorche y la probeta. Los espesores de corcho y raspa se usaron como covariables continuas.

Para realizar estos cálculos se empleó de manera simultánea los programas Microsoft Excel Haga clic o pulse aquí para escribir texto. y SPSS (IBM Corporation, 2006).

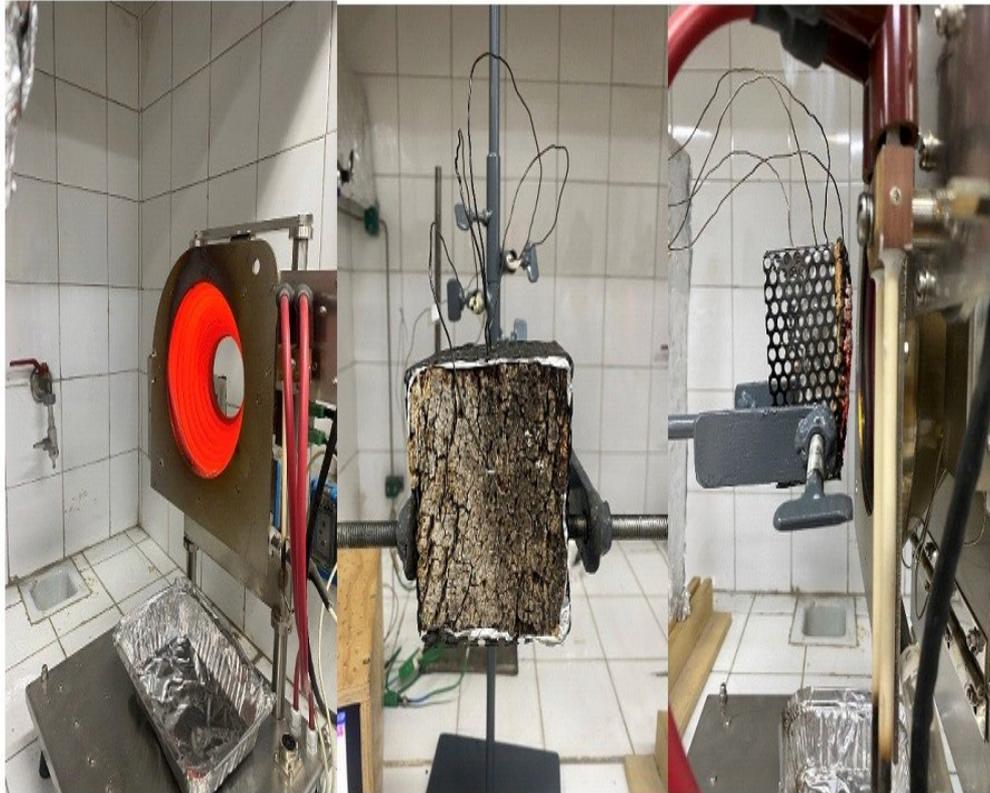


Figura 1. Calorímetro en posición vertical que emite potencias de 15, 25 y 50 kW/m<sup>2</sup> para los diferentes grupos de ensayos. Vista frontal y lateral de la probeta con la situación de los cuatro termopares.

### 3. Resultados

La matriz de correlaciones muestra que el espesor de corteza es la variable que más influye en la temperatura máxima en contacto con tejidos vivos ( $r=-0,575$ ,  $p=0,002$ ). Sin embargo, es la potencia (de 15 a 50 kW/m<sup>2</sup>) la que más influye en la temperatura máxima en el exterior y bajo la raspa. La temperatura máxima alcanzada a 1 cm bajo la raspa, zona de aprovechamiento taponero, no tiene correlación con estas variables y solamente se obtuvo correlación con el combustible consumido (diferencia entre el peso antes y después del ensayo,  $r=0,502$ ,  $p=0,008$ ). Esto estuvo correlacionado positivamente con los tiempos por encima de 60 °C en este punto cuando la potencia era de 50 kW/m<sup>2</sup> ( $r=0,774$ ,  $p=0,014$ ).

El modelo GLMM para predecir la temperatura máxima en la barriga (zona de contacto con el felógeno) no ofrecen significación para la posición de la probeta en pana (Tramo  $p=0,967$ ) ni el espesor de la raspa ( $p=0,687$ ). Sin embargo, el espesor de la probeta ( $p=0,001$ ) resultó la variable más significativa, seguido de la potencia de radiación del ensayo ( $p=0,016$ ). El modelo muestra también los efectos aleatorios aunque poco significativos de árbol y probeta ( $p=0,097$ ).

