



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1649

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

Organiza





Actuaciones demostrativas de adaptación al cambio climático en masas de *Pinus halepensis*: el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO

LOURDES VICENTE VALERO (1), ESTEBAN JORDÁN GONZÁLEZ (1), MIGUEL CHAMÓN FERNÁNDEZ (2), SANTIAGO MARTÍN-ALCÓN (3), JOSE LUIS TOMÉ (3), ANTONIO DEL CAMPO GARCÍA (4), LAURA BLANCO CANO (4), AITOR AMEZTEGUI (5), LLUÍS COLL (5), GIL TORNÉ (5), ANNA FONTOVA (5), DANIEL MOYA NAVARRO (6), ASUNCIÓN DÍAZ MONTERO (6)

(1) Ingeniería del Entorno Natural.

(2) D.G. de Patrimonio Natural y Acción Climática. Región de Murcia.

(3) Agresta Sociedad Cooperativa.

(4) Universitat Politècnica de Valencia

(5) Universitat de Lleida

(6) Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos y Montes, Universidad de Castilla-La Mancha.

Resumen

Los bosques de pino carrasco de la Península Ibérica presentan a menudo densidades elevadas, y un crecimiento bajo como consecuencia de un cierto estancamiento de sus poblaciones. Estas estructuras son particularmente vulnerables a la sequía y, en un escenario de mayores temperaturas y precipitaciones más irregulares, pueden tener mayores dificultades para mantener sus funciones ecológicas. Actualmente puede observarse el decaimiento de algunas de estas masas, afectadas por el cambio climático y la escasa gestión forestal.

La presente comunicación detalla las actuaciones desarrolladas en el seno del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO enfocadas en conseguir masas de pino carrasco más vigorosas, diversas (tanto composicional como estructuralmente), resilientes y adaptadas a las nuevas condiciones climáticas. Estas actuaciones consisten en la implementación demostrativa de migración asistida en restauraciones forestales, aplicación de modelos selvícolas de base eco-hidrológica, técnicas selvícolas para la diversificación estructural y florística, y selvicultura adaptativa de la regeneración post-incendio. Además, se ha desarrollado el mapeo de la idoneidad del hábitat y una herramienta para el seguimiento del decaimiento de masas de pino carrasco. Las actuaciones cubren 42 rodales y 210 hectáreas dispuestas a lo largo del este peninsular, y aportan información fundamental para adaptar la gestión del pino carrasco, así como de otras especies, a los desafíos del cambio climático.

En definitiva, el principal objetivo del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO ha sido el desarrollo y aplicación demostrativa de nuevas herramientas para la adaptación de los bosques ibéricos al cambio climático, concretamente los de pino carrasco (subtipo 42.841 del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats, Anexo I).

Palabras clave

Migración asistida, selvicultura, hábitat, conservación, decaimiento, adaptación, selvicultura ecohidrológica, selvicultura adaptativa, restauración post-incendio

1. Introducción



El cambio climático está ejerciendo impactos notables en la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas forestales Mediterráneos, impactos que pueden verse acentuados en un futuro próximo (MEDECC, 2020). Los últimos escenarios desarrollados por el IPCC constatan una aceleración en el aumento de las temperaturas y reducciones entre leves y moderadas en las precipitaciones, lo que provocará un aumento general de la aridez. Del mismo modo, se espera una mayor frecuencia de eventos extremos (tanto altas temperaturas como bajas precipitaciones), provocando eventos de sequía más frecuentes y severos (MIGUEL et al. 2024). El aumento del estrés hídrico asociado con sequías más prolongadas e intensas puede conducir a cambios en la mortalidad y la regeneración de especies vegetales, afectando al rango actual de distribución de especies de plantas y provocando la desaparición y reemplazo de ciertas especies por otras. Además, se prevé un aumento progresivo en la frecuencia y severidad de ciertas perturbaciones naturales, como es el caso de los grandes incendios forestales y los episodios de plagas y enfermedades, pudiendo provocar grandes cambios en la distribución y composición de los hábitats forestales a escala regional (SEIDL et al. 2017).

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es la especie del género *Pinus* más ampliamente distribuida en el entorno circunmediterráneo, habiéndose convertido en un elemento característico fundamental de los bosques del Mediterráneo occidental. La superficie de estos bosques de pinos en España supera los 2 millones de hectáreas y, en la mayor parte de la superficie que ocupan, estos bosques son la única formación arbórea capaz de sobrevivir a las condiciones bioclimáticas presentes, por lo que se han considerado altamente vulnerables al cambio climático (VEUEILLEN et al. 2023). Su desaparición podría conducir a una reducción significativa de la cubierta arbórea en grandes áreas, avanzando hacia la desertificación, especialmente en las zonas de transición entre ombroclimas secos-subhúmedos y semiáridos.

Todos estos hechos constatados hacen que la práctica de medidas de gestión forestal adaptativa en este hábitat tome el carácter de urgente. Sin embargo, existen una serie de carencias de conocimiento científico-técnico que dificultan su puesta en práctica de forma generalizada. El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809), ejecutado en el periodo 2021-2025, ha pretendido contribuir a superar estas carencias, principalmente en dos líneas de acción:

1. La elaboración de diagnósticos de idoneidad del hábitat bajo los escenarios de cambio climático, así como de herramientas de seguimiento de procesos de decaimiento específicas para las masas forestales de *Pinus halepensis*.
2. La puesta a punto de modelos o directrices de gestión forestal adaptativa para las masas forestales ibéricas de *Pinus halepensis*.

2. Objetivos

El objetivo de esta comunicación es dar a conocer los avances del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO y presentar los primeros resultados obtenidos hasta la fecha, relacionados con los siguientes aspectos:



- Desarrollo de un mapa de idoneidad del hábitat e implementación de una herramienta para detectar los procesos de decaimiento mediante teledetección.
- Implementación de actuaciones de migración asistida dirigidas a mejorar la capacidad del ecosistema para adaptarse a la aridificación climática.
- Implementación de tratamientos selvícolas destinados a mejorar la vitalidad y reducir los efectos de la reducción de la disponibilidad de agua.
- Implementación de tratamientos selvícolas para mejorar la heterogeneidad estructural y florística y aumentar la diversidad de las respuestas a las perturbaciones.
- Implementación de técnicas de gestión adaptativa para mejorar la resiliencia y la capacidad adaptativa de la regeneración post-incendio de pino carrasco.

3. Metodología

Tal y como se ha indicado anteriormente, el cambio climático está afectando de manera profunda y multifacética a los pinares ibéricos de pino carrasco: fuertes periodos de sequía que han afectado superficies forestales de cientos a miles de hectáreas, provocando elevadas tasas de mortalidad en el arbolado; lluvias torrenciales o grandes nevadas, sumados a fuertes vientos, que han provocado daños severos en miles de hectáreas; episodios severos de plagas forestales, en particular escolítidos (especialmente *Tomicus* sp.) y procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*), causando también elevadas tasas de mortalidad en superficies importantes, o importantes pérdidas de vigor en el caso de la procesionaria.

Así, analizando los efectos del cambio climático en estos ecosistemas, considerando distintos aspectos como la salud de los árboles, la biodiversidad, los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos, surge el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO, enfocado en mejorar la adaptación de los bosques de *Pinus halepensis* al cambio climático mediante la implementación de prácticas de gestión forestal adaptativa. Este enfoque, que puede ser extendido a otras especies y ecosistemas forestales, se basa en cinco estrategias clave: el monitoreo continuo, la migración asistida, la silvicultura de base ecohidrológica, la diversificación florística y estructural y la gestión de la regeneración post-incendio.

a. Monitoreo continuo del estado de decaimiento de las masas

En el contexto de cambio climático descrito anteriormente, el monitoreo del estado de los bosques resulta indispensable para la implementación de medidas preventivas o correctoras alineadas con la gestión forestal para la adaptación. La metodología seguida en el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO para la elaboración de cartografía de idoneidad del hábitat del pino carrasco actual y futuras es la mostrada en la Figura 1.

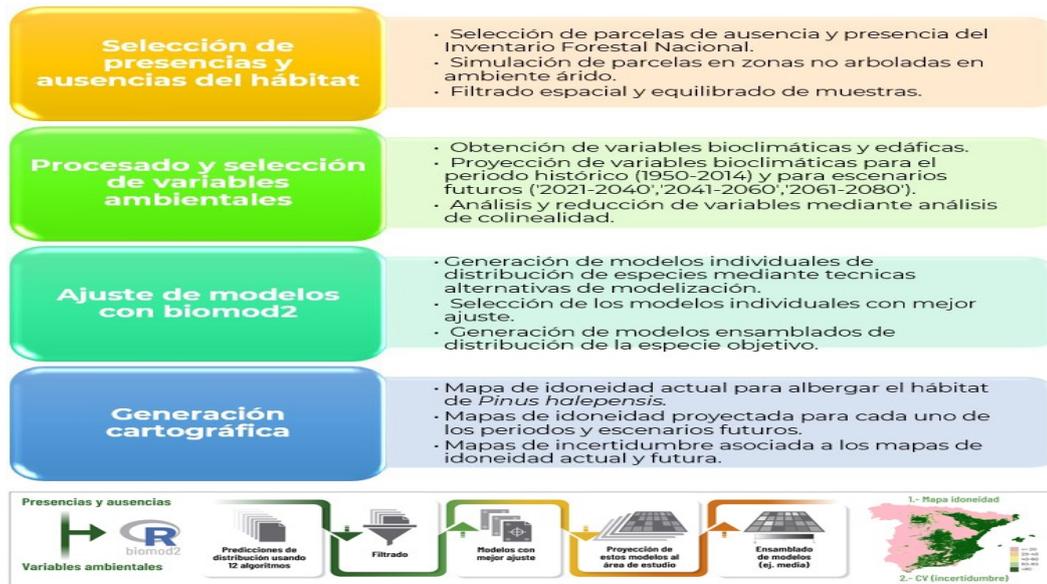


Figura 1. Metodología para elaboración de cartografía de idoneidad del hábitat de pino carrasco

Por otra parte, se ha procedido a desarrollar cartografía de detección y caracterización de procesos de decaimiento en el hábitat del pino carrasco mediante algoritmos de análisis de series temporales de imágenes satelitales, tal y como se resume en la Figura 2.



