2025 | 16·20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1713

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

Organiza

¿Puede el silvopastoralismo con una aproximación regenerativa ser clave para reducir la vulnerabilidad de la media montaña mediterránea al cambio climático?

PASCUAL SÁNCHEZ, D. (1), PLA FERRER, E. (1), FORONDA VÁZQUEZ, A. (2), LANA-RENAULT MONREAL, N. (3), BARRANTES DÍAZ, O. (2), REINÉ VIÑALES, R. (2), PUEYO ESTAÚN, Y. (4), LORENZO LACRUZ, J. (3), RUIZ FLAÑO, P. (3), RETANA, J. (1-5)

(1) CREAF, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès).
(2) Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
(3) Departamento de Ciencias Humanas, Universidad de La Rioja, Logroño.
(4) Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC, Zaragoza.
(5) Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Cerdanyola del Vallès).

Resumen

Las zonas de media montaña mediterráneas se consideran altamente sensibles a los impactos del cambio climático a causa, entre otros, de la extensión y severidad de las sequías o la mayor frecuencia y severidad de incendios. Además, estas zonas han sufrido en las últimas décadas un importanteabandono rural, provocando una pérdida progresiva del paisaje en mosaico. Para revertir estas tendencias, se ha llevado a cabo un experimento de gestión forestal adaptativa combinado con pastoreo rotacional en un bosque donde la especie dominante es la encina en el noreste de Cataluña. Durante 4 años se realizó el seguimiento de variables ecológicas que permitieran evaluar los servicios ecosistémicos generados. La gestión silvo-pastoral favoreció la mejora del estado de salud del bosque (reducción de la decoloración y defoliación) y una reducción significativa del riesgo de incendio (mayor contenido hídrico de la vegetación y reducción del riesgo de fuego de copa). Además, la gestión silvo-pastoral llevó aun mayor contenido de humedad edáfica gracias a la cubierta herbácea establecida, sin que se observara un aumento significativo de la escorrentía o la erosión por efecto del ganado. Finalmente, la gestión silvo-pastoral favoreció el aumento de la cobertura de herbáceas, generando pastos herbáceos biodiversos y altamente nutritivos.

Palabras clave

Gestión forestal adaptativa, resiliencia, servicios ecosistémicos, abandono rural, ganadería extensiva.

1. Introducción

Las áreas de media montaña mediterránea del sur de Europa enfrentan una notable vulnerabilidad frente a diversos factores, tanto físicos como derivados de la actividad humana, siendo el cambio climático uno de los factores más destacados (GARCÍA-RUIZ et al., 2011; IGLESIAS et al., 2011). Hasta mediados del siglo XX, estos paisajes estaban configurados por un mosaico agro-silvo-pastoral que integraba una diversidad de usos del suelo. No obstante, el abandono de actividades primaria a mediados del siglo pasado generó una transformación

drástica del territorio, donde el mosaico tradicional fue abandonado y la revegetación natural ha dado paso a paisajes homogéneos dominados por bosques y matorrales (GARCÍA-RUIZ et al., 2020; FAYET &VERBURG, 2023). La homogeneización del paisaje desencadena múltiples impactos negativos, como la reducción de la disponibilidad hídrica al haber mayor transpiración de la vegetación, el incremento del riesgo de incendios forestales al haber mayor superficie forestal y con mayor densidad, la pérdida de biodiversidad o la disminución de recursos destinados al pastoreo (LASANTA et al., 2015). De igual manera, estas transformaciones comprometen los servicios ecosistémicos esenciales que ofrece la media montaña, como el suministro de agua, la capacidad de secuestro de carbono del suelo o el atractivo turístico (NADAL-ROMERO et al., 2021).

Por otra parte, la región mediterránea en general, y las zonas de montaña en particular, se consideran altamente sensibles al cambio climático. Las proyecciones disponibles predicen un calentamiento medio anual un 20% superior al valor medio mundial, y una disminución de la precipitación anual, generando periodos secos más largos (MEDECC, 2020). También se esperan cambios importantes en el caudal de los ríos (GARCÍA-RUIZ et al., 2011), en la productividad primaria neta y capacidad de sumidero de carbono de los bosques (VAYREDA et al. 2012) y en la severidad e intensidad de las sequías (VICENTE-SERRANO et al., 2020).

Los bosques son uno de los sistemas naturales terrestresmás vulnerables al cambio climático (SEIDL et al. 2014). En las últimas décadas, la superficie ocupada por bosques ha experimentado un aumento significativo en regiones mediterráneas del suroeste europeo, reemplazando áreas agrícolas y de matorral (VILÀ-CABRERA et al. 2017). Este cambio ha generado bosques densos y poco gestionados, altamente vulnerables a la sequía y los incendios (LINARES et al. 2009). El cambio climático intensifica estos riesgos, afectando la estructura, productividad y capacidad de almacenamiento de carbono de los bosques, así como aumentando la incidencia de plagas y enfermedades (LECINA-DÍAZ et al. 2021, TIJERIN-TRIVIÑO et al. 2025, THOM and SEIDL 2016). La gestión forestal se presenta como una estrategia esencial para mejorar la resiliencia de los bosques frente a estos desafíos que, combinada con la gestión pastoral, puede dar resultados interesantes como los que se muestran en este trabajo.

2. Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto combinado de la gestión forestal con criterios de adaptación al cambio climático y el pastoreo extensivo rotacional en la reducción de la vulnerabilidad del bosque frente a los impactos del cambio climático. Se busca cuantificar cómo esta estrategia silvo-pastoral influye en la reducción del riesgo de incendios, la resistencia a la sequía, el estado de salud del bosque, la respuesta hidrológica y la erosión del suelo, así como en las propiedades físico-químicas del suelo y la calidad, producción y biodiversidad del pasto.

3. Metodología

El trabajo se ha desarrollado en un bosque donde la encina es la especie dominante en el noreste de Cataluña, en la finca Requesens (Empordà, Girona). Se ha cuantificado el efecto de la gestión silvo-pastoral en el riesgo de incendio, la resistencia a la sequía, el contenido de humedad edáfica, la generación de escorrentía y erosión, y la calidad, producción y biodiversidad del pasto. Para ello, se llevó a cabo la gestión forestal en 2019, consistente en una clara baja de alta intensidad y desbroce de matorral, y se ha ido introducido el ganado vacuno una o dos veces al año durante un breve periodo de tiempo. Para evaluar el efecto de la gestión, se ha realizado el seguimiento de diferentes variables ecológicas durante 4 años, y se ha comparado con una zona control sin gestión.

3.1 Zona de estudio

Este trabajo se ha llevado a cabo en un bosque potencialmente vulnerable al cambio climático, ya sea por episodios previos de decaimiento forestal o porque tiene un elevado riesgo de incendio forestal. El bosque se encuentra en la finca privada de Requesens, en el Paraje Natural de Interés Nacional de l'Albera de la provincia de Girona (coordenadas UTM 495.869, 4.699.650). Según los propietarios de la finca, el bosque no se ha gestionado en los últimos 80 años (aproximadamente)

La encina (*Quercus ilex*) es la especie dominante en este bosque (59% del área basimétrica), con algunas especies acompañantes: alcornoque (*Quercus suber*), roble (*Quercus pubescens*), madroño (*Arbutus unedo*), arce común (*Acer campestre*), acebo (*Ilex aquifolium*) y algunos pies aislados de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y pino resinero (*Pinus pinaster*), entre otras. Las condiciones iniciales de este bosque se evaluaron en la zona control en mayo de 2020, cuantificando una elevada densidad, superior a 2.000 pies/ha, un área basimétrica de 36,2 m^2/ha, una fracción de cabida cubierta de 87% y una estructura irregular de rebrote. El diámetro normal medio de la encina era de aproximadamente 12,5 cm, mientras que el de las especies acompañantes alcanzaba los 17,6 cm. En cuanto a la altura media, la encina tenía una altura de aproximadamente 7,4 m.

