



9CFE-1950

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1



Determinantes de la recuperación de la vegetación en masas quemadas de pino carrasco: el papel de la severidad, la estructura previa y el uso histórico

COLL, L. (1,2), SOLÉ-BERTRAN J. (1), AMEZTEGUI A. (1,2), TORNE G. (1), VALOR T. (3), PANEGHEL M. (1,2),

(1) Departament de Ciència i Enginyeria Forestal i Agrícola (DCEFA), Universitat de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España

(2) Joint Research Unit CTFC-AGROTECNIO-CERCA, Ctra. Sant Llorenç de Morunys km. 2, 25280 Solsona, España

(3) Departament: Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya, Campus del Baix Llobregat, Edifici D4, C/ Esteve Terradas, 8 08860 Castelldefels, España

Resumen

La dinámica post-incendio en masas de *Pinus halepensis* está condicionada, principalmente, por la topografía, el comportamiento del fuego, las características del bosque antes del incendio y las estrategias reproductivas de las especies presentes en estas formaciones. Comprender el papel que juega cada uno de estos factores y sus interacciones es determinante para evaluar adecuadamente el impacto del incendio y ajustar, en base a ello, prácticas de gestión adecuadas. Con este objetivo, se establecieron 72 parcelas de inventario de 10x10 m dentro del perímetro afectado por el incendio de Ribera d'Ebre (Tarragona) de 2019. A nivel de cada parcela se registró dos años después del incendio la abundancia de plántulas de *P. halepensis* y se realizó un inventario florístico de todas las especies leñosas. También se estimó en campo la severidad, la orientación y la pendiente y, en gabinete, la fracción de cabida cubierta (Fcc) previa al incendio y los usos del suelo pasados a partir del análisis de fotografías aéreas recientes e históricas. Los resultados mostraron niveles mayores de regeneración natural del pino carrasco en las umbrías, las laderas de pendiente suave y en áreas con alta Fcc previa al fuego. La cobertura de las especies leñosas acompañantes fue, en cambio, mayor en las solanas, mientras que la severidad del fuego redujo tanto la cobertura como la riqueza de especies. Desde un punto de vista de la recuperación de la cobertura vegetal del suelo, los resultados mostraron que los factores que condicionan la regeneración del pino carrasco no siempre coinciden con aquellos que regulan la cobertura de otras especies leñosas.

Palabras clave

Regeneración, vegetación leñosa, incendio, cobertura del suelo, severidad, usos previos, *Pinus halepensis*

1. Introducción

Los incendios forestales son perturbaciones importantes que condicionan el funcionamiento y la dinámica de los ecosistemas forestales mediterráneos (BLONDEL 2006). Los suelos figuran entre sus componentes más afectados sufriendo alteraciones significativas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (HERNÁNDEZ ET AL. 1997). Después de un incendio, los suelos se vuelven más susceptibles a la degradación y enfrentan mayores riesgos de erosión por viento y lluvia, así como la pérdida de nutrientes por lixiviación (GIMENO-GARCÍA ET AL. 2000). En este contexto, la rápida recuperación de la vegetación es

crucial para garantizar su estabilidad y funcionalidad (MOYA ET AL. 2018).

La regeneración de la vegetación tras un incendio está influenciada por varios factores abióticos y bióticos que, además, interaccionan entre ellos. Entre los factores abióticos, la orientación y las condiciones climáticas post-incendio son determinantes, ya que modulan la disponibilidad de agua para las plantas (PAUSAS ET AL. 1999, MARTÍN-ALCÓN Y COLL 2016, BLANCO-RODRÍGUEZ ET AL. 2024). La severidad del incendio es otro factor clave que influye en la recuperación de las comunidades vegetales mediterráneas, aunque sus efectos son variables. Así, algunos estudios señalan que los incendios de alta severidad ralentizan la recuperación, por los daños causados en las estructuras reproductivas de las especies y por su impacto en el funcionamiento del suelo (FERNÁNDEZ-GARCÍA ET AL. 2019, VIANA-SOTO ET AL. 2017). Sin embargo, otros estudios han encontrado efectos positivos de la severidad del fuego, que crea un espacio vegetativo amplio y libre de competencia, favoreciendo el establecimiento de nuevas plantas o especies (LAVOREL ET AL. 1994).