Figura 2. Metodología para obtención de cartografía de detección y caracterización de procesos de decaimiento en el hábitat del pino carrasco

b. Migración Asistida

La aridificación de las condiciones climáticas esperada en la región Mediterránea tendrá como consecuencia que las condiciones a las que las formaciones arboladas están localmente adaptadas cambien drásticamente en pocas décadas. En este contexto, la restauración debe enfocarse desde la perspectiva de la migración asistida (MCKAY ET AL., 2005; PROBER ET AL., 2015;

WILLIAMS AND DUMROESE, 2013).

La migración asistida implica la reubicación de especies forestales, o poblaciones dentro de especies, a áreas donde se espera que las condiciones climáticas serán más favorables para ellas en el futuro (DALRYMPLE et al. 2021). Aunque esta técnica puede contribuir a mejorar la supervivencia de especies que no pueden desplazarse naturalmente a la velocidad necesaria para adaptarse a las condiciones cambiantes, aún falta mucho conocimiento sobre sus condiciones de aplicación.

En LIFE ADAPT-ALEPPO se han seleccionado ejemplares de pino carrasco de distintas regiones de procedencia, algunas de ellas adaptadas a condiciones más secas y cálidas, y se han plantado en áreas preseleccionadas que serán más adecuadas en el futuro. Esto ayudará a mejorar el conocimiento sobre la respuesta de diferentes poblaciones a las condiciones climáticas esperadas, contribuyendo a crear poblaciones más resilientes a largo plazo.

Así, se han realizado plantaciones en cerca de 60 ha, en 12 rodales distribuidos por las provincias de Zaragoza, Barcelona, Castellón, Valencia y Murcia, empleando las regiones de procedencia mostradas en la Tabla 1. Tras un detallado estudio de análisis de idoneidad, se ha escogido para cada área de plantación 2 procedencias locales, 2 para escenario moderado y 2 para escenario severo, tal y como muestra la figura 3 y tabla 1. Además, se han seleccionado especies leñosas acompañantes en base al cortejo florístico de cada bosque de *P. halepensis* en función de las características bioclimáticas de cada zona de actuación.



Figura 3. Tipología de procedencias de *Pinus halepensis*

Tabla 1. Procedencias seleccionadas para plantaciones de migración asistida del LIFE ADAPT-ALEPPO

Características bioclimáticas	Provincia		Local	Cambio climático moderado	Cambio climático severo
Mediterráneo árido y sub-árido	Murcia	A	Sudeste (13)	Litoral Levantino (11)	Sur (17)
		B	Bética Septentrional Sur (14C)	Levante Interior (10)	Bética Meridional (15)
Mediterráneo costero	Valencia	A	Litoral Levantino (11)	Bética Meridional (15)	Sudeste (13)
		B	Levante Interior (10) H.S. Alacuás	Bética Septentrional (14)	Sur (17)
	Castellón	A	Maestrazgo-Los Serranos (9)	La Mancha (8)	Sudeste (13)
	B	Levante Interior (10)	Bética Septentrional (14)	Bética Meridional (15)	
Mediterráneo continentalizado de veranos cálidos	Barcelona	A	Cataluña interior (3)	Bárdenas-Ribagorza (4)	Monegros-Depresión del Ebro (6)
		B	Cataluña litoral (2)	Levante Interior (10)	Bética Meridional (15)
	Zaragoza	A	Ibérico Aragonés (5)	La Mancha (8)	Sudeste (13)
	B	Depresión del Ebro (6)	Levante Interior (10)	Bética Meridional (15)	

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO ha desarrollado actuaciones de migración asistida en dos tipos de sistemas forestales:

- **Sistemas forestales de pino carrasco degradados.**

Se trata de casos de masas forestales desarboladas y con ausencia de otra vegetación de interés. Esto incluye antiguos terrenos agrícolas con apenas presencia de pinos, tomillo y algún enebro o pies no inventariables; así como sistemas forestales de *Pinus halepensis* afectados por incendio con ausencia de regenerado natural de arbolado y matorral de interés.

En estos casos se han llevado a cabo plantaciones continuas, en toda la superficie. En función de la pedregosidad y presencia de afloramientos rocosos, el protocolo de plantación será distinto.

- **Sistemas forestales de pino carrasco envejecidos sin presencia de regenerado, y con oquedades.**

Se trata de masas envejecidas de *Pinus halepensis*, de origen natural en muchos casos y también procedentes de repoblaciones. El pinar natural consiste en un monte irregular por bosquetes o golpes de arbolado, muy desestructurado, en el que ocasionalmente aparecen fustales bajos y latizales altos con corros de regeneración. Otras zonas presentan un estado de desarrollo muy deficiente, en gran medida debido a las condiciones climáticas extremas, de ausencia prolongada de precipitaciones, y edafológicas en las que se desarrolla el arbolado.

En este caso se han llevado a cabo plantaciones en oquedades dispersas localizadas en el interior de la masa.

Los trabajos de plantación se han ajustado a las necesidades de cada terreno, plantando por bloques, en hileras o de forma aleatoria, pero en todo caso, alternando las distintas procedencias, tal y como muestran las imágenes de la figura 4:

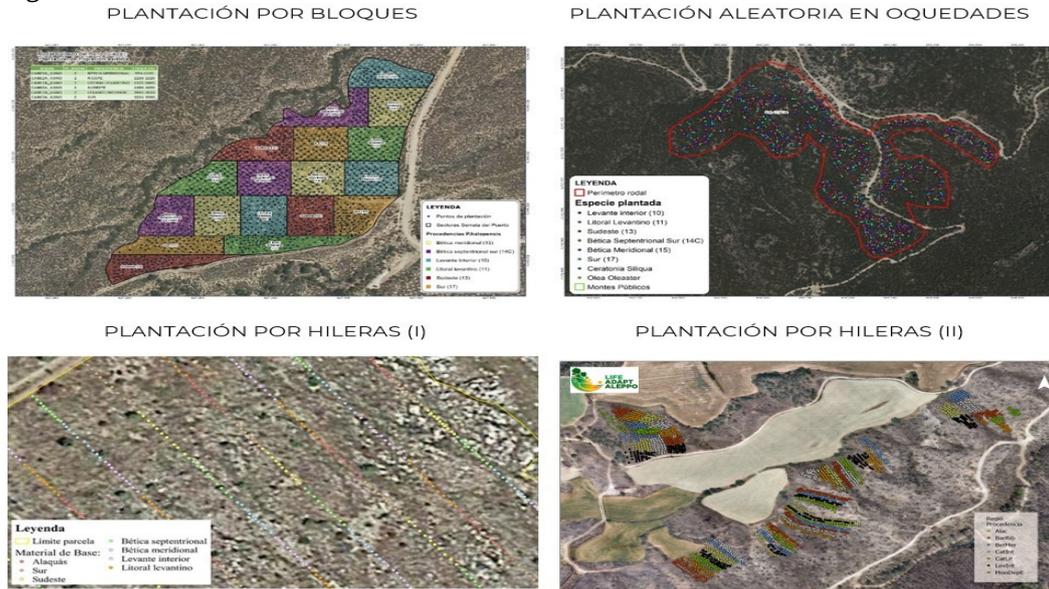


Figura 4. Ejemplos de métodos de plantación de distintas procedencias en parcelas del LIFE ADAPT-ALEPPO

Tanto durante los trabajos de cultivo en vivero como las plantaciones, se han llevado a cabo con personal especializado y con un minucioso control, disponiendo la ubicación GPS y características fisiológicas de cada una de las plantas para su posterior seguimiento.

c. Silvicultura de Base Ecohidrológica

Los tratamientos de silvicultura de base eco-hidrológica se centran en gestionar los bosques para mejorar los procesos hidrológicos, promoviendo una mayor infiltración de agua, reduciendo la escorrentía y conservando el suelo (DEL CAMPO et al. 2022).

En LIFE ADAPT-ALEPPO se han implementado prácticas como la reducción moderada de la densidad de árboles, lo que aumenta la cantidad de agua disponible en el sistema y mejora su estado hídrico. Incluso en áreas donde las precipitaciones son más elevadas, este tipo de actuaciones favorece la recarga de acuíferos. Este aumento del estado hídrico del ecosistema impacta en otros factores como el crecimiento y el vigor de los árboles y los rodales, mejora las propiedades del suelo y los ciclos biogeoquímicos, disminuye la sensibilidad a sequía, incrementa la resiliencia de los árboles al clima y reduce el riesgo de propagación de incendios forestales por una mayor hidratación del sistema.



Desde el punto de vista hidrológico, se aprecian diferencias significativas entre una masa tratada y una masa no tratada, para una misma precipitación, presentando la primera una vegetación con mejor estado hídrico, un mayor crecimiento de los árboles, incremento del agua disponible y mayor movimiento de agua subterránea.

