



9CFE-1859

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

Organiza





Efectos del fuego de baja intensidad en el crecimiento de *Pinus pinea* L. tras el gran incendio de Obejo (Córdoba 2007): aplicaciones para la gestión integrada del fuego en la silvicultura adaptativa de las masas de pino piñonero

MADRIGAL J. (1), NICOLÁS S. (1), DE PAULA S. (1), MOLINA J.R. (2), SENRA F. (3), CALAMA R. (1)

(1) ICIFOR-INIA (CSIC)

(2) ETSIAM. UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

(3) Centro Operativo Regional - Plan INFOCA. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.

Resumen

En el año 2007 tuvo lugar un gran incendio forestal en el término municipal de Obejo (Córdoba) que afectó a una masa de *Pinus pinea*. En base al mapa de severidad obtenido con imágenes de satélite en 2007 y recorridos de campo realizados en 2021, se realizó una selección de áreas afectadas por fuego de copa de alta intensidad, por fuego de superficie y control no quemadas. En cada zona se replantearon 3 parcelas (N=9) de radio variable para etiquetar 25 árboles de los cuales se extrajeron dos cores con barrena Pressler perpendiculares a 1,30 m de altura (N=450) que se procesaron para obtener crecimientos radiales de cada árbol. Se compararon los efectos fijos (tipo de fuego: superficie y copas) y efectos aleatorios de árbol y parcela mediante un modelo lineal mixto. Los resultados muestran que la masa afectada por fuego de copas presenta una densidad significativamente menor por mortalidad directa o diferida del arbolado con un crecimiento significativamente mayor de los árboles supervivientes. Los árboles afectados por fuego de superficie no presentaron diferencias con el control. Los resultados sugieren reducir la densidad e introducir el fuego para aumentar la resiliencia al cambio global de estas masas procedentes de repoblación.

Palabras clave

Cambio Global; gestión integrada; nivel de intensidad del fuego; Severidad; dendroecología

1. Introducción

Los efectos del fuego en los ecosistemas mediterráneos dependen de la intensidad, severidad, frecuencia, época del año, extensión y tipo de fuego, en definitiva, de su régimen de incendios (ARCHIBALD et al. 2013). En los últimos años se han venido estudiando los efectos de la severidad del fuego sobre el suelo y la vegetación, sobre todo por el desarrollo de herramientas satelitales, que permiten generar cartografía a escala de paisaje. Se han elaborado guías metodológicas que aplican estos conocimientos a los tratamientos de emergencia post-incendio (VEGA et al. 2013) y a la toma de decisiones en la restauración. La bibliografía sobre los efectos de las quemaduras prescritas en diferentes parámetros del ecosistema es abundante y en los últimos años, en nuestro país, también se han desarrollado estudios financiados por diferentes proyectos de investigación europeos (p. ej., Fireparadox, Fume, CILIFO, FIREPOCTEP), nacionales (p. ej., GEPRIF, VIS4FIRE, ENFIRES) y organismos de gestión ministerial (GONZÁLEZ SANCHO et al. 2020) que están generando resultados científicos y técnicos aplicados al manejo integral del fuego en nuestros ecosistemas, así como información sobre los efectos del fuego de baja intensidad. La mayoría de la bibliografía resultante coincide con la existente en otros ecosistemas y es un hecho bastante contrastado que las quemaduras de baja intensidad permiten regular la carga de combustible, siendo su efecto amortiguado por los ecosistemas en períodos asumibles desde el punto de vista ecológico, al



menos para la vegetación y el suelo, que pueden oscilar entre unos meses (ESPINOSA et al 2018) y varios años (ROMERO-TORIVIO et al. 2024). La repetición de tratamientos en la misma zona es más controvertida porque se han detectado efectos adversos en las reservas de carbono en el suelo (FONTÚRBEL et al. 2021). En cualquier caso, hay consenso en considerar que los efectos de las quemas prescritas presentan menores impactos que los que suponen los incendios de alta intensidad (FERNANDES 2015) siempre que estas quemas supongan baja severidad en el suelo (SOUZA et al. 2024) y que sería necesario quemar de forma prescrita una superficie importante (relaciones 1:4 1:5 de la superficie promedio anual quemada en incendios) en un área/comarca concreta para garantizar una reducción significativa de la severidad del fuego y el área quemada (DAVIM et al. 2022)