En cuanto a las especies que conformaban la comunidad quemada, la presencia de estrategias reproductivas como la capacidad de rebrotar a partir de estructuras resistentes al fuego (LÓPEZ-SORIA Y CASTELL 1992), la estimulación de la liberación de semillas ejercida por el fuego o la rotura de la dormancia en los bancos de semilla aéreos o del suelo también son determinantes (PAUSAS ET AL. 2004).

Por último, aunque menos estudiados, los legados del uso del suelo también juegan un papel importante en la recuperación de la vegetación tras un incendio ya que el uso anterior del suelo afecta la estructura y composición de la vegetación (ver VILÀ-CABRERA ET AL. 2023). Algunos estudios ya han mostrado niveles de recuperación de la cobertura del suelo mayores en masas forestales preexistentes (establecidas antes de medianos del siglo pasado), en comparación con masas de origen más recientes (PUERTA-PIÑERO ET AL. 2012).

Este trabajo pretende avanzar en el conocimiento del papel que juegan los factores previamente mencionados en la dinámica post-incendio de masas dominadas por pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). Tomando como caso de estudio el incendio de Ribera de Ebre (Tarragona), que afectó alrededor de 4.000 ha de superficie forestal en 2019, el trabajo plantea la hipótesis de que la regeneración post-incendio tanto del pino carrasco como de la vegetación leñosa será mayor en laderas orientadas al norte (con menor demanda evaporativa), en pendientes planas (suelos más profundos) y en bosques con mayor Fcc antes del incendio (mayor disponibilidad de semilla). Asimismo, se espera una mayor recuperación de la cobertura del suelo en masas forestales establecidas antiguas (con mayor presencia de especies con rasgos adaptados al fuego) y un efecto negativo de la severidad del incendio sobre la regeneración del pino y la riqueza de especies leñosas.

2. **Objetivos** 1. Evaluar los efectos de la topografía local, la fracción de cubierta (Fcc) de la masa forestal antes del incendio, la severidad del incendio y la historia del uso del suelo en (i) la abundancia de regeneración del pino y (ii) la cobertura y riqueza de la vegetación leñosa dos años después del incendio de Ribera d'Ebre del 2019. Analizar los factores que influyen en la recuperación de plantas según su estrategia reproductiva en respuesta al fuego.
3. **Metodología** 3.1 Área de estudio y características del incendio



El estudio se llevó cabo en el área afectada por el incendio forestal de Ribera d'Ebre (Tarragona), que quemó a finales de junio de 2019 unas 4.000 ha forestales (formaciones de pino carrasco, principalmente) y 1.000 ha agrícolas (olivos, almendros y cultivos de secano). El clima de la zona afectada se clasifica como semiárido frío (*Bsk* según KOTTEK ET AL. 2006), con una temperatura media anual de 16,5 °C y una precipitación media anual de 379 mm, concentrada principalmente en primavera y otoño. Los tipos de suelo predominantes son cambisoles lépticos cálcicos y regosoles cálcicos. En cuanto a la vegetación leñosa, además del pino carrasco abundan especies como la coscoja (*Quercus coccifera* L.), el lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), el espinoso negro (*Rhamnus lycioides* L.), el romero (*Salvia rosmarinus* Penn.) y el madroño (*Arbutus unedo* L.).

