



LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809)



IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE SELVICULTURA ADAPTATIVA EN REGENERACIÓN POST INCENDIO DE PINO CARRASCO

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO está financiado por el Programa LIFE de la Unión Europea bajo el Acuerdo de Subvención LIFE20 CCA/ES/001809.



El contenido incluido en esta guía refleja únicamente la opinión del autor y la Agencia/Comisión Europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Esta guía forma parte del material de divulgación, transferencia y replicabilidad en el marco de las acciones C6 y E4 del Proyecto LIFE20 CCA/ES/001891- LIFE ADAPT-ALEPPO "Gestión adaptativa de los bosques mediterráneos de *Pinus halepensis* ante el cambio climático"

EDICIÓN:

Dirección General de Patrimonio Natural y Acción Climática de la Comunidad Autónoma Región de Murcia. Ingeniería del Entorno Natural.

REDACCIÓN:

María Vázquez Camaño (6), Asunción Díaz Montero (6), Daniel Moya Navarro (6), Jorge de las Heras Ibáñez (6), Santiago Martín Alcón (3), Jorge Olivar Ruiz (3), Aitor Ameztegui (5),

(1) Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes y Biotecnología de Albacete, Universidad de Castilla-La Mancha.

(2) Agresta Sociedad Cooperativa.

(3) Grupo de Investigación en Dinámica Forestal y Gestión Adaptativa (ADAPTAFOR). Universitat de Lleida

FOTOGRAFÍAS:

Las imágenes adjuntas a este manual han sido tomadas por los autores de la guía.

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:

Jose Juan Rivas Nieto

CITA BIBLIOGRÁFICA:

Vázquez, M., Díaz, A., Moya, D.; et al. 2025. Guía técnica "Implementación de técnicas de silvicultura adaptativa en regeneración post incendio de pino carrasco"

DEPÓSITO LEGAL: MU 343-2025

FINANCIADO:

Programa LIFE de la Unión Europea

Esta publicación será reproducible por todos los medios, citando las fuentes y con finalidad no lucrativa.

La información incluida en el presente documento refleja solo la opinión de sus autores, excluyendo a la Agencia/Comisión Europea de cualquier uso que pueda derivarse de ella.



GUÍA TÉCNICA

IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE SELVICULTURA ADAPTATIVA EN REGENERACIÓN POST INCENDIO DE PINO CARRASCO

1 INTRODUCCIÓN 2

1.1.	ANTECEDENTES	2
1.2.	OBJETIVOS	4
1.3.	GLOSARIO Y CONCEPTOS CLAVE	5

2 ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT 42.841 - PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO 7

2.1.	ECOLOGÍA DEL HÁBITAT	7
2.2.	DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT	8

3 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

4 LA GESTIÓN FORESTAL COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN DE LOS BOSQUES AL CAMBIO CLIMÁTICO 11

5 IMPLEMENTACIÓN DE LA SELVICULTURA ECOHIDROLÓGICA EN LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO 13

5.1.	BASES CIENTÍFICO-TÉCNICAS	13
5.2.	SISTEMAS FORESTALES OBJETO DE APLICACIÓN Y RECOMENDACIONES GENERALES	13
5.3.	DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS EN EL PROYECTO	14
	5.3.1. Diseño de las actuaciones	14
	5.3.2. Protocolo de seguimiento	15
	5.3.3. Resultados	16
	5.4.4. Análisis económico	17
5.4.	RECOMENDACIONES TÉCNICAS	18

6 ANÁLISIS ECONÓMICO 19

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

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. Los escenarios constatan una aceleración en el aumento de las temperaturas, 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. 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.

El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) es la especie del género *Pinus* más ampliamente distribuida en el entorno circunmediterráneo. Es 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. 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 ello se han considerado altamente vulnerables al cambio climático. 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 ausencia 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 ausencia de modelos o directrices de gestión forestal adaptativa para las masas forestales ibéricas de *Pinus halepensis*.

Las Guías Técnicas para la Adaptación al Cambio Climático en pinares de *Pinus halepensis* en el Mediterráneo constituyen el principal resultado del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO a nivel de transferencia de resultados, pretendiendo sintetizar y transferir las aportaciones del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO en estas líneas de conocimiento. Se espera que a través de estas Guías pueda transformarse el carácter demostrativo de las actuaciones ejecutadas en el proyecto LIFE en aplicaciones reales replicadas a gran escala para mejorar la capacidad de adaptación, y por tanto la resiliencia de las masas forestales en el área mediterránea de la Península Ibérica. También, que los avances del proyecto, sintetizados en las Guías Técnicas, puedan ser integrados en las herramientas de planificación forestal y puedan ser así aplicadas en los procesos de toma de decisiones en materia de gestión forestal sostenible.



Así pues, el conjunto de Guías Técnicas elaboradas abarca:

- Las metodologías para el mapeo de la idoneidad del hábitat y el seguimiento de los procesos de decaimiento en pinares de *Pinus halepensis*.
- El uso de la migración asistida de *Pinus halepensis* en trabajos de restauración forestal de su hábitat.
- El uso de la silvicultura de base ecohidrológica en pinares de *Pinus halepensis*.
- El uso de medidas selvícolas para el fomento de la resiliencia y adaptabilidad de las masas a través de la diversificación estructural y florística en pinares de *Pinus halepensis*.
- El uso de medidas selvícolas para la gestión adaptativa de la regeneración post-incendio en pinares de *Pinus halepensis*.

El equipo técnico-científico que ha participado en la ejecución del proyecto LIFE y, en particular, en la redacción de las Guías Técnicas, es el conformado por:

- IDEN (Ingeniería del Entorno Natural), empresa con base en Castilla La-Mancha y la Región de Murcia, con amplia experiencia en consultoría de Ingeniería y Medio Ambiente.
- Agresta Sociedad Cooperativa, empresa de ámbito nacional, especializada en consultoría e innovación en torno a la gestión forestal y del medio natural.
- La Universitat de Lleida a través del Grupo de Investigación en Gestión Adaptativa y Dinámica Forestal (ADAPTAFOR).
- La Universidad Politécnica de Valencia a través del grupo de hidrología forestal Re-ForeST
- La Universidad de Castilla-La-Mancha a través del grupo de investigación de Ecología Forestal (ECOFOR) del Instituto botánico y ETSIAMB de Albacete.
- La Consejería de Medio Ambiente, Universidades, Investigación y Mar Menor (CARM) de la Región de Murcia.



1.2. OBJETIVOS

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

El logro del objetivo general del proyecto requería del cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- 01** – Desarrollar un mapa de idoneidad del hábitat e implementar una herramienta para detectar los procesos de decaimiento mediante teledetección.
- 02** – Implementar y monitorear actuaciones de migración asistida dirigidas a mejorar la capacidad del ecosistema para adaptarse a la aridificación climática.
- 03** – Implementar y monitorear tratamientos selvícolas destinados a mejorar la vitalidad y reducir los efectos de la reducción de la disponibilidad de agua.
- 04** – Implementar y monitorear tratamientos selvícolas para mejorar la heterogeneidad estructural y florística y aumentar la diversidad de las respuestas a las perturbaciones.
- 05** – Implementar y monitorear técnicas de gestión adaptativa para mejorar la resiliencia y capacidad adaptativa de la regeneración post-incendio de pino carrasco.
- 06** – Desarrollar herramientas de gestión y transferirlas a la administración forestal, para promover la integración de la adaptación al cambio climático en las regulaciones nacionales y regionales de gestión forestal.
- 07** – Desarrollar tareas de monitoreo para evaluar el éxito e impacto del proyecto.
- 08** – Transferir las técnicas y herramientas implementadas a los principales actores locales y del área de distribución del pino carrasco europeo (baleares, franceses e italianos), con el fin de mejorar la gestión y la conservación a largo plazo del hábitat del pino carrasco en el sur de Europa.

