

9CFE-1751



Efectos sobre el crecimiento del pino carrasco según el gradiente climático mediterráneo al ejecutar tratamientos post-incendio

DÍAZ MONTERO A. (1), RIESCO AMURRIO M. (1), VÁZQUEZ CAMAÑO M. (1), FAJARDO CANTOS A. (1), PEÑA MOLINA E. (1), MOYA NAVARRO D. (1), DE LAS HERAS IBÁÑEZ J., VICENTE VALERO L., JORDÁN GONZALEZ E., MARTÍN-ALCÓN S., CHAMÓN FERNANDÉZ M., LUIS TOMÉ J., DEL CAMPO GARCÍA A., BLANCO CANO L., AMEZTEGUI A., COLL L., TORNÉ G., FONTOVA A., TSOURLI F.

1. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes y Biotecnología, Universidad de Castilla-La Mancha
2. Ingeniería del Entorno Natural
3. Agresta Sociedad Cooperativa
4. D.G. de Patrimonio Natural y Acción Climática. Región de Murcia
5. Universitat Politècnica de Valencia
6. Universitat de Lleida
7. Universités de Belhadj Bouchaib

Resumen

La gestión forestal de los bosques de pino carrasco (*Pinus halepensis*) tras los incendios forestales es crucial para la restauración ecológica y la conservación de la biodiversidad. Este pino es una especie con serotinia, una adaptación clave frente a los incendios. Las densidades post-incendio pueden llegar a 50.000-100.000 pies/ha al cabo de unos pocos años. Esta hiperregeneración genera problemas por competencia intraespecífica, disminuyendo el crecimiento óptimo. Los tratamientos post-incendio pretenden reducir la competencia, favoreciendo la diversificación de las masas desde fases tempranas de desarrollo. Este estudio se enmarca en el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809) que busca mejorar la gestión de los bosques mediterráneos frente al cambio climático.

En concreto, los tratamientos suponen una intensidad de eliminación del 90% de los árboles para favorecer la regeneración forestal. Las áreas de estudio son rodales de pino carrasco de alta densidad de regeneración post-incendio, ya sea en repoblación o en masas naturales. En total son 9 rodales (34,5 ha) repartidos por el mediterráneo subárido, costero y mediterráneo continentalizado con veranos cálidos.

Esta investigación tiene como objetivo aportar estrategias de gestión a aplicar después de los incendios para que influyan en la tasa de crecimiento de los



primeros años después del tratamiento teniendo en cuenta el gradiente mediterráneo.

Palabras clave

Pinus halepensis, efectos del fuego, aridez, gestión post-incendio, altura del arbolado.

1. Introducción

El cambio climático está teniendo consecuencias visibles en la sociedad y el medio ambiente en todo el mundo. En la región mediterránea, se han observado cambios tanto en los patrones de precipitación como en la temperatura en las últimas décadas (LORENTE et al. 2024). Las precipitaciones anuales han disminuido alrededor del 15 %, los períodos secos han aumentado su duración y el número de días con precipitaciones ha disminuido (VALDES-ABELLAN et al. 2017). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) predice en sus escenarios un aumento general de la temperatura media mundial y cambios en los patrones de precipitación, especialmente en las regiones semiáridas (IPCC, 2023).

Como tal, el cambio climático es uno de los grandes desafíos para la silvicultura en las próximas décadas, actualmente ya se están viendo cambios en las condiciones de crecimiento de las plantas (RESCO DE DIOS et al. 2007). En el ámbito de gestión forestal adaptativa queda mucho por investigar, existiendo grandes desfases entre la ejecución de las medidas y la madurez de los árboles y cierta incertidumbre sobre las futuras condiciones climáticas (SOUSA-SILVA et al. 2018). Concretamente, los bosques de la Cuenca Mediterránea, y entre ellos los pinares ibéricos de pino carrasco (subtipo 42.841 del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats, Anexo I), han sufrido un aumento en la severidad de grandes perturbaciones, especialmente de incendios forestales (PAUSAS et al. 2008). Los cambios en la estacionalidad de los incendios, el aumento de la superficie quemada y el aumento de la severidad son las principales preocupaciones en los nuevos regímenes de incendios forestales.

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es una especie con serotinia, una adaptación frente a los incendios (BARBERO et al. 1998). Las piñas serótinas al someterse a altas temperaturas se abren y germinan muy fácilmente en suelos incendiados. Con tal germinación, las densidades post-incendio pueden llegar a 50.000- 100.000 pies/ha al cabo de unos pocos años. Esta hiperregeneración post-incendio genera problemas por competencia intraespecífica, que disminuye el crecimiento óptimo del pino carrasco (DE LAS HERAS et al. 2002, MOYA et al. 2008), lo que reduce su resiliencia ante una nueva perturbación. Además, la continuidad horizontal y vertical genera un alto riesgo de incendio de alta severidad de quemado. La gestión post-incendio tiene como objetivo principal la ejecución de tratamientos selvícolas innovadores en bosques de pino carrasco afectados por



grandes incendios forestales para la mejora de su resiliencia frente a nuevas perturbaciones como su capacidad adaptativa frente al cambio climático. Un tratamiento selvícola a tiempo en zonas de estudio de alta densidad de pino puede reducir los costes de la gestión del incendio a posteriori y reducir los tiempos de alta vulnerabilidad (MOYA et al. 2008).