3.2 Diseño experimental

Se seleccionó el área quemada del incendio previamente dominada por formaciones de pino carrasco a partir de la información contenida en el Mapa Forestal de España (MFE25) (MITECO 20106). Se diseñó un muestreo estratificado aleatorio para seleccionar puntos de muestreo basados en la severidad del incendio, la Fcc antes del incendio y la orientación. Para ello, se clasificaron las áreas quemadas en tres clases de severidad a partir del análisis de imágenes de Sentinel-2, calculando el índice delta Normalizado de Área Quemada (dNBR, MILLER Y THODE 2007). La Fcc se clasificó en baja (<30 %), media (30-60 %) y alta (>60 %), utilizando datos del Mapa de Variables Biofísicas de Cataluña (1:40000) (ICGC 2017). Finalmente se categorizó la orientación en dos clases: norte (de 225° a 45°) y no norte (de 45° a 225°), a partir de un modelo digital de elevación (MDT25 del Instituto Geográfico Nacional). Se definieron los sitios de muestreo ubicando aleatoriamente 4 puntos en cada combinación de factores (severidad del incendio, Fcc y orientación), resultando en un total de 72 sitios dentro del perímetro del incendio.

3.3 Mediciones de regeneración post-incendio y cálculo de variables

Los inventarios se realizaron entre abril y mayo de 2021. En cada sitio de muestreo se estableció una parcela cuadrada de 10 m x 10 m y dos transectos lineales paralelos de 20 m. Dentro de las parcelas, se contó el regenerado de pino carrasco (número de plántulas) y se realizó un inventario florístico utilizando por el método de la línea intercepto. La riqueza de especies se calculó como el número de especies leñosas identificadas. Cada especie se clasificó en función de sus rasgos reproductivos tras el fuego en tres grupos (ver a partir de PAUSAS ET AL. (2004): especies germinadoras obligadas (especies que no pueden rebrotar después del incendio), rebrotadoras y rebrotadoras facultativas (pueden germinar o rebrotar después del incendio).

Durante los inventarios también se registraron en campo la pendiente, la orientación y la severidad, que se clasificó en cuatro categorías de baja a alta severidad según estimaciones visuales de los árboles quemados. Además, se caracterizó el uso histórico del suelo mediante la interpretación de fotografías aéreas de 1956, clasificándose las áreas quemadas entre "bosques recientes" (procedentes de cultivos abandonados después de 1956) o "bosques pre-existentes" (establecidos con anterioridad al 1956).

3.4 Análisis de datos

Se utilizaron como variables dependientes la abundancia de pinos, la cobertura del suelo por vegetación leñosa y la riqueza de especies leñosas leñosas y como

variables independientes la pendiente, la orientación, la Fcc previa al incendio, los usos históricos del suelo y la severidad del incendio. Se empleó un modelo lineal generalizado con una distribución binomial negativa para analizar la abundancia de la regeneración del pino carrasco. Para la cobertura vegetal y la riqueza de especies, se recurrió a modelos lineales generales.

La relación de las variables independientes con la riqueza de especies se analizó mediante un análisis de correlación canónica (CCA). Las especies se representaron según sus estrategias adaptativas al fuego en un *biplot* de CCA y se usó una prueba de Monte Carlo para evaluar la significancia de los ejes canónicos.

4. Resultados

En total se contabilizaron 2.596 plántulas de pino carrasco, con una densidad media de 0,36 plántulas/m² (3.600 plántulas/ha). Tres parcelas no presentaron ninguna plántula de pino, y la densidad máxima registrada fue de 2,38 plántulas/m². En los inventarios florísticos se identificaron un total de 45 especies leñosas, incluyendo arbustos, lianas y árboles, con una cobertura del suelo que osciló entre el 5% y el 125%.

La orientación y la Fcc antes del incendio influyeron significativamente en la abundancia de la regeneración, siendo esta mayor en las umbrías y en los sitios que presentaban valores altos de Fcc (Tabla 1). La pendiente tuvo un efecto marginal y no se encontraron efectos significativos de los usos pasados del suelo ni de la severidad del incendio sobre la abundancia de plántulas. Tampoco se obtuvieron efectos significativos de las interacciones entre variables.

Tabla 1. Resultados del análisis de desviación para el modelo lineal generalizado de abundancia del regenerado de pino carrascocarrascp, con una distribución binomial negativa de los errores. El sombreado gris claro indica efectos significativos ($p < 0,05$) y marginalmente significativos ($0,1 < p < 0,05$)

Abundancia regenerado					
Variable	Df	Desviación	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
Orientación	1	40.070	68	84.823	0.000
Pendiente	1	3.243	67	81.580	0.072
Fcc	2	9.036	69	124.893	0.011
Uso previo del suelo	1	0.021	63	81.587	0.885
Severidad	3	2.063	64	81.590	0.599
Adjusted R-square	0.108				

La cobertura del suelo de otras especies leñosas se vio significativamente afectada por la orientación, la severidad del fuego y los usos previos (Tabla 2).