El objetivo de esta Guía Técnica es recoger de forma sintética e integrada el modelo de gestión adaptativa mediante técnicas selvícolas innovadoras en áreas incendiadas con abundante regeneración post-incendio de *Pinus halepensis*.

Las medidas de gestión aplicadas están encaminadas a mejorar la diversidad estructural y/o composicional a largo plazo de los pinares de pino carrasco en fase de establecimiento tras grandes incendios.

1.3. GLOSARIO Y CONCEPTOS CLAVE

ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

Conjunto de medidas y estrategias para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y especies al cambio climático.

ARIDIFICACIÓN

Proceso de disminución de la disponibilidad de agua en un ecosistema, aumentando su sequedad.

CAMBIO CLIMÁTICO

Modificación del clima global o regional debido a factores naturales o antropogénicos.

CORTEJO FLORÍSTICO

Conjunto de especies vegetales que acompañan a una determinada formación forestal.

ADAPTACIÓN

Ajustes en sistemas naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales.

DECAIMIENTO

Proceso por el que una comunidad de árboles, matorral u otras formaciones vegetales pierden vigor debido, principalmente, a la competencia intra y/o interespecífica o por la acción directa o difusa de agentes bióticos o abióticos nocivos.

DESERTIFICACIÓN

Degradación de los suelos en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, causada por factores climáticos y actividades humanas.

EROSIONABILIDAD

Propensión de un suelo a ser erosionado por agentes como el agua o el viento.

GESTIÓN FORESTAL ADAPTATIVA

Enfoque de gestión de ecosistemas forestales basado en la evaluación continua y la capacidad de ajuste de estrategias en función de nuevos datos y cambios ambientales. En el caso del pino carrasco, implica el uso de migración asistida para aumentar su resiliencia ante el cambio climático.

HÁBITAT 9540

Clasificación de hábitat según la Directiva Hábitats de la UE, que abarca bosques de coníferas mediterráneos dominados por especies como *Pinus halepensis* (pino carrasco) y *Pinus pinaster* (pino rodeno), fundamentales para la biodiversidad y la protección del suelo en entornos semiáridos.

METIONINA

Aminoácido esencial en plantas y animales, involucrado en procesos de respuesta al estrés hídrico. Se ha identificado como un marcador clave en la tolerancia a la sequía de *Pinus halepensis*, regulando la producción de enzimas y la adaptación a condiciones extremas

MIGRACIÓN ASISTIDA

Cambio de la composición específica o genética de una población, buscando sustituir (o complementar) a las especies o poblaciones mal adaptadas por especies o genotipos mejor adaptados a las condiciones climáticas previstas en el futuro.

OQUEDAD

Espacio vacío dentro de una masa forestal donde no hay regeneración natural.

PROCEDENCIA GENÉTICA

Origen geográfico de los materiales reproductivos de una especie forestal.

PROTOCOLO DE SEGUIMIENTO

Conjunto de metodologías diseñadas para evaluar la efectividad de las acciones de restauración forestal, como la supervivencia de plántulas, el crecimiento de árboles y la respuesta de las especies a factores ambientales.

REGENERACIÓN NATURAL

Recuperación de la vegetación de manera espontánea sin intervención humana.

REGIONES BIOCLIMÁTICAS

Zonas que presentan un clima predominante, con una vegetación y fauna adaptada a ella y con ecosistemas propios de dicha zona.

RESILIENCIA

Capacidad de un sistema ecológico para recuperar sus propiedades después de verse alterado por una perturbación o un estrés intenso y continuado.

RODALES DEMOSTRATIVOS

Parcelas experimentales en las que se aplican medidas de restauración para evaluar su efectividad.

SELVICULTURA ADAPTATIVA O SELVICULTURA PARA LA ADAPTACIÓN

La silvicultura para la adaptación frente al cambio climático se fundamenta en plantear aquellas prácticas que permitan reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa de las especies forestales frente al factor de estrés más limitante, que en el caso mediterráneo es el déficit hídrico.

SELVICULTURA ECOHIDROLÓGICA

Silvicultura que sitúa al agua en el centro de la planificación y cuantifica otras variables del ecosistema, como el crecimiento y vigor de los árboles/masa, las propiedades del suelo y los ciclos biogeoquímicos, la sensibilidad al clima de los árboles o la disminución del riesgo de incendios forestales.

SEMIÁRIDO

Zona con precipitaciones escasas, donde la evaporación excede la humedad disponible.

SUBTIPO 42.841

Clasificación específica dentro del hábitat 9540 de la Directiva Hábitats, que agrupa los pinares ibéricos de pino carrasco. Se considera un hábitat prioritario en conservación debido a su vulnerabilidad ante el cambio climático y la desertificación.

2. ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT 42.841 – PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

2.1. ECOLOGÍA DEL HÁBITAT

TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES ENTRE 12 Y 18 °C

PRECIPITACIONES ANUALES ENTRE 300 Y 600 mm

CLIMA MEDITERRÁNEO

Temperaturas

El hábitat se encuentra en regiones de clima mediterráneo, caracterizado por inviernos suaves y lluviosos y veranos cálidos y secos. Las temperaturas medias anuales suelen oscilar entre los 12 y 18 °C.

Precipitación

El pino carrasco es muy resistente a la sequía, prosperando en áreas con precipitaciones anuales bajas, que pueden variar entre 300 y 600 mm. En algunos casos, puede sobrevivir en zonas con precipitaciones aún más bajas, gracias a su adaptabilidad.

NO ES EXIGENTE CON EL TIPO DE SUELO

SOPORTA SUELOS CON PH VARIADO, AUNQUE MUESTRA PREFERENCIA POR LOS LIGERAMENTE ALCALINOS

REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

Tipos de suelo

El pino carrasco no es exigente en cuanto al tipo de suelo, colonizando suelos calizos, margosos, arenosos y arcillosos. Su capacidad para crecer en suelos pedregosos y pobres en nutrientes le permite establecerse en áreas marginales donde otras especies de árboles no prosperarían.

Adaptabilidad

Es capaz de soportar suelos con pH variado, aunque muestra preferencia por suelos ligeramente alcalinos. Su adaptabilidad a diferentes tipos de suelo le permite colonizar terrenos degradados y erosionados, contribuyendo a su recuperación.

SOTOBOSQUE: ESPECIES TÍPICAS DE LA GARRIGA Y EL MATORRAL MEDITERRÁNEO

HERBÁCEAS Y GRAMÍNEAS, MUCHAS DE ELLAS ADAPTADAS A CONDICIONES DE SEQUÍA ESTACIONAL Y SUELOS POBRES

VEGETACIÓN ASOCIADA

Estrato arbustivo

En el sotobosque se encuentran especies típicas de la garriga y el matorral mediterráneo, como el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el enebro (*Juniperus oxycedrus*), el romero (*Rosmarinus officinalis*), la coscoja (*Quercus coccifera*), aladierno (*Rhamnus alaternus*), espinos (*Rhamnus lycioides*), etc.

Estrato herbáceo

Incluye una variedad de especies herbáceas y gramíneas, muchas de las cuales están adaptadas a condiciones de sequía estacional y suelos pobres. Algunas de estas especies pueden ser aromáticas o medicinales, contribuyendo a la biodiversidad del ecosistema.