Como respuesta a la mejora de la gestión forestal del pino carrasco, salió adelante el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809). Este proyecto tiene como objetivo principal el desarrollo de nuevas herramientas para la adaptación de los bosques mediterráneos de pino carrasco al cambio climático, así como su aplicación demostrativa. Estas herramientas se centran en la detección temprana de decaimiento y en la mejora de la resiliencia para mejorar la capacidad de adaptación a la aridificación climática y la capacidad de recuperar sus funciones tras las perturbaciones naturales.

En esta comunicación se estudia el efecto en el crecimiento del pino carrasco al ejecutar tratamientos post-incendio en zonas de alta regeneración de pino. Las áreas de estudio son zonas de alta regeneración post-incendio, con incendios ocurridos hace 10-20 años. La ejecución de tratamientos sigue el protocolo desarrollado por ECOFOR (Grupo de investigación de Ecología forestal y Limnología de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes y Biotecnología) dentro del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO que consiste en un clareo intenso, hasta reducir la densidad a menos de 3.000 pies/ha, procurando dejar en pie los árboles con mejor porte y sin daños aparentes. El espaciamiento final es lo más homogéneo posible. Estos tratamientos post-incendio buscan la reducción de competencia intraespecífica e interespecífica (si la hubiera) favoreciendo la diversificación de las masas desde estadios tempranos de desarrollo.

Se diferencia dos tipos de tratamiento según su densidad final:

- Tipo 1: Tratamiento más intensivo ($> 95\%$), densidad final baja, entre 1.500 – 900 pies/ha, dependiendo de la densidad inicial. En este caso hay una menor competencia intraespecífica
- Tipo 2: Tratamiento menos intensivo ($< 95\%$), densidad final alta, entre 3.000 – 1.500 pies/ha, dependiendo de la densidad inicial. Se trata de un tratamiento que deja una competencia intraespecífica mayor.

2. Objetivos

El objetivo general del estudio es mejorar el conocimiento sobre restauración post-incendio aportando conclusiones sobre cuáles son las prácticas post-incendio óptimas que mejoran la resiliencia y productividad de los bosques de pino carrasco en la zona sureste de la península Ibérica con base científica sólida.

El objetivo principal es estudiar la productividad de masas de pino carrasco en el

levante peninsular y la evolución del estrato arbóreo comparando el crecimiento de los pies de pino carrasco procedentes de regeneración natural tras incendio, con diferentes tratamientos selvícolas. Concretamente, monitoreamos los valores de altura total y diámetro normal de todos los pies, calculando el crecimiento anual en el primer año postratamiento.

3. Metodología

Área de estudio

Las áreas de estudio son zonas de alta densidad de regeneración post-incendio de pino carrasco (incendios ocurridos hace 10-20 años). Son 10 zonas de estudio (un total de 34,5 ha) repartidos por el mediterráneo semiárido, mediterráneo costero y mediterráneo continentalizado.

Tabla 1. Áreas de estudio según su distribución y superficie

Nombre Rodal	CCAA	Tipo clima	Superficie
Almansa 1	Castilla-La Mancha	Mediterráneo semiárido	2,09
Almansa Control	Castilla-La Mancha	Mediterráneo semiárido	1,90
Andilla 1	Comunidad Valenciana	Mediterráneo costero seco	2,64
Andilla 2	Comunidad Valenciana	Mediterráneo costero seco	2
Jérica 1	Comunidad Valenciana	Mediterráneo costero seco	2
Castiliscar 1	Aragón	Mediterráneo continentalizado seco	4,89
Castiliscar 2	Aragón	Mediterráneo continentalizado seco	4,89
Font Rubi 1	Catalunya	Mediterráneo costero húmedo	4,57
Font Rubi 2	Catalunya	Mediterráneo costero húmedo	4,66
Can Tobella 1	Catalunya	Mediterráneo costero húmedo	11,5