Sorprendentemente, las umbrías mostraron menores niveles de cobertura que las solanas. A su vez, las áreas quemadas con alta severidad y los bosques recientes también mostraron menor cobertura de especies leñosas. Ni la pendiente ni la Fcc previa al incendio influyeron significativamente en esta variable.

Tabla 2. Resultados del modelo lineal general para la cobertura vegetal de especies leñosas (%). El sombreado gris claro indica efectos significativos ($p < 0,05$)

Variable	Df	Cobertura Vegetación leñosa			
		Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Orientación	1	2465.1	2465.06	5.701	0.019
Pendiente	1	6.6	6.59	0.015	0.902
Fcc	2	1178.5	586.23	1.363	0.263
Severidad	3	4261.2	1420.41	3.285	0.026
Uso previo del suelo	1	2202.8	2202.79	5.095	0.027
Adjusted R-square	0.178				

La riqueza en las parcelas muestreadas osciló entre 7 y 22 especies. La Fcc tuvo un efecto significativo y positivo en esta variable. La severidad del fuego también influyó, encontrándose una menor riqueza en sitios quemados en alta severidad en comparación con los que quemaron en niveles de severidad moderados o bajos. Las áreas en las que se encontraban bosques pre-existentes (ver métodos) mostraban una mayor riqueza de especies que los recientes.

En cuanto al análisis de la relación entre las estrategias reproductivas y los distintos factores estudiados, el primer eje del CCA se asociaba con la orientación y la Fcc, mientras que el segundo eje estaba relacionado con la severidad del fuego y la pendiente (Figura 1). Las especies rebrotadoras se asociaron con los sitios con alta Fcc y orientaciones norte, mientras que las especies germinadoras y las facultativas lo hacían en aquellos con niveles bajos de Fcc y en orientaciones más expuestas al sur.

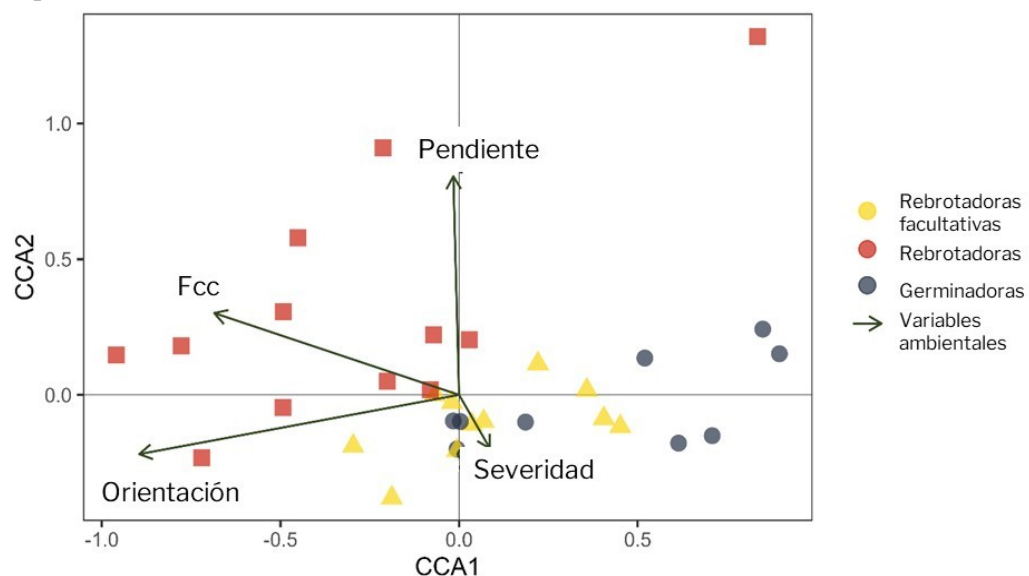


Figura 1. Biplot del análisis de correspondencia canónica para 4 de las variables estudiadas: Orientación (Índice de orientación norte: valores continuos desde -1 para