ALBERGAN GRAN DIVERSIDAD DE ESPECIES DE MAMÍFEROS Y AVES

BIODIVERSIDAD DE INVERTEBRADOS ALTA

FAUNA ASOCIADA

Mamíferos

Los pinares de pino carrasco albergan una diversidad de mamíferos, como el jabalí (*Sus scrofa*), el zorro (*Vulpes vulpes*), y pequeños roedores como el lirón careto (*Eliomys quercinus*).

Aves

Hábitat crucial para muchas especies de aves, tanto residentes como migratorias. Entre ellas se encuentran el águila calzada (*Hieraetus pennatus*), el búho real (*Bubo bubo*), y diversas especies de pequeños pájaros insectívoros y granívoros.

Invertebrados

La biodiversidad de invertebrados es alta, incluyendo numerosas especies de mariposas, escarabajos y hormigas, que desempeñan roles importantes en la polinización y el reciclaje de nutrientes.

2.2. DISTRIBUCIÓN DEL HÁBITAT

El hábitat 42.841, conocido como Pinares ibéricos de pino carrasco, abarca una amplia área dentro de la región mediterránea de la Península Ibérica y las Islas Baleares. El pino carrasco (*Pinus halepensis*) es una especie adaptada a las condiciones climáticas y edáficas de esta región, y su distribución está influenciada por varios factores ambientales y humanos.

DISTRIBUCIÓN GENERAL

El pino carrasco está presente en una franja extensa que incluye tanto áreas costeras como interiores de la Península Ibérica. Su capacidad de adaptación le permite prosperar en una variedad de entornos, desde suelos pobres y pedregosos hasta tierras más fértiles.

ÁREAS COSTERAS

A lo largo de la costa mediterránea de la Península Ibérica, desde Cataluña hasta Andalucía oriental, el pino carrasco es una especie dominante. Las condiciones costeras, con suelos calizos y un clima mediterráneo característico, son ideales para el crecimiento de estos pinares. En estas zonas, el pino carrasco forma extensos bosques, a menudo intercalados con matorrales y otras especies mediterráneas.

ÁREAS MONTAÑOSAS Y PRELITORALES

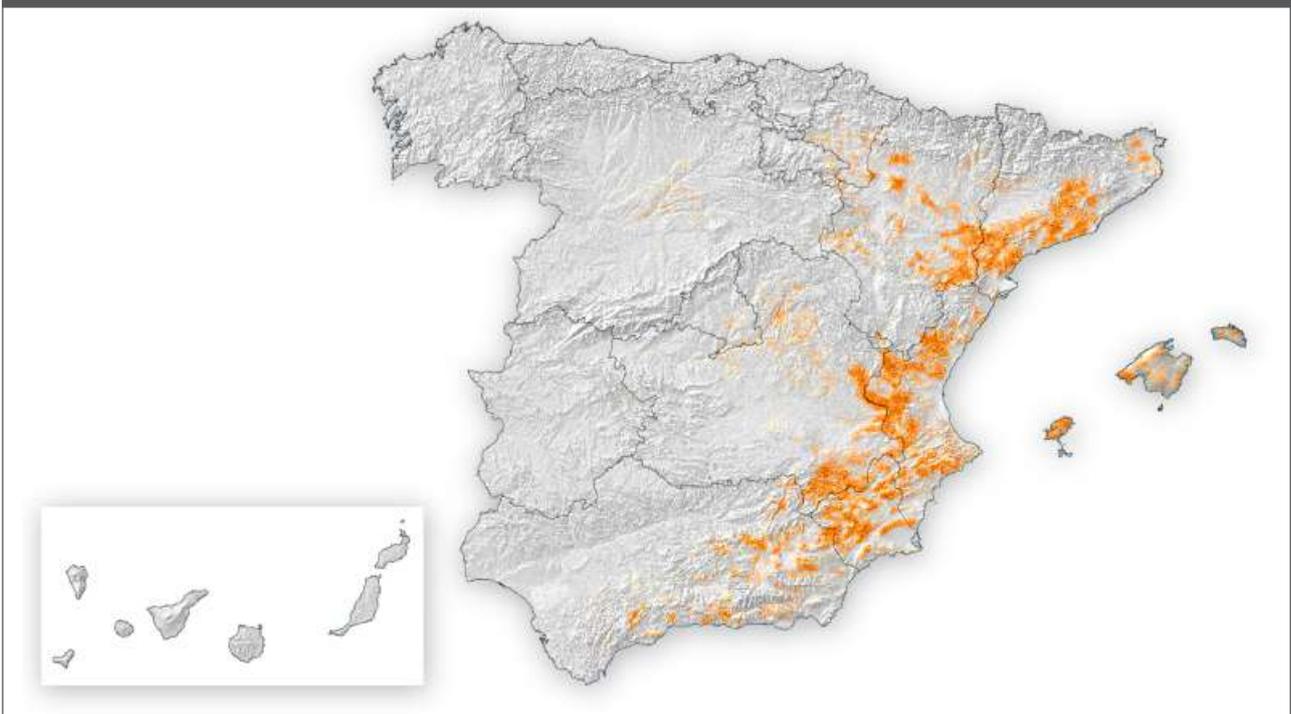
En las áreas montañosas y prelitorales, los pinares de pino carrasco también son comunes. Las sierras y montañas que bordean el Mediterráneo, como las sierras de Alicante, Murcia y Granada, proporcionan un hábitat adecuado para estos bosques. Aquí, el pino carrasco puede encontrarse en altitudes variables, adaptándose a las pendientes y suelos rocosos.

ÁREAS DEL INTERIOR

En el interior de la Península, especialmente en zonas con suelos calizos y clima semiárido, el pino carrasco sigue siendo una especie importante. Se pueden encontrar en la Meseta Central y en áreas como Aragón, donde las condiciones climáticas y edáficas aún permiten su crecimiento. En estas regiones, los pinares a menudo están asociados con otras formaciones vegetales mediterráneas, creando un mosaico de hábitats diversos.

El alcance geográfico del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO abarca el área potencial de distribución del bosque ibérico de pino carrasco (subtipo 42.841 del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats, Anexo I), incluyendo las vertientes mediterráneas de las montañas catalanas y del Sistema Ibérico, la cuenca del Ebro y las cordilleras prebéticas.

Pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*)



3. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS SOBRE LOS PINARES IBÉRICOS DE PINO CARRASCO

El cambio climático está afectando de manera profunda y multifacética a los pinares ibéricos de pino carrasco. Durante las últimas décadas se ha registrado la ocurrencia de fuertes periodos de sequía (1998-2000, 2005-2006, 2014-2017, 2022-2024) que han afectado superficies forestales de cientos a miles de hectáreas, provocando elevadas tasas de mortalidad en el arbolado. La superficie de pinares de pino carrasco afectada por grandes incendios forestales en el decenio 2006-2015 superó las 70.000 ha, y en el periodo 2016-2019 sumó más de 12.000 nuevas hectáreas.

La ocurrencia de otros fenómenos meteorológicos extremos, como las lluvias torrenciales o las grandes nevadas (danas de enero de 2017, septiembre de 2019, o enero de 2020), sumados a fuertes vientos, han provocado daños severos en miles de hectáreas. Y del mismo modo, episodios severos de plagas forestales, en particular escoltídos (especialmente *Tomiscus sp.*) y procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*), han ocurrido generalmente tras los episodios más severos de sequía, causando también elevadas tasas de mortalidad en superficies importantes, o importantes pérdidas de vigor en el caso de la procesionaria.