En estudios científicos sobre selvicultura eco-hidrológica (Del Campo et al., 2022) se ha comprobado que, tras la revisión de 251 observaciones de 57 publicaciones científicas, se demuestra los efectos netos positivos de los trabajos selvícolas en diferentes partes del ciclo hidrológico, por ejemplo, en masas tratadas es mucho mejor el uso de agua por árbol, la precipitación neta y la humedad del suelo, mientras que en las no tratadas aumenta mucho el flujo cortical y la evapotranspiración total.

Con el Proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO se han aplicado distintos tipos de tratamientos selvícolas, con el fin de valorar el tipo de tratamiento y densidades finales óptimas para lograr los mayores beneficios eco-hidrológicos de la masa. Así, se han llevado a cabo actuaciones en 10 rodales localizados a lo largo de la cuenca mediterránea, haciendo tratamientos selvícolas de reducción de la densidad por calles o fajas, por bosquetes y cortas homogéneas.

Algunos de los tratamientos desarrollados son los mostrados en la figura 5, donde se aprecian los distintos tipos de actuación aplicados a cada rodal.

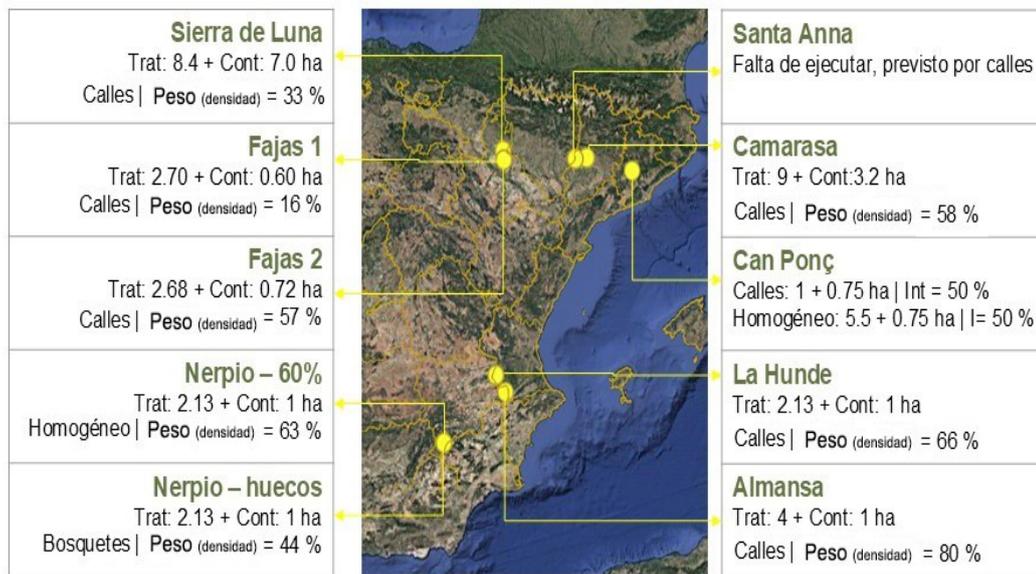


Figura 5. Tratamientos selvícolas eco-hidrológicos en el Proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO realizados en 10 rodales demostrativos, incluyendo tratamientos por calles, por bosquetes y cortas homogéneas.

Cada uno de los rodales tratados cuenta con un rodal anexo “de control”, que nos permite valorar la diferencia hidrológica entre la zona tratada y no tratada.

El seguimiento de cada uno de los rodales se lleva a cabo de forma puntual y continua:



- **Puntual:** Inventario dasométrico (alturas y diámetros), inventario de matorral, dendrocronología, etc.
- **Continua:** Instalación de equipos medidores tales como: sensores de humedad del suelo, potencial matricial del suelo, tubos piezométricos con sensores de nivel para medir flujos subterráneos, temperatura superficial, pluviómetros.

No todos los rodales disponen de equipos de monitoreo continuo, pero sí se encuentran monitoreados cada uno de los casos distintos de actuación, así como las parcelas control asociadas, con el fin de obtener una comparativa real entre resultados de la zona tratada y no tratada.

d. Diversificación Florística y Estructural

Aumentar la diversidad de especies y la estructura del bosque es una estrategia clave para mejorar la resiliencia del ecosistema frente a las perturbaciones climáticas (SÁNCHEZ-PINILLOS et al. 2016).

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO pretende integrar en la gestión de los pinares de pino carrasco la máxima de que cualquier tratamiento selvícola de los tradicionalmente aplicados vaya dirigido a provocar un incremento sustancial en la diversidad estructural y/o composicional, tanto a nivel de rodal como a escala de monte o paisaje. Para ello, se han seleccionado una variedad de especies autóctonas que se han integrado junto con el pino carrasco, promoviendo una estructura forestal diversa que incluya diferentes edades y tamaños de árboles. Esto crea un ecosistema más equilibrado y resistente a plagas, enfermedades y eventos climáticos extremos.

Así, las actuaciones implementadas en este contexto de mejora de diversificación se engloban en 5 tipologías: tres de ellas buscan fomentar la regeneración del pino carrasco u otras especies, una pretende liberar de competencia a las especies acompañantes del pino, y una última busca mantener y fomentar estructuras de masa irregulares.

Los trabajos realizados han sido del tipo:

- **Claras selectivas y/o mixtas:** La intervención se fundamenta en la apertura controlada del dosel, con el fin de aumentar la heterogeneidad estructural y la entrada de luz facilitando el desarrollo de especies acompañantes contribuyendo a la diversificación del sotobosque

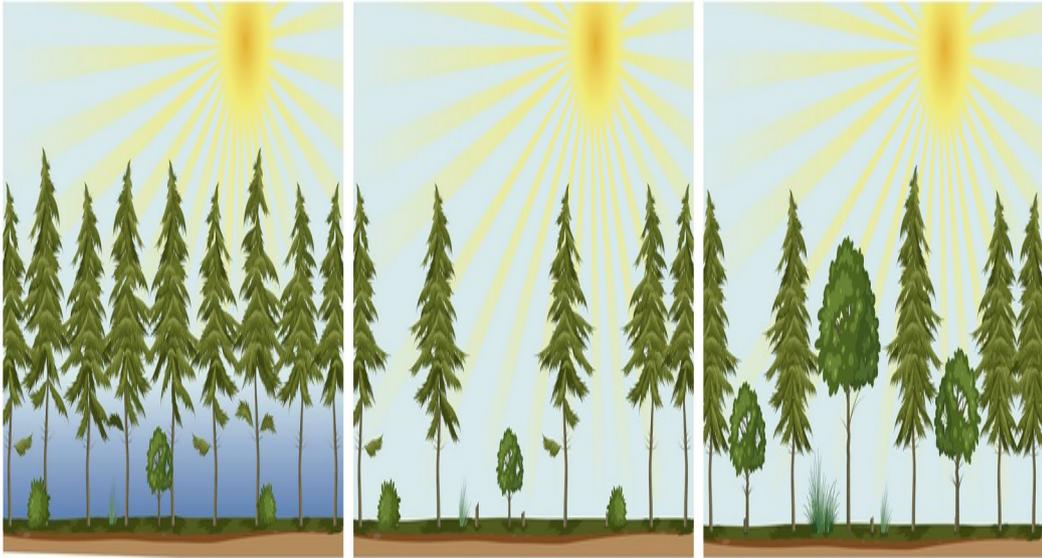


Figura 6. Esquema de las claras selectivas y la evolución esperada de la masa

- **Tratamientos de regeneración por bosquetes:** La intervención se fundamenta en la apertura controlada de bosquetes de distintos diámetros, en función de los objetivos concretos del rodal. Las cortas por bosquetes imitan perturbaciones naturales de pequeña intensidad y buscan aumentar la heterogeneidad estructural y la entrada de luz.

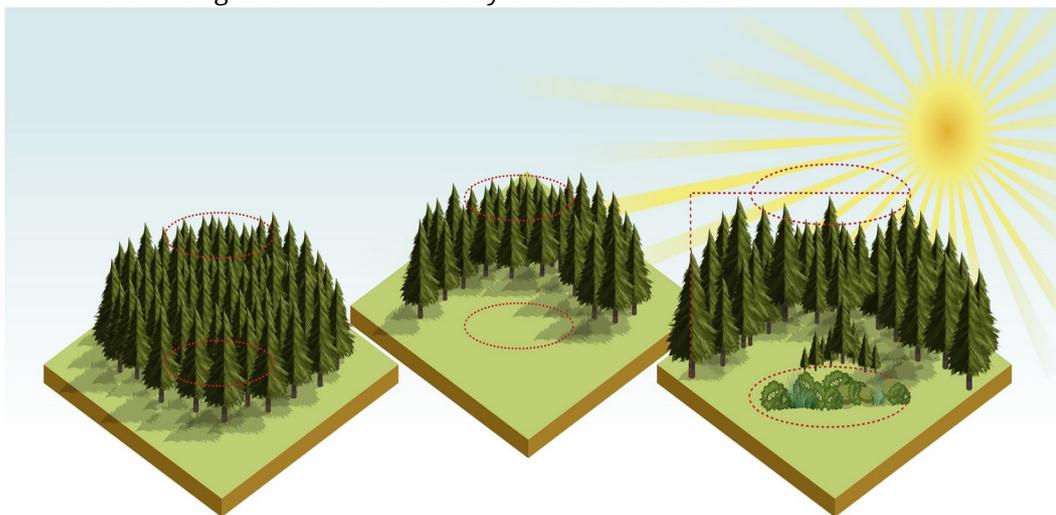


Figura 7. Esquema de los bosquetes y la evolución esperada de la masa.