orientación sur hasta 1 para orientación norte), pendiente (%), Fcc (fracción de cabida cubierta previa al incendio, variable categórica) y severidad del incendio (variable categórica desde baja (1) hasta alta (4) severidad), y las 33 especies leñosas más frecuentes muestreadas. Las estrategias reproductivas después del fuego consideradas son: germinadoras (círculos grises), rebrotadoras (cuadrados rojos) y rebrotadoras facultativas (triángulos amarillos). Se representan los ejes canónicos 1 y 2, que recogen un 75,71 % de la varianza explicada.

5. Discusión

Los resultados del estudio muestran que los factores abióticos y bióticos analizados influyen de manera variable (y a veces distinta) en la abundancia del regenerado de pino carrasco y en la cobertura y riqueza de otras especies leñosas.

Se confirma la hipótesis inicial de que la topografía local (orientación, principalmente) modula la regeneración del pino carrasco, a través de su efecto en sobre el microclima (más frío y húmedo en las umbrías) y la reducción de la demanda evaporativa a la que se exponen las plántulas (PAUSAS ET AL. 2004, BUHK ET AL. 2006). Los menores niveles de regeneración que se hallaron en pendientes pronunciadas concuerdan con los hallazgos de TSITSONI (1997) y podrían estar relacionados con una menor profundidad del suelo y, por lo tanto, con una menor capacidad de retención de agua en el suelo (GÓMEZ-PLAZA ET AL. 2001).

La relación positiva entre la Fcc y la abundancia de regenerado puede atribuirse a la presencia de un mayor banco de semillas aéreo en estas masas antes del incendio, como observaron BRONCANO Y RETANA (2004) y PAUSAS ET AL. (2004). Sin embargo, no encontramos efectos ni de la severidad ni de las trayectorias de uso del suelo en la regeneración del pino, probablemente por su carácter serófito y porque se trata de una especie que alcanza la madurez sexual temprano, lo que garantiza la disponibilidad de semillas pocos años después de establecerse (CLIMENT ET AL. 2008).

Contrariamente a lo inicialmente esperado, se halló una mayor cobertura de vegetación leñosa en las parcelas no orientadas al norte. Estos resultados contrastan con hallazgos previos en el Prepirineo catalán (PUERTA-PIÑERO ET AL., 2012) y podrían estar relacionados con las estrategias reproductivas de las especies tras el fuego (Figura 2), al encontrarse en estas orientaciones una mayor presencia de germinadoras obligadas, que tienden a ser más tolerantes a la sequía y son más comunes en áreas más áridas (ARNAN ET AL. 2007, VERDÚ 2000). No obstante, se requieren estudios más específicos y orientados para dilucidar con mayor detalle la ocurrencia de estos patrones contraintuitivos en nuestra área de estudio.

Los resultados también mostraron un efecto negativo de la severidad del incendio, tanto a nivel de la cobertura de especies leñosas como de la riqueza de especies. En la literatura aparecen resultados contrastados en relación con el efecto de la severidad sobre estas variables. Por ejemplo, MARZANO ET AL. (2005) encontraron una reducción de la riqueza de especies (en el corto plazo) asociada a la severidad del incendio, mientras MOYA ET AL. (2020) mostraron que la severidad inducía cambios en la composición de la comunidad, pero no a nivel de la cobertura y de la riqueza. Las diferencias entre nuestros resultados y los reportados en estudios anteriores pueden deberse a la metodología usada para estimar la severidad o a la acción de otros factores que no se consideraron en nuestro estudio (relacionados por ejemplo con las propiedades del suelo).