A continuación, se describen los efectos específicos del cambio climático en estos ecosistemas, considerando distintos aspectos como la salud de los árboles, la biodiversidad, los procesos ecológicos y los servicios ecosistémicos:



1. AUMENTO DE LA TEMPERATURA

Estrés térmico

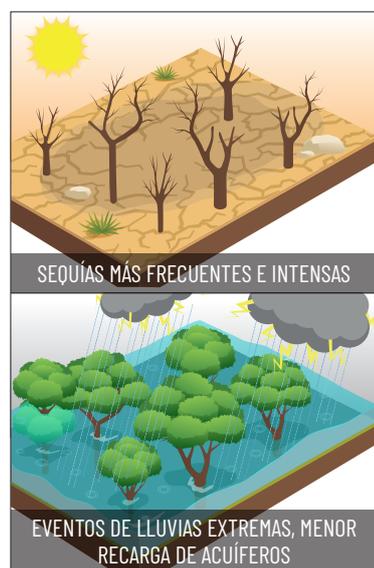
El aumento de la temperatura puede causar estrés térmico en los pinos carrascos, afectando su metabolismo y fotosíntesis. Esto puede reducir su crecimiento y vigor, haciendo a los árboles más susceptibles a otras amenazas como plagas y enfermedades.

Desplazamiento de zonas climáticas

Las zonas climáticas adecuadas para el pino carrasco podrían desplazarse altitudinal o latitudinalmente, forzando a las poblaciones de árboles a migrar hacia áreas más frescas si es posible, lo que podría llevar a una contracción de su área de distribución actual.

Alteración de las interacciones biológicas

Las especies asociadas, tanto plantas como animales, pueden responder de manera diferente al cambio de temperatura, lo que podría alterar las interacciones ecológicas y la estructura del ecosistema.



2. VARIABILIDAD EN LA PRECIPITACIÓN

Sequías más frecuentes e intensas

Las sequías prolongadas pueden reducir la disponibilidad de agua en el suelo, lo que afecta directamente la capacidad de los pinos carrascos para absorber el agua necesaria. Esto puede llevar a un aumento en la mortalidad de los árboles, especialmente de los más jóvenes y menos establecidos.

Eventos de lluvias extremas

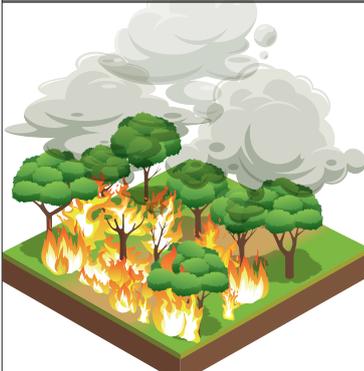
Las precipitaciones más intensas pueden causar la erosión del suelo, lo que no solo afecta la estabilidad del terreno sino también la capacidad de las raíces para anclarse y absorber nutrientes. La pérdida de suelo fértil puede dificultar la regeneración natural de los bosques.

Disminución de la recarga de acuíferos

Menor frecuencia de lluvias moderadas y más eventos extremos pueden reducir la recarga de acuíferos, afectando la disponibilidad de agua subterránea que es crucial durante los periodos secos.

MAYOR FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LOS INCENDIOS

CICLOS DE RECUPERACIÓN PROLONGADOS



ALTERACIÓN DEL SUELO

3. INCREMENTO DEL RIESGO Y LA SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Mayor frecuencia e intensidad

Las condiciones más secas y cálidas favorecen la ocurrencia de incendios forestales. Incendios más frecuentes e intensos pueden devastar grandes extensiones de pinares, causando pérdida de biomasa, biodiversidad y capacidad de captura de carbono.

Ciclos de recuperación prolongados

Después de incendios severos, los pinares pueden tardar mucho tiempo en regenerarse. Las áreas quemadas son más susceptibles a la erosión y la invasión de especies no nativas que pueden dificultar la recuperación.

Alteración del suelo

Los incendios pueden modificar la estructura y composición del suelo, afectando la capacidad de retención de agua y nutrientes, y alterando la microbiota del suelo esencial para la salud del bosque.

AUMENTO DE PLAGAS



ENFERMEDADES FÚNGICAS E INCREMENTO DE LA MORTALIDAD



4. PROPAGACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Aumento de plagas

Las temperaturas más cálidas y las condiciones secas pueden favorecer la proliferación de plagas como la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), diferentes escolítidos (*Ips sp.*, *Tomicus sp.*, *Orthotomicus sp.*), el muérdago (*Viscum album*), o el nematodo de la madera del pino (*Bursaphelenchus xylophilus*).

Enfermedades fúngicas

Las alteraciones en el clima pueden incrementar la incidencia de enfermedades fúngicas que afectan las raíces y la copa de los árboles. Las infecciones fúngicas pueden debilitar a los pinos, haciéndolos más vulnerables a otras amenazas.

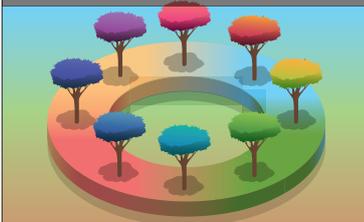
Incremento de la mortalidad

El estrés combinado de sequías, altas temperaturas y plagas/enfermedades puede llevar a una mayor mortalidad de los pinos carrascos, afectando la estructura y dinámica del bosque.

REDUCCIÓN DE HÁBITATS Y FRAGMENTACIÓN DE LOS MISMOS



DESAJUSTE FENOLÓGICO



5. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

Reducción de hábitats

La contracción de los pinares debido a las condiciones climáticas adversas puede reducir los hábitats disponibles para muchas especies asociadas, desde aves hasta mamíferos y plantas subarborescentes y herbáceas.

Desajuste fenológico

Cambios en los ciclos estacionales pueden causar desajustes fenológicos, donde las especies que dependen de los pinos para alimentación o reproducción no coincidan temporalmente con los recursos necesarios, afectando las cadenas tróficas y la reproducción.

Fragmentación del hábitat

La pérdida y fragmentación de los pinares puede llevar a la fragmentación del hábitat, afectando la movilidad y viabilidad de poblaciones de fauna que dependen de estos bosques.

ALTERACIONES EN: REGULACIÓN DEL CLIMA, CICLO HIDROLÓGICO Y CALIDAD AIRE Y SUELO


6. ALTERACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Regulación del clima

La reducción en la cobertura forestal puede disminuir la capacidad de estos bosques para secuestrar carbono, exacerbando el cambio climático.

Ciclo hidrológico

La alteración de los patrones de precipitación y la pérdida de cobertura vegetal pueden afectar el ciclo hidrológico, reduciendo la infiltración de agua y aumentando la escorrentía superficial.

Calidad del aire y suelo

Los pinares contribuyen a la purificación del aire y la mejora de la calidad del suelo. La disminución de estos bosques puede deteriorar estos servicios, afectando la salud humana y la calidad ambiental.

En resumen, el cambio climático representa un desafío significativo para los pinares ibéricos de pino carrasco. Sin embargo, mediante la implementación de estrategias de gestión sostenible, restauración ecológica, protección contra incendios, monitoreo constante y una mayor investigación, es posible mitigar algunos de estos efectos y aumentar la resiliencia de estos ecosistemas vitales.

4. LA GESTIÓN FORESTAL COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN DE LOS BOSQUES AL CAMBIO CLIMÁTICO

El proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO está enfocado en mejorar la adaptación de los bosques de pino carrasco (*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.

1. MONITOREO CONTINUO

- El estudio y seguimiento de la idoneidad de un determinado emplazamiento en base a sus condiciones ambientales actuales y futuras para albergar el hábitat de los pinares ibéricos de *Pinus halepensis*, proporciona una información de gran valor para la planificación de acciones de gestión forestal adaptativa.
- El monitoreo continuo de la salud de los pinares mediante la detección y el seguimiento de los procesos de decaimiento o pérdida de vigor, permite a los gestores forestales emprender acciones de gestión forestal de carácter preventivo o mitigador de los efectos de dichos eventos.