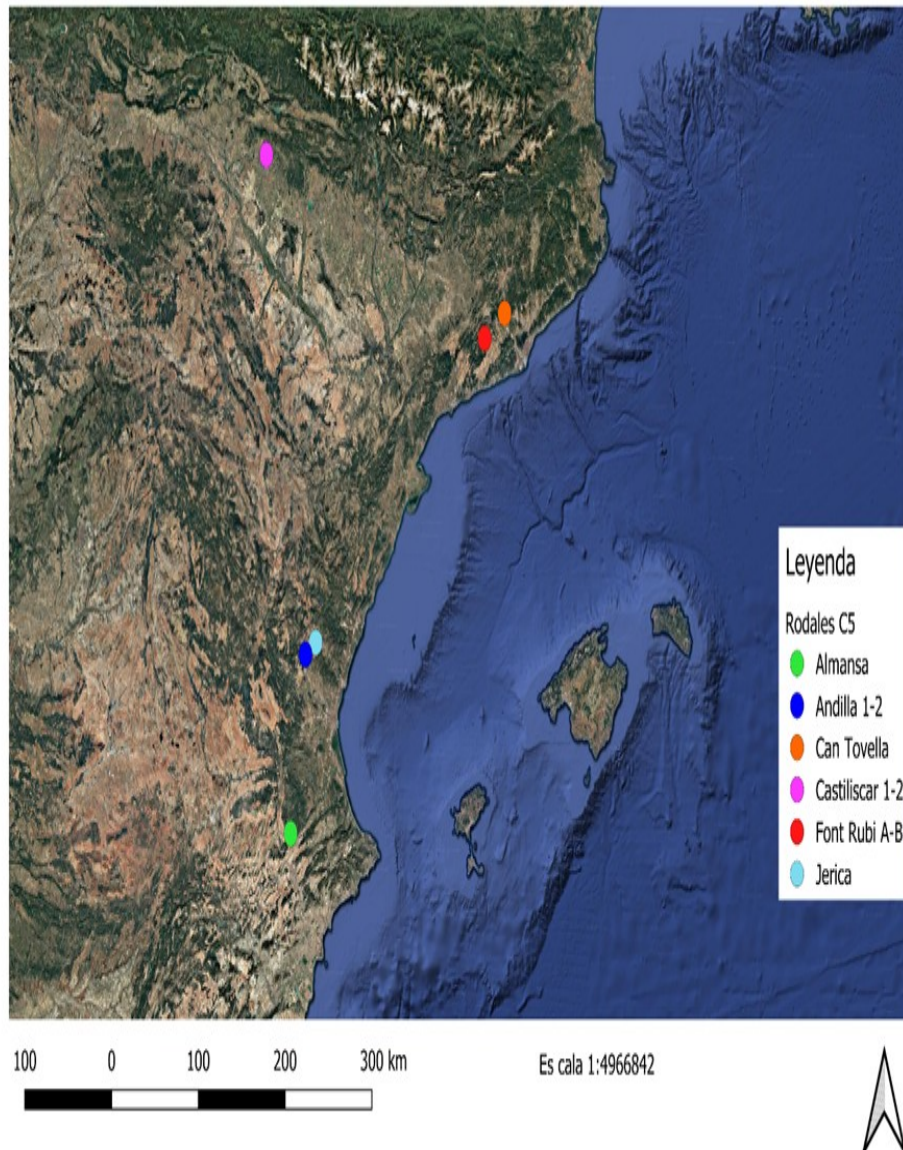


Figura1. Localización de las áreas de estudio.

La clasificación bioclimática que se ha seguido para la clasificación de los rodales ha sido la de Rivas-Martínez (2017):

Ombroclima	Precipitación	Ombroclima	Precipitación
Árido	< 200	Semiárido	200 a 350
Seco	350 a 600	Subhúmedo	600 a 1.000
Húmedo	1.000 a 1.600	Hiperhúmedo	>1.600

Tabla 2. Tipo de ombroclima en función de la precipitación anual en la región mediterránea (Rivas-Martínez et al. 2017)

Mediterráneo semiárido

- Almansa 1 (ALT1)

Zona de estudio situado en el término municipal de Almansa (Albacete) a 760 m s.n.m, en el Monte de Utilidad Pública 70 "Pinar de Almansa". Tiene un clima mediterráneo, tipo semiárido, con precipitaciones de 350 mm al año y temperaturas medias de 14,1°C (MAPAMA). La estructura de la formación vegetal es un monte bravo de regeneración quemado en el año 2000, con una alta regeneración post-incendio de 70.000 pies/ha. La densidad final media pretende llegar a los 1.200 pies/ha, una reducción de la densidad baja (< 97% de la densidad inicial).

-Almansa control (ALC)

De las mismas características climáticas que ALT1, pero en esta área no se ha realizado ningún tratamiento para tener una comparativa en la zona del mediterráneo semiárido ya que no se ha podido realizar otro tratamiento post-incendio en esta zona. La estructura de la formación vegetal es un monte bravo de regeneración quemado en el año 2000, con una alta regeneración post-incendio de 70.000 pies/ha.

Mediterráneo costero subhúmedo

- Font Rubi 1 – 2

Son 2 zonas de estudio situados en el término municipal de Font Rubi (Barcelona) a 568 m s.n.m, en un monte privado de gestión pública. Presenta un clima mediterráneo costero, tipo subhúmedo, con precipitaciones de 750 mm y temperaturas medias de 14°C (MAPAMA). Es una masa de alta regeneración post-incendio, 25.000 pies/ha, de hace más de 30 años, sin gestión forestal desde el incendio.