El piñonero (*Pinus pinea* L.) es una especie arbórea emblemática que ocupa amplias en el Mediterráneo por sus resistencia a la sequía y gran rusticidad que le permite vegetar en suelos muy pobres, por lo que se ha usado frecuentemente en los proyectos de restauración en España a lo largo del siglo XX, que se han mostrado muy vulnerables a los incendios (GUIJARRO et al. 2017). De hecho, el único experimento de fuego de copas realizado en España (RODRÍGUEZ Y SILVA et al. 2017) se ejecutó en una masa de pino piñonero mostrando la facilidad de la subida de fuego a las copas que la velocidad de propagación por copas fue mayor que la predicha por los modelos americanos y canadienses, mostrando por tanto las altas intensidades generadas en este tipo de incendios generando una alta mortalidad del arbolado. Es una especie de pino que no presenta adaptaciones a regenerar después de incendio, con una estrategia de dispersión secundaria por zoocoria. Sin embargo, la resistencia potencial de esta especie a incendios de baja intensidad se ha demostrado a escala de laboratorio, mostrando diferencias entre procedencias de los espesores de corteza en altura (MADRIGAL et al. 2019), lo que indicaría potenciales adaptaciones a fuegos de baja y media intensidad que no generen fuego de copa. La resiliencia al fuego de los pies supervivientes de esta especie se demostró en estudio dendroecológico en los incendios de Las Peñuelas en el entorno de Doñana (CAMARERO et al. 2022). Posteriormente en el incendio de Obejo (Córdoba, 2007) (CAMARERO et al. 2023) se demostró que la severidad del fuego tuvo un efecto significativo en la resiliencia de *Pinus pinea*, siendo los pies supervivientes a incendios de alta severidad más resilientes a futuros episodios de sequía y nuevos incendios. Teniendo en cuenta estos resultados previos y en el contexto del proyecto INTERREG POCTEP CILIFO (www.cilifo.eu), se abordó el reto de utilizar fuegos experimentales para gestionar ecosistemas de pinar de *Pinus pinea* (SOUZA-ALONSO et al. 2024). En el mencionado incendio de Obejo se analizó el efecto de la severidad del fuego y la densidad de la masa para explicar los crecimientos posteriores de los pies supervivientes. La hipótesis planteada fue que las zonas afectadas por fuego de superficie no generan mortalidad, daños en los pies ni efectos significativos en los crecimientos con respecto al área control sin quemar y que el efecto de la reducción de la densidad en zonas supervivientes a carreras de fuego de copa influye en los crecimientos años después del incendio (CAMARERO et al. 2023). El presente trabajo se centra en los efectos del fuego de baja severidad frente al control para explorar sus implicaciones del uso de la quema prescrita como tratamiento selvícola que ayude a gestionar estas masas de forma adaptativa. Estos resultados pueden tener aplicaciones para poder mejorar la silvicultura de las masas de pino piñonero mediante el uso de quemas prescritas que acompañen a las clareos y claras planificadas en los proyectos de ordenación.

2. Material y Métodos

En base al mapa de severidad obtenido con imágenes de satélite en 2007 (Figura 1a) y recorridos de campo realizados en 2021, se realizó una selección de áreas afectadas por fuego de copa de alta intensidad, por fuego de superficie y control no quemadas. En cada zona se replantearon 3 parcelas (N=9) de radio variable para etiquetar 15 árboles de los cuales se extrajeron dos cores con barrena Pressler perpendiculares a 1,30 m de altura (270 cores) (Figura 1b). En este estudio se seleccionaron las 6 parcelas pertenecientes a incendios de superficie de baja severidad y controles (n=90). Los cores se procesaron mediante el uso de Lintab (Figura 1c) para obtener crecimientos radiales de cada árbol (Figura 1d). Se generaron ANOVAs mixtos con efectos aleatorios de parcela incluyendo como covariable la densidad de la parcela para comparar el BAI (incremento anual de área basal) en los años posteriores al incendio (2008-2022) entre parcelas de baja severidad y controles. En las parcelas quemadas, además de las variables dasométricas (dbh, altura), se determinaron las variables relacionadas con la vulnerabilidad a fuegos de superficie y severidad de quemado: altura de chamuscado de tronco, altura de inicio de la copa viva para explorar posibles efectos de la poda térmica y/o afección potencial de la copa, espesores de corteza máximos y mínimos en dos caras del tronco en la zona de extracción del core. Estos datos de árbol individual se correlacionaron (matriz de Pearson) con su BAI medio después del incendio (2008-2022) y con el BAI en los años inmediatamente posteriores al incendio (2008-2010) en los cuales se produce el estrés más importante tras la perturbación (CAMARERO et al. 2023). Se generó también un modelo lineal generalizado solo para las parcelas quemadas (N=45) para explorar la significación de estas variables, incluyendo como variables aleatorias la parcela, el árbol y el árbol anidado a la parcela.