2. MIGRACIÓN ASISTIDA

- La migración asistida implica la reubicación de especies forestales a áreas donde las condiciones climáticas serán más favorables en el futuro. Esta técnica es crucial para asegurar la supervivencia de especies que no pueden desplazarse naturalmente a la velocidad necesaria para adaptarse a las condiciones cambiantes.
- En LIFE ADAPT-ALEPPO se han seleccionado ejemplares de pino carrasco de distintas regiones de procedencia, adaptados a condiciones más secas y se han plantado en áreas preseleccionadas que serán más adecuadas en el futuro. Esto ayudará a crear poblaciones más resilientes y asegura la supervivencia a largo plazo de la especie.

3. SILVICULTURA DE BASE ECOHIDROLÓGICA

- Este enfoque se centra en gestionar los bosques para mejorar los procesos hidrológicos, promoviendo una mayor infiltración de agua, reduciendo la escorrentía y conservando el suelo.
- En LIFE ADAPT-ALEPPO se han implementado de prácticas como la reducción moderada del número 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, favorece la recarga de acuíferos. Este aumento del estado hídrico del ecosistema impacta en otros factores como el aumento del 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 incendios forestales por una mayor hidratación del sistema.

4. 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.
- El 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.

5. 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 de la regeneración frente a nuevas perturbaciones, como su capacidad adaptativa frente a un escenario de aridificación climática. Para ello, se ha reducido la competencia intraespecífica en interespecífica, favoreciendo la diversificación de las masas desde estadios tempranos de desarrollo.

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.



5. IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE SELVICULTURA ADAPTATIVA EN REGENERACIÓN POST INCENDIO DE PINO CARRASCO

5.1. BASES CIENTÍFICO-TÉCNICAS



Los bosques de *Pinus halepensis* Mill. (pino carrasco) se caracterizan por una alta capacidad regenerativa, potenciada por su mecanismo de **serotinia**. Esta adaptación promueve que parte de las piñas permanezcan cerradas tras alcanzar su madurez (aunque algunas se abren y dispersan en ausencia de fuego), y que, al someterse a altas temperaturas durante incendios forestales y sequías severas y prolongadas, se abran y liberen semillas. Sin embargo, esta estrategia adaptativa, implica que en condiciones que promuevan su éxito post incendio, se generen **densidades extremadamente altas** en poco tiempo por baja competencia interespecífica, alcanzando en algunos casos situaciones con más de 100.000 pies ha⁻¹ regeneradas justo tras el incendio (masas coetáneas con hiperdensidad). Dicho exceso de densidad provoca:

- Alta competencia intraespecífica: La superpoblación limita la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes y luz) para cada individuo, resultando en un crecimiento subóptimo y, en consecuencia, en un deterioro de la calidad del ecosistema.
- Aumento de la continuidad horizontal y vertical de combustible: Una masa forestal excesivamente densa facilita la propagación del fuego, incrementando el riesgo de incendios de gran intensidad y dificultando la contención de futuras perturbaciones.
- Disminución de la diversidad estructural y florística: La homogeneidad en la composición y estructura limita la capacidad del ecosistema para hacer frente a variaciones climáticas extremas, aumentando su vulnerabilidad frente a eventos extremos como sequías prolongadas, olas de calor e incendios, cuyos regímenes se han visto alterados debido al cambio climático y los cambios en el uso del suelo, haciéndose más intensos, frecuentes y extensos.

Estos factores hacen imprescindible la aplicación de técnicas de manejo forestal adaptativo que permitan transformar la estructura de estos rodales, reduciendo la densidad a valores óptimos y promoviendo la heterogeneidad en la composición y distribución espacial de los individuos.

La silvicultura adaptativa al cambio climático se erige como una respuesta integral frente a los retos que plantea el cambio climático y el cambio de régimen de los incendios forestales. Sus principales objetivos son:

- Optimizar la estructura del bosque: Mediante intervenciones dirigidas a la adecuación de la densidad del arbolado a la calidad de estación, se pretende mejorar el acceso a recursos esenciales para el crecimiento de los árboles remanentes. Esto se traduce en una mayor disponibilidad de luz y agua, lo que incrementa el vigor y la tasa de crecimiento de los individuos.
- Reducir la vulnerabilidad al fuego: La eliminación de una parte significativa de la biomasa reduce la continuidad de combustible, lo que puede mitigar la propagación y la intensidad de futuros incendios.
- Fomentar la diversidad funcional y estructural: Al promover la regeneración de especies acompañantes y la diversificación de los rodales, se mejora la estabilidad y la capacidad del ecosistema para absorber perturbaciones, facilitando una respuesta adaptativa frente a variaciones climáticas.

En la práctica, estas intervenciones se implementan mediante técnicas de claros selectivos para la creación de espacios abiertos y la diversificación de procedencias en plantaciones, integrando conceptos de migración asistida para futuras condiciones climáticas. El uso de estas técnicas no solo mejora las condiciones de crecimiento para los árboles sobrevivientes, sino que también establece un marco de manejo más sostenible y resiliente en el tiempo.

Los claros se definen como cortas parciales de árboles con el objetivo de mejorar la estructura, estabilidad y calidad de la masa forestal. Estas prácticas implican eliminar los pies peor conformados, mejorar la composición específica y favorecer el crecimiento de los pies remanentes.

Por tanto, a través de los claros de muy alta intensidad, se busca reducir la competencia intraespecífica, aumentar el vigor individual de los árboles remanentes, mejorar el estado sanitario del rodal, aumentar la biodiversidad, mitigar los efectos negativos de los incendios y mejorar la provisión de servicios ecosistémicos, como la regulación del ciclo del agua, la conservación del suelo y el almacenamiento de carbono.

La aplicación de estas técnicas dentro del marco del proyecto puede ayudar a mejorar la salud y resiliencia a largo plazo de los bosques de pino carrasco afectados por incendios forestales y a prepararlos para enfrentar desafíos futuros relacionados con el cambio climático, como son los incendios cada vez más severos y recurrentes, eventos prolongados de sequía, olas de calor y aridificación.



IMAGEN 1. COMPARACIÓN DEL ESTADO DEL RODAL ANTES (ARRIBA) Y DESPUÉS (ABAJO) DEL TRATAMIENTO SILVÍCOLA EN LA PARCELA DEMOSTRATIVA DE ALMANSA (CASTILLA-LA MANCHA).

5.2. SISTEMAS FORESTALES OBJETO DE APLICACIÓN Y RECOMENDACIONES GENERALES

Las técnicas de selvicultura adaptativa orientadas a la regeneración post-incendio del pino carrasco son especialmente recomendables en rodales que presentan uno o varios de los siguientes rasgos:

- **Altas densidades post-incendio:** Áreas en las que, tras incendios intensos, la capacidad serótina de *Pinus halepensis* ha generado regeneraciones masivas.
- **Ecosistemas degradados o con regeneración desordenada:** Sistemas forestales en los que la regeneración natural, aunque abundante, ha derivado en un rodal poco estructurado y homogéneo, es decir, sin apenas diferenciación en altura y diámetro de los árboles, y con una distribución espacial densa y uniforme. Esto se observa, por ejemplo, en zonas que han experimentado incendios recurrentes.
- **Zonas con condiciones edafológicas y topográficas adversas:** Áreas con pendientes pronunciadas, presencia de afloramientos rocosos o suelos erosionados, donde la regeneración natural es difícil y la intervención para crear claros y reducir la densidad se vuelve crucial para mejorar la captación de agua y nutrientes, favoreciendo la supervivencia y el desarrollo de los individuos.
- **Sistemas con riesgo elevado de propagación de incendios:** Bosques donde la continuidad del combustible (por la alta densidad de material leñoso y vegetación) facilita la propagación del fuego. La aplicación de técnicas de manejo adaptativo en estos sistemas permite romper dicha continuidad y, de este modo, disminuir la intensidad y extensión de futuros incendios.