Finalmente, las áreas previamente dominadas por bosques pre-existent (establecidos antes de los años 50) presentaban una mayor cobertura de especies leñosas tras el incendio que aquellos más recientes, aunque no se encontraron diferencias en la riqueza de especies. La mayor cobertura de la vegetación leñosa en los bosques preexistentes concuerda con los resultados de estudios anteriores (PUERTA-PIÑERO ET AL., 2012) y puede explicarse por la presencia, en estos sistemas, de una comunidad vegetal más estructurada y adaptada. Estudios posteriores deberán confirmar este patrón y avanzar en la comprensión de los procesos y mecanismos que subyacen a estos resultados.

6. Conclusiones

Los resultados de nuestro estudio sugieren que las áreas con baja Fcc previa al incendio, localizadas en pendientes pronunciadas, orientadas al sur, y que se quemaron con alta severidad, son aquellas que experimentan mayores dificultades para recuperar la cobertura vegetal del suelo después del incendio. Estas áreas deberían ser aquellas sobre las que priorizar estrategias de restauración para proteger el suelo de la erosión y de una mayor degradación.

Además, se ha detectado que los principales factores que impulsan la regeneración post-incendio varían según el estrato vegetal considerado. Mientras que la Fcc antes del incendio influye positivamente en la regeneración del pino carrasco, la severidad del incendio juega un papel más crítico en la determinación de la cobertura de la vegetación leñosa acompañante. Además, mientras las umbrías ofrecen mejores condiciones para el establecimiento del pino, en el resto de las orientaciones se observa una mayor cobertura de vegetación leñosa.

Finalmente, cabe mencionar que nuestro estudio proporciona información a corto plazo sobre la recuperación de la vegetación tras un incendio, ofreciendo una evaluación parcial de estos procesos desde una perspectiva temporal. Serían necesarios estudios que sigan la dinámica de la vegetación tras incendio durante periodos más largos y en un mayor número de sitios para complementar nuestros resultados y proporcionar una imagen más completa de cómo evolucionan estas comunidades en ambientes mediterráneos con limitaciones hídricas

7. Agradecimientos

El estudio se ha desarrollado en el marco de los proyectos UMBRACLIM (PID2019-111781RB-I00) y VULNIFOR (PID2022-142108OB-I00) financiados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España. La investigación se ha llevado a cabo por parte de miembros del grupo de investigación ADPATAFOR (2021-SGR-01530) financiado por la Agencia Catalana de Ayudas Universitarias y de Investigación (AGAUR) de la Generalitat de Catalunya.

8. Bibliografía

- ARNAN, X.; RODRIGO, A.; RETANA, J.; 2007. Post-fire regeneration of Mediterranean plant communities at a regional scale is dependent on vegetation type and dryness. *J Veg Sci* 18(1) 111–122.
- BLANCO-RODRÍGUEZ, M. Á.; AMEZTEGUI, A.; GELABERT, P.; RODRIGUES, M.; COLL, L.; 2023. Short-term recovery of post-fire vegetation is primarily limited by drought in Mediterranean forest ecosystems. *Fire Ecology* 19(1) 68.
- BLONDEL, J.; 2006. The ‘Design’ of Mediterranean Landscapes: A Millennial Story of Humans and Ecological Systems during the Historic Period. *Human Ecology* 34(5) 713–729.
- BRONCANO, M. J.; RETANA, J.; 2004. Topography and forest composition affecting the variability in fire severity and post-fire regeneration occurring after a large fire