- **Tratamientos de regeneración por fajas:** La intervención se fundamenta en la apertura de fajas de distintas anchuras con el objetivo de facilitar la regeneración natural y fomentar la presencia de diferentes clases de edad a escala de monte o paisaje. Para asegurar la disponibilidad de semilla en todo el ancho de la faja se han dejado golpes de 2 o 3 pinos de buenas características en el centro de la faja, separando los golpes entre sí unos 25 metros.
- **Entresaca regularizada:** Esta técnica consiste en aplicar cortas

discontinuas que dan lugar a masas irregulares y las mantienen, buscando aproximarse a un modelo previo de monte entresacado ideal, en el que están presentes todas las clases de edad.



Figura 8. Esquema de la entresaca regularizada y la evolución esperada de la masa

- **Aclareo sucesivo uniforme:** En pinares cercanos a la edad de regeneración, el aclareo sucesivo uniforme consiste en aplicar cortas continuas consistentes en la extracción total de los pies de la masa principal de una forma paulatina (en 2 o 3 intervenciones) y en un período de tiempo que no supere la duración de una clase artificial de edad (20 años).

A todos los rodales de actuación, distribuidos a lo largo de la cuenca mediterránea, se les hace un seguimiento anual, inventariando tanto las parcelas tratadas como las control (no tratadas). En concreto se evalúa la disponibilidad de luz en el sotobosque, tanto en las parcelas tratadas como el control, con la premisa de que una mayor diversidad de ambientes conllevará una mayor diversidad específica al proporcionar mayor variedad de nichos. Por otro lado, se ha evaluado la capacidad del ecosistema de hacer frente a las perturbaciones mediante el cálculo del Índice de Persistencia (SÁNCHEZ-PINILLOS et al. 2016), que tiene en cuenta la presencia y abundancia de diferentes rasgos de respuesta a perturbaciones naturales.

e. Regeneración Post-Incendio

Los incendios forestales son una amenaza creciente debido al cambio climático, y la gestión de la regeneración post-incendio es vital para restaurar los bosques afectados.



En LIFE ADAPT-ALEPPO se han realizado un conjunto de actuaciones selvícolas innovadoras y demostrativas en bosques de pino carrasco de alta densidad afectados por grandes incendios forestales, para mejorar la resiliencia y fomentar la regeneración natural tras nuevas perturbaciones. También se busca aumentar su capacidad adaptativa frente a un escenario de aridificación climática. Para ello, se ha reducido la competencia intraespecífica, favoreciendo la diversificación de las masas desde estadios tempranos de desarrollo.

A través de clareos de diferente intensidad, se busca optimizar la estructura del bosque y del suelo para mejorar la capacidad del pino carrasco para adaptarse al cambio climático, así como disminuir el riesgo de futuros incendios forestales y disminuir la severidad de quemado si estos llegan a producirse.

Las zonas de actuación son pinares con una alta regeneración natural post-incendio (densidades de hasta 70.000 pies/ha) de 10-30 años.

Las técnicas de gestión adaptativa post-incendio aplicadas en 9 rodales distribuidos a lo largo del este peninsular (Cataluña, Aragón, Comunidad Valenciana y Castilla-La Mancha) consisten en un clareo muy intenso (>90% de reducción de pies), buscando dos tipos de densidades finales:

- Tipo 1: densidad final entre 900-1200 pies/ha
- Tipo 2: densidad final entre 1300 – 1800 pies/ha

Como en el resto de los casos, junto a los rodales tratados se seleccionan parcelas control (no tratadas), a las cuales se les realiza el mismo seguimiento que a las tratadas con el fin de comparar resultados.

Así, se realizan inventarios dasométricos pretratamiento y postratamiento (anualmente), tomando nota de la altura total y de copa, diámetro normal y de copa. También se incluyen variables para evaluar la capacidad de regeneración, tales como: número de piñas de cada edad (nuevas, maduras, serótinas y abiertas) por individuo, estado del banco de semillas (viabilidad de semillas germinadas y sometidas a diferentes temperaturas en mufla) y de biodiversidad mediante transectos de vegetación para calcular cobertura vegetal (especies, etc.), índices de diversidad vegetal, estrategias, etc.

Además, se incluye un análisis del estado del suelo (tanto fisicoquímico como biológico (actividad enzimática) y se analiza la tasa de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo a través del índice de la bolsa de té.

A modo de resumen, se incluye a continuación la Tabla 2 con la red completa de rodales demostrativos del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO, con representación de distintas tipologías de trabajos de adaptación de masas forestales de pino carrasco al cambio climático, suponiendo un total de 44 rodales y 210 ha, distribuidas por regiones con diferentes características bioclimáticas (mediterráneo árido,

subárido, costero y continentalizado de veranos cálidos), a lo largo de la cuenca mediterránea.

Tabla 2. Red de rodales demostrativos de adaptación al cambio climático ejecutadas con el proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO

ACCIÓN	Región	Murcia - Albacete	Valencia- Castellon- Barcelona-Lleida	Zaragoza	TOTAL
	<i>Características bioclimáticas</i>	<i>Mediterráneo árido y subárido</i>	<i>Mediterráneo costero</i>	<i>Mediterráneo continentalizado de veranos cálidos</i>	
C2	Nº rodales	5	5	2	12
Migración asistida	Superficie (ha)	40,24	15,06	4,50	59,80
C3	Nº rodales	3	5	3	11
Selvicultura Ecohidrológica	Superficie (ha)	12,48	23,58	13,8	49,86
C4	Nº rodales	5	3	4	12
Selvicultura para diversificación	Superficie (ha)	18,41	14,68	25,57	58,66
C5	Nº rodales	2	6	1	9
Selvicultura post-incendio	Superficie (ha)	9,70	27,08	4,89	41,67
Total	Nº rodales	15	19	10	44
	Superficie (ha)	80,83	80,40	48,76	209,99

La ubicación de los rodales se puede ver en la Figura 9:

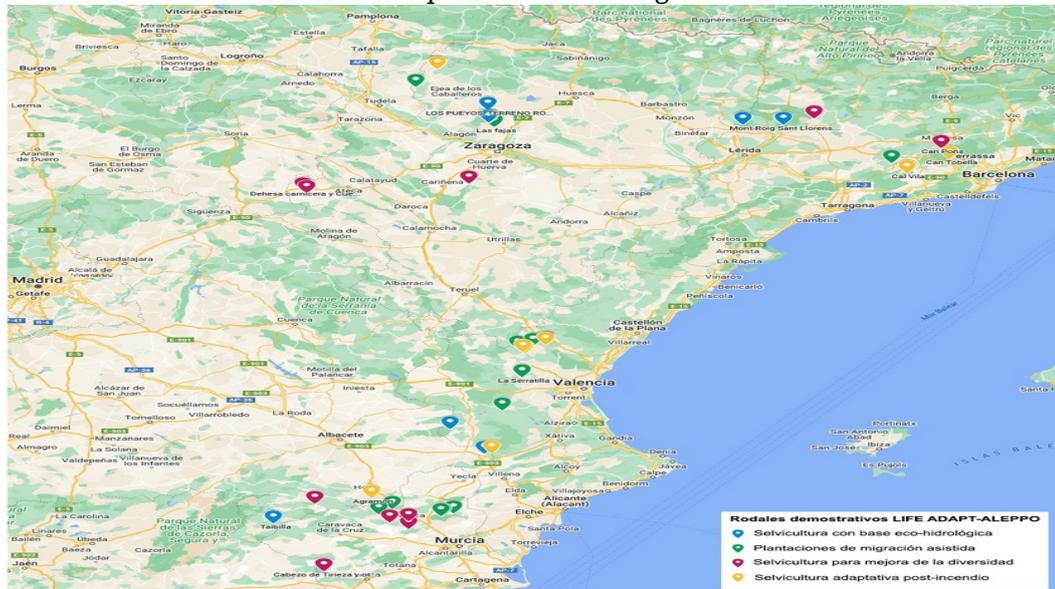


Figura 9. Vista de la distribución espacial de los rodales demostrativos implementados en Life Adapt-Aleppe

4. Resultados

Se exponen a continuación los resultados logrados con el desarrollo de cada una de las acciones descritas en el apartado anterior:

a. Resultados de monitoreo continuo de decaimiento de las masas y cartografía de idoneidad de hábitat

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO ha desarrollado una herramienta web (<https://lifeadaptaleppo.agrestaweb.org/>, Figura 10) con el objetivo de presentar y poner a disposición de los usuarios los resultados cartográficos obtenidos por las metodologías de mapeo de la idoneidad del hábitat, y de detección de los procesos de decaimiento (Figura 11), en el contexto del Hábitat de *Pinus halepensis* en la Península Ibérica y las Islas Baleares. La plataforma ofrece un servicio de visualización, descarga y actualización periódica del diagnóstico. La aplicación consta de un visor en el que el usuario puede seleccionar un área de interés, bien dibujándola manualmente, a partir de una referencia catastral, o adjuntado un archivo de geometría espacial que defina los límites del área deseada.