5.3. DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS EN EL PROYECTO

5.3.1. DISEÑO DE LAS ACTUACIONES

Los tratamientos se han realizado en pinares de *Pinus halepensis*, con un alto nivel de regeneración (hiperdensos), tras haber sufrido grandes incendios, aproximadamente entre 15 y 20 años después de dicha perturbación (algunos casos hasta 30 años).

Estos tratamientos, han consistido en claros de alta intensidad, reduciendo al menos el 80% de la densidad inicial. Se han obtenido dos tipos de densidad final:

- Tipo 1: entre 1200 y 900 pies ha⁻¹.
- Tipo 2: entre 2000 y 1300 pies ha⁻¹.

En este proyecto, los rodales de tratamiento post-incendio seleccionados, tienen un área mínima de 2 ha. Los rodales de tratamiento tienen asociados un rodal control complementario de la misma masa forestal con la misma dimensión y condiciones fisiográficas similares donde no se ha realizado el tratamiento selvícola.

En cada rodal de 2 ha, se instalan 3 parcelas permanentes de 10x10 metros que han sido marcadas con estacas, balizas, cintas, o el método que mejor se ajuste para realizar mediciones a lo largo del tiempo. La monitorización se realiza antes y después de la ejecución del tratamiento, con un seguimiento anual de las parcelas.

En la primera medición pretratamiento, si la cobertura vegetal dificulta el muestreo, el tamaño de las parcelas puede reducirse a 2x2 metros o incluso 1x1 metro, según sea necesario. Tras la aplicación del tratamiento, el tamaño estándar de las parcelas es de 10x10 metros.



IMAGEN 2. BOLSA CON PIÑAS DE DISTINTOS TIPOS DE EDAD.



IMAGEN 3. BOLSA DE TÉ ENTERRADAS.

Las zonas de actuación se han caracterizado mediante:

- Conteo del número de pies.
- Transectos de vegetación. Para cada parcela de 10x10 m se anota la vegetación existente y su cobertura en dos transectos lineales de 10 m, utilizando el método de intercepción en línea de Canfield (1941).
- Datos dasométricos de todos los pies de pino carrasco. Se mide la altura total y diámetro normal. Opcionalmente puede medirse el diámetro base, altura de copa y diámetro de copa.
- Banco aéreo de semillas a largo plazo. Se estima el banco de semillas en copa mediante:
 - Conteo del número de piñas serótinas/abiertas de cada individuo, para conocer el potencial reproductivo de la masa.
 - Recolección de 3-6 piñas de cada tipo de edad (nueva o verde, madura, serótina y abierta), para conocer el estado y contenido de semillas por piña.
- Viabilidad de semillas. Las semillas potencialmente viables (aquellas que no floten en agua) se someten al test de tetrazolio.
- Teabag index: El índice de las bolsas de té, evalúa la tasa de descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo. Se realiza enterrando bolsas de dos tipos de té específicos: Té Verde Lipton (EAN 87 22700 05552 5 o EAN 87 10908 90359 5), y Rooibos de Lipton (EAN 87 22700 18843 8). Estas bolsas, sin utilizar, se entierran a 5 cm de profundidad, durante un periodo de tiempo, para después desenterrarlas y pesar la cantidad de materia orgánica descompuesta.

Todas estas acciones se desarrollan en los protocolos de seguimientos de las acciones (D3.01)

En total se han desarrollado trabajos de gestión adaptativa post incendio en 9 rodales ubicados en pinares distribuidos a lo largo del área de distribución del subtipo 42.841 (pinares ibéricos de pino carrasco) del Hábitat 9540 de la Directiva Hábitats (Anexo I) de la región Mediterránea, cubriendo una superficie de 36.5 ha.

5.3.2. PROTOCOLO DE SEGUIMIENTO

La metodología utilizada para monitorear los cambios en la composición, estructura y dinámica de la vegetación consiste en el seguimiento anual mediante transectos de vegetación y dasometría. Con ello, se evalúa la respuesta de la vegetación ante las intervenciones de manejo forestal, respecto a aquellas áreas control que no han sido intervenidas.



INDICADORES DE SEGUIMIENTO

Los siguientes indicadores, proporcionarán una visión integral de cómo las intervenciones de manejo forestal están afectando la salud y funcionalidad del ecosistema tratado. Mediante los datos recolectados, se ajustarán las prácticas de manejo para optimizar la sostenibilidad y resiliencia del bosque.

Crecimiento y productividad.

- Altura de los árboles. Medida de la altura promedio dentro de las parcelas para evaluar el crecimiento vertical.
- Diámetro de tronco a la altura del pecho (DAP). Monitoreo del incremento diámetro, como indicador directo de la productividad.
- Incremento en biomasa. El incremento anual de biomasa es una medida de la productividad general del bosque.

Vulnerabilidad y resiliencia.

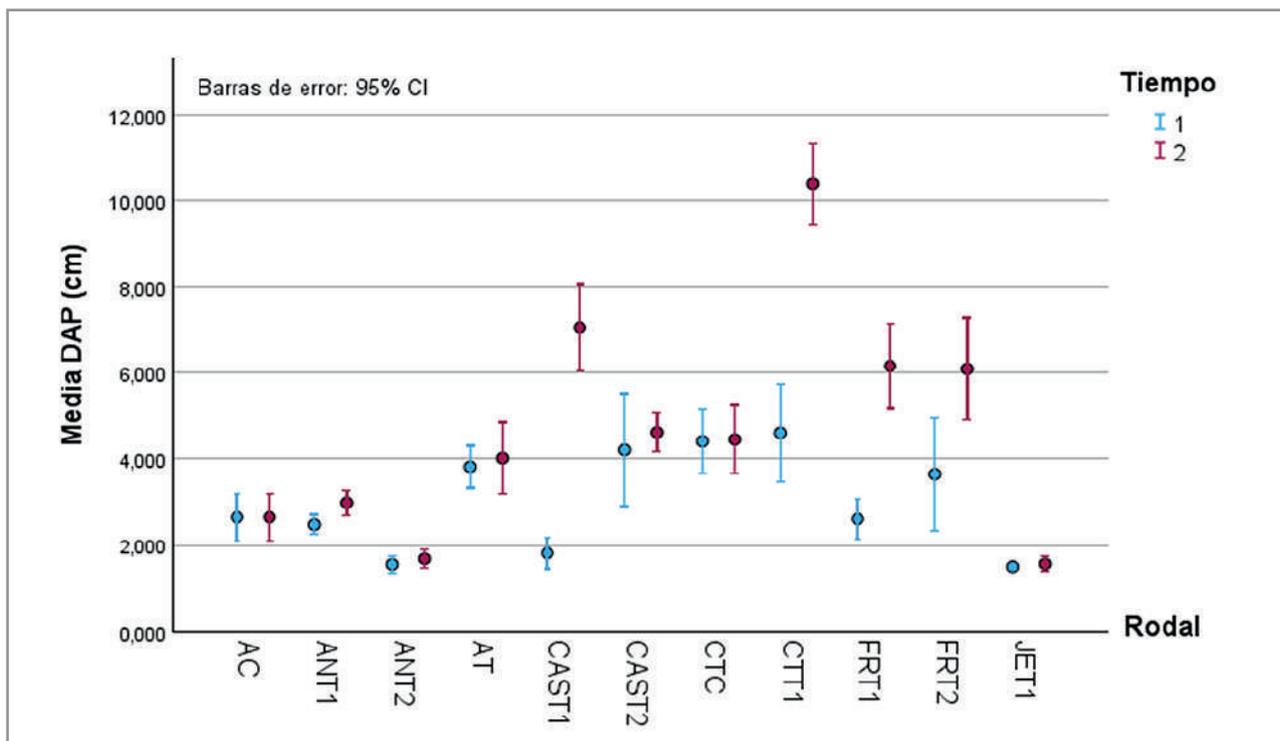
- Tasa de mortalidad de árboles. Monitorear la tasa de mortalidad para identificar posibles factores de estrés y evaluar la resiliencia del bosque.
- Incidencia de plagas y enfermedades. Evaluar la presencia de plagas y enfermedades que afecten a la vegetación.