- in the Mediterranean basin. *International Journal of Wildland Fire* 13(2) 209.
- BUHK, C.; GÖTZENBERGER, L.; WESCHE, K.; GÓMEZ, P. S.; HENSEN, I.; 2006. Post-fire regeneration in a Mediterranean pine forest with historically low fire frequency. *Acta Oecologica*, 30(3) 288–298.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, V.; FULÉ, P. Z.; MARCOS, E.; CALVO, L.; 2019. The role of fire frequency and severity on the regeneration of Mediterranean serotinous pines under different environmental conditions. *For Ecol Manage* 444 59–68.
- GIMENO-GARCÍA, E.; ANDREU, V.; RUBIO, J. L.; 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *Eur J Soil Sci* 51(2) 201–210.
- GÓMEZ-PLAZA, A.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. M.; 2001. Factors regulating spatial distribution of soil water content in small semiarid catchments. *J Hydrol* 253(1) 211–226.
- HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C.; REINHARDT, I.; 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils* 25(2) 109–116.
- ICGC; 2017. Map of bio-physical variables of forested areas of Catalonia [Map] (Catalan). Generalitat de Catalunya. <https://www.icgc.cat/ca>
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F.; 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3) 259–263.
- LAVOREL, S.; LEPART, J.; DEBUSSCHE, M.; LEBRETON, J.-D.; BEFFY, J.-L.; 1994. Small Scale Disturbances and the Maintenance of Species Diversity in Mediterranean Old Fields. *Oikos* 70(3) 455–473.
- LÓPEZ-SORIA, L.; CASTELL, C.; 1992. Comparative genet survival after fire in woody Mediterranean species. *Oecologia* 91(4) 493–499.
- MARTÍN-ALCÓN, S.; COLL, L.; 2016. Unraveling the relative importance of factors driving post-fire regeneration trajectories in non-serotinous *Pinus nigra* forests. *For Ecol Manage* 361 13–22.
- MARZANO, R.; LINGUA, E.; GARBARINO, M.; 2012. Post-fire effects and short-term regeneration dynamics following high-severity crown fires in a Mediterranean forest. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 5(1) 93–100.
- MILLER, J. D.; THODE, A. E.; 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Rem Sens Env* 109(1) 66–80.
- MITECO; 2006. Mapa Forestal Español (MFE50) [Map] (Spanish). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.html>
- MOYA, D., GONZÁLEZ-DE VEGA, S., GARCÍA-ORENES, F., MORUGÁN-CORONADO, A., ARCENEGUI, V., MATAIX-SOLERA, J., LUCAS-BORJA, M. E., & DE LAS HERAS, J. (2018). Temporal characterization of soil-plant natural recovery related to fire severity in burned *Pinus halepensis* Mill. *Forests. Sci Tot Env* 640–641 42–51.
- MOYA, D.; SAGRA, J.; LUCAS-BORJA, M. E.; PLAZA-ÁLVAREZ, P. A.; GONZÁLEZ-ROMERO, J.; DE LAS HERAS, J.; FERRANDIS, P.; 2020. Post-Fire Recovery of Vegetation and Diversity Patterns in Semiarid *Pinus halepensis* Mill. *Habitats after Salvage Logging. Forests*, 11(12), Article 12.
- PAUSAS, J. G.; CARBÓ, E.; NEUS CATURLA, R.; GIL, J. M.; VALLEJO, R.; 1999. Post-fire regeneration patterns in the eastern Iberian Peninsula. *Acta Oecologica* 20(5) 499–508.
- PAUSAS, J. G.; BRADSTOCK, R. A.; KEITH, D. A.; KEELEY, J. E.; 2004. Plant



Functional Traits in Relation to Fire in Crown-Fire Ecosystems. *Ecology* 85(4) 1085–1100.

PUERTA-PIÑERO, C., ESPELTA, J. M., SÁNCHEZ-HUMANES, B., RODRIGO, A., COLL, L., & BROTONS, L. (2012). History matters: Previous land use changes determine post-fire vegetation recovery in forested Mediterranean landscapes. *Forest Ecology and Management*, 279, 121–127.

TSITSONI, T.; 1997. Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *For Ecol Manage* 92(1) 199–208.

VERDÚ, M.; 2000. Ecological and evolutionary differences between Mediterranean seeders and resprouters. *J Veg Sci* 11(2) 265–268.

VIANA-SOTO, A.; AGUADO, I.; MARTÍNEZ, S.; 2017. Assessment of Post-Fire Vegetation Recovery Using Fire Severity and Geographical Data in the Mediterranean Region (Spain). *Environments* 4(4), Article 4.

VILÀ-CABRERA, A.; ASTIGARRAGA, J.; JUMP, A. S.; ZAVALA, M. A.; SEIJO, F.; SPERLICH, D.; RUIZ-BENITO, P.; 2023. Anthropogenic land-use legacies underpin climate change-related risks to forest ecosystems. *Trends in Plant Science* 28(10) 1132–1143.