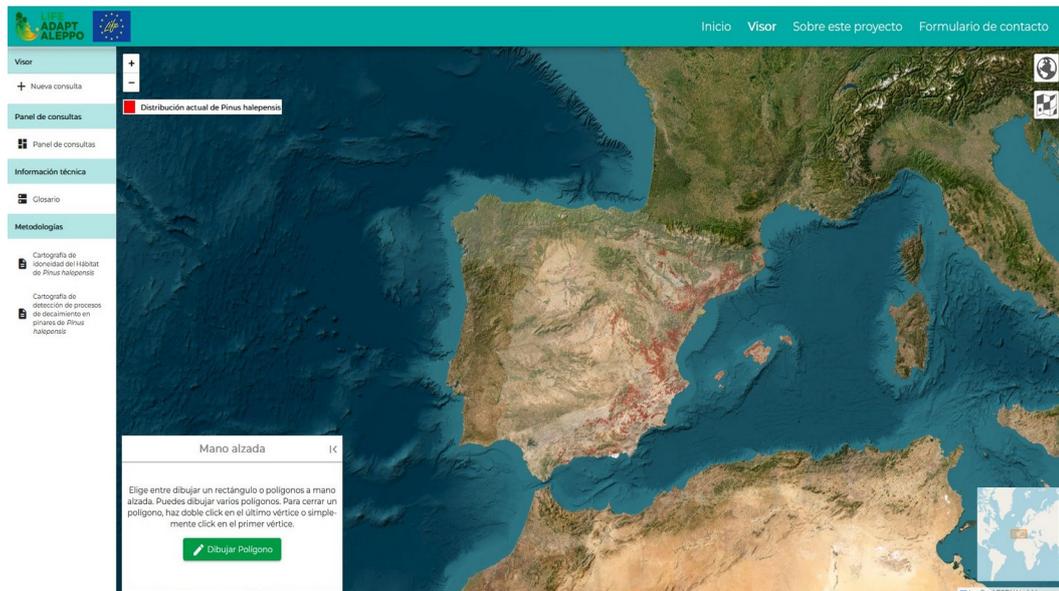


Figura 10. Vista de página principal de la herramienta/visor web de decaimiento

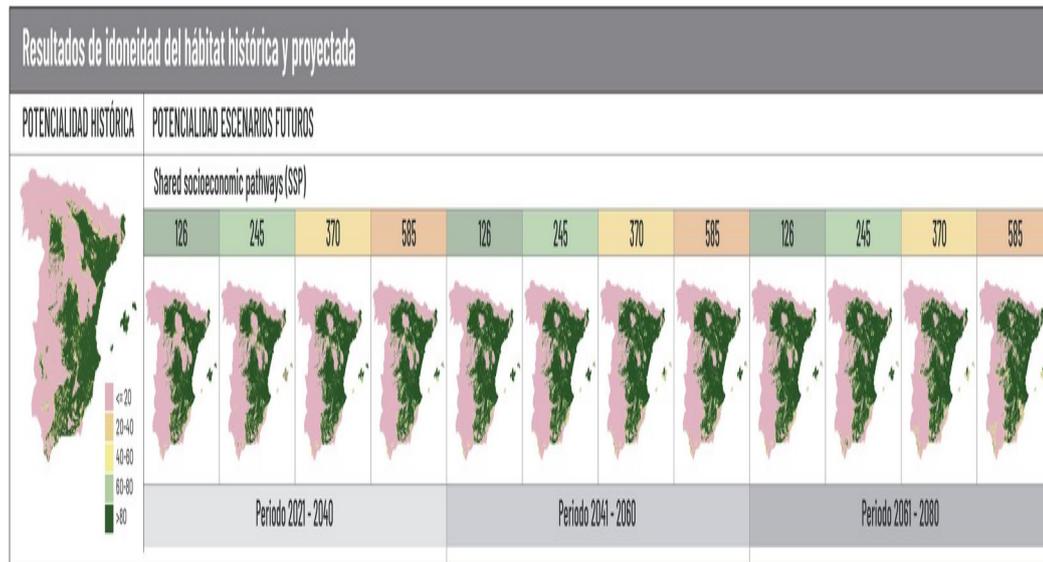


Figura 11. Resultados de idoneidad del hábitat histórica y proyectada

Los modelos de distribución potencial o idoneidad histórica y futura de *P. halepensis* (Figura 11) se obtienen tras el análisis de la probabilidad de presencia de *Pinus halepensis* en el área de estudio, con una resolución espacial igual a la de las variables ambientales (temperatura del mes más frío, precipitación del mes más seco y pH, textura y profundidad del suelo) usadas para generar los modelos, es decir, 1 km x 1 km de tamaño de píxel. Esto se hace tanto para las características ambientales históricas, como para las correspondientes a los escenarios futuros correspondientes a los tres periodos de tiempo ('2021-2040', '2041-2060', '2061-2080') y cuatro SSPs ('126', '245', '370', '585').

Asimismo, junto con los mapas de idoneidad se proyectaron al área de estudio otros modelos ensamblados generados a partir del coeficiente de variación (CV). Estos últimos sirven como indicador aproximado de la incertidumbre. En ellos, cada píxel recoge la variación en valores de los modelos individuales usados para crear los ensamblados, de forma que, si existe una amplia variación de valores, la incertidumbre del modelo ensamblado es mayor y viceversa.

b. Resultados de implementación demostrativa de migración Asistida

Tras los primeros análisis del seguimiento de los rodales plantados en el seno del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO, se observa que la procedencia “Levante interior” ha sido la que mejor ha funcionado, en cuanto a supervivencia, en la mayor parte de las parcelas de Murcia, Valencia y Barcelona, adaptándose bien tanto a zonas más frías como a las más secas.

En el caso de las parcelas localizadas en Valencia y Barcelona, se comprueba que las plantas procedentes de mejora genética (procedencia “Alacuás”, del huerto semillero clonal de *Pinus halepensis* formado por familias procedentes de las regiones de procedencia 9 Maestrazgo-Los Serranos, 10 Levante Interior y 11 Litoral Levantino), también responden mejor que el resto de procedencias,



presentando, además, mayores crecimientos. Resultados a largo plazo de otras plantaciones desarrolladas en Valencia corroboran este resultado (Blanco-Cano et al., en revisión).

Podemos concluir que la procedencia local ha tenido el mejor rendimiento en supervivencia o crecimiento solamente en 3 de las 9 parcelas de estudio, coincidiendo con la procedencia Levante interior (procedencia local de las parcelas ubicadas en Valencia). Esto sugiere, que usar este criterio de repoblación tiene una menor fiabilidad, tal y como se puede observar en la figura 12, con resumen de resultados de supervivencia a corto plazo en las plantaciones de migración asistida ejecutadas en Murcia y Cataluña.

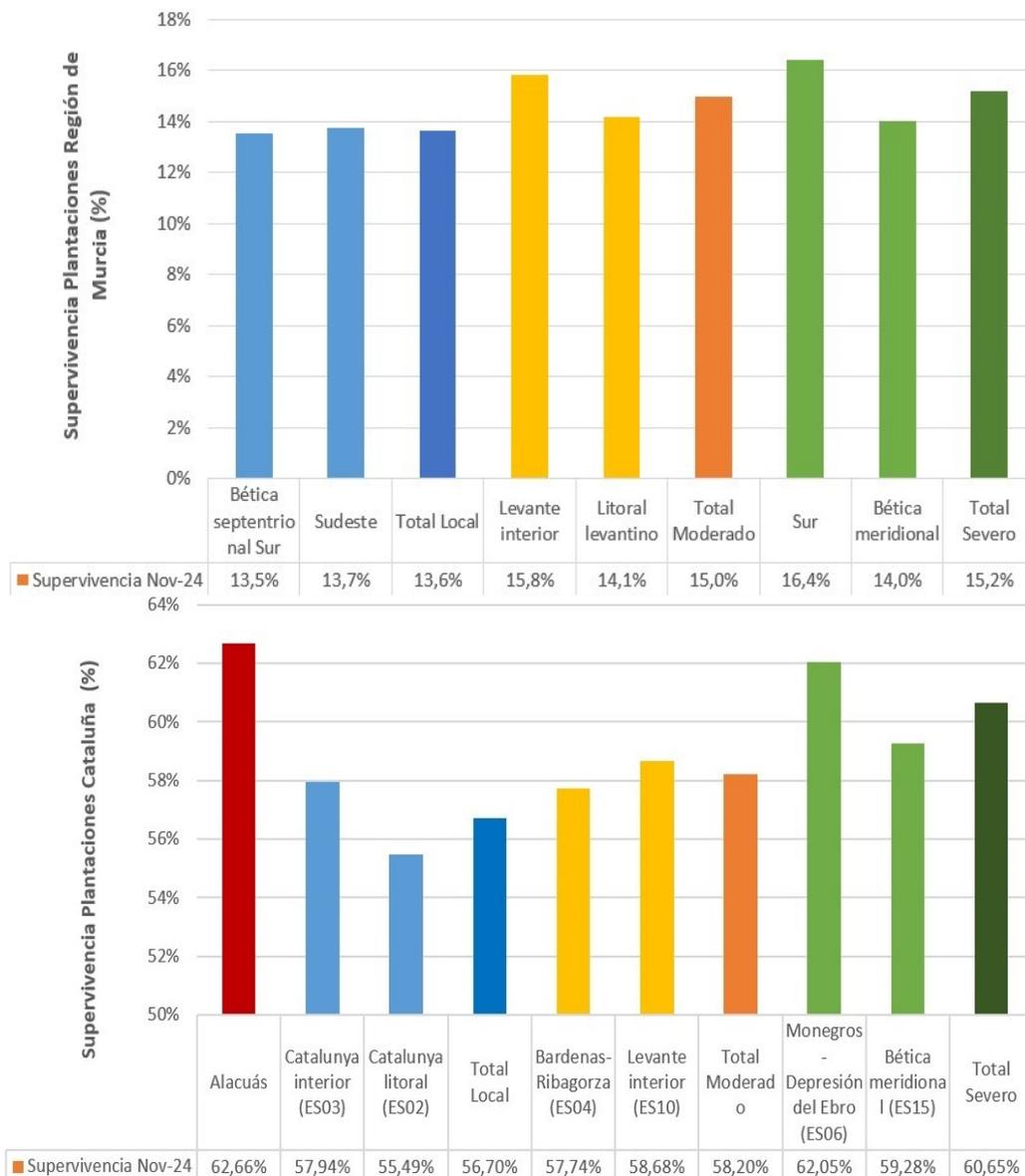


Figura 12. Gráficos representativos de la supervivencia a corto plazo de cada tipo de procedencia de Pinus halepensis en las plantaciones de Murcia y Cataluña

c. Resultados de implementación demostrativa de selvicultura de base

ecohidrológica

Tras el análisis de los primeros resultados del seguimiento de las parcelas con tratamientos de base eco-hidrológica, comparando el rodal tratado con el no tratado (control) se observa que las parcelas tratadas generan más agua sobrante que en la control. A modo de ejemplo, se muestra la figura 13, con los resultados piezométricos de la parcela ubicada en Sierra de Luna, donde se ha observado mayor cantidad de agua (sección mojada del área delimitada por los piezómetros y días de movimiento de agua en dicha sección) en la cuenca tratada, con un 33 % de intensidad en comparación con la no tratada.