- En Font Rubi 1 (FRT1), el tratamiento a aplicar es un aclareo intenso, hasta reducir la densidad a unos 1.300 pies/ha, que se considera tipo 1. Los pies remanentes se han podado y todo el tratamiento se ha realizado con motosierra.
- En Fon Rubi 2 (FRT2), el tratamiento se ha aplicado de manera semi-sistemática, dejando 1.000 pies/ha, que se considera tipo 2. Los pies remanentes se han podado y todo el tratamiento se ha realizado con motosierra.

- Can Tobella 1 (CTT1)



Zona de estudio situado en el término municipal de Esparreguera (Barcelona) a 162.9 m s.n.m, en un monte privado de gestión pública. Presenta un clima mediterráneo costero subhúmedo, con 700 mm de precipitación anual y temperaturas medias de 14,5°C (MAPAMA). Es una masa de alta regeneración post-incendio, 30.000 pies/ha, de hace 30-35 años, sin intervenciones desde el incendio. El tratamiento a aplicar es un aclareo intenso, hasta reducir la densidad a unos 1.300 pies por hectárea, que se considera tipo 1. Los pies remanentes se han podado y todo el tratamiento se ha realizado con motosierra.

Mediterráneo costero seco

- Andilla 1 – 2

Son 2 zonas de estudio situados en el término municipal de Andilla (Valencia), a 700 m s.n.m en el CUP V109 “Peña Parda”. El clima es mediterráneo costero seco con precipitaciones de 500 mm y temperaturas medias de 14°C (MAPAMA). Masa de *P. halepensis* quemada con abundante regeneración natural post-incendio, 100.000 pies/ha, sin intervenir desde el momento del incendio (2012).

- En Andilla 1 (ANT1), el tratamiento a aplicar es un clareo intenso junto a un desbroce selectivo y una poda o realce de los árboles remanentes (pinos y especies acompañantes). La densidad final promedio está en torno a los 900 pies/ha, por lo que se considera una reducción de densidad alta tipo 1.
- En Andilla 2 (ANT2), el tratamiento a aplicar es un clareo intenso junto a un desbroce selectivo y una poda o realce de los árboles remanentes (pinos y especies acompañantes). La densidad final promedio está en torno a los 1.300 pies/ha, por lo que se considera una reducción de densidad tipo 2.

- Jérica (JET1)

Zona de estudio situado en el término municipal de Jérica (Castellón) a 700 m s.n.m, en el Monte CS3021 “La Muela, Roquetilla, Feliciano”. El clima es mediterráneo costero seco con precipitaciones de 500 mm y temperaturas medias de 14°C (MAPAMA). Es un monte bravo quemado en un incendio de 2012 con abundante regeneración natural post-incendio (100.000 pies/ha). La densidad final promedio está en torno a los 900 pies/ha, por lo que se considera una reducción de densidad tipo 1.

Mediterráneo continentalizado seco

- Castiliscar 1 -2

Son 2 zonas de estudio situados en el término municipal de Castiliscar (Zaragoza), a 700 m s.n.m. en el MUP 297 “Dehesa Alta, Sierra, Lid y Otros”. Presenta un clima mediterráneo continentalizado con precipitaciones anuales del 500 mm y



temperaturas medias de 12°C (MAPAMA). Se trata de una masa monoespecífica de pino carrasco procedente de regeneración natural post incendio del año 1994, con elevada densidad sin tratar, 40.000 pies/ha.

- En Castiliscar 1 (CAST1): la densidad final es de 1.700 pies/ha, siendo una reducción de densidad alta, tipo 1.
- En Castiliscar 2 (CAST2): la densidad final es 3.000 pies/ha en el total del rodal, siendo una reducción de densidad más baja, tipo 2.

Muestreo

En cada zona de estudio se realizaron 2 muestreos en cada área:

- Una medición pretratamiento para ver cuál era el estado inicial de la masa, y caracterización de la zona. Si fue posible la caracterización se realizó en primavera-verano para poder determinar mejor la flora de la zona.
- Una medición postratamiento una vez realizado el tratamiento, con una medida después de un año de su ejecución.

Se establecieron 3 parcelas cuadradas (10 x 10 metros) de seguimiento de las variables objetivo en todas las zonas de estudio, con un total de 27 parcelas de muestreo. Los muestreos se realizaron en primavera, tomando los siguientes parámetros:

- Diámetro normal (dn) o diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los pies de cada parcela usando forcípulas para la medición. El DAP se tomó en centímetros.
- Altura total (H) de todos los pies de cada parcela usando cintas métricas si el individuo es de baja altura o con hipsómetro si no se puede medir con cintas. La altura total se tomó en metros.