Los modelos logísticos generados usando estas mismas variables predictoras ofrecen la probabilidad de que la pana alcance 60°C en la barriga y más de 100 °C a 1 cm bajo la raspa durante los 5 minutos de ensayo (Figura 2). En este caso, el modelo para la carbonización 1 cm bajo la raspa ofrece significación para la variable predictora potencia del ensayo ( $p=0,012$ ), el espesor de la raspa ( $p=0,034$ ) y el tramo 1 ( $p=0,022$ ) y tramo 2 ( $p=0,084$ ) respecto al tramo 3 de la base. A mayor potencia mayor probabilidad de alcanzar 100 °C y a menor espesor de raspa en los



tramos más altos de la pana (Figura 2a). Para potencias altas de incendio harían falta al menos 1,5 mm de raspa para reducir la probabilidad de carbonización. Sin embargo, para la potencia de quema prescrita (15 kW/m<sup>2</sup>) la probabilidad de carbonización está por debajo del 50%. La probabilidad de alcanzar 60°C en la barriga en contacto con el felógeno dependió exclusivamente del espesor de la probeta (Figura 2b). El modelo mostraría que son necesarios espesores de entre 21 y 26 mm para resistir a un incendio (25 y 50 kWm<sup>2</sup> respectivamente) y 17 mm para garantizar la protección del felógeno durante una quema prescrita (15 kW/m<sup>2</sup>).





Figura 2. Representación de modelo GLMM con distribución de probabilidad binomial con función de enlace logit. Se marca la línea bajo la cual el evento tiene menos del 50% de probabilidad de que se produzca (a) Probabilidad de que se alcancen 100°C a 1 cm bajo la pana, lo que implica la carbonización del corcho taponable (AIC=127,58, 77,8% aciertos) (b) Probabilidad de alcanzar 60°C en la barriga, zona de contacto con la capa madre (AIC=175,44, 88,9% aciertos)

#### 4. Discusión

Por primera vez se ha realizado una serie de ensayos sobre probetas de corcho con la metodología del calorímetro en posición vertical que ya había mostrado buenos resultados para simular el calentamiento de cortezas de pino (ESPINOSA et al. 2020) y que mejora sustancialmente los resultados obtenidos con las experiencias previas realizadas con un epirradiómetro en configuración vertical (DEHANE et al. 2015) ya que en este caso el equipo no permite subir por encima de 25 kW/m<sup>2</sup> de potencia radiante.

Los modelos obtenidos muestran el efecto conocido del espesor del corcho en la protección de los tejidos vivos (DEHANE et al. 2015, MOLINA et al. 2018). Se ratifica el límite de 2 cm para la protección del felógeno durante incendios de media intensidad (DEHANE et al. 2015) que también se han obtenido para la resistencia en pinares (MADRIGAL OLMO et al. 2017, ESPINOSA et al. 2020), que podría aumentar a 26 mm en el caso de incendios de alta intensidad (50 kW/m<sup>2</sup>). Con todo, estos ensayos se consideran muy exigentes puesto que se simula un calentamiento durante 5 minutos, un tiempo de residencia por encima de la mayoría de los incendios de superficie y de todos los incendios de copa (CASTELLNOU et al. 2010). Por primera vez se realiza una serie de ensayos de corcho a baja potencia para simular una quema prescrita. Los resultados ratifican las observaciones de campo durante experiencias de este tipo (MOLINA et al. 2018) en los que no se observa calentamiento de la barriga y ausencia de carbonización (>100 °C) en la zona de corcho taponable. ESPINOSA et al. (2020) tampoco observaron calentamiento de la corteza de pino laricio a la profundidad de cambium para probetas de más 17 mm y potencias inferiores a 25 kW/m<sup>2</sup>, efectos que ratificaron en campo mediante el seguimiento durante quemas prescritas.