Diversidad.

- Riqueza de especies. Conteo del número de especies diferentes en los rodales de muestreo.
- Índices de diversidad. Cálculo de índices (Shannon y Simpson) para evaluar la diversidad específica del bosque.
- Densidad específica. Análisis de la densidad de especies presentes para identificar cambios en la comunidad vegetal.

5.3.3. RESULTADOS

Los resultados preliminares de LIFE ADAPT-ALEPPO evidencian que el manejo adaptativo post-incendio es una herramienta clave para mejorar la resiliencia de los bosques mediterráneos de *Pinus halepensis*. La reducción de la densidad de pies de pino carrasco en el regenerado ha permitido optimizar el crecimiento de los árboles remanentes, disminuyendo la competencia extrema por recursos y favoreciendo individuos más vigorosos y mejor estructurados.



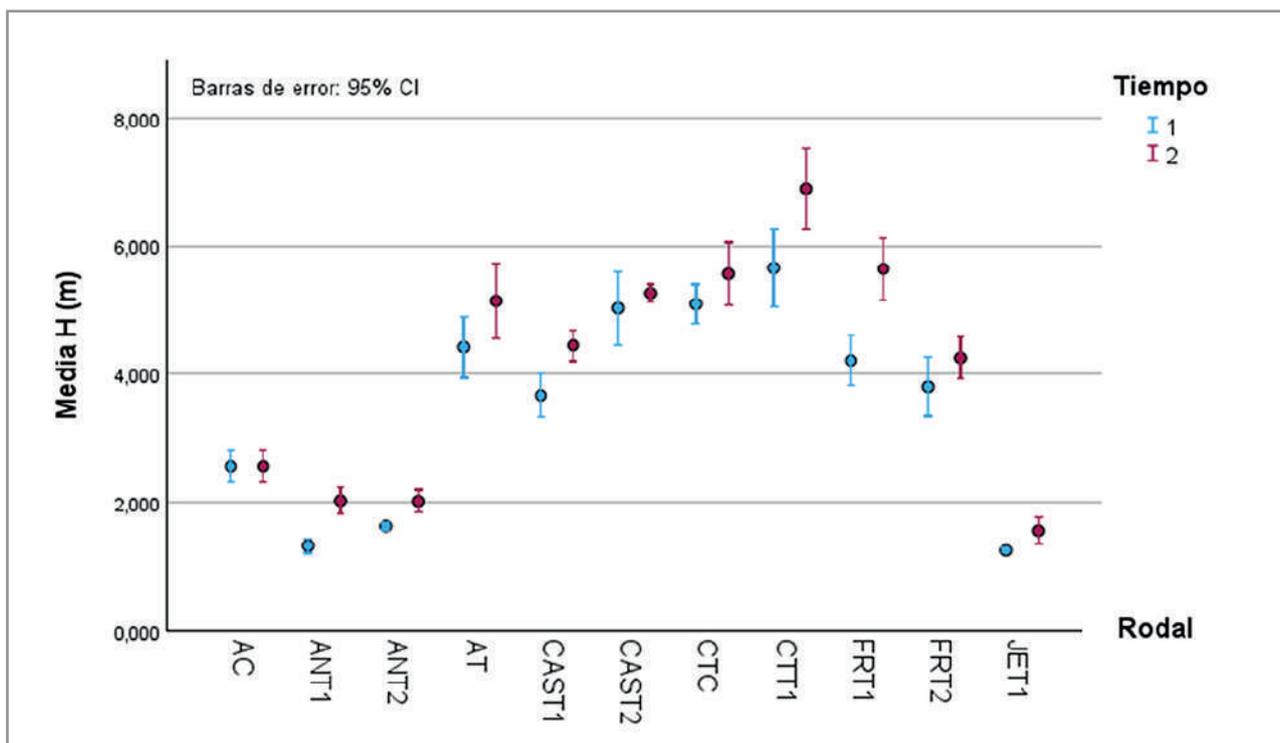


Figura 1 y 2. Crecimiento anual en altura (H) y en el diámetro a la Altura del Pecho (DAP) pretratamiento (tiempo 1) y posttratamiento (tiempo 2) según el rodal: Almansa control (AC), Almansa tratamiento tipo 1 (AT), Font Rubi tratamiento tipo 2 (FRT2), Font Rubi tratamiento tipo 1 (FRT1), Castiliscar Tratamiento tipo 1 (CAST1), Castiliscar Tratamiento tipo 2 (CAST2), Andilla tratamiento tipo 1 (ANT1), Andilla tratamiento tipo 2 (ANT2), Jérica tratamiento tipo 1 (JET1), Can Tobella tratamiento tipo 1 (CBT1).



IMAGEN 6. COMPARACIÓN DEL ESTADO DEL RODAL ANTES (IZQUIERDA) Y DESPUÉS (DERECHA) DEL TRATAMIENTO SILVÍCOLA EN LA PARCELA DEMOSTRATIVA DE ANDILLA (COMUNIDAD VALENCIANA).

Los primeros análisis del seguimiento de los rodales tratados indican que la disminución de densidades iniciales extremadamente altas (en algunos casos superiores a 40,000 pies ha⁻¹) ha mejorado la disponibilidad de luz y agua, lo que se traducirá en un crecimiento más equilibrado y en una menor vulnerabilidad ante nuevas perturbaciones. En particular, el tratamiento aplicado en Jérica (Tipo 1), con una densidad inicial superior a 100,000 pies ha⁻¹, ha sido fundamental para corregir una regeneración excesiva que comprometía la viabilidad del ecosistema a largo plazo.

La reducción de la carga de combustible disminuye el riesgo de incendios de alta intensidad. Además, la variabilidad en la respuesta de los rodales tratados resalta la importancia de adaptar los tratamientos a las condiciones específicas de cada zona.

Estos resultados refuerzan la necesidad de aplicar estrategias de gestión adaptativa en bosques post-incendio, promoviendo intervenciones tempranas que faciliten la regeneración estructural y funcional de los ecosistemas mediterráneos en un contexto de cambio climático.

5.3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis de costes de las intervenciones de manejo adaptativo en rodales post-incendio dentro del proyecto LIFE ADAPT-ALEPPO indica que, si bien la inversión inicial es significativa, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de riesgos y optimización del crecimiento forestal justifican plenamente la aplicación de estas técnicas.

Los costes de los tratamientos aplicados en la acción C5 varían en función de múltiples factores, entre ellos:

- La densidad inicial de regeneración en cada rodal.
- El tipo de intervención realizada
- La accesibilidad del terreno y la mecanización de los trabajos.
- La gestión y tratamiento de los residuos generados.

Estos costes se compensan con la disminución del riesgo de incendios de alta intensidad y la mejora en el crecimiento y resiliencia de los rodales, lo que se traduce en menores gastos futuros en la gestión de emergencias y en una mayor estabilidad del ecosistema a largo plazo.