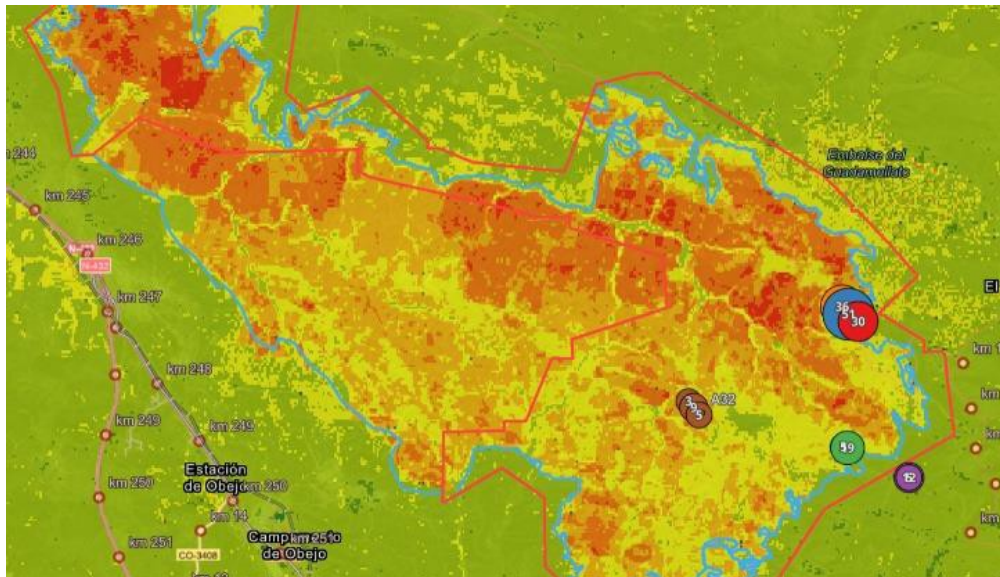






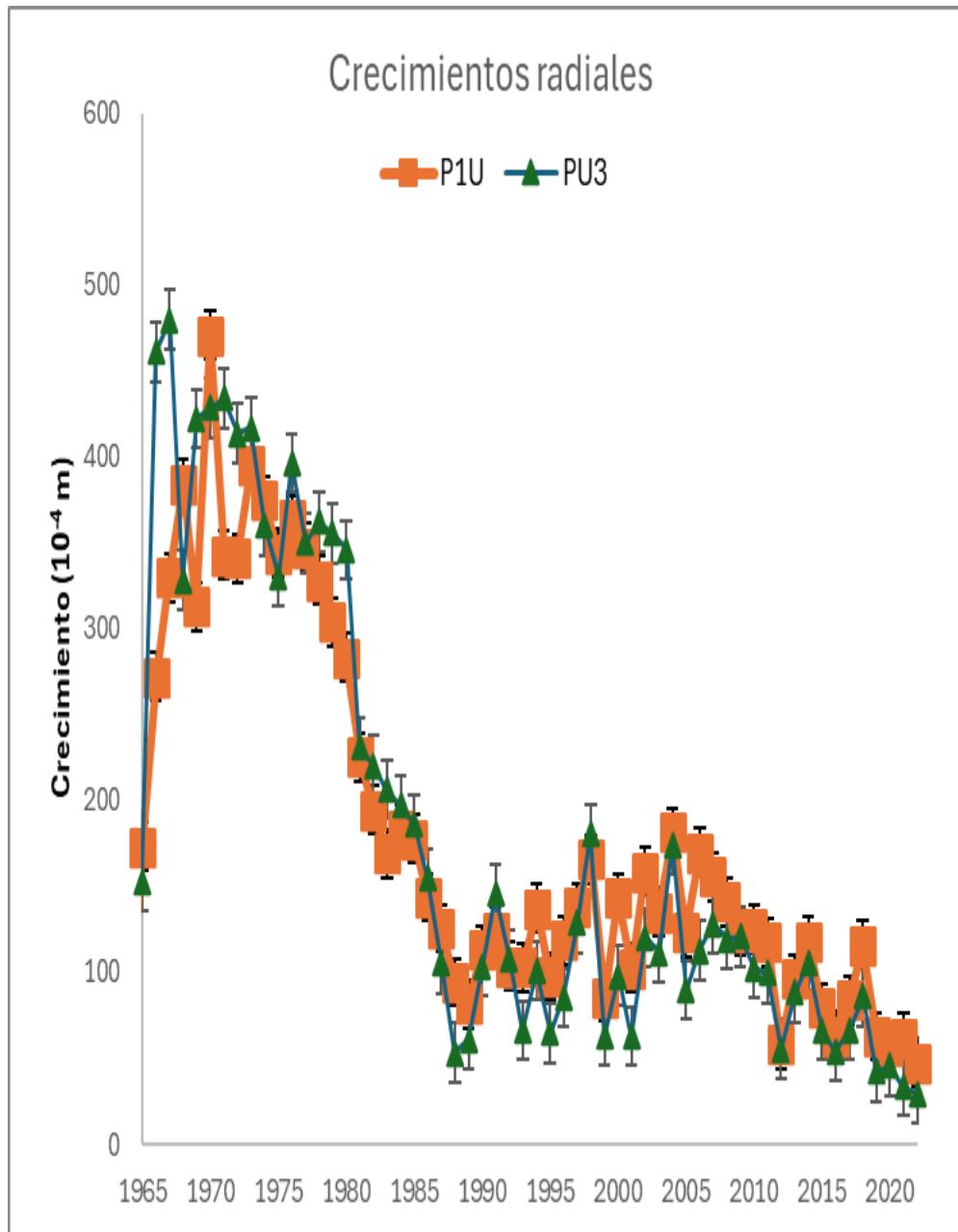
Figura 1. (a) Mapa de severidad del incendio de Obejo (Córdoba) (más detalles en CAMARERO et al. 2023) con la ubicación de las parcelas de fuego de copas (morado) y el resto que son objeto de este estudio: fuego de superficie (rojo) y control (verde) (b) Extracción de cores con barrena y ayuda de taladro (c) Medición de anillos en Lintab (d) Detalle de montaje de core con crecimientos tras el incendio de 2007 hasta el momento de la medición (2022).