Los resultados obtenidos se deben ratificar con experiencias de campo pero sugieren que la quema prescrita podría ser un tratamiento eficaz para el control de la carga de combustible en alcornocales en producción sin afectar al felógeno en caso de bornizos antes de su entrada en producción (MOLINA et al. 2017). Tampoco parece previsible la carbonización del corcho taponable durante la exposición a las bajas radiaciones que se producen durante la ejecución de quemas prescritas. Siempre que no se produzca la ignición de la raspa que sí podría acelerar la transmisión de calor (DEHANE et al. 2015, ESPINOSA et al. 2020), dicha raspa ejercería un efecto protector al calentamiento y la potencial carbonización del corcho taponable. La presencia de raspas de más de 2-2,5 mm reduce significativamente la probabilidad de carbonización del corcho, probablemente al suponer una capa adicional de protección a la temperatura exterior. Este efecto protector parece más eficaz a una altura de la pana entre 50 y 130 cm (T1 y T2) respecto a la base (T3). Teniendo en cuenta que la altura de llama durante la ejecución de quemas prescritas suele ser inferior a 1 m este efecto advertiría sobre la mayor vulnerabilidad de la base del tronco a un posible anillamiento. Por tanto,



parece razonable establecer prescripciones que reduzcan los tiempos de residencia de llama en la medida de lo posible, por otro lado condiciones compatibles para reducir otros efectos negativos sobre el suelo y la copa del arbolado (CASTELLNOU et al. 2010, ESPINOSA et al. 2020).

El siguiente paso necesario que se realizará en el proyecto FUTURECORK será ratificar si el calentamiento y potencial carbonización suponen unas alteraciones significativas en las propiedades organolépticas del corcho que impidan su uso como tapón de vino. De acuerdo con los resultados obtenidos se plantea la hipótesis que las probetas sometidas a potencia baja, debido a su nula carbonización y bajo calentamiento, no vean afectadas sus propiedades organolépticas de forma que puedan ser utilizadas para el tapamiento de vinos.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto FB022 " Proyecto transformador para la promoción de la bioeconomía en el sector del corcho (FUTURECORK)" que cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Resto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea-NextGenerationEU".

#### 6. Referencias

CARDILLO, E. (2007). El alcornocal y el Fuego. Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón. CYCITEX, Extremadura.

CASTELLNOU, M., KRAUS, D. & MIRALLES, M. (2010). 1.1 Prescribed Burning and Suppression Fire Techniques: from Fuel to Landscape Management.

CATRY, FILIPE X., MOREIRA, F., PAUSAS, J. G., FERNANDES, P. M., REGO, F., CARDILLO, E. & CURT, T. (2012). Cork Oak Vulnerability to Fire: The Role of Bark Harvesting, Tree Characteristics and Abiotic Factors. PLoS ONE, 7(6), e39810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039810>

DEHANE, B., MADRIGAL, J., HERNANDO, C., BOUHRAOUA, R. & GUIJARRO, M. (2015). New bench-scale protocols for characterizing bark flammability and fire resistance in trees: Application to Algerian cork. Journal of Fire Sciences, 33(3), 202–217. <https://doi.org/10.1177/0734904114568858>

ESPINOSA, J., RODRÍGUEZ DE RIVERA, O., 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118372>

IBM Corporation. (2006). IBM SPSS Statistics (SPSS Statistics 15).

MADRIGAL OLMO, J., SOUTO GARCÍA, J., CALAMA SANZ, R., GUIJARRO GUZMÁN, M., PICOS MARTÍN, J. & HERNANDO LARA, C. (2017). Inflamabilidad de la corteza y evaluación de la resistencia al fuego de *Pinus pinea* L.

MOLINA, J. R., PRADES, C., LORA, Á. & RODRÍGUEZ Y SILVA, F. (2018). *Quercus suber* cork as a keystone trait for fire response: A flammability analysis using bench and field scales. Forest Ecology and Management, 429, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.041>

PEREIRA, H., ROSA, M. E. & FORTES, M. A. (1987). The Cellular Structure of Cork From *Quercus Suber* L. In IAWA Bulletin n.s (Vol. 8, Issue 3).



RUNDEL, P. W., ARROYO, M. T. K., COWLING, R. M., KEELEY, J. E., LAMONT, B. B., PAUSAS, J. G. & VARGAS, P. (2018). Fire and plant diversification in mediterranean-climate regions. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 9).Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00851>

SILVA, S. P., SABINO, M. A., FERNANDAS, E. M., CORRELO, V. M., BOESEL, L. F. & REIS, R. L. (2005). Cork: Properties, capabilities and applications. In *International Materials Reviews* (Vol. 50, Issue 6, pp. 345–365). Maney Publishing. <https://doi.org/10.1179/174328005X41168>