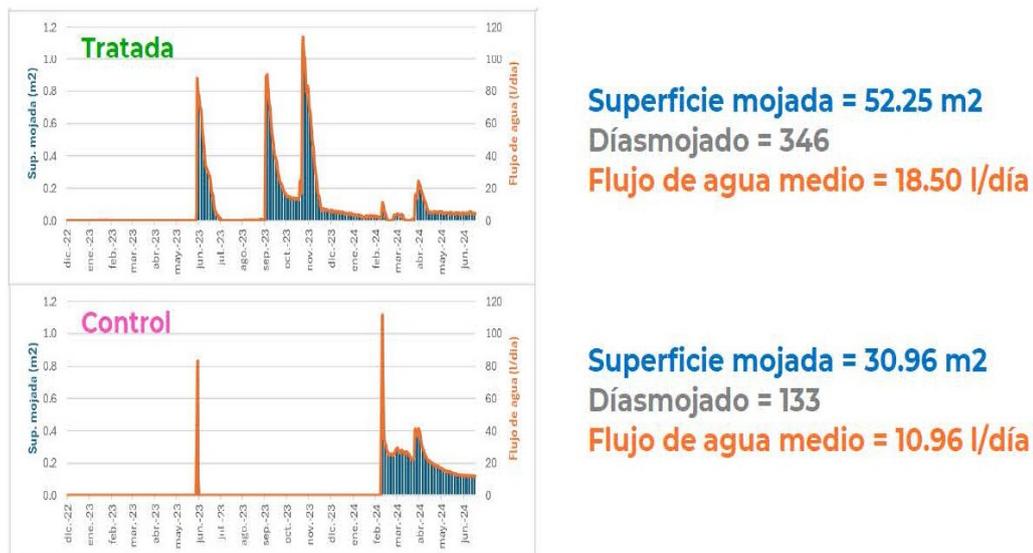


Figura 13. Resultados piezométricos de la parcela de Sierra de Luna

Respecto al análisis de los distintos tipos de tratamientos, comparando, por ejemplo, las parcelas ubicadas en Nerpio, donde se han llevado a cabo tratamientos homogéneos (60%) y por bosquetes, se observa cómo en el rodal ejecutado por bosquetes, pierde menos agua y la mantiene durante más tiempo, por lo que, en la siguiente lluvia, el acuífero se recargará antes (ver figura 14). Es decir, que, según estos resultados iniciales, los tratamientos por bosquetes funcionan mejor hidrológicamente que los tratamientos de cortas homogéneas.

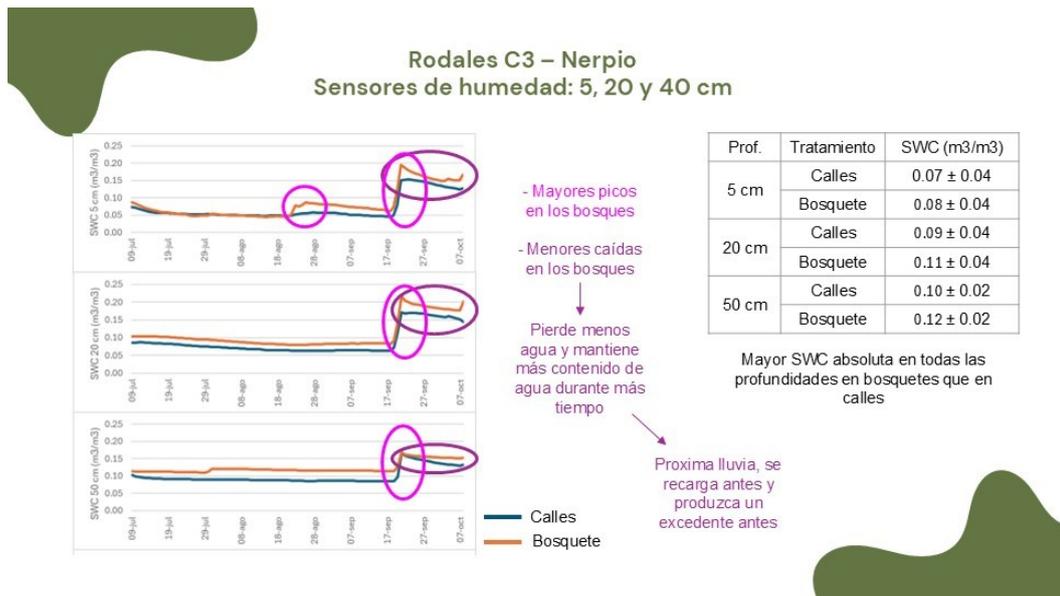


Figura 14. Resultados de SWC recogidos con sensores de humedad colocados a distintas profundidades en parcelas tratadas por calles y por bosquetes en Nerpio (Albacete)

d. Resultados de implementación demostrativa de silvicultura para la diversificación florística y estructural

El monitoreo de las parcelas demostrativas de diversificación ha permitido cuantificar cómo se está promoviendo la capacidad de respuesta de los ecosistemas frente a las perturbaciones. Así, los valores del Índice de persistencia se han aumentado en todas las parcelas intervenidas, indicando que el bosque presenta una mayor cantidad de rasgos de respuesta que antes del tratamiento, por lo que es más resiliente a las perturbaciones asociadas al cambio climático (Tabla 3).

Tabla 3. Incremento en los valores del índice de persistencia (PI) en función del tipo de parcela (control vs. Tratamiento) y la perturbación considerada

Tipo de parcela	Control		Tratamiento	
	PI arbolado	PI matorral	PI arbolado	PI matorral
General	0	+4.2%	+16.7%	+12.0%
Incendios	0	+5.6%	+12.8%	+14.3%
Sequía	0	+4.2%	+20.0%	+12.0%
Viento	0	+13%	+60.0%	+33.1%

Por otro lado, se observa que los tratamientos realizados promueven la heterogeneidad del ecosistema, facilitando la puesta en luz del sotobosque y promoviendo una mayor variedad de microambientes, lo que favorece la incorporación de especies vegetales autóctonas y mejora el vigor de las existentes.

Todo esto contribuye a aumentar la resiliencia frente a perturbaciones como incendios o plagas.

En la Figura 15, se muestran los resultados del análisis de disponibilidad de luz difusa al sotobosque, a través de fotografías hemisféricas.

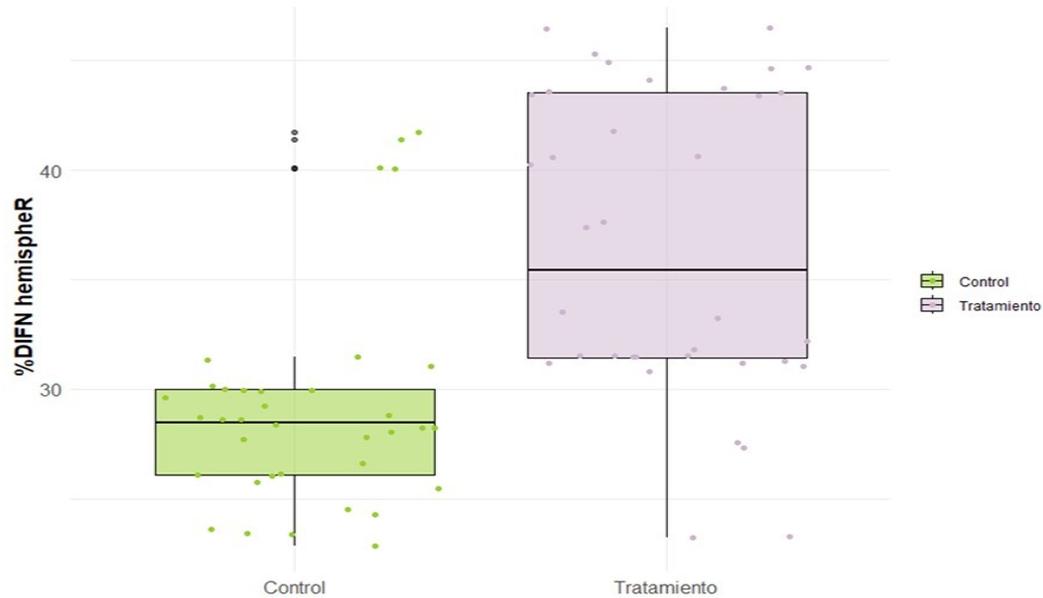


Figura 15. Efecto de los tratamientos de diversificación en la disponibilidad de luz del sotobosque y la creación de una mayor diversidad de ambientes

e. Resultados de implementación demostrativa de selvicultura de apoyo a la regeneración post-Incendio

Los primeros análisis realizados sobre diversidad y coberturas de vegetación, a través del Índice de Shannon, demuestran que los tratamientos selvícolas aplicados en los rodales LIFE ADAPT-ALEPPO, contribuyen al aumento de la diversidad de especies en las zonas tratadas y al aumento del porcentaje de la cobertura de matorral, tal y como se muestra en la figura 16 (resultado del rodal ejecutado en Almansa (Albacete)).