3. Resultados

Los resultados dasométricos y de análisis de los cores de las parcelas quemadas de baja severidad de quemado y control muestran una masa procedente de las repoblaciones efectuadas a partir de los años 1960s que han tenido un crecimiento moderado o bajo, en gran parte debido a la escasa o nula selvicultura llevada a cabo y la dureza de la sequía estival en la zona. Ello lleva a masas con una altura media entre 9-14 m y diámetros medios entre 19 y 35 cm, alturas de inicio de la copa entre 5-6 m de media y espesores medios de corteza a 1,30 m entre 1,5 y 2 cm (Tabla 1).

Tabla 1. Variables dasométricas medias y error estándar (sd) para las parcelas estudiadas en zonas quemadas d baja severidad (Quemado) y controles sin quemar con características similares (Htot= Altura media, H_copa= Altura de inicio de la copa viva, H_cham= Altura de chamuscado de tronco). Muestra total de árboles N=150.





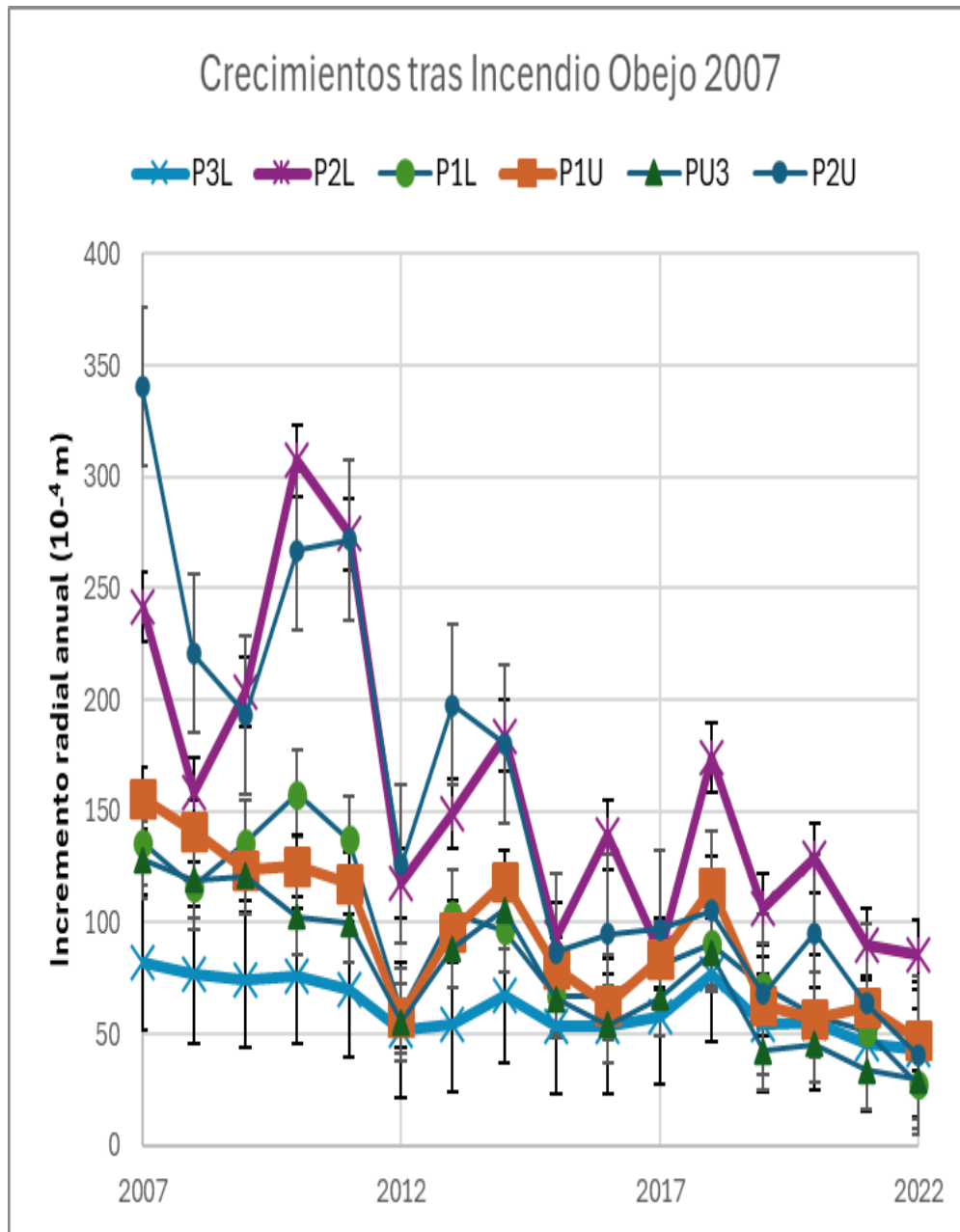


Figura 2. (a) Ejemplos de crecimientos radial de parcela quemada y control obtenidos con la lectura de cores en Lintab. Se muestra la desviación estándar de cada año para el total de los 15 árboles muestreados en cada parcela (b) Tendencia de las 6 parcelas muestreadas (N=90 árboles) en el crecimiento radial tras el gran incendio de Obejo de 2007. Se muestra las barras de desviación estándar para cada año.

Los análisis de varianza para el BAI a escala de parcela (Figura 3) no mostraron diferencias significativas entre parcelas quemadas y control, ni para los crecimientos inmediatamente postincendio (2008-2010), ni para la serie completa postincendio 2008-2022 (Figura 3). Se observó una tendencia significativa esperada ($p=0,014$) a que las parcelas menos densas crecieran más, tal como muestran los crecimientos de las parcelas P2L y P2U (Figura 2) que tienen menor densidad que el resto (Tabla 1).

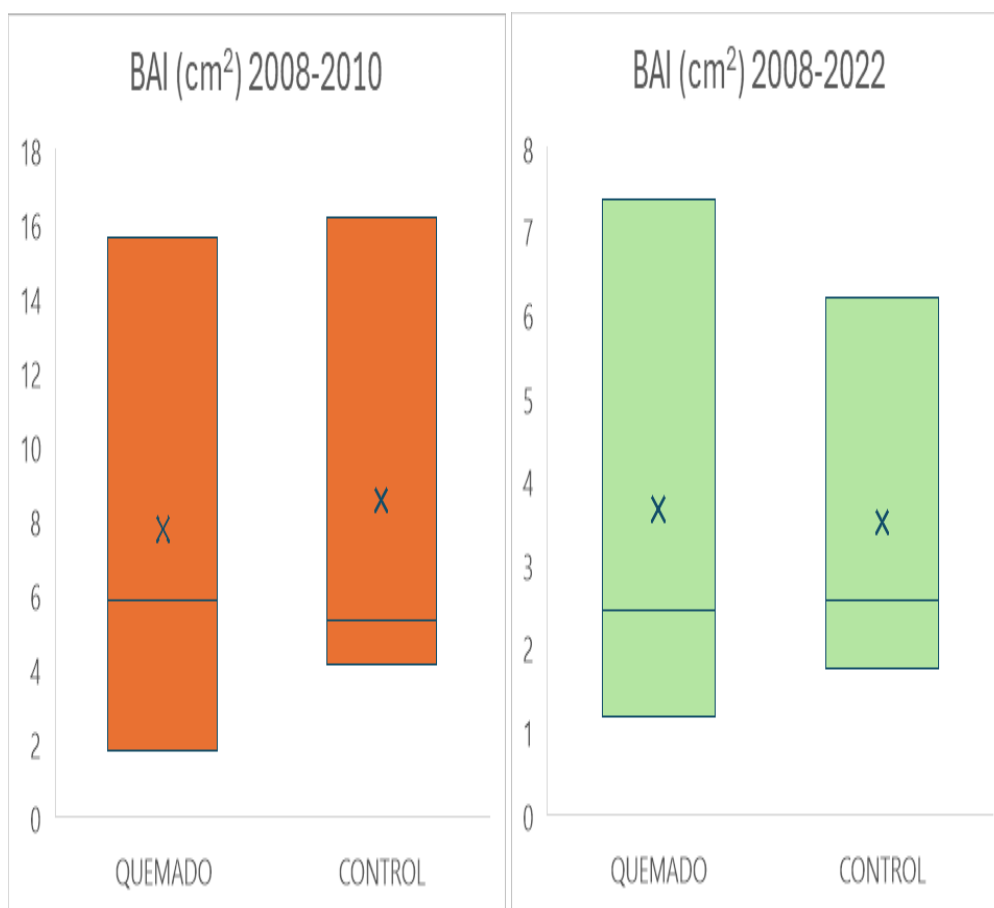


Figura 3. Media , mediana y rango de valores del incremento de área basal anual (BAI) promedio para los períodos postincendio 2008-2010 (3 años postincendio) y 2008-2022 (15 años postincendio). No se observaron diferencias significativas en ninguno de los casos.