Figura 2. Muestreos dasométricos en Almansa y Castiliscar.

Con los datos de H y DAP de pretratamiento y postratamiento se calculó el crecimiento anual en DAP y H de los pinos del primer año después del tratamiento post-incendio. Se calculó la media del crecimiento anual con su correspondiente desviación estándar, para poder comparar según el tipo de tratamiento y el clima de cada área de estudio. De este modo, se pudo analizar cuáles fueron los tratamientos post-incendio que han dado mejores resultados según el clima de la zona y la densidad final del rodal. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para detectar las diferencias en el crecimiento según el tipo de tratamiento y el clima de cada área de estudio, aplicando el test de Tukey para comprobar la normalidad de los datos.

4. Resultados

Se ha calculado el crecimiento anual del DAP y la H de cada individuo por parcela, calculándose la media en cada área de estudio diferenciando por tipo de tratamiento y tipo de clima. Un número de muestra fue de 307 individuos.



Tabla 3. Crecimiento anual de H y DAP en cada área de estudio. DAP1 es la media del DAP pretratamiento y DAP2 es la media del DAP postratamiento. H1 es la altura pretratamiento y H2 es la altura postratamiento. GDAP y GH es la media del crecimiento en el primer año postratamiento de DAP y H.

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



DAP1 (cm)	s	H1 (m)	s	DAP2 (cm)	s	H1 (m)	s	GDAP (cm)	s	GH (m)	s	
ALC	2,649	1,573	2,565	0,704	2,780	1,573	2,690	0,704	0,131	0,036	0,126	0,009
ALT	3,822	2,348	4,419	2,271	4,023	2,724	5,140	1,879	0,201	0,225	0,722	0,392
FRT2	3,650	2,067	3,800	0,725	6,095	1,953	4,253	0,539	2,445	0,115	0,453	0,185
FRT1	2,936	1,326	4,213	1,111	6,162	1,630	5,640	0,800	3,226	0,304	1,427	0,311
CAST1	1,818	1,251	3,668	1,192	5,350	1,965	4,447	0,596	3,532	0,714	0,779	0,596
CAST2	4,211	2,631	5,028	1,148	5,376	1,931	5,263	0,577	1,165	0,700	0,235	0,571
ANT1	2,479	0,393	1,321	0,197	2,987	0,818	2,025	0,581	0,509	0,425	0,703	0,384
ANT2	1,557	0,714	1,627	0,191	1,688	0,627	2,016	0,499	0,130	0,086	0,389	0,308
JET	1,239	0,150	1,073	0,087	1,570	0,424	1,555	0,536	0,332	0,274	0,483	0,449
CBT1	4,233	2,715	5,011	1,207	7,059	1,944	6,864	2,429	2,825	0,772	1,853	1,222

En Almansa el crecimiento del 1º año es del 0,772 m en H y del 0,201 cm en DAP donde se ha realizado el tratamiento, frente al 0,131 cm en DAP y 0,126 m en H en la zona control donde no se ha hecho tratamiento. Se observan diferencias significativas entre el post-tratamiento y la zona control. En Font Rubi se pueden observar diferencias entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2, teniendo un mayor crecimiento tanto para el DAP como la H. En Can Tobella destaca el crecimiento en H, siendo la zona con mayor crecimiento. En Andilla, el tratamiento 1 es el que mayor tasa de crecimiento tiene en H y DAP. En Jérica, se puede observar un crecimiento mayor que en ANT2 pero menor que en ANT1. En Castiliscar, el tratamiento 1 tiene una mayor tasa de crecimiento en H y DAP, y también destaca que tiene el crecimiento más alto en DAP de todas las zonas.