Tratamiento	N.º especies	Índice de Shannon
Sin tratar	8	1,80
Tratamiento 2024	12	1,87

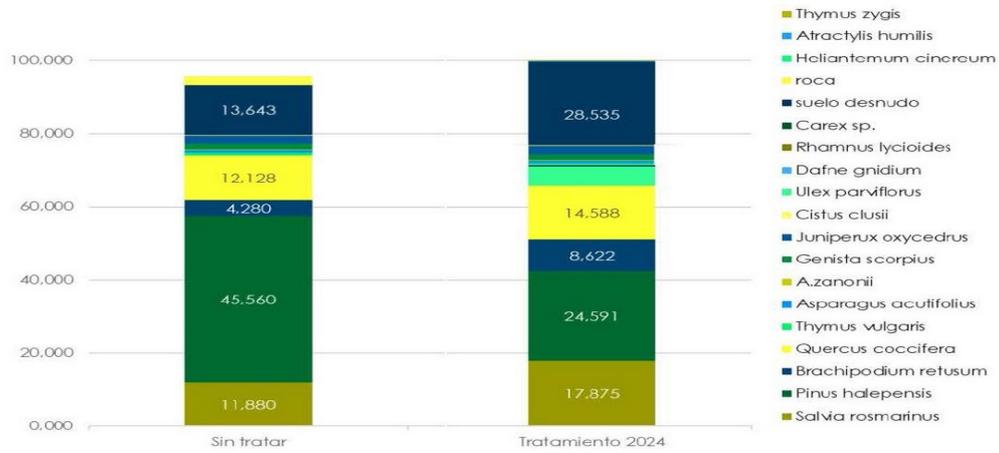


Figura 16. Análisis del Índice de Shannon en parcela incendiada de Almansa, tanto en zona tratada como en la control

Además, los resultados de los análisis de suelos muestran que hay mayor actividad enzimática β-glucosidasa y fosfatasa en las parcelas tratadas que en las parcelas no tratadas (Figura 17). Estas enzimas son secretadas por muchas bacterias y hongos, siendo una importante parte de la matriz del suelo.

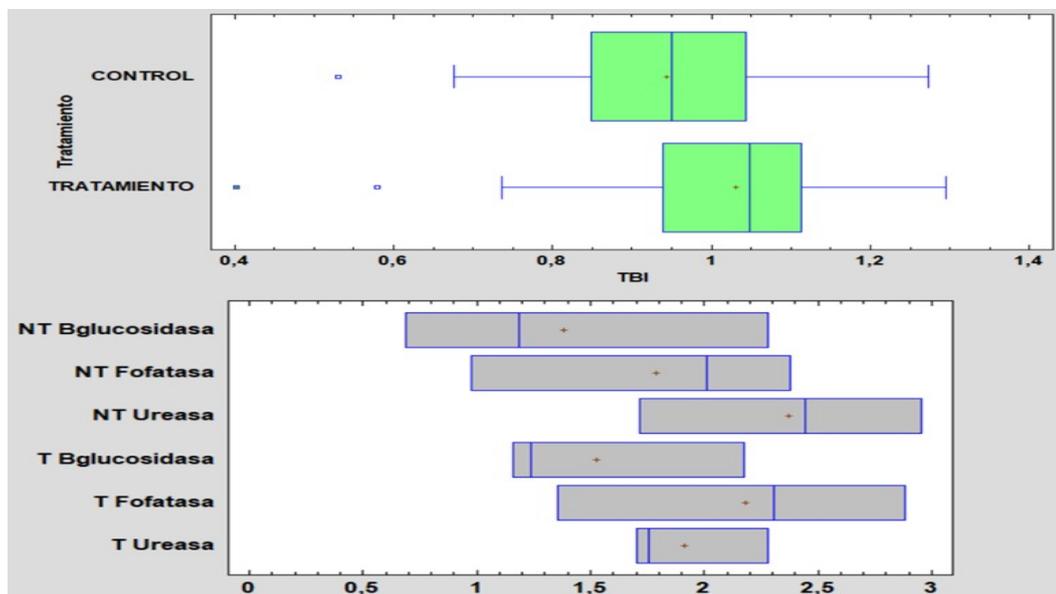


Figura 17. Resultados del análisis del índice de la bolsa del té (TBI) y de la actividad enzimática en parcela incendiada de Almansa

Para conocer el proyecto con más detalle, así como los últimos resultados publicados sobre los trabajos realizados en el seno del proyecto LIFE, se recomienda consultar la web del proyecto (<https://adaptaleppo.eu/>) y seguirlo en redes sociales (#adaptaleppo).



5. Discusión

Los resultados obtenidos en el marco del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO proporcionan una valiosa información acerca de las estrategias de adaptación y gestión sostenible de los hábitats de *Pinus halepensis* en la cuenca mediterránea. A continuación, se analizan los principales hallazgos y su relevancia en el contexto de la gestión forestal adaptativa frente al cambio climático:

a. Monitoreo continuo de decaimiento de las masas

La herramienta web desarrollada representa un importante avance tecnológico en la gestión forestal al ofrecer una plataforma intuitiva y accesible para monitorear el estado del hábitat y los procesos de decaimiento. La capacidad de seleccionar áreas de interés y visualizar datos históricos y proyectados de idoneidad del hábitat permite tomar decisiones informadas basadas en evidencia científica actualizada. Este enfoque podría ser replicable en otros ecosistemas forestales para garantizar una gestión sostenible y adaptativa. Sin embargo, sería importante analizar cómo esta herramienta podría integrarse con políticas públicas y la toma de decisiones a diferentes escalas.

b. Implementación demostrativa de migración asistida

Los resultados obtenidos destacan la importancia del material genético en la adaptación de *Pinus halepensis* a las condiciones climáticas cambiantes. La mejor adaptación de las procedencias genéticas no locales, especialmente las procedentes del huerto semillero clonal de Alacuás, subraya la necesidad de reevaluar el uso de procedencias locales en programas de reforestación (VOLTAS et al. 2023). Nuestros hallazgos sugieren que el cambio climático está alterando las condiciones ambientales, desfasando las adaptaciones locales históricas (AMEZTEGUI et al. 2025). Es muy posible que los resultados obtenidos se expliquen por un cambio de clima, y manifiesten que las procedencias locales presentan unas exigencias climáticas diferentes a las que ofrece el clima actual. Esto plantea desafíos éticos y logísticos para la gestión forestal, especialmente en términos de balancear la conservación de la diversidad genética local con la necesidad de garantizar la supervivencia y funcionalidad del ecosistema. No obstante, es necesario continuar con el monitoreo de las plantaciones efectuadas para poder extraer conclusiones a medio plazo, así como para analizar qué rasgo o rasgos son los que confieren a cada procedencia su capacidad de adaptación al clima (HEVIA et al. 2020) y qué combinaciones de procedencias pueden fomentar el éxito de las restauraciones forestales con pino carrasco (NOTIVOL et al. 2020).

c. Implementación demostrativa de selvicultura de base ecohidrológica

Los tratamientos selvícolas basados en principios ecohidrológicos han mostrado beneficios evidentes en términos de eficiencia hídrica y generación de agua sobrante en las parcelas tratadas. Los resultados en Sierra de Luna y Nerpío



confirman que estos enfoques no solo optimizan el uso del agua por parte de la vegetación, sino que también favorecen la recarga del acuífero en condiciones de estrés hídrico. Este tipo de silvicultura ofrece una herramienta prometedora para abordar la creciente escasez de agua en regiones mediterráneas, si bien se hace necesario profundizar en los efectos de diversos tratamientos (recurrencia, peso, distribución espacial) para una gestión óptima de los recursos hídricos (DEL CAMPO et al. 2022).

d. Silvicultura para la diversificación florística y estructural

Los tratamientos selvícolas destinados a diversificar la estructura y composición florística de las masas son fundamentales para incrementar la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones, como plagas, sequías o incendios (SÁNCHEZ-PINILLOS et al. 2016). En masas coetáneas o de repoblación, la apertura de “focos de diversidad” supone el primer paso para lograr masas más diversas, si bien los efectos se aprecian de manera mucho más evidente a medio y largo plazo (MARTÍN-ALCÓN et al. 2017). Nuestros resultados sí muestran una puesta en luz significativa en las parcelas tratadas, así como una mayor diversidad de ambientes lumínicos, lo que contribuye a ofrecer más oportunidades de regeneración y crecimiento a un abanico mayor de especies, no sólo vegetales sino también de fauna (RIGO et al. 2024). En futuras investigaciones sería útil evaluar el impacto a largo plazo de estas prácticas en indicadores clave de salud del ecosistema.

e. Silvicultura de apoyo a la regeneración post-incendio

Los resultados obtenidos de la implementación demostrativa de silvicultura para apoyar la regeneración post-incendio revelan efectos positivos tanto sobre la biodiversidad vegetal como en las propiedades del suelo. Estas evidencias respaldan la utilidad de estas técnicas como una herramienta eficaz en la recuperación de ecosistemas afectados por incendios forestales (MÉNDEZ-CARTÍN et al. 2024).