En cuanto al sotobosque, la especie más abundante es el brezo blanco (*Erica arborea*), seguida por arbustos de madroño (*Arbutus unedo*), estepa o jara negra (*Cistus salviifolius*), encina (*Quercus ilex*) y zarzamora (*Rubus ulmifolius*). Las condiciones iniciales de este sotobosque se evaluaron en la zona control en mayo de 2020, cuantificando una cobertura arbustiva de 31,6%. El recubrimiento del suelo era principalmente de hojarasca (75%), seguido de piedras (3,6%) y herbáceas (2,8%). Se puede consultar una descripción más detallada de la localización y características de la zona de estudio en PASCUAL et al (2020).

3.2 Gestión forestal aplicada

La actuación se llevó a cabo en una superficie de 1,15 hectáreas de bosque de encina, a finales de 2019 (Figura 1). Las prácticas de gestión consistieron en una clara baja selectiva y el desbroce de matorral con el objetivo de reducir la densidad arbórea, promover estructuras maduras con árboles más grandes y una mayor

discontinuidad horizontal y vertical del combustible, y generar espacios abiertos que permitieran la llegada de más radiación al suelo y favorecer así el desarrollo de la cubierta herbácea.

El **área gestionada** fue a su vez dividida en dos zonas, en función de la gestión de los residuos de corta y la gestión del ganado:

- Una zona gestionada donde se permite la entrada del ganado (5.520 m^2). El objetivo de esta zona es monitorizar la evolución de la gestión forestal en relación con la vulnerabilidad al cambio climático cuando se utiliza la ganadería extensiva con un manejo rotacional para mantener los efectos de la gestión. Cuando se seleccionó esta zona, se constató que la regeneración natural de pastos bajo arbolado era complicada, ya que la gestión del ganado en la finca los últimos años había favorecido la compactación del suelo y la desaparición de la vegetación herbácea. Por lo tanto, fueron necesarias algunas acciones para recuperar los pastos: la zona fue vallada, se extrajeron los restos de corta más gruesos de forma manual para su venta como leña, se acumularon los restos más pequeños fuera de la zona, se introdujo a las vacas un par de días para que consumieran los rebrotes de encina y brezo y, por último, se realizó una siembra manual y aleatoria de una mezcla específica de semillas de pasto (raigrás (*Lolium perenne*, 50% en peso), dáctilo (*Dactylis glomerata*, 30%) y alfalfa (*Medicago sativa*, 20%)) en noviembre de 2019.
- Una zona gestionada donde no se permite la entrada del ganado (5.978 m^2). El objetivo de esta zona es monitorizar la evolución de la gestión forestal en relación con la vulnerabilidad al cambio climático tal y como se ha aplicado tradicionalmente, sin eliminar los restos de corta ni utilizar la ganadería extensiva. En esta zona se dejaron los restos de corta después de la actuación y se restringió la entrada del ganado.

Finalmente, se seleccionó un **área sin intervención o control** de 1,47 ha, cercana a la zona gestionada y con condiciones similares en cuanto a ubicación, altitud y orientación. Esta zona no ha sido gestionada ni pastoreada, y su objetivo es monitorizar la evolución del bosque sin ningún tipo de intervención.

La cuantificación del tratamiento se ha realizado comparando la zona control con la zona gestionada, en un inventario llevado a cabo en mayo de 2020. El tratamiento implicó una reducción de aproximadamente el 60% de la cobertura aérea, el 62% del área basimétrica y el 66% de la densidad (número de árboles por hectárea), lo que resultó en una mayor apertura del dosel arbóreo para estimular la producción de pastos y la regeneración. A nivel de sotobosque, el efecto de la gestión es diferente en las dos zonas definidas. En la zona donde se permite la entrada del ganado, y tras la eliminación de restos de corta y siembra de herbáceas, se ha reducido la cobertura arbustiva en un 89,9% y el bio-volumen (resultado de multiplicar el porcentaje de recubrimiento de cada especie presente en el sotobosque por su altura máxima, medida en transectos de biomasa)un 98,6%, y la cobertura herbácea ha pasado de 3,6% al 57,7%. En la zona donde no se permite la entrada del ganado y se dejan los restos de corta, se ha reducido la cobertura arbustiva en un 18,1% (ya que la mayoría de los arbusto y árboles

cortados han vuelto a rebrotar) y el bio-volumen un 84,0%, la cobertura herbácea ha pasado de 3,6% al 16,0% y los restos muertos han pasado del 0,0% al 37,0%. Por tanto, se puede concluir que la actuación realizada ha sido de alta intensidad, con el objetivo de estimular el desarrollo de la cubierta herbácea gracias a una mayor llegada de radiación al suelo y el aporte de semillas herbáceas.

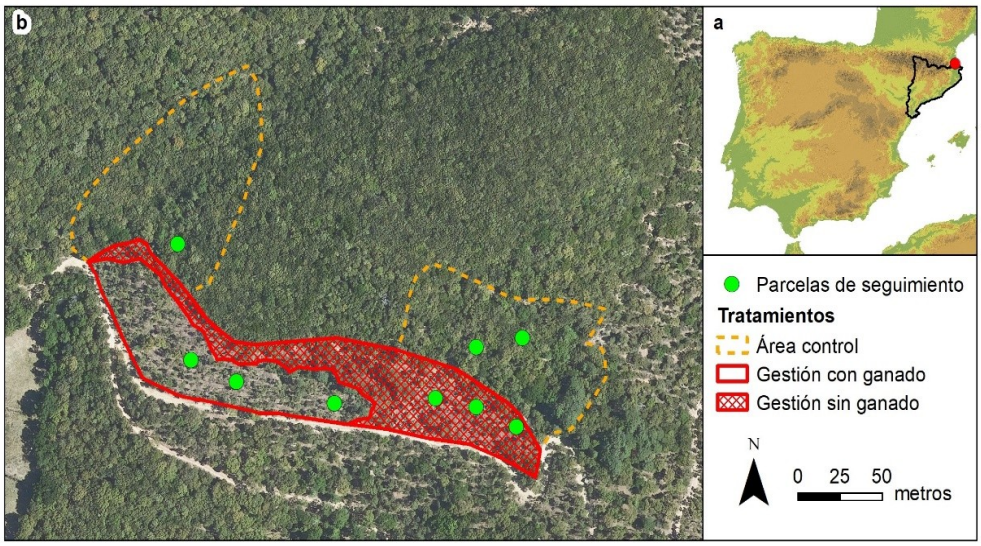

Figura 1. Localización de la zona de estudio y delimitación de las zonas de tratamientos (control, con gestión forestal y ganado, con gestión forestal y sin ganado. a) Localización de la zona de estudio (punto rojo) en la península ibérica y en Cataluña. b) Detalle de la zona de estudio, señalando las tres zonas y la localización de las parcelas circulares de seguimiento.

3.3 Gestión ganadera aplicada

La finca donde se realizó el estudio contaba con un rebaño de vacas, mezcla de vacas autóctonasde la Albera y vacas introducidas. La finca contaba con un pasado ganadero importante, con más de mil cabezas, que se ha ido reduciendo a medida que se abandonaba la actividad y desaparecían los pastos, hasta llegar a las 100 cabezas actuales, y a la introducción en 2022 de cabras. Al tratarse de una finca muy forestal, el objetivo del trabajo era recuperar pastos bajo bosque, con una aproximación de ganadería regenerativa. Este tipo de ganadería se basa en utilizar cargas ganaderas altas durante períodos de tiempo relativamente cortos combinados con largos períodos de reposo de los pastos para asegurar la productividad y calidad del suelo y el bienestar de los animales. Este uso está especialmente recomendado para recuperar el potencial forrajero y retrasar la regeneración de matorrales.

Con este enfoque de ganadería regenerativa, se planteó un pastoreo rotacional, teniendo en cuenta el área disponible, la tipología de ganado y el pasto existente. Se dividió el área gestionada con ganado, de 5.520 m^2, en cinco parcelas similares de 1.000 m^2 cada una. En cada parcela, se introdujeron aproximadamente 25 vacas y terneros, durante 48 horas, dos veces al año (en primavera y otoño). Esta carga ganadera se definió juntamente con la propiedad y con expertos en la materia. Este manejo del ganado se realizó en 2020 y 2021, los dos años posteriores no fue

posible debido a que la sequía impidió el rebrote de las herbáceas y no había alimento suficiente para la entrada del ganado.

3.4 Seguimiento de los efectos de la gestión forestal y ganadera

Una vez realizada la clara baja selectiva y el desbroce de matorral, se instaló una red de seguimiento de una serie de parámetros para evaluar la efectividad de los tratamientos. El objetivo de esta red de seguimiento es cuantificar en qué medida esta gestión silvo-pastoral reduce la vulnerabilidad del bosque a los impactos del cambio climático y permite mejorar la sostenibilidad de la explotación ganadera en que se ubican las acciones.

La red de seguimiento se instaló en mayo de 2020, cuando se realizó un inventario inicial que permitió cuantificar los tratamientos realizados. Para ello, se instalaron tres parcelas de seguimiento permanentes circulares de 10 m de radio en cada zona de tratamiento (área control, zona gestionada con entrada de ganado y zona gestionada sin entrada de ganado). Las parcelas se marcaron de manera permanente en su punto central para poder hacer el seguimiento periódico. En estas parcelas se ha llevado a cabo un seguimiento anual entre mayo de 2020 y noviembre de 2023 (4 años), poniendo especial énfasis en el período estival. La Tabla 1 detalla el seguimiento realizado, a partir de las siguientes variables:

- Bosques:
  - Estructura del bosque: Distribución y características de los árboles individuales
  - Continuidad del combustible: Distribución espacial y en altura de los diferentes estratos del combustible (aéreo, de escala y superficial), con un efecto directo en la propagación del fuego.
  - Humedad del combustible: Contenido de agua presente en la vegetación durante la temporada seca (verano), que se relaciona con la inflamabilidad y combustibilidad de la vegetación y, por tanto, con el riesgo de incendio.
  - Decaimiento forestal: Indicador del estado de salud del bosque, que cuantifica el efecto del cambio climático (principalmente las sequías) u otras amenazas relacionadas (plagas, enfermedades, etc.) en el bosque.
- Suelos:
  - Humedad edáfica: Contenido de agua en el suelo, medido a 20 cm, que indica el agua disponible para la vegetación, importante durante el periodo seco.
  - Características del suelo: Características fisicoquímicas del suelo, en particular se estudia el cambio en el carbono orgánico y nitrógeno del suelo, para cuantificar el efecto de los tratamientos en el secuestro de carbono.
- Pastos:
  - Biodiversidad: Riqueza de especies, es decir, el número de especies vegetales presentes en las parcelas y la cobertura de cada especie.
  - Producción: Biomasa palatable seca de las especies herbáceas y leñosas.
  - Calidad nutritiva: Valor Pastoral, parámetro que depende de la calidad específica de cada especie presente en el pasto.

- Escorrentía y erosión:
  - Respuesta hidrológica: Coeficiente de escorrentía y tasa de infiltración.
  - Erosión del suelo: Concentración y producción de sedimentos.

Tabla 1. Variables de seguimiento, indicadores utilizados, frecuencia del seguimiento y metodología usada.

Variable de seguimiento	Indicadores de seguimiento	Frecuencia	Metodología									
Bosques	Estructura del bosque	Densidad (pies/ha)	Distribución por clase diamètrica	Altura (m)	Fracción de cabida cubierta total (%)	Inicial (2020)	Después del tratamiento (2020)	Final (2023)	Inventario forestal: En cada zona de tratamiento y control se instalan tres parcelas de seguimiento permanentes circulares (de 10 m de radio). En cada parcela se cuenta el número de árboles/rebrotes de cada especie y se mide el diámetro a la altura del pecho (DBH) y la altura de cada árbol.		
Continuidad del combustible	Bio-volumen de sotobosque (m	^{3}	/ha)	Recubrimiento del combustible (%)	Altura del combustible (m)	Distancia entre tipos de combustible (m)	Fracción de cabida cubierta aérea (%)	Inicial (2020)	Después del tratamiento (2020)	Anual (2021-22-23)	Transectos de biomasa: En cada parcela de seguimiento se definen dos transectos de biomasa en franja (10 m) para estimar el bio-volumen del sotobosque. En cada transecto se miden la altura máxima y la cobertura de las especies de matorral en parcelas cuadradas de 50x50 cm.	Identificación y clasificación del combustible: Valoración a nivel de parcela de seguimiento del riesgo de propagación del fuego de copas siguiendo la metodología del Manual CVFoC (PIQUÉ et al. 2011).
Humedad del combustible	Contenido relativo de agua (RWC)	Nueve medidas al año durante el verano durante 4 años (2020-21-22-23)	Muestreo de combustible forestal: Se recoge una muestra aleatoria de ramas de 5 árboles y 5 arbustos mediante una pértiga de poda en cada tratamiento. Las muestras se conservan en una caja fría hasta su procesamiento. En el laboratorio, se pesan para obtener el peso fresco (W) y a continuación se secan en el horno a 80 ºC durante 24 horas y se pesan para determinar el peso seco (DW). Después se calcula RWC.									

Decaimiento forestal	Decaimiento forestal (%)	Mortalidad (%)	Defoliación (%)	Decoloración (%)	Inicial (2020)	Después del tratamiento (2020)	Anual (2021-22-23)	Clave de identificación del declive forestal: Estimación visual del porcentaje de mortalidad de los árboles, el porcentaje de defoliación (hojas no presentes en relación con las hojas presentes en un árbol sano) y el porcentaje de decoloración del follaje (hojas no verdes en relación con las hojas verdes en un árbol sano) de 10 árboles por parcela (BANQUÉ et al 2013).
Suelos	Humedad edáfica	Contenido de agua del suelo	En continuo (2020-2024)	Instalación de 2 sensores de humedad a 20 cm de profundidad y data loggers en cada parcela de seguimiento.				
Características del suelo	Contenido de carbono y nitrógeno	Inicial (2020)	Final (2023)	Muestreos de suelo: Toma de muestras de suelo a dos profundidades (0-10cm, > 10cm). Se toman tres submuestras por área, que se combinan en una muestra compuesta.	Análisis de suelo en laboratorio para determinar las principales variables edáficas.			
Pastos	Biodiversidad	Riqueza de especies	Cobertura	Composición	A finales de primavera	Inicial (2020)	Final (2023)	Muestreos de vegetación: En cada parcela de seguimiento, se realizan 4 subparcelas cuadradas (1*1 m), donde se cuenta el número de especies presentes y la cobertura que ocupa cada una, y el porcentaje de suelo desnudo presente.

Producción	Producción (kg DM/ha)	A finales de primavera	Inicial (2020)	Final (2023)	Muestreos de vegetación: En cada parcela, se realizan 4 subparcelas cuadradas (0.5*0.5 m), donde se corta la vegetación a ras del suelo utilizando tijeras mecánicas. Las muestras se colocan en bolsas de plástico y se almacenan en un congelador a -18 ºC.	Análisis de muestras: Se descongelan las muestras y se limpian. Se separa en especies herbáceas y leñosas, diferenciando entre las especies arbustivas. Se secan en horno a 65 °C durante 48 horas y se pesan para estimar la producción de biomasa seca (t/ha). Se muelen en un molino y se tamizan hasta obtener un tamaño de partícula fina (<1 mm). Se estima el Valor Pastoral según el método de Daget y Poissonet (1972).
Calidad nutritiva						Valor pastoral

Esco-rrentía y erosión	Respuesta hidrológica y erosión del suelo	Coeficiente de escorrentía	Tasa de infiltración	Concentración y producción de sedimentos	Simulaciones anuales (2020-21-22-23)	Ensayos de simulación de lluvia: Uso de simulador de lluvia portátil. En la parte superior se instala una boquilla que genera una intensidad de lluvia moderada - alta. La precipitación se registra con dos pluviómetros. Bajo el simulador se coloca un anillo circular metálico con una superficie de 0,25 m^2	, con un tubo de desagüe para la recogida de muestras de escorrentía, situado pendiente abajo a nivel de superficie. En función del volumen de agua, sedimentos y el tiempo, se estiman diversas variables.

4. Resultados

A continuación, se resumen los resultados obtenidos en los cuatro años de seguimiento de las variables ecológicas seleccionadas. Aunque cuatro años puede no ser suficiente para observar cambios significativos en algunas variables forestales, sí que pueden apreciarse tendencias y cambios relevantes en algunas de las variables.

4.1 Seguimiento del bosque

Diferentes variables nos permiten evaluar si se han producido cambios en el bosque a lo largo de los cuatro años. Atendiendo a la estructura del bosque, se observa un incremento del área basimétrica en el área gestionada, especialmente en la zona con ganado, mientras que en el área control, el área basimétrica se reduce ligeramente (Tabla 2). La densidad se incremente ligeramente en las dos zonas gestionadas, mientas que la FCC apenas cambia en ninguno de los tratamientos. Sin embargo, en ningún caso se observan diferencias significativas entre las áreas de tratamiento, debido al poco tiempo transcurrido entre los dos inventarios y la lenta dinámica del bosque.

Tabla 2. Variables de estructura del bosque, identificando el valor inicial en 2020, el

valor final en 2023 y el cambio, para el área basimétrica, la densidad y la fracción de cabida cubierta (FCC).

Área basimétrica (m2/ha)	Densidad (pies/ha)	FCC (%)							
Área de tratamiento	Inicial 2020	Final 2023	Cambio	Inicial 2020	Final 2023	Cambio	Inicial 2020	Final 2023	Cambio
36,2	35,8	-0,3	2.090,2	2.090,2	0,0	86.7	86.7	0.0	
16,4	20,2	3,8	785,2	870,0	84,9	43.3	38.3	-5.0	
11,2	13,0	1,7	615,4	668,5	53,1	26.7	30.0	3.3	

La continuidad del combustible forestal se cuantifica mediante dos indicadores. Por un lado, los transectos de biomasa nos permiten estimar cambios en el bio-volumen de sotobosque. La Tabla 3 muestra los valores de bio-volumen iniciales y finales. Mientras que en el área control el bio-volumen ha bajado, posiblemente por la falta de llegada de luz al suelo con valores de fracción de cabida cubierta cercanas al 90%, en la zona gestionada, el bio-volumen del sotobosque ha aumentado. Se observa que, en parte, este crecimiento se frena con la entrada de ganado, que se alimenta de los rebrotes, aunque las diferencias entre las áreas gestionadas no son significativas. En segundo lugar, se ha evaluado el riesgo de propagación del fuego de copas. Al inicio del trabajo, todas las áreas tenían un riesgo de fuego de copas moderado. Después del tratamiento y hasta el final de seguimiento, el riesgo de fuego de copa se ha reducido a un nivel bajo en el área con ganado, mostrando que la actividad ganadera puede tener un papel relevante en mantener estructuras de baja vulnerabilidad al fuego.

Tabla 3. Variables de la continuidad de combustible forestal, identificando el valor inicial en 2020 y el final en 2023, para el bio-volumen de sotobosque, el modelo de continuidad de combustible y el riesgo de fuego de copa.

Transectos de biomasa		Riesgo de propagación del fuego de copa						
Bio-volumen (m3/ha)	Modelo de continuidad de combustible	Riesgo de fuego de copas						
Área de tratamiento	Inicial 2020	Final 2023	Cambio	Inicial 2020	Final 2023	Inicial 2020	Final 2023	
189.0	56.9	-132.2	B9	B9	Moderado	Moderado		
2.6	15.0	12.4	B16	C16	Moderado	Bajo		
30.2	56.5	26.3	B16	B16	Moderado	Moderado		

El decaimiento forestal se cuantifica como el grado de defoliación, decoloración o mortalidad de 10 árboles por parcela de seguimiento. En este caso, al ser un seguimiento anual, se dan los valores medios de cada año. Los datos muestran que

el decaimiento forestal ha empeorado a lo largo de los 4 años de seguimiento, siendo mayor este cambio en el área control y el área gestionada sin ganado (Tabla 4). La Figura 2 muestra la evolución temporal del decaimiento, las líneas de tendencia muestran que, la gestión silvo-pastoral puede ralentizar la tendencia al decaimiento, siendo las diferencias significativas entre la gestión silvo-pastoral y la gestión sin ganado/control. Se necesitan más años de monitoreo para confirmar esta tendencia.

Tabla 4. Decaimiento forestal en los seguimientos inicial (2020), intermedios (2021-22) y final (2023), y porcentaje de cambio.

Decaimiento forestal (defoliación + decoloración) (%)					
Área de tratamiento	**Inicial 2020**	**Intermedio 2021**	**Intermedio 2022**	**Final 2023**	**Promedio2020-23**
13.0	21.3	19.5	25.2	19.8	
10.9	8.7	10.0	12.7	10.6	
13.7	17.7	17.0	21.0	17.3	

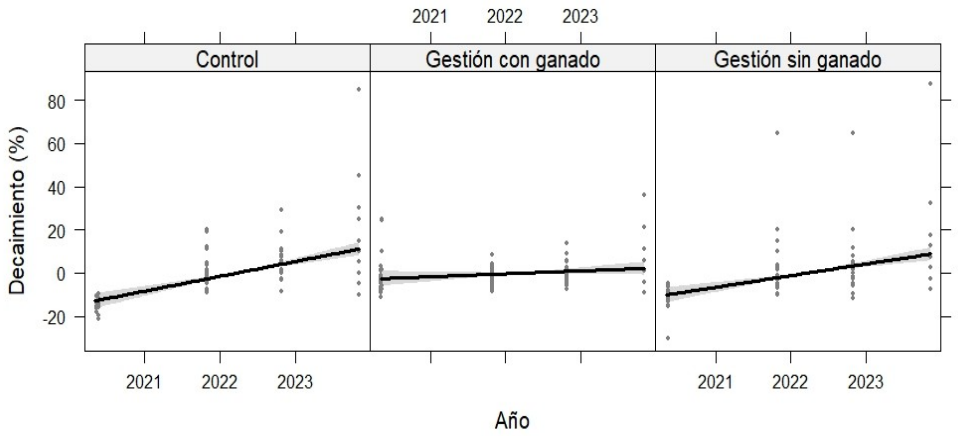

Figura 2. Efecto del tratamiento en el decaimiento forestal entre 2020 y 2023. Se ha ajustado un modelo lineal que marca la tendencia.

La humedad del combustible muestra que, de forma general, la vegetación tiene un mayor contenido de agua en el área gestionada, independientemente de si entra el ganado o no, lo que se traduce en una menor inflamabilidad de la vegetación (Tabla 5, Figura 3). Las diferencias entre el área control y el área gestionada son significativas.

Tabla 5. Humedad del combustible en los seguimientos inicial (2020), intermedios (2021-22) y final (2023), y valor promedio por área de tratamiento.

Humedad del combustible (%)					
Área de tratamiento	Inicial 2020	Intermedio 2021	Intermedio 2022	Final 2023	Promedio 2020-23
37.9	30.6	24.7	26.3		29.9
44.8	35.7	30.8	30.0		35.3
44.2	34.3	29.5	30.6		34.7

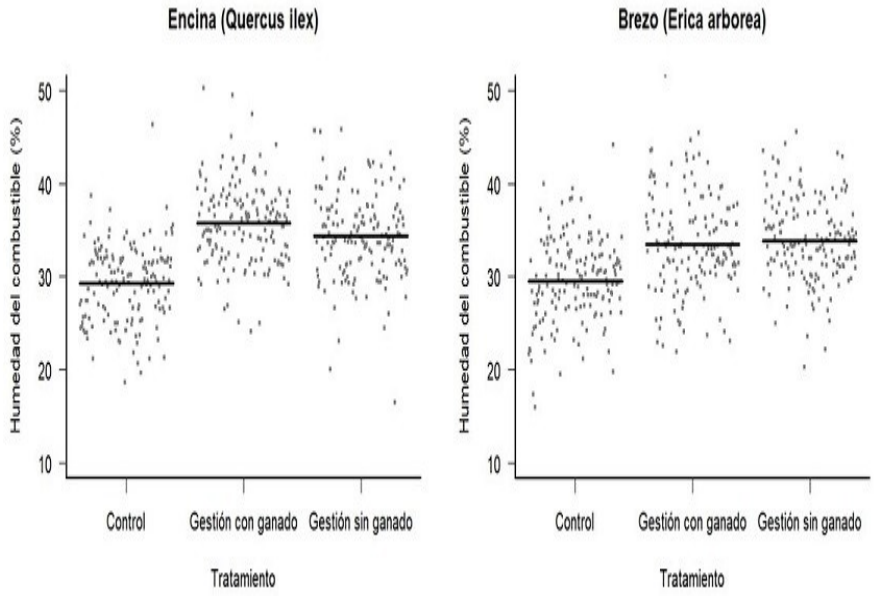

Figura 3. Efecto del tratamiento en la humedad del combustible entre 2020 y 2023.

4.2 Seguimiento de suelos

Para cuantificar el efecto de los tratamientos en el suelo, se han monitoreado dos variables. La humedad edáfica se ha monitoreado a través de una red de sensores. Los datos, registrados cada hora durante 4 años, muestran que la humedad del suelo es significativamente mayor en la zona gestionada que en el área control, lo que sugiere una mayor disponibilidad de agua para la vegetación en áreas gestionadas bajo estrés hídrico (Figura 4). Además, las parcelas gestionadas con presencia de ganado presentan mayor humedad que las sin ganado, destacando el papel beneficioso del ganado para evitar el desarrollo del matorral, mayor consumidor de agua que la cobertura herbácea.

Los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo entre junio de 2020 y octubre de 2023 son limitados, debido a la lenta evolución del suelo. En cuanto al contenido de carbono en la capa superficial del suelo (primeros 10 cm), se observa un incremento en todos los tratamientos, pero no se observan diferencias significativas entre tratamientos. Respecto al nitrógeno, el contenido aumenta en las parcelas control y con ganado, y se mantiene estable en la parcela sin ganado. Estos resultados no muestran aún tendencias claras que permitan identificar qué tratamiento es el óptimo para mejorar las características del suelo.

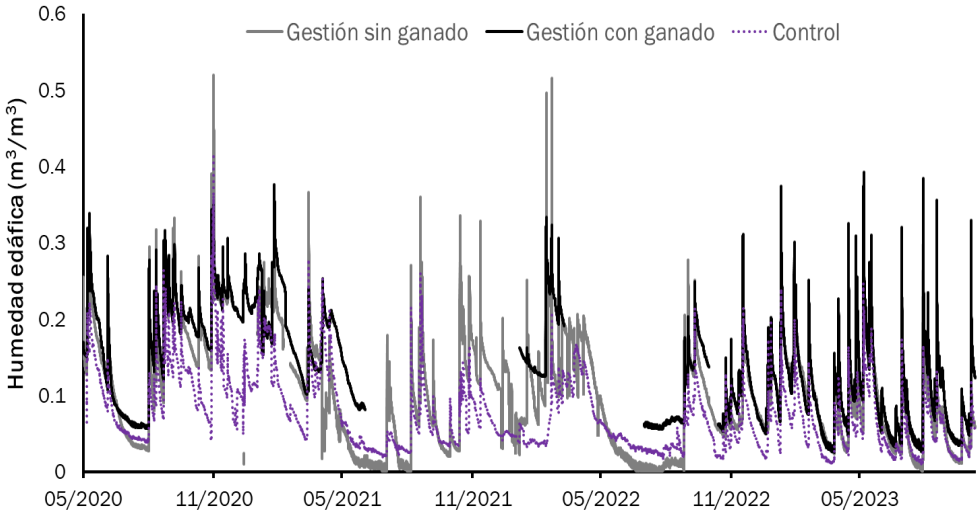

Figura 4. Humedad edáfica en las parcelas de seguimiento agrupadas por tratamiento.

4.3 Seguimiento de pastos

El efecto de los tratamientos en los pastos se evalúa a través de tres variables. La biodiversidad se calcula con la riqueza y cobertura de especies. En cuanto a la cobertura (Figura 5) el primer resultado es que el suelo desnudo cubre una parte importante de las parcelas (más del 50%) en el muestreo final, siendo superior en las parcelas control y con ganado. En el muestreo inicial, se observa una fuerte cobertura de especies herbáceas en la parcela con ganado, gracias a la siembra. Sin embargo, la cobertura de especies herbáceas disminuyó en todos los tratamientos, probablemente debido a la sequía, siendo las parcelas gestionadas las que experimentaron la mayor reducción en la cobertura herbácea. En cuanto a la riqueza, (Figura 6) se observa en general una mayor riqueza en las parcelas gestionadas que en el control. En el muestreo final se observa que la riqueza de especies herbáceas fue significativamente mayor en las parcelas sin pastoreo que en las pastoreadas

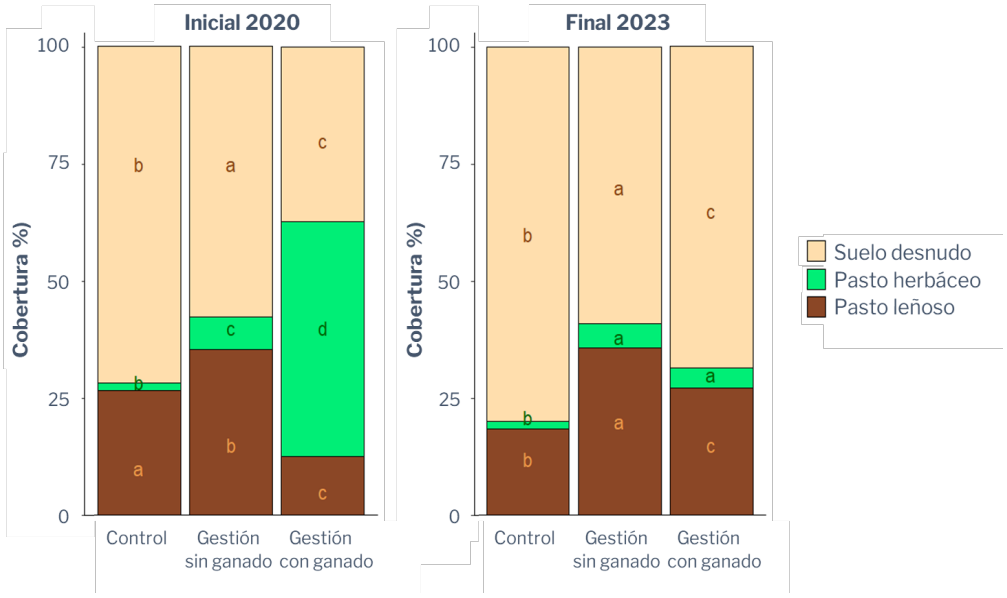

Figura 5. Diagramas de barras apiladas que muestran la cobertura media (%) de suelo desnudo (naranja claro), especies herbáceas (verde) y especies leñosas (marrón) para cada uno de los tratamientos. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos.

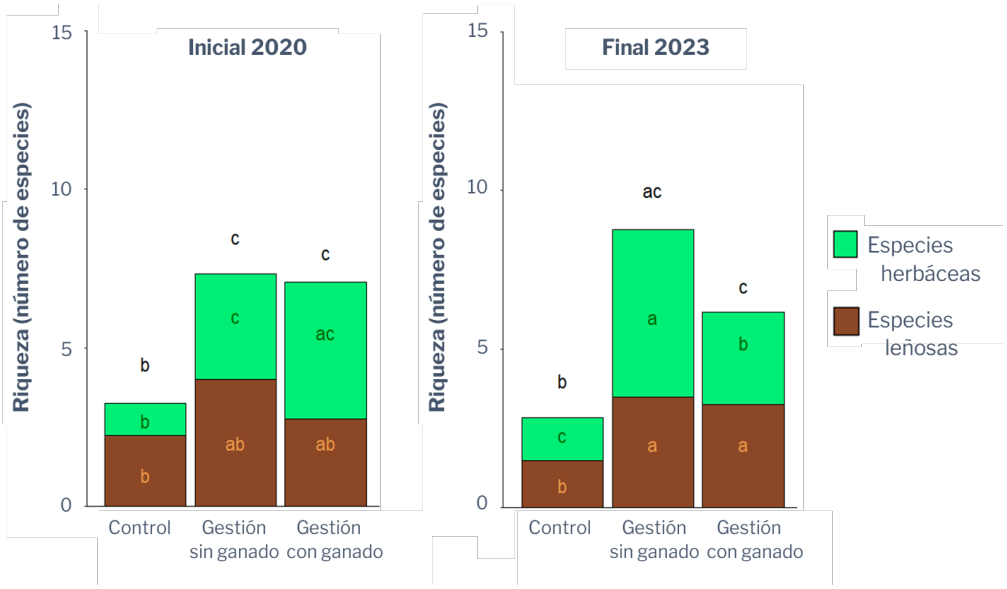

Figura 6. Diagramas de barras apiladas que muestran la riqueza media de especies (número de especies) de especies herbáceas (verde) y especies leñosas (marrón) para cada uno de los tratamientos. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos.

En cuanto a la producción de pastos, medida como biomasa palatable total (suma de la biomasa herbácea y la leñosa), observamos que inicialmente hay una elevada biomasa en la parcela con ganado, gracias a la siembra inicial (Figura 7a). Sin embargo, en el muestreo final, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, siendo un valor muy bajo el del último seguimiento, probablemente

debido a los efectos de la sequía. Por último, la calidad nutritiva de los pastos se ha evaluado mediante el valor pastoral. En el muestreo inicial, se observa un valor pastoral significativamente más alto en las parcelas pastoreadas, seguramente debido a la siembra inicial (Figura 7b). En el muestreo final, solo se detectaron diferencias significativas entre la zona pastoreada y el control, observándose un valor pastoral similar entre los demás tratamientos.

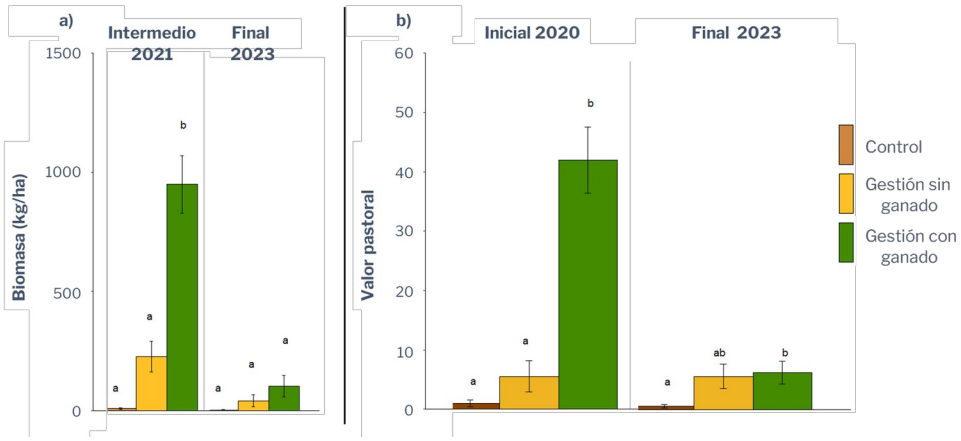

Figura 7. Diagramas de barras que muestran para cada uno de los tratamientos: a) el peso seco medio total (kg/ha) ± error estándar para la biomasa total; b) el valor pastoral medio ± error estándar. Las diferentes letras indican diferencias significativas en la biomasa entre los tratamientos.

4.4 Seguimiento de la escorrentía y la erosión

La respuesta hidro-sedimentológica fue mayor en las parcelas control debido a dos experimentos que produjeron una escorrentía muy alta (RC > 0,50), en el resto de ensayos, la respuesta fue baja (RC ≈ 0.01) (Tabla 6). Por otra parte, la respuesta hidrológica fue ligeramente superior en las parcelas gestionadas con ganado que en las que no lo tenían. En consecuencia, el agua infiltrada fue menor en esta parcela que en la parcela sin ganado. La producción de sedimentos (o tasa de erosión) fue menor en la parcela pastoreada, probablemente debido a la mayor densidad de la cubierta herbácea.

Tabla 6. Variables hidro-sedimentológicas medias extraídas de las simulaciones de lluvia realizadas en 2020, 2021, 2022 y 2023.

Área de tratamiento	Pendiente (%)	Intensidad de lluvia (mm/h)	Tasa de infiltración	Coeficiente escorrentía	Concentración de sedimentos (g/l)	Tasa de erosión (g/m2)
18	54.0	29.6	0.14	1.36	4.32	
15	48.4	25.9	0.10	1.59	0.83	
15	53.8	32.1	0.08	0.44	1.15	

5. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la gestión silvopastoral, combinando una gestión forestal adaptativa con pastoreo rotacional extensivo, contribuye a mejorar la resiliencia de los encinares mediterráneos frente a los impactos del cambio climático. Estas observaciones son consistentes con otros estudios previos que han demostrado que la gestión forestal y silvopastoral, con un adecuado manejo del ganado, puede reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas mediterráneos a la sequía y los incendios a corto plazo (VILÀ-CABRERA et al., 2017, VARELA et al, 2018, VARELA et al., 2022). Aunque el seguimiento de las variables ecológicas se limita a cuatro años, este trabajo representa el inicio de un sistema de monitoreo a largo plazo que busca proporcionar criterios técnicos y herramientas prácticas para los gestores forestales en un contexto de cambio climático.

En relación con la estructura forestal, el ligero crecimiento del área basimétrica en las zonas gestionadas, en particular en aquellas con pastoreo, coincide con estudios previos que han mostrado que una reducción de la competencia libera recursos para los árboles que quedan y favorece su crecimiento (VAYREDA et al., 2012). Sin embargo, dado el corto plazo del estudio, estas diferencias no han sido estadísticamente significativas, lo que resalta la importancia de un seguimiento a largo plazo para confirmar estas tendencias.

La gestión silvopastoral ha reducido significativamente la continuidad del combustible forestal y el riesgo de incendios de copa. Resultados similares se han obtenido en otros bosques mediterráneos, donde la introducción de ganadería extensiva en bosques ha demostrado ser efectiva para reducir el volumen de combustible, el porcentaje de materia seca y la biomasa (BAIGES et al., 2007, VARELA et al, 2018). En particular, en este estudio se ha observado una disminución del riesgo de fuego de copa en la zona gestionada con ganado, confirmando que el pastoreo puede jugar un papel clave en el mantenimiento de estructuras forestales más resilientes frente a los incendios (ORTEGA et al., 2025, VARELA et al., 2022). Por otra parte, el seguimiento de la humedad del combustible ha mostrado que las áreas gestionadas tienen una vegetación con mayor contenido de agua durante los periodos de sequía, lo que implica una menor inflamabilidad. Esto concuerda con estudios previos donde la ausencia de gestión forestal intensifica los efectos de sequía, aumentando el estrés hídrico de los árboles (LINARES et al., 2009).

La gestión forestal ha incrementado la humedad edáfica, especialmente en aquellas con pastoreo, lo que sugiere una mayor capacidad de resistencia al estrés hídrico. No obstante, los cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo han sido poco significativos, lo que podría deberse al corto periodo de seguimiento, ya que estudios a medio y largo plazo han mostrado incrementos en el contenido de carbono del suelo tras la aplicación de desbroces y con el pastoreo extensivo (LASANTA et al., 2024).

Se ha evaluado el papel de la gestión silvo-pastoral en la riqueza específica, la producción y la calidad de los pastos. En general, la gestión aumenta el porcentaje

de cobertura herbácea, hace disminuir el porcentaje de suelo desnudo y aumenta la riqueza específica del pasto. La mejora en la calidad bromatológica del pasto en las zonas con ganado es consistente con otros trabajos que han mostrado que el pastoreo rotacional puede favorecer una mayor diversidad y calidad de los pastos (PYKÄLÄ, 2005, HENKIN et al., 2011). Sin embargo, las condiciones de sequía, especialmente durante el año 2023, fueron muy desfavorables para las producciones herbáceas y no se obtuvieron efectos significativos de los tratamientos durante ese año final. Esta falta de lluvias probablemente también enmascara la acción positiva del ganado sobre los parámetros descritos, que solo resultó significativa en el caso de la mejora de la calidad bromatológica del pasto analizada mediante el Valor Pastoral.

Finalmente, la respuesta hidro-sedimentológica indica que la gestión silvopastoral aumenta ligeramente el coeficiente de escorrentía, aumentando la disponibilidad de agua superficial sin provocar un aumento significativo en la erosión del suelo. Este resultado concuerda con estudios previos que han señalado que la regeneración de la cubierta herbácea puede mitigar la pérdida de suelo en zonas de media montaña mediterránea (REF). La menor producción de sedimentos en las parcelas con pastoreo resalta el potencial de la gestión silvopastoral para compatibilizar la conservación del suelo con la explotación ganadera sostenible.

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la idea de que la combinación de la gestión forestal adaptativa y el pastoreo rotacional puede ser una estrategia efectiva para mejorar la resiliencia de los bosques mediterráneos frente al cambio climático. Sin embargo, es fundamental continuar con el monitoreo a largo plazo para evaluar la sostenibilidad y efectividad de estas prácticas en un contexto de creciente variabilidad climática.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio tienen importantes implicaciones para la utilización de estrategias de gestión forestal en la adaptación de los bosques mediterráneos al cambio climático, proporcionando una herramienta útil para los gestores forestales en la toma de decisiones. Aunque los datos de seguimiento presentan limitaciones temporales y no son concluyentes, sugieren que la gestión silvopastoral puede incrementar la resiliencia de los bosques frente al estrés hídrico, mejorando su estructura y propiedades físicas, lo que contribuye a una mayor resistencia frente a incendios y períodos de sequía. Asimismo, los resultados destacan el papel clave de la ganadería extensiva rotacional en la consolidación y mejora de los beneficios obtenidos exclusivamente a través de la gestión forestal. La selección de las prácticas de gestión, su intensidad y el manejo del ganado deben adaptarse a las condiciones locales específicas de cada sitio. No obstante, es necesario realizar un seguimiento experimental a largo plazo para evaluar de forma más robusta la efectividad y los impactos de estos tratamientos silvícolas en la salud y funcionamiento de los ecosistemas, especialmente en un contexto marcado por cambios climáticos y ambientales constantes.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco de dos proyectos: LIFE MIDMACC (LIFE18 CCA/ES/001099 Mid-mountain adaptation to climate change) con financiación del Programa europeo LIFE (Climate change adaptation), desarrollado entre 2019 y 2024, y el proyecto LIFE PYRENEES4CLIMA (LIFE22-IPC-ES-LIFE PYRENEES4CLIMA, Towards a climate resilient cross-border mountain community in the Pyrenees), con financiación del Programa europeo LIFE (Strategic Nature and Integrated Projects (SNAP/SIP)), que se desarrolla entre 2024 y 2031. Además, los autores agradecen a la propiedad de la Finca de Requesens por la cesión de los espacios y por proporcionar el ganado y su manejo.

8. Bibliografía

BAIGES, T.; CASALS, P.; TAÜLL, M. 2007.Gestión silvopastoral en Catalunya, de sistema productivo a herramienta de conservación. Cuad Soc Esp Cienc For 22, 11-16.

BANQUÉ, M.; VAYREDA, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; 2013. Monitoreo del decaimiento de los bosques de Cataluña: Proyecto DEBOSCAT. Proceeding of 6º Congreso Forestal Español. 6CFE01-438.

DAGET, P.; POISSONET, J.; 1972. Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des pâturages. Fourrages 49, 31-39.

FAYET, C.M.J.; VERBURG, P.H.; 2023. Modelling opportunities of potential European abandoned farmland to contribute to environmental policy targets. Catena 232, 107460.

GARCÍA-RUIZ, J.M.; LASANTA, T.; NADAL-ROMERO, E.; LANA-RENAULT, N.; ÁLVAREZ-FARIZO, B.; 2020. Rewilding and restoring cultural landscapes in Mediterranean mountains: Opportunities and challenges. Land Use Policy 99, 104850.

GARCÍA-RUIZ, J.M.; LÓPEZ-MORENO, J.I.; VICENTE-SERRANO, S.M.; LASANTA-MARTÍNEZ, T.; BEGUERÍA, S.; 2011. Mediterranean water resources in a global change scenario. Earth Sci Rev 105(3-4), 121-139.

IGLESIAS, A.; GARROTE, L.; DIZ, A.; SCHLICKENRIEDER, J.; MARTIN-CARRASCO, F.; 2011. Re-thinking water policy priorities in the Mediterranean region in view of climate change. Environ Sci Policy 14, 744–757.

LASANTA, T.; NADAL-ROMERO, E.; ARNÁEZ, J.; 2015. Managing abandoned farmland to control the impact of re-vegetation on the environment. The state of art in Europe. Environ Sci Policy 52, 99-109.

LASANTA, T.; CORTIJOS-LÓPEZ, M.; ERREA, P.; LLENA, M.; SÁNCHEZ-NAVARRETE, P.; ZABALZA, J.; NADAL-ROMERO, E.; 2024.Shrub clearing and extensive livestock as a strategy for enhancing ecosystem services in degraded Mediterranean mid-mountain areas.Sci Total Environ 906, 167668.

LECINA-DIAZ, J.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; ALVAREZ, A.; BANQUÉ, M.; BIRKMANN, J.; FELDMEYER, D.; VAYREDA, J.; RETANA, J.; 2021. Characterizing forest vulnerability and risk to climate-change hazards. Front Ecol Environ 19 (2), 126-133.

LINARES, J.C.; CAMARERO, J.J.; CARREIRA, J.A.; 2009. Interacting effects of changes in climate and forest cover on mortality and growth of the southernmost European fir forests. Global Ecol Biogeogr 18, 485– 497.

MedECC (2020) Climate and environmental change in the Mediterranean Basin – Current situation and risks for the future. In: Cramer W, Guiot J, Marini K (eds.) First Medi-terranean assessment report Marseille. Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632 pp.

NADAL-ROMERO, E.; RUBIO, P.; KREMYDA, V.; ABSALAH, S.; CAMMERAAT, E.; JANSEN, B.; LASANTA, T.; 2021. Effects of agricultural land abandonment on soil organic carbon stocks and composition of soil organic matter in the Central Spanish Pyrenees. Catena, 105441.

ORTEGA, M.; LORA, A.; YOCOM, L.; ZUMAQUERO, R.; MOLINA, J.R.; 2025.Effects of fire recurrence and severity on Mediterranean vegetation dynamics: Implications for structure and composition in southern Spain.Sci Total Environ 961, 178392

PASCUAL, D.; PLA, E.; NADAL-ROMERO, E.; LASANTA, T.; ZABALZA, J.; PUEYO, Y.; FORONDA, A.; REINÉ, R.; BARRANTES, O.; 2020. Report describing the forest management pilot experiences. Deliverable 5. LIFE MIDMACC. https://life-midmacc.eu/wp-content/uploads/2022/03/LIFEMIDMACC_DL5_DescriptionForestPilotExp_v9.pdf

PIQUÉ, M.; CASTELLNOU, M.; VALOR, T.; PAGÉS, J.; LARRAÑAGA, A.; MIRALLES, M.; CERVERA, T.; 2011. Integració del risc de gran incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació I Medi Natural, Generalitat de Catalunya.

SEIDL, R.; SCHELHAAS, M.J.; RAMMER, W.; VERKERK, P.J.; 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. Nat Clim Change 4, 806– 10.

THOM, D.; SEIDL, R.; 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. Biol Rev 91, 760–81.

TIJERIN-TRIVIÑO, J.; LINES, E.R.; ZAVALA, M.A.; GARCÍA, M.; ASTIGARRAGA, J.; CRUZ-ALONSO, V.; DAHLGREN, J.; RUIZ-BENITO, P.; 2025.Forest productivity decreases in response to recent changes in vegetation structure and climate in the latitudinal extremes of the European continent. Global Ecol Biogeogr 34, 70011.

VARELA, E.; GÓRRIZ-MIFSUD, E.; RUIZ-MIRAZO, J.; LÓPEZ-I-GELATS, F.; 2018. Payment for Targeted Grazing: Integrating Local Shepherds intoWildfire Prevention.Forests9, 464.

VARELA, E.; OLAIZOLA, A.M.; BLASCO, I.; CAPDEVILA, C.; LECEGUI, A.; CASASÚS, I.; BERNUÉS, A.; MARTÍN-COLLADO, D.; 2022.Unravelling opportunities, synergies, and barriers for enhancing silvopastoralism in the Mediterranean.Land Use Policy 118, 106140.

VAYREDA, J.; MARTINEZ-VILALTA. J.; GRACIA, M.; RETANA, J.; 2012. Recent climate changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon stocks in Spanish forests. Global Change Biol 18 1028–1041.

VICENTE-SERRANO, S.M.; DOMÍNGUEZ-CASTRO, F.; CAMARERO, J.J.; EL KENAWY, A.; 2020. Droughts. In: M. Zribi, L. Brocca, Y. Tramblay, F. Molle (Eds.), Water resources in the Mediterranean region. Amsterdam, Elsevier, pp. 219-255.

VILÀ-CABRERA, A.; COLL MIR, L.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; RETANA, J.; 2017. Forest management for adaptation to climate change in the Mediterranean basin: a synthesis of evidence. For Ecol Manage 407, 16-22.