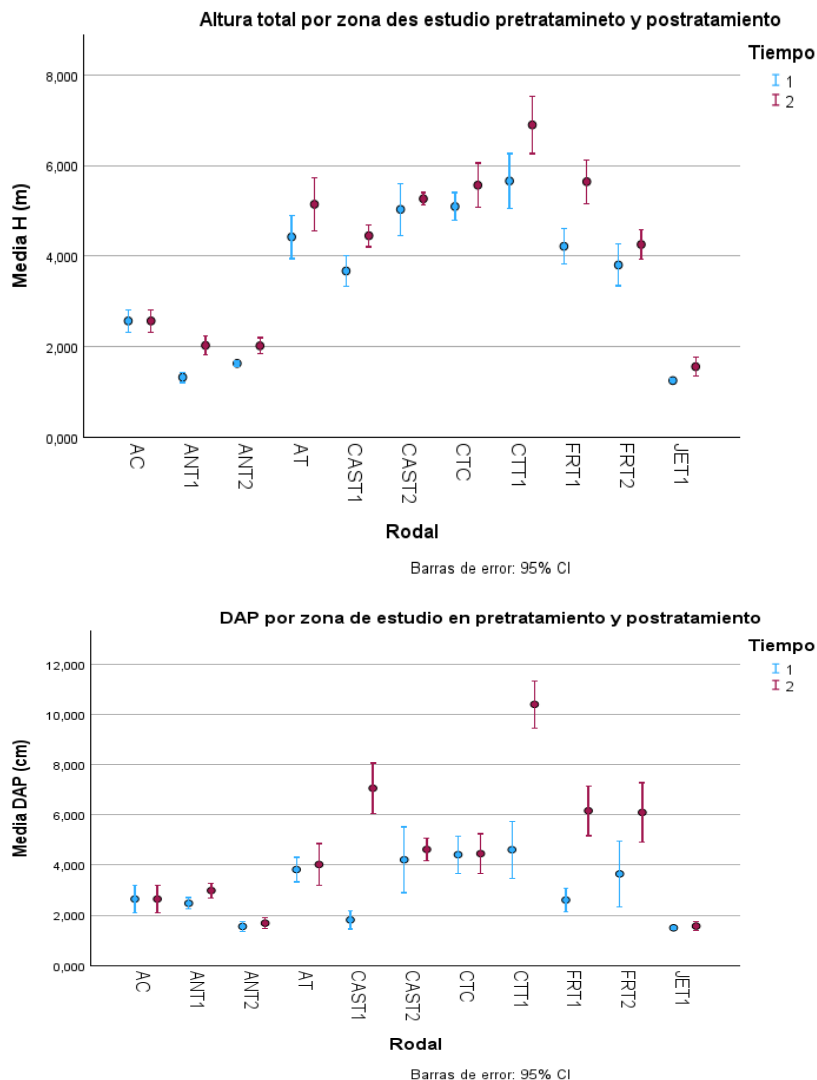


Figura3. Mediciones de H y DAP pretratamiento (tiempo 1) y postratamiento (tiempo 2) según la zona de estudio

ALC y ANT2 son los que tienen el crecimiento más bajo en el DAP. Estas zonas de estudio pertenecen al mediterráneo costero seco y mediterráneo semiárido. Las zonas que tienen mayor crecimiento son CTT1, CAST1 y FRT1. El tipo de clima en estas áreas son mediterráneo costero subhúmedo y mediterráneo continentalizado. FRT1 y CTT1 son las zonas con mayor crecimiento en H, ambas pertenecen al mediterráneo costero subhúmedo. Las áreas de estudio con menor incremento en H son ALC y CAST2, que tienen un clima mediterráneo semiárido y mediterráneo continentalizado seco.

Tabla 4. ANOVA de GH y GDAP según el área de estudio.

ANOVA				
Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
107,768	1	107,768	27,408	< 0,001
2677,633	681		3,932	
2785,401		682		
514,340	1	514,340	83,868	< 0,001
4176,367	681		6,133	
4690,706		682		