El análisis de diversidad realizado mediante el Índice de Shannon muestra un aumento significativo en las zonas tratadas en comparación con las áreas no tratadas. Esto indica que las intervenciones selvícolas favorecen la colonización y establecimiento de una mayor variedad de especies vegetales y el incremento en el porcentaje de cobertura de matorral. Este hallazgo es especialmente relevante para la regeneración de ecosistemas post-incendio, dado que una mayor diversidad vegetal está asociada con una mayor estabilidad ecológica y resistencia frente a perturbaciones futuras (JACTEL et al. 2017). Además, los matorrales cumplen una función clave como protectores del suelo frente a la erosión y como refugio para la fauna, además de contribuir a la microclimatización del entorno, lo que puede facilitar la sucesión ecológica hacia etapas más avanzadas (GÓMEZ-APARICIO et al. 2008).

Los análisis de actividad enzimática del suelo evidencian una mayor actividad



de β -glucosidasa y fosfatasa en las parcelas sometidas a tratamientos selvícolas. Estas enzimas desempeñan funciones esenciales en los ciclos biogeoquímicos, facilitando la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes como el fósforo. Este incremento en la actividad enzimática sugiere una mayor actividad microbiana en las parcelas tratadas, lo que a su vez podría estar relacionado con una mayor calidad del suelo. Esto demuestra la importancia de los tratamientos selvícolas no solo en la recuperación de la vegetación, sino también en la rehabilitación funcional del ecosistema.

6. Conclusiones

Los resultados del seguimiento de las actuaciones demostrativas desarrolladas a través del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO, demuestran que determinadas actuaciones aplicadas de forma coherente sobre masas de pino carrasco mejoran su adaptación al cambio climático. Además, este tipo de actuaciones son replicables para otras especies forestales.

Estas prácticas no solo mejoran la resiliencia de los bosques, sino que también proporcionan beneficios adicionales como la conservación de la biodiversidad, la mejora de los servicios ecosistémicos y la protección del suelo y del agua. El enfoque integral del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO puede servir como modelo para otras iniciativas de gestión forestal adaptativa frente al cambio climático.

En definitiva, los resultados obtenidos confirman la relevancia de combinar tecnologías avanzadas, como las herramientas de monitoreo cartográfico, con enfoques innovadores de manejo forestal, como la migración asistida y la selvicultura basada en principios ecohidrológicos y de diversificación. Estas acciones demuestran un gran potencial para mitigar los impactos del cambio climático en los ecosistemas mediterráneos.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Europea a través del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20CCA/ES00189), del Programa LIFE 2014-2020 de Medio Ambiente y Acción por el Clima de la Unión Europea.

La presente publicación relacionada con el proyecto y realizada de forma conjunta por los beneficiarios, refleja únicamente la opinión de los autores y la Comisión Europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

8. Bibliografía

AMEZTEGUI, A., VOLTAS, J., TORNÉ, G., BLANCO-CANO, L., DEL CAMPO, A., MARTÍN-ALCÓN, S., VICENTE-VALERO, L., JORDÁN, E. (en revisión). Metodología cuantitativa para la elección de procedencias de *Pinus halepensis* en actividades de reforestación bajo cambio climático. 9 Congreso Forestal Español.



BLANCO-CANO, L., PÉREZ-ROMERO, J., VICENTE-VALERO, L., AMEZTEGUI, A. & DEL CAMPO, A.D. (en revisión). Assessment of various assisted migration approaches to determine the highest performance in *Pinus halepensis* seed sources.

DALRYMPLE, S.E., WINDER, R., CAMPBELL, E.M., 2021. Exploring the potential for plant translocations to adapt to a warming world. *J Ecol* 109, 2264–2270. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13715>

DEL CAMPO, A.D., OTSUKI, K., SERENGIL, Y., BLANCO, J.A., YOUSEFPOUR, R., WEI, X., 2022. A global synthesis on the effects of thinning on hydrological processes: Implications for forest management. *For. Ecol. Manag.* 519, 120324. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120324>

GÓMEZ-APARICIO, L., ZAMORA, R., CASTRO, J., HÓDAR, J.A., 2008. Facilitation of tree saplings by nurse plants: Microhabitat amelioration or protection against herbivores? *J Veg Sci* 19, 161–172.

HEVIA, A., CAMPELO, F., CHAMBEL, R., VIEIRA, J., ALÍA, R., MAJADA, J., SÁNCHEZ-SALGUERO, R., 2020. Which matters more for wood traits in *Pinus halepensis* Mill., provenance or climate? *Ann. For. Sci.* 77, 55.

JACTEL, H., BAUHUS, J., BOBERG, J., BONAL, D., CASTAGNEYROL, B., GARDINER, B., GONZÁLEZ-OLABARRÍA, J.R., KORICHEVA, J., MEURISSE, N., BROCKERHOFF, E.G., 2017. Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. *Curr For Reports*.

MARTÍN-ALCÓN, S., AMEZTEGUI, A., COLL, L., 2017. Diversificación o naturalización de las repoblaciones forestales, in: *La Restauración Forestal de España: 75 Años de Una Ilusión*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, Spain.

MCKAY, J.K., CHRISTIAN, C.E., HARRISON, S., RICE, K.J., 2005. “How Local Is Local?”—A Review of Practical and Conceptual Issues in the Genetics of Restoration. *Restor. Ecol.* 13, 432–440. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2005.00058.x>

MEDECC, 2020. Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report. Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France.

MENDEZ-CARTIN, A.L., COLL, L., VALOR, T., TORNÉ-SOLÀ, G., AMEZTEGUI, A., 2024. Post-fire growth of *Pinus halepensis*: Shifts in the mode of competition along a precipitation gradient. *For. Ecol. Manag.* 554, 121693.



MIGUEL, S., RUIZ-BENITO, P., REBOLLO, P., VIANA-SOTO, A., MIHAI, M.C., GARCÍA-MARTÍN, A., TANASE, M., 2024. Forest disturbance regimes and trends in continental Spain (1985- 2023) using dense Landsat time series. *Environ. Res.* 119802. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119802>

MONTOYA, J.M., 1995. Efecto del cambio climático sobre los ecosistemas forestales españoles. Cuadernos de la S.E.C.F., N°2, pp.65-76. http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9071/8989

MORENO, J. M., ÁLVAREZ COBELAS, M., BENITO, G., CATALÁN, J., RAMOS, M., ROSA, D. D. L. y ZAZO, C., 2005. Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. <http://hdl.handle.net/10261/81302>

NOTIVOL, E., SANTOS-DEL-BLANCO, L., CHAMBEL, R., CLIMENT, J., ALÍA, R., 2020. Seed Sourcing Strategies Considering Climate Change Forecasts: A Practical Test in Scots Pine. *Forests* 11, 1222.

PROBER, S.M., BYRNE, M., MCLEAN, E.H., STEANE, D.A., POTTS, B.M., VAILLANCOURT, R.E., y STOCK, W.D., 2015. Climate-adjusted provenancing: a strategy for climate-resilient ecological restoration. *Front. Ecol. Evol.* 3. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00065>

RIGO, F., PANICCIA, C., ANDERLE, M., CHIANUCCI, F., OBOJES, N., TAPPEINER, U., HILPOLD, A., MINA, M., 2024. Relating forest structural characteristics to bat and bird diversity in the Italian Alps. *For. Ecol. Manag.* 554, 121673.

SÁNCHEZ-PINILLOS, M., COLL, L., DE CÁCERES, M., AMEZTEGUI, A., 2016. Assessing the persistence capacity of communities facing natural disturbances on the basis of species response traits. *Ecol Indic* 66, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.024>

SEIDL, R., THOM, D., KAUTZ, M., MARTIN-BENITO, D., PELTONIEMI, M., VACCHIANO, G., WILD, J., ASCOLI, D., PETR, M., HONKANIEMI, J., LEXER, M.J., TROTSIUK, V., MAIROTA, P., SVOBODA, M., FABRIKA, M., NAGEL, T.A., REYER, C.P.O., 2017. Forest disturbances under climate change. *Nat Clim Change* 7, 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>

VEUILLEN, L., PRÉVOSTO, B., ALFARO-SÁNCHEZ, R., BADEAU, V., BATTIPAGLIA, G., BEGUERÍA, S., BRAVO, F., BOIVIN, T., CAMARERO, J.J., ČUFAR, K., DAVI, H., LUIS, M.D., CAMPO, A.D., RIO, M.D., FILIPPO, A.D., DORMAN, M., DURAND-GILLMANN, M., FERRIO, J.P., GEA-IZQUIERDO, G., GONZÁLEZ-SANCHIS, M., GRANDA, E.,



GUIBAL, F., GUTIERREZ, E., HELLUY, M., KHORCHANI, A.E., KLEIN, T., LEVILLAIN, J., LINARES, J.C., MANRIQUE-ALBA, A., VILALTA, J.M., MOLINA, A.J., MORENO-GUTIÉRREZ, C., NICAULT, A., OLIVAR, J., PAPADOPOULOS, A., PEREVOLOTSKY, A., RATHGEBER, C., RIBAS, M., RIPULLONE, F., RUANO, I., SAINTONGE, F.-X., SÁNCHEZ-SALGUERO, R., SARRIS, D., SERRA-MALUQUER, X., SVORAY, T., TALLIEU, C., VALOR, T., VENNETIER, M., VOLTAS, J., CAILLERET, M., 2023. Pre- and post-drought conditions drive resilience of *Pinus halepensis* across its distribution range. *Agric. For. Meteorol.* 339, 109577. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109577>

VOLTAS, J., 2023. Tres siglos de Genética Forestal: situación actual, retos e incertidumbres. *Cuad. Soc. Española Cienc. For.* 49, 101–116.

WILLIAMS, M.I., DUMROESE, R.K., 2013. Preparing for Climate Change: Forestry and Assisted Migration. *J. For.* 111, 287–297. <https://doi.org/10.5849/jof.13-016>