5.4. RECOMENDACIONES TÉCNICAS

Los claros tempranos de alta intensidad en zonas incendiadas que presentan hiper regeneración, son una herramienta silvícola adaptativa a las nuevas condiciones que mejoran la resiliencia, estado sanitario y productividad de los bosques, y su aplicación debe ser cuidadosamente planificada y adaptada a las condiciones específicas de cada sistema forestal. En particular, las recomendaciones técnicas para los claros en zonas post-incendio de alta regeneración deben enfocarse en **asegurar una recuperación saludable y sostenible** del ecosistema forestal, mejorando significativamente la resiliencia del bosque y su capacidad de adaptación a futuras perturbaciones.

Evaluación inicial del sitio.

Antes de iniciar cualquier tratamiento, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva que incluya un inventario forestal para determinar la densidad de regeneración natural y la composición específica.

Planificación del claro.

Debe basarse en objetivos claros y específicos, como la reducción de la competencia, la mejora de la estructura del bosque, la disminución del combustible y el incremento de la resiliencia frente a futuros incendios. En este proceso hay que identificar y priorizar especies de alto valor ecológico para asegurar su conservación.

Método de claro.

En zonas donde no sé vaya a eliminar un porcentaje tan elevado de individuos, se deben considerar técnicas selectivas que aseguren la eliminación de individuos mal conformados, débiles o dañados, favoreciendo así el crecimiento de los más vigorosos y saludables.

Intensidad y frecuencia del claro.

La intensidad debe ser suficiente para reducir la densidad a un nivel que minimice la competencia por recursos. En áreas de alta regeneración se recomienda una reducción de la densidad del 90%. Para evitar impactos negativos en el ecosistema y permitir una adaptación gradual de la vegetación, se pueden realizar los claros periódicamente, permitiendo evaluar y ajustar las intervenciones en base a la respuesta del ecosistema.

Consideraciones ambientales.

Durante el proceso, se debe prevenir la erosión y proteger los recursos de agua cercanos. Para la protección de la fauna local, se evitarán las intervenciones durante la temporada de reproducción, especialmente de aves, pero se recomienda la evaluación de cada lugar en particular. Los residuos de biomasa deben gestionarse, utilizando métodos como el astillado o la quema controlada para evitar la acumulación de material inflamable.

Monitoreo y adaptación.

El monitoreo es esencial para evaluar la respuesta de la vegetación y el éxito del tratamiento. Debe incluir indicadores como el crecimiento de los árboles y la recuperación del ecosistema y la biodiversidad en general. En base a los resultados obtenidos con el monitoreo, se deben realizar ajustes para optimizar el tratamiento según las necesidades observadas.

Comunicación.

Informar e involucrar si es posible, a la ciudadanía, ya que puede asegurar un mayor apoyo y comprensión de las intervenciones, contribuyendo al éxito a largo plazo de los esfuerzos de recuperación forestal.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbero, M., Loisel, R., Quézel, P., Romane, F., & Richardson, D. M. (1998). Pines of the Mediterranean Basin. Ecology and Biogeography of Pinus. Cambridge University Press, Cambridge, pp 153-170.
- Cottrell, H. J. (1947). Tetrazolium Salt as a Seed Germination Indicator. *Nature* 1947 159:4048, 159(4048), 748-748. <https://doi.org/10.1038/159748a0>
- De Las Heras, J., Martínez-Sánchez, J. J., González-Ochoa, A. I., Ferrandis, P., & Herranz, J. M., 2002. Establishment of *Pinus halepensis* Mill. saplings following fire: effects of competition with shrub species. *Acta Oecologica*, 23(2), 91-97. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(02\)01138-4](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(02)01138-4)
- del Campo, A. D., Fernandes, T. J. G., & Molina, A. J., 2014. Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management? *European Journal of Forest Research*, 133(5), 879-894. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0805-7>
- Fernandes, T. J. G., Del Campo, A. D., Herrera, R., & Molina, A. J., 2016. Simultaneous assessment, through sap flow and stable isotopes, of water use efficiency (WUE) in thinned pines shows improvement in growth, tree-climate sensitivity and WUE, but not in WUEi. *Forest Ecology and Management*, 361, 298-308. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.11.029>
- Hernandez-Tecles, E., Osem, Y., Alfaro-Sanchez, R., & De Las Heras, J., 2015. Vegetation structure of planted versus natural Aleppo pine stands along a climatic gradient in Spain. *Annals of Forest Science*, 72, 641-650. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0490-9>
- Hewitt, N., Klenk, N., Smith, A. L., Bazely, D. R., Yan, N., Wood, S., MacLellan, J. I., Lipsig-Mumme, C., & Henriques, I., 2011. Taking stock of the assisted migration debate. *Biological Conservation*, 144(11), 2560-2572. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2011.04.031>
- Keuskamp, J. A., Dingemans, B. J. J., Lehtinen, T., Sarneel, J. M., & Hefting, M. M., 2013. Tea Bag Index: A novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(11), 1070-1075. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Ministerio de Transición Ecológica y reto demográfico (MAPAMA). <https://sig.mapama.gob.es/geoportail/>. Accessed 20 diciembre 2024.
- Moreno, M. T., Benito, L. F., Herrero, N., Domínguez, S., & Peñuelas, J. L., 2001. Estudio de nuevos métodos de determinación de la viabilidad de las semillas forestales: test de electroconductividad e índigo carmín. Comparación con el test del tetrazolio y su aplicación a *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*. Congreso Forestal Español. https://seforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/15608
- Moya, D., De Las Heras, J., López-Serrano, F. R., & Leone, V., 2008. Optimal intensity and age of management in young Aleppo pine stands for post-fire resilience. *Forest Ecology and Management*, 255(8-9), 3270-3280. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.067>
- Moya, D., Espelta, J. M., López-Serrano, F. R., Eugenio, M., & de las Heras, J., 2008. Natural post-fire dynamics and serotiny in 10-year-old *Pinus halepensis* Mill. stands along a geographic gradient. *International Journal of Wildland Fire*, 17(2), 287-292. <https://doi.org/10.1071/WF06121>
- Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., & Vallejo, R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *International Journal of Wildland Fire*, 17(6), 713-723. <https://doi.org/10.1071/WF07151>
- Resco De Dios, V., Fischer, C., & Colinas, C., 2007. Climate change effects on mediterranean forests and preventive measures. *New Forests*, 33(1), 29-40. <https://doi.org/10.1007/s11056-006-9011-x>
- 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. *Ecological Indicators*, 66, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.024>

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: The University of Illinois Press, 1-117.

Sousa-Silva, R., Verbist, B., Lomba, Â., Valent, P., Suškevičs, M., Picard, O., Hoogstra-Klein, M. A., 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.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.01.004>

Vitt, P., Havens, K., Kramer, A. T., Sollenberger, D., & Yates, E., 2010. Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological Conservation*, 143(1), 18-27.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2009.08.015>

Whittaker, R.H. (1977) Evolution of species diversity in land communities. In: Hecht, M.K. and Steere, B.W.N.C. Eds., *Evolutionary Biology*, Plenum Press, New York, 10, 1-67.



LIFE ADAPT-ALEPPO (LIFE20 CCA/ES/001809)

“ADAPTIVE MANAGEMENT OF MEDITERRANEAN PINUS HALEPENSIS FORESTS IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE”

GUÍA TÉCNICA



IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE SELVICULTURA ADAPTATIVA EN REGENERACIÓN POST INCENDIO DE PINO CARRASCO



Universitat
de Lleida



Universidad de
Castilla-La Mancha



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA