

Acción D2 – Seguimiento y evaluación de las acciones C1 – C4 sobre el ecosistema forestal: indicadores de resiliencia a los impactos del cambio climático



Octubre 2021

Proyecto LIFE MixForChange: Innovative management strategies for climate change adaptation of mixed subhumid Mediterranean forests. 09/2016 - 06/2022

Acción D2 – Seguimiento y evaluación de las acciones C1 – C4 sobre el ecosistema forestal: indicadores de resiliencia a los impactos del cambio climático.

Beneficiarios del proyecto: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC; coordinador), Associació de Propietaris Montnegre-Corredor (APMC), Associació de Propietaris Forestals Serra de Bellmunt Collsacabra (APFSBE) y Centre de la Propietat Forestal (CPF).

Colaborador del proyecto: Diputación de Barcelona (DIBA)

Autores del informe: Eduardo Collado¹, Míriam Piqué¹, Lluís Coll^{1,2}, Jaime Coello¹

¹ Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), Ctra. Sant Llorenç de Morunys, km 2, Solsona, 25280, España

² Depto. de Ingeniería Agroforestal, Universitat de Lleida (UdL), Av. Rovira Roure 198, 25198, Lleida

Cita recomendada: Collado, E.; Piqué, M.; Coll, L.; Coello, J. 2021. *Acción D2 – Seguimiento y evaluación de las acciones C1 – C4 sobre el ecosistema forestal: indicadores de resiliencia a los impactos del cambio climático*. Life MixForChange, 35 p.

El proyecto LIFE MixForChange (LIFE15 CCA/ES/000060) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea. <http://www.mixforchange.eu/es/>

Esta publicación refleja únicamente el punto de vista de los autores. La Comisión Europea/EASME no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Executive summary

This document describes the methodology and main results obtained from the ecological evaluation of MixForChange silvicultural interventions.

Firstly, we describe the methodology used for this assessment including the location of the 28 experimental plots (14 treated with MixForChange silviculture and 14 control plots) in the four forest types of the project. The main variables measured are total flora richness, flora richness and equitability of juvenile trees and undergrowth layers, tree diameter growth, competence index and soil moisture.

Secondly, we describe the main results obtained with the silvicultural treatments, compared to control plots, which can be summarized as follows:

- An increase or maintenance of total flora richness of species of the different plant strata.
- Minor changes in the relative abundance of species of the juvenile and the undergrowth strata.
- A reduction in the shrub cover and a maintenance of the grass cover
- An increase in the cover and height of the felling debris, as well as in the amount of dead wood on the ground.
- Increased tree growth of the main species and, more intensely, of the accompanying species selected as future crop trees.
- A generalised decrease in the competence index.
- An increase in soil moisture.

Contenido

1. Introducción	5
2. Material y métodos	8
3. Resultados	12
3.1. <i>Efectos de las actuaciones sobre la riqueza florística de la masa</i>	12
3.2. <i>Efectos de las actuaciones sobre el estrato arbóreo</i>	13
3.2.1. Crecimiento del arbolado	13
3.2.2. Competencia.....	15
3.3. <i>Efectos de las actuaciones sobre el estrato juvenil y regenerado</i>	16
3.4. <i>Efectos de las actuaciones sobre el estrato arbustivo y herbáceo</i>	20
3.5. <i>Efectos de las actuaciones sobre la madera muerta</i>	22
3.6. <i>Efectos de las actuaciones sobre la humedad del suelo</i>	23
4. Conclusiones	25
5. Referencias	28
6. Bibliografía adicional	28
7. Anejos	29
7.1. <i>Calendario de las actuaciones e inventarios</i>	29
7.2. <i>Resumen de resultados destacados sobre el efecto de las actuaciones en diferentes variables ecológicas</i>	30
7.3. <i>Efecto de las actuaciones sobre la altura del recubrimiento vegetal</i>	31
7.4. <i>Efecto de la actuaciones y precipitación sobre distintos sensores de humedad del suelo</i>	32
7.5. <i>Efecto de la actuaciones y evapotranspiración sobre la humedad del suelo</i> ..	33
7.6. <i>Características del suelo del Montseny</i>	34

1. Introducción

Este informe presenta los principales resultados de la acción D2 del Proyecto Life MixForChange, sobre evaluación del efecto de las actuaciones selvícolas realizadas en el proyecto sobre el ecosistema forestal ([encinares - Acción C1](#); [castañares - Acción C2](#); [robleales - Acción C3](#); [pinares - Acción C4](#)). En concreto, se analiza el impacto de las actuaciones sobre indicadores de mejora de la adaptación al cambio climático de la comunidad vegetal, de conservación de la biodiversidad y factores ambientales, como la humedad en el suelo.

El análisis se realiza a través de una red de 28 parcelas permanentes instaladas en la acción D2 en 4 formaciones forestales (14 parcelas donde se han realizado los tratamientos del proyecto, 14 parcelas control) (Tabla 1, Fig. 1), que permiten evaluar el impacto de la gestión sobre estos indicadores y avanzar en el conocimiento sobre el impacto de la gestión realizada en comparación con no realizar gestión, gracias a las parcelas control instaladas y su seguimiento a lo largo del proyecto.

Los resultados proporcionados en este informe sobre el impacto de la gestión en la resiliencia y resistencia de los ecosistemas forestales a los impactos del cambio climático se complementan con el informe de la acción D4, donde se presentan los efectos de las intervenciones sobre una serie de servicios ecosistémicos, en base a la información obtenida en las acciones D2 y D3.

Tabla 1: Localización de las parcelas pareadas de inventario.

Zona	Rodal	Tipología forestal	Parcela	Tratamiento*	Latitud (N)	Longitud (E)	Altitud (m s.n.m)
Montnegre	C1.01	<i>Quercus ilex</i>	C1.01.02	I	41,65780	2,60745	645
			C1.01.02.C	C	41,65819	2,60639	645
	C2.12	<i>Castanea sativa</i>	C2.12.01	I	41,66179	2,55436	681
			C2.12.01.C	C	41,66176	2,55525	681
	C3.03	<i>Quercus sp.</i>	C3.03.01	I	41,65986	2,56799	732
			C3.03.01.C	C	41,66010	2,56871	708
	C4.03	<i>Pinus pinea</i>	C4.03.01	I	41,72563	2,64783	186
			C4.03.01.C	C	41,72566	2,64730	179
C2.21	<i>Castanea sativa</i>	C2.21.04	I	41,66134	2,58989	632	
		C2.21.04.C	C	41,66134	2,58989	632	
Montseny	C1.06	<i>Quercus ilex</i>	C1.06.02	I	41,81439	2,49143	444
			C1.06.02.C	C	41,81409	2,49082	445
	C2.13	<i>Castanea sativa</i>	C2.13.02	I	41,80639	2,48824	628
			C2.13.02.C	C	41,80630	2,48768	612
	C3.07	<i>Quercus sp.</i>	C3.07.02	I	41,84836	2,28935	649
			C3.07.02.C	C	41,84833	2,28982	662
	C4.06	<i>Pinus sylvestris</i>	C4.06.01	I	41,84820	2,28705	645
			C4.06.01.C	C	41,84843	2,28751	650
C1.21	<i>Quercus ilex</i>	C1.21.01	I	41,77585	2,41050	913	
		C1.21.01.C	C	41,77494	2,41066	919	
Belmunt-Collsabra	C3.06	<i>Quercus sp.</i>	C3.06.03	I	42,08606	2,17971	746
			C3.06.03.C	C	42,08549	2,17728	761
	C4.05	<i>Pinus sylvestris</i>	C4.05.02	I	42,12194	2,22938	757
			C4.05.02.C	C	42,12171	2,23010	786
	C4.22	<i>Pinus sylvestris</i>	C4.22.03	I	42,12760	2,21636	738
C4.22.03.C			C	42,12853	2,21718	716	
Ripollès	C3.08	<i>Quercus sp.</i>	C3.08.01	I	42,27668	2,16392	941
			C3.08.01.C	C	42,27685	2,16344	919

* Tratamientos en las parcelas pareadas: intervención ('I') y control (i.e., ninguna intervención; 'C').

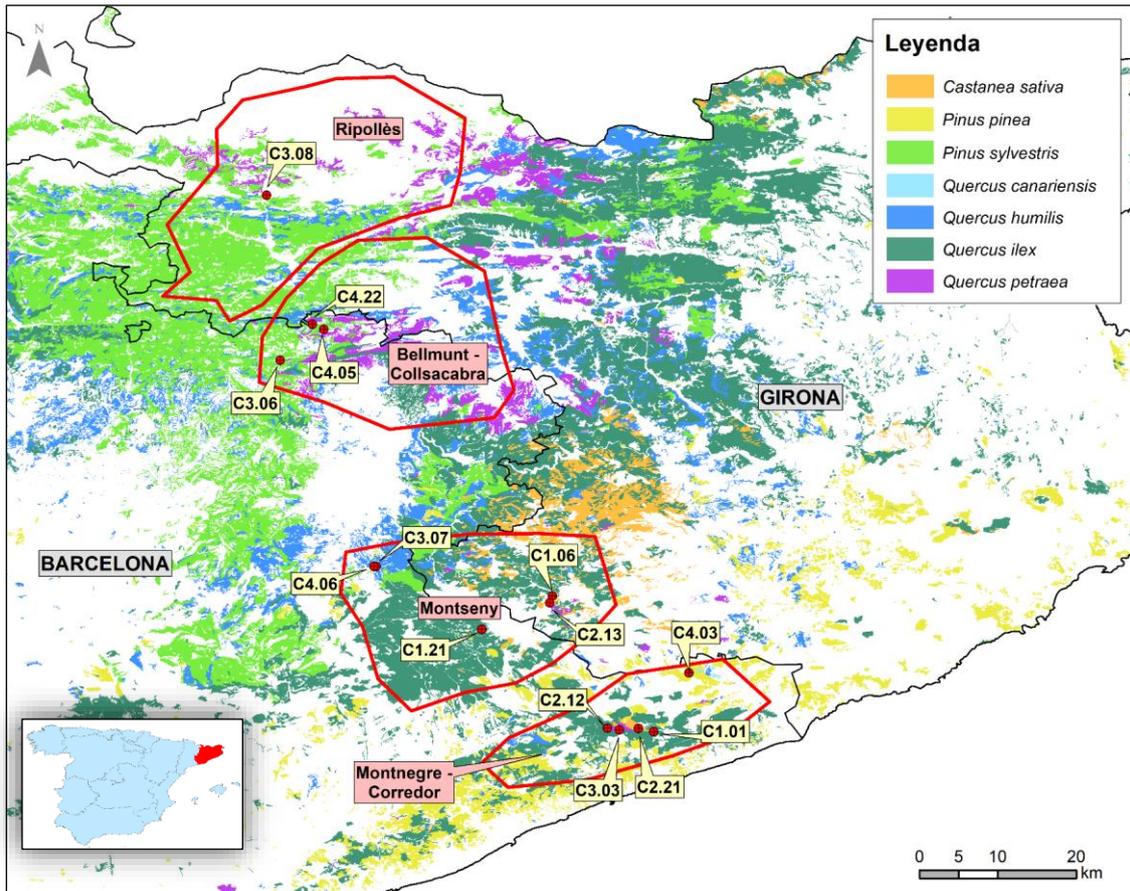


Figura 1: Ubicación de las 14 parcelas pareadas de inventario (i.e., una parcela individual intervenida y una parcela individual control [no intervenida] por cada parcela pareada) y tipologías forestales de las áreas de estudio.

2. Material y métodos

El estudio ha contado con 28 parcelas individuales de inventario (i.e., 14 parcelas pareadas), las cuales han sido clasificadas por tipología o formación forestal (Tabla 1): *Quercus ilex* (n = 6), *Quercus* sp. (*Q. pubescens* y *Q. robur*; n = 8), *Castanea sativa* (n = 6), *Pinus sylvestris* (n = 6), y *Pinus pinea* (n = 3). Dependiendo de la parcela, se muestrearon por primera vez ('pre-intervención') entre finales de 2017 y principios de 2018, mientras que el último muestreo ('post-intervención') se realizó entre el verano de 2020 y principios de 2021 (Tabla S1). El muestro post-intervención se llevó a cabo entre 2 y 3 años (i.e., periodos vegetativos) después de la intervención selvícola, según la planificación de cada rodal (Tabla S1). La intensidad de las actuaciones, en base al área basimétrica, fue diferente en cada rodal ($23,8 \pm 10,3\%$), llegando alcanzar hasta el 38% de intensidad de corta (Tabla 2).

Tabla 2: Intensidad de las actuaciones de cada rodal.

Tipología forestal	Rodal	Parcela	Intensidad de corta (%) ^a	Clasificación de intensidad de corta ^b
<i>Quercus ilex</i>	C1.01	C1.01.02	27,6	Alta
	C1.06	C1.06.02	18,1	Baja
	C1.21 ^c	C1.21.01	-	-
<i>Castanea sativa</i>	C2.12	C2.12.01	13,2	Baja
	C2.13	C2.13.02	16,0	Baja
	C2.21	C2.21.04	38,1	Alta
<i>Quercus</i> sp.	C3.03	C3.03.01	9,9	Baja
	C3.06	C3.06.03	32,5	Alta
	C3.07	C3.07.02	31,8	Alta
	C3.08	C3.08.01	10,7	Baja
<i>Pinus pinea</i>	C4.03	C4.03.01	37,6	Alta
<i>Pinus sylvestris</i>	C4.05	C4.05.02	26,8	Alta
	C4.06	C4.06.01	15,0	Baja
	C4.22	C4.22.03	32,6	Alta

^a Calculado mediante las diferencias de las áreas basimétricas de la masa antes y después del tratamiento.

^b Aquellas intensidades de corta superiores al 20% son clasificadas como 'Alta'; y las inferiores de esta cifra como 'Baja'.

^c Rodal que sufrió daños en el arbolado por el temporal 'Gloria' en enero de 2020.

Los análisis y resultados se han centrado sobre todo en los efectos de la intervención sobre la vegetación (Tabla 3): **riqueza florística, estrato arbóreo, estrato juvenil y regenerado, estrato arbustivo y herbáceo, y madera muerta**. También se evaluó la **humedad del suelo**, como factor ambiental (Tabla 3). En el documento "[Protocolo para la realización de la evaluación ecológica de las acciones C1 - C4 \(Acción D2\)](#)" se detalla la metodología de medición de cada variable.

Algunas de las parcelas individuales mencionadas anteriormente sufrieron perturbaciones que alteraron las zonas de estudio y el plan de muestreo (Tabla 1):

- Parcela C2.21.04: Hay dos parcelas intervenidas a cada lado de la parcela control. Es decir, en el 2020 ('post-intervención'), se hizo el inventario de regenerado de la parcela intervenida a la derecha de la control, mientras que el inventario del estrato arbóreo y competición del arbolado se hizo en aquella intervenida a la izquierda de

la control. Se han utilizado estos datos para los análisis de este informe, pues se considera que ambas parcelas intervenidas se encuentran cerca y, por lo tanto, con características de la masa muy similares.

- Parcela C2.13.02.C: Parcela control que fue cortada cuando se ejecutaron las intervenciones. El inventario antes de la intervención pertenecía a la parcela control original (i.e., antes de ser cortada), mientras que el inventario después de la intervención pertenecía a una nueva parcela control. Se han utilizado todos los datos para los análisis de este informe, excepto la información ‘pre-intervención’ del estrato arbóreo y de la competencia del arbolado.
- Parcelas C3.07.02.C y C3.06.03.C: Parcelas control que fueron cortadas cuando se ejecutaron las intervenciones. No se han utilizado los datos ‘post-intervención’ de estas parcelas para los análisis de este informe y, por lo tanto, tampoco de sus homólogas intervenidas.
- Parcelas C1.21.01 y C1.21.01.C: Parcelas que sufrieron daños en el arbolado por el temporal (‘Gloria’) en enero de 2020. En el 2020, se realizó el inventario ‘post-intervención’ de toda la parcela a excepción del estrato arbóreo y de la competencia del arbolado. Se han utilizado todos los datos para los análisis de este informe, excepto la información ‘post-intervención’ del estrato arbóreo y competencia del arbolado.

Tabla 3: Características ecológicas observadas de las parcelas inventariadas. Los parámetros observados de cada característica de la parcela se recogen antes y después de la intervención, tanto para la parcela control (sin intervenir) como para la parcela intervenida. En el documento “Protocolo para la realización de la evaluación ecológica de las acciones C1 - C4 (Acción D2)” se detalla la metodología de medición de cada variable.

Inventario	Características de la parcela	Variables (unidad)
Vegetación	Recubrimiento	Herbáceo (cobertura [%], altura [cm])
		Arbustivo (cobertura [%], altura [cm])
		Mohos (cobertura [%], altura [cm])
		Suelo (cobertura [%])
		Restos de corta (cobertura [%], altura [cm])
	Madera muerta	Tipo
		Estado de descomposición Especie Diámetro [cm]
Sotobosque	Tipo y nivel de cobertura [%]	
	Cobertura de cada especie de vegetación [%]	
	Altura de cada especie de vegetación [cm]	
Regenerado	Sp. árbol inventariado	
	Nº de cepa	
	Altura [cm]	
	Diámetro basal [mm]	
	Vigor Cantidad de rebrotes (vivos y muertos)	
Diversidad florística	Especies vegetales	
Arbolado		Nº del árbol inventariado (principales y acompañantes)
		Sp. del árbol inventariado (principales y acompañantes)
		Diámetro normal [cm]
		Diámetro basal [cm]
		Crecimiento radial (dendrómetros) [mm]
		Altura [m]
		Altura de la primera rama [m]
		Diámetros de la copa [m]
		Estrato social (dominante, codominante, dominado)
		Origen (rebrote o semilla)
Competidores		Nº del competidor
		Sp. del competidor
		Distancia entre árbol inventariado y competidor [m]
		Diámetro normal [cm]
Ambiental	Humedad del suelo	Contenido volumétrico de agua [m ³ m ⁻³]
	Características del suelo*	Textura Rociedad Densidad aparente Profundidad media

* Una única medición realizada para la formación de *Quercus* sp. en el verano del 2020 ('post-intervención') y fuera de las parcelas.

Para analizar el efecto de la intervención en la diversidad de las distintas tipologías forestales se calculó para cada parcela: (i) la **riqueza florística total** de la vegetación, (ii) la **riqueza y equitatividad del estrato juvenil y regenerado**, y (iii) la **riqueza y equitatividad del estrato arbustivo y herbáceo**. La riqueza es el número de especies, mientras que la equitatividad es el grado de homogeneidad existente en las abundancias relativas de las especies. La equitatividad se analizó mediante el índice de equitatividad de Pielou (1966), cuyo valor se encuentra entre 0 (i.e., hay dominancia de una o muy pocas especies sobre otras) y 1 (i.e., la abundancia relativa de todas las especies es similar, por lo que no hay dominancia de ninguna especie).