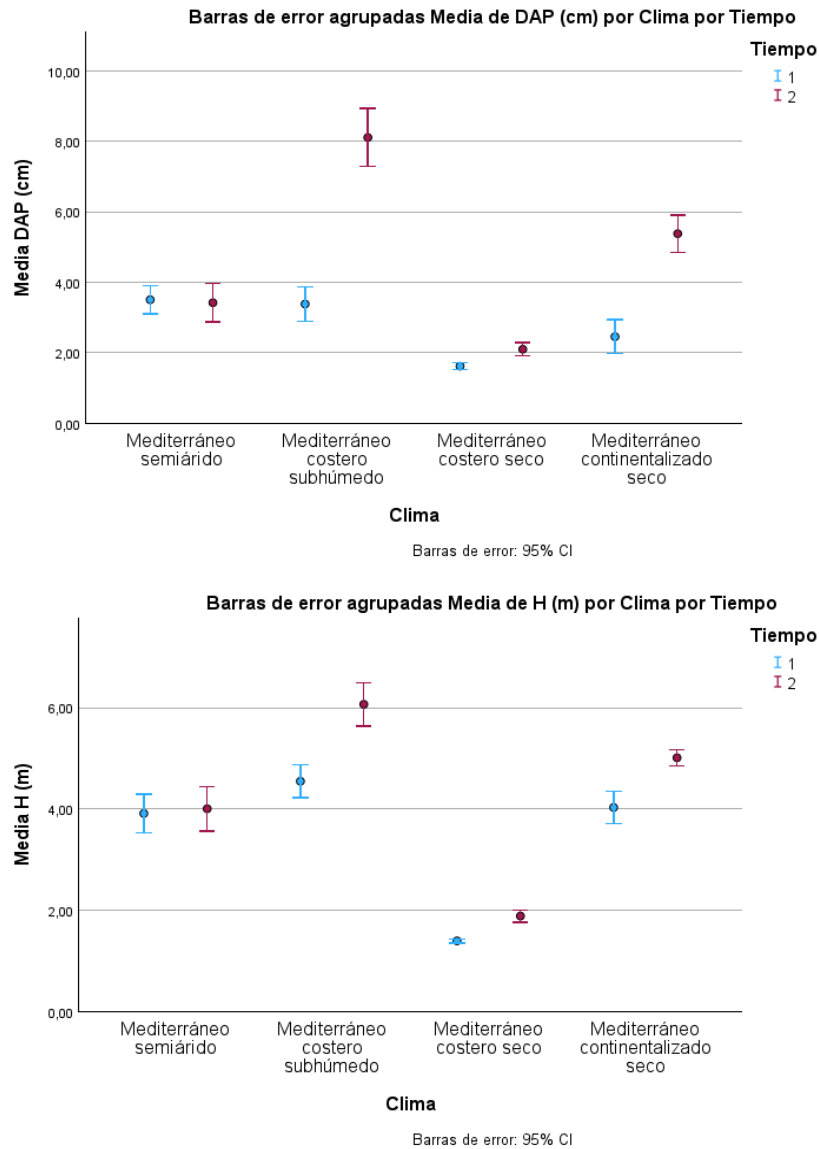


Figura 4. Mediciones de H y DAP pretratamiento (tiempo 1) y postratamiento (tiempo 2) según el tipo de clima.

Se observan diferencias significativas en el crecimiento de H como de DAP entre las diferentes áreas de estudio (Tabla 4, Figura 4). Existen diferencias significativas entre el crecimiento en el primer año tanto como en H y DAP según el tipo de clima donde se encuentren las parcelas de muestreo. Tanto el crecimiento de DAP como de H es significativamente mayor en el clima mediterráneo costero subhúmedo, seguido del mediterráneo continentalizado, mediterráneo costero seco y mediterráneo semiárido.

Tabla 5. ANOVA de GH y GDAP según el tipo de clima.

ANOVA				
Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1392,806	3	464,269	226,368	< 0,001
1392,595	679		2,051	
2785,401		682		
1286,597	3	428,866	85,544	< 0,001
3404,110	679		5,013	
4690,706		682		

5. Discusión

Existen pocos estudios sobre el crecimiento de los pies en altura y diámetro normal en los primeros años después de un clareo post-incendio intenso. El crecimiento en edades más longevas del pino es más lento (KHEREHOUCHE et al. 2024). En este estudio, los tratamientos de mayor intensidad, tipo 1, tienen un efecto positivo en el crecimiento, en el primer año dentro de cada tipo de clima. Aunque el tratamiento 1 en climas secos y semiáridos mejore el crecimiento de los pies, estos no llegan a tener un crecimiento tan bueno como las zonas con un clima subhúmedo independientemente del tratamiento que tengan. El pino carrasco es más resistente a las sequías que otras especies de pino del mediterráneo (JEVSENAK & SARAZIN 2023). Sin embargo, su crecimiento se resiente frente a sequías y altas temperaturas en el mediterráneo árido-semiárido donde está el límite de su distribución (VIERIA et al. 2022). Con el cambio climático, el aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones reducen la regeneración del *P. halepensis* (PANEGHEL et al. 2024). La disponibilidad del agua es uno de los principales impulsores del crecimiento del pino carrasco en el clima mediterráneo (ROZAS et al. 2024). Cabe destacar que en los últimos años la precipitación promedio del mediterráneo ha disminuido un 15% por lo que las condiciones climáticas son más desfavorables para el crecimiento del pino de Alepo (VALDES-ABELLAN et al. 2017).

Por otro lado, la reducción de la densidad de la masa reduce la continuidad del combustible en caso de incendio forestal. Estos tratamientos son también preventivos frente al fuego, ya que al mismo tiempo buscan mejorar la estructura de la masa aumentando su resiliencia. En materia de suelos, el carbono orgánico del suelo y actividad microbiana tienen niveles significativamente más altos en los primeros años después de tratamientos post-incendio (<5 años) según LULL et al. 2024. Las propiedades microbianas y enzimáticas del suelo también se ven influenciadas por el tipo de clima y los tratamientos selvícolas que se aplican



(LULL et al. 2023).

6. Conclusiones

Los tratamientos selvícolas postincendio tienen un efecto positivo en la tasa de crecimiento del pino carrasco, especialmente si son tratamientos de alta reducción de densidad. La tasa de crecimiento varía según las condiciones climáticas de las zonas tratadas siendo favorecidas por mayores precipitaciones. La sequía y las altas temperaturas merman el crecimiento de los pies, y aunque se hagan tratamientos selvícolas para mejorar la masa, la tasa de crecimiento no podría ser tan grande como en otras zonas con mayor precipitación.

Además del crecimiento en H y DAP, se quiere seguir investigando en los efectos de los tratamientos post-incendio. Se van a calcular índices de biodiversidad y coberturas de vegetación, a estudiar la producción y viabilidad de las piñas y se va a analizar la actividad microbiana del suelo. Estos muestreos anuales se quieren seguir haciendo durante los 5 primeros años postratamiento.

7. Agradecimientos

Gracias a todos los compañeros y compañeras del grupo ECOFOR de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes y Biotecnología por su apoyo e implicación. Agradecimientos a los Contratos Predoctorales para personal investigador en formación en el marco del Plan Propio de I+D+i, cofinanciada por el Fondo Social Europeo Plus (FSE+). El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO está financiado por el Programa LIFE de la Comisión Europea bajo el Acuerdo de Subvención LIFE20 CCA/ES/001809.

8. Bibliografía

- BARBERO M, LOISEL R, QUÉZEL P, ROMANE F & RICHARDSON DM. 1998. Pines of the Mediterranean Basin RICHARDSON DM (Ed.). Ecology and Biogeography of *Pinus* 153–170.
- CALVIN K et al. 2023. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change . IPCC, Geneva, Switzerland. ARIAS P et al. (Eds).
- JEVŠENAK J & SARAŽIN J. 2023. *Pinus halepensis* is more drought tolerant and more resistant to extreme events than *Pinus nigra* at a sub-Mediterranean flysch site. Trees - Structure and Function 37: 1281–1286.
- KHERCHOUCHE D, GOUBI M, SGHAIER T, BENTOUATI A, ZEGHICHI K & SLIMANI S. 2024. Dominant height growth modeling of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Beni Imloul Forest, northern Algeria. Annals of Silvicultural Research 49: 28–38.
- DE LAS HERAS J, MARTÍNEZ-SÁNCHEZ JJ, GONZÁLEZ-OCHOA AI, FERRANDIS P &



- HERRANZ JM. 2002. Establishment of *Pinus halepensis* Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species. *Acta Oecologica* 23: 91-97.
- LORENTE C, CORELL D, ESTRELA MJ, MIRÓ JJ & ORGAMBIDES-GARCÍA D. 2024. Impact of Climate Change on the Bioclimatological Conditions Evolution of Peninsular and Balearic Spain During the 1953–2022 Period. *Climate* 12: 183.
- LULL C, GIL-ORTIZ R, BAUTISTA I, DEL CAMPO A & LIDÓN A. 2024. The Short-Term Effects of Heavy Thinning on Selected Soil Carbon Pools and Microbial Activity in a Young Aleppo Pine Forest. *Forests* 15: 658.
- LULL C, GIL-ORTIZ R, BAUTISTA I & LIDÓN A. 2023. Seasonal Variation and Soil Texture-Related Thinning Effects on Soil Microbial and Enzymatic Properties in a Semi-Arid Pine Forest. *Forests* 14: 1674.
- MOYA D, DE LAS HERAS J, LÓPEZ-SERRANO FR & LEONE V. 2008. Optimal intensity and age of management in young Aleppo pine stands for post-fire resilience. *For Ecol Manage* 255: 3270–3280.
- PANEGHEL M, GIL TORNÉ |, MORIN | Xavier, ALDAY JG & COLL L. 2024. Increasing temperature threatens post-fire auto-successional dynamics of a Mediterranean obligate seeder. *Journal of Ecology* 112: 2929–2943.
- PAUSAS JG, LLOVET J, RODRIGO A & VALLEJO R. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *Int J Wildland Fire* 17: 713–723.
- RESCO DE DIOS V, FISCHER C & COLINAS C. 2007. Climate change effects on mediterranean forests and preventive measures. *New For (Dordr)* 33: 29–40.
- RIVAS-MARTÍNEZ S, PENAS Á, DEL RÍO S, DÍAZ GONZÁLEZ TE & RIVAS-SÁENZ S. 2017. Bioclimatology of the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *The Vegetation of the Iberian Peninsula* 29–80.
- ROZAS V, OLANO JM, GAZOL A, ALONSO-PONCE R, CUENDE-ARRIBAS S & RODRÍGUEZ-PUERTA F. 2024. Elevation and local climate variation control changes in Aleppo pine growth responses to hydroclimate and drought in semi-arid Spain. *Regional Environmental Change* 24: 87.
- SOUSA-SILVA R, VERBIST B, LOMBA Â, VALENT P, SUŠKEVIČS M, PICARD O, HOOGSTRA-KLEIN MA, COSOFRET V-C, BOURIAUD L, PONETTE Q, VERHEYEN K & MUYS B. 2018. Adapting forest management to climate change in Europe: Linking perceptions to adaptive responses. *Forest Policy and Economics* 90: 22-30.
- VALDES-ABELLAN J, PARDO MA & TENZA-ABRIL AJ. 2017. Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *International Journal of Climatology* 37: 1285–1296.
- VIEIRA J, NABAIS C & CAMPELO F. 2022. Dry and hot years drive growth decline of *Pinus halepensis* at its southern range limit in the Moroccan High Atlas Mountains 36: 1585–1595.