Los análisis a escala árbol individual para los pies de las parcelas quemadas (N=45) mediante modelos mixtos lineales generalizados muestran un ajuste para el BAI medio 2008-2022 a una distribución Gamma (AIC=141,182) que ofrece una significación de la densidad ($p=0,001$) pero que no tiene significación para la variable analizada de severidad de quemado altura de chamuscado (H_{cham} , $p=0,121$). Se observan significación ($p<0,001$) para los factores aleatorios de árbol y la parcela. Efectivamente, el análisis de la matriz de correlaciones para la muestra de arbolado de las parcelas quemadas ofrece correlación del BAI medio con la altura de inicio de la copa ($r=-0,539$, $p<0,001$) y los espesores de corteza, especialmente el espesor mínimo ($r=0,417$, $p=0,007$). Por otro lado, hubo significación entre la altura de copa viva y la altura de chamuscado ($r=0,720$, $p=0,002$) solo para la parcela P2L (densidad mas baja de la muestra, Tabla 1) , lo que podría indicar que en esta parcela hubo poda térmica (la mayor altura del chamuscado del tronco podría haber generado muerte de parte de las ramas inferiores generando mayor altura de la copa viva). Al representar estas tendencias se observan unas relaciones potenciales que sugieren unos valores umbral para alguna de las variables estudiadas: (1) espesores de corteza mínimos inferiores a 2 cm tienden a generar menores crecimientos tras el fuego; (2) una altura de inicio de copa superior a 3 m que correspondería con alturas de chamuscado mayores de 1,6 m, mostrarían valores de BAI por debajo de 5 cm².

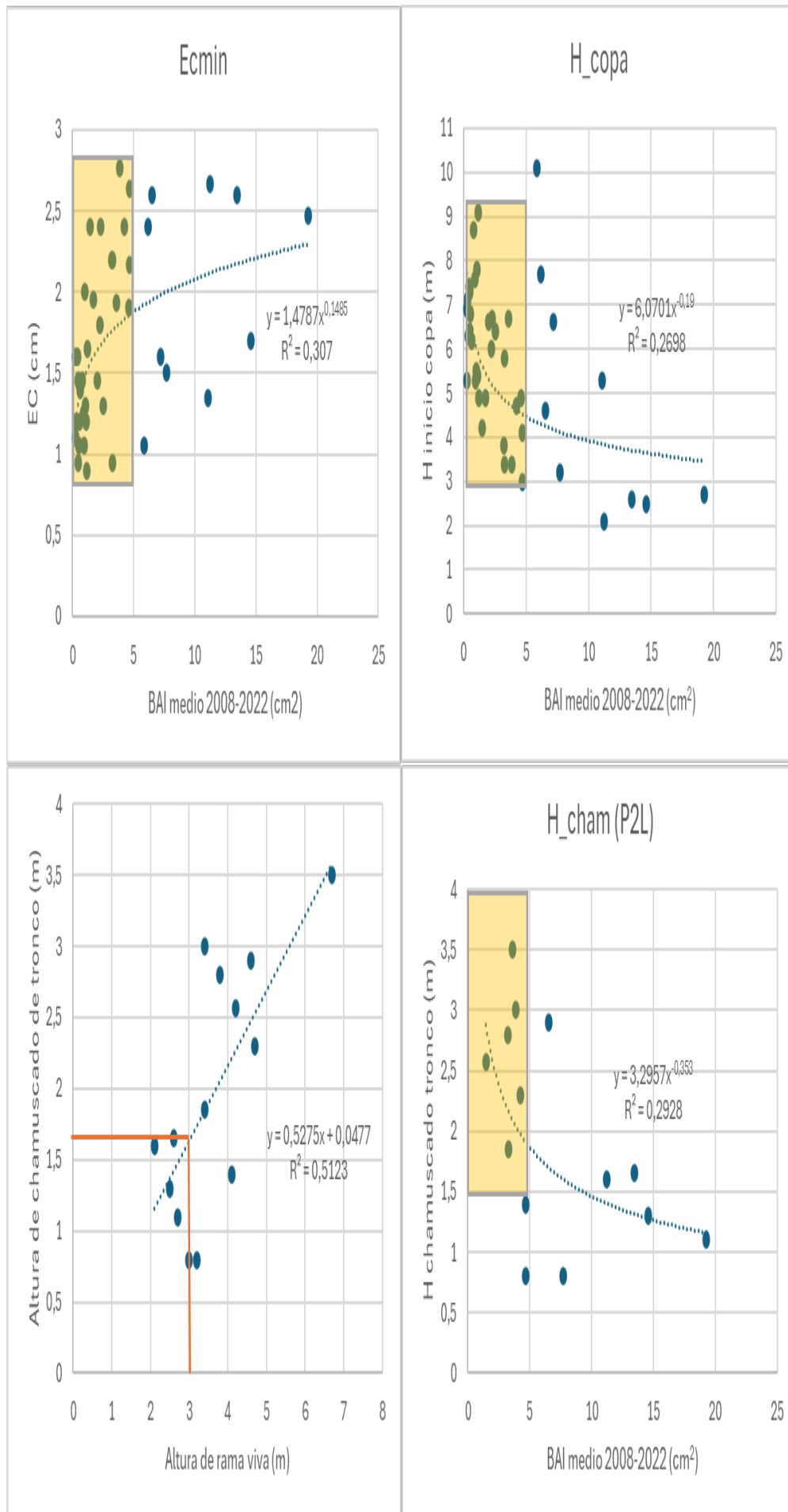




Figura 4. Correlaciones potenciales para el BAI con el espesor de corteza mínimo, la altura de copa (N=45) y la altura de chamuscado de copa (N=15 para parcela P2L). Se muestra la correlación lineal para el chamuscado de tronco con la altura de inicio de copa mostrando la correspondencia entre ambas variables para los límites de vulnerabilidad detectados que reducen el BAI por debajo de 5 cm² anuales

4. Discusión

Los resultados mostrarían una alta resiliencia de los pies supervivientes a incendios de baja severidad de quemado, resultados coincidentes con estudios previos donde se incluyeron zonas afectadas por alta severidad de quemado (CAMARERO et al, 2023). Estas áreas afectadas por alta intensidad CAMARERO et al, (2023) mostraron mayores BAI por la importante reducción de la densidad respecto a áreas afectadas por fuego de superficie y controles debido a la fuerte mortalidad tras el incendio. Por tanto, en áreas de fuego de copas, el incendio actuó como una perturbación que generó grandes rasos con ausencia de regeneración y la mortalidad de gran parte del arbolado excepto en rodales de pies más maduros que resistieron al fuego por su mayor altura y espesor de corteza a lo largo del tronco (MADRIGAL et al. 2019). Estos pies crecieron con menor competencia de pies dominados o codominantes que murieron en el incendio, con lo que sus crecimientos fueron significativamente mayores que en las parcelas de fuego de superficie y controles, mostrando una mayor resiliencia a nuevas perturbaciones (CAMARERO et al. 2022, 2023). Los pies de zonas afectadas por fuego de superficie mostraron ausencia de mortalidad respecto a las parcelas control sin quemar, y ausencia de significación del crecimiento tras el incendio, tanto inmediatamente (3 años) como a medio plazo (15 años) con lo que mostraron una resistencia suficiente a incendios de baja intensidad. Sin embargo se observó significación de la densidad de la parcela y de los efectos aleatorios, lo que está en concordancia con los efectos comentados en áreas de alta severidad (CAMARERO et al. 2023).

El análisis de los pies pertenecientes a parcelas quemadas muestra de nuevo una correlación significativa del BAI con la menor densidad ratificando el cumplimiento de la certeza experimental de Assmann, por tanto los rodales afectados por el fuego no perdieron su estabilidad tras el incendio. Sin embargo, el análisis de la matriz de correlaciones mostró que los pies que crecieron mejor fueron aquellos con mayor espesor de corteza y menor altura de chamuscado, tanto más en la parcela de menor densidad. La tendencia observada mostraría que los espesores de corteza de menos de 2 cm reduce el BAI. Este valor es el límite de resistencia al fuego propuesto por MADRIGAL et al. (2019) para esta especie. Según el modelo de distribución de corteza en altura propuesto en dicho trabajo, para el diámetro medio de la masa estudiada estos 2 cm se consiguen por debajo de los 2 m de altura del tronco, lo que coincide con la altura de chamuscado de tronco (1,6 m) a partir del cual se han observado menores BAI en una de las parcelas estudiadas. El espesor de corteza es la variable más significativa para predecir daños en cambium durante la ejecución de quemas prescritas en pinares (MADRIGAL et al. 2023).

Los resultados mostrarían que estas masas soportan bien los fuego de baja intensidad al igual que otros ecosistemas de matorral (ROMERO-TORIBIO et al, 2024), no generan mortalidad de árboles dominantes y codominantes (ESPINOSA et



al. 2018), y no afectan a los crecimientos respecto a áreas sin presencia de fuego bajo dosel (CAMARERO et al. 2022. 2023). En los latizales densos, la necesidad de tratamientos de clareo y claras podrían venir acompañados de quemas prescritas para reducir la carga de combustible y reducir su vulnerabilidad a la aparición de fuegos de copa. El único experimento de fuego de copas realizado en España se realizó sobre estas masas (RODRÍGUEZ y SILVA et al. 2017) mostrando su potencial de subida a las copas y la propagación por copas con una velocidad por encima de la que predicen los modelos experimentales desarrollados en especies de Norteamérica.

De acuerdo con estos resultados y los de estudios previos (CAMARERO et al. 2023), las masas de pinar de piñonero abiertas en estado fustal son más resilientes a perturbaciones de media y alta intensidad y, por tanto, podrían gestionarse con tratamientos de quema prescrita para reducir el peligro de incendios e incluso para preparar la masa para entrar en el tramo de regeneración, reduciendo la presencia de competencia antes de la instalación de los brinzales. Los espesores de corteza en altura de estos pies maduros y la buena poda natural que genera copas altas asegura la resistencia de esta especie a fuegos de superficie (MADRIGAL et al. 2019, 2023).

5 . Conclusiones

Los resultados muestran que el crecimiento del arbolado tras incendios de superficie en masas de pinar de pino piñonero pueden ofrecer una información importante para introducir el uso del fuego como herramienta selvícola de apoyo a los tratamientos de clareo y claras en fases de latizal y fustal e incluso como preparación de cortas finales previa a la regeneración de la masa. Algunas experiencias del uso del fuego en pinares de piñonero advierten sin embargo que algunas prescripciones que generen en exceso al calentamiento de la capa orgánica podrían afectar a su ciclo de nutrientes (SOUZA-ALONSO et al. 2024) y por tanto se deberían proponer prescripciones con alta humedad de la capa de fermentación y humus. El conocido efecto de la densidad en los crecimientos, cobra especial interés si se quiere introducir el fuego como herramienta selvícola, compatibilizándola con la prevención de incendios de copa, los tipos de fuego que han mostrado que generan más vulnerabilidad en la persistencia de las masas de *Pinus pinea*.

Por tanto, introducir el fuego buscando las prescripciones adecuadas en masas de pino piñonero podría ser una estrategia adaptativa de alto impacto en proyectos selvícolas y de ordenación de montes que introduzcan el fuego como tratamiento de selvicultura adaptativa al cambio global en el que los períodos de sequía y los incendios forestales serán cada más frecuentes y severos.

6. Agradecimientos

Este estudio se realizó en el contexto del proyecto CILIFO 0753_CILIFO_5_E, proyecto cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), en el marco del programa Interreg V A España – Portugal (POCTEP) 2014-2020. Los resultados de aplicación a quemas prescritas se han desarrollado en el contexto de la transferencia presupuestaria MITECO-CSIC MITECO2023-AF. 20234TE001. Agradecemos a los servicios forestales de Córdoba, Junta de Andalucía (Agentes forestales y COP Córdoba) su apoyo en la localización de parcelas y acceso a las mismas.

7. Referencias



- ARCHIBALD S., LEHMANN C.E.R., GÓMEZ-DANS J.L., et al. (2013). Defining pyromes and global syndromes of fire regimes. *PNAS*, 110(16), 6442-6447.
- CAMARERO J.J., DÍAZ-DELGADO R., COLANGELO M., et al. (2022). Differential Post-Fire Recovery of Tree and Shrub Growth and Water-Use Efficiency in a Mediterranean Coastal Dune System. *Fire* 5(5):135
- CAMARERO, J.J.; GUIJARRO, M.; CALAMA, R.; et al. (2023). Wildfires Improve Forest Growth Resilience to Drought. *Fire*, 6, 161.
- DAVIM, D. A., ROSSA, C. G., PEREIRA, J. M., et al. (2022). Evaluating the effect of prescribed burning on the reduction of wildfire extent in Portugal. *For Ecol Manage*, 519, 120302
- ESPINOSA, J., MADRIGAL, J., DE LA CRUZ, A.C., et al. (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). *SciTot Environ*, 618, 941-951.
- FERNANDES, P. M. (2015). Empirical support for the use of prescribed burning as a fuel treatment. *Current For Rep*, 1(2), 118-127
- FONTÚRBEL, T., CARRERA, N., VEGA, J. A., et al. (2021). The effect of repeated prescribed burning on soil properties: A review. *Forests*, 12(6), 767.
- GONZÁLEZ SANCHO, D., GÓMEZ MOLINO, R., ÁLVAREZ PALOMARES, R. et al. (2020). Programa nacional de quemas prescritas experimentales bajo arbolado. *Revista Montes*, 142, 34-40.
- GUIJARRO M. , MADRIGAL J, HERNANDO C., et al. (2017). Las repoblaciones y los incendios forestales. En: La restauración forestal de España. 75 Años de una ilusión. (Eds. Pemán, Iriarte, Lario.) MITECO. 418 pp
- MADRIGAL, J., SOUTO-GARCÍA, J., CALAMA, R., et al. (2019). Resistance of *Pinus pinea* L. bark to fire. *Int J Wildland Fire*, 28, 342-353.
- RODRÍGUEZ SILVA F., GUIJARRO M., MADRIGAL J., JIMÉNEZ E., MOLINA J.R., HERNANDO C., VÉLEZ R., VEGA J.A. 2017. Assessment of crown fire initiation and spread models in Mediterranean conifer forests by using data from field and laboratory experiments. *Forest Systems*, 26(2), e02S.
- ROMERO-TORIBIO MC, ANGULO E, SORIGUER RC, et al. (2024) Continuous Monitoring of Soil Respiration After a Prescribed Fire: Seasonal Variations in CO₂ Efflux. *Land*. 2024; 13(10):1706.
- SOUZA-ALONSO, P., PRATS, S.A., MERINO, A. *et al*. Fire enhances changes in phosphorus (P) dynamics determining potential post-fire soil recovery in Mediterranean woodlands. *Sci Rep* 14, 21718.
- VEGA, J.A., FONTÚRBEL, T., FERNÁNDEZ, C., et al. (2013). Acciones Urgentes Contra La Erosión En Áreas Forestales Quemadas: Guía Para Su Planificación En Galicia. Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-8408-716-8. 139 pp.