Para una evaluación más completa del **crecimiento del arbolado**, se analizan los resultados de los crecimientos de los diámetros normales y de los crecimientos anuales, los cuales se han obtenido por metodologías diferentes: cinta diamétrica y dendrómetros, respectivamente.

Para saber el **grado de competencia** simétrica al que están sometidos los 20 árboles inventariados de cada parcela (i.e., 10 pies de la especie principal y 10 pies de especies acompañantes), se ha utilizado el **índice de Hegyi** (Ci; 1974). Este índice se expresa como la suma de las razones entre el diámetro normal de cada uno de los 20 árboles seleccionados (inventariados) y de cada uno de sus competidores (i.e., 5 competidores por cada pie seleccionado) dividido por la distancia que existe entre ellos. Cuanto mayor es el índice de Hegyi, mayor competencia sufre el árbol seleccionado.

El efecto de las actuaciones sobre la **humedad del suelo** se ha estudiado atendiendo también a la ubicación de los sensores de humedad en las parcelas, como se explica en “Protocolo para la realización de la evaluación ecológica de las acciones C1 - C4 (Acción D2)”. En el caso de las parcelas de intervención se seleccionan 3 árboles de referencia inventariados y se instalan los dataloggers en árboles adyacentes a éstos, dirigiendo las sondas: (1) hacia el árbol de referencia, (2) hacia una zona liberada y (3) hacia una zona bajo cubierta del árbol de referencia. En el caso de las parcelas control seleccionadas, únicamente se toma un árbol de referencia, dirigiéndose las 3 sondas de la misma forma que en la parcela de intervención. Adicionalmente, se obtuvieron los datos interpolados de las precipitaciones para cada parcela donde había sensores de humedad, para investigar si la intervención influyó en la disponibilidad de agua para los árboles. Estas interpolaciones, que tienen en cuenta la posición de la parcela respecto a las estaciones meteorológicas (distancias y elevaciones), se realizaron mediante la metodología DAYMET, implementada en el paquete “meteoland” del software R (De Cáceres et al., 2017; Thornton and Running, 1999).

Respecto al estudio de las **características del suelo**, se llevó a cabo un único perfil del suelo en el verano del 2020 (‘post-intervención’) y para la formación exclusivamente de *Quercus* sp. del Montseny (rodal C3.07). Dicho perfil y su análisis visual se realizaron entre las parcelas intervención y control. Este estudio se realizó con el fin de analizar en futuros trabajos el balance hídrico de la masa forestal. Los resultados de este análisis visual se muestran en los anejos.

3. Resultados

3.1. Efectos de las actuaciones sobre la riqueza florística de la masa

En general, no se observa un efecto claro de la intervención sobre la composición florística de las parcelas (Fig. 2), si bien la parcela intervenida de *Pinus pinea* sí que mostró una mayor riqueza de especies que las parcela control después de 2 o 3 años de la intervención. Es decir, en la formación de *P. pinea*, la riqueza florística de la parcela intervenida aumentó en 10 especies, mientras que el incremento de la riqueza de la parcela control fue de 4 especies.

Por otro lado, la riqueza de especies parece aumentar con el tiempo tanto en las parcelas control como en las intervenidas, a excepción de los robledales (Fig. 2). Sin embargo, este efecto a corto plazo puede deberse a que el muestreo fue llevado a cabo por diferentes técnicos/as a lo largo de los años de estudio, más que a un efecto por las dinámicas forestales.

La riqueza florística varía según la formación forestal (Fig. 2). En general, las tipologías forestales de *Quercus sp.*, *P. sylvestris* y *Q. ilex* albergan una mayor riqueza que formaciones forestales dominados por *C. sativa* y *P. pinea*, tanto antes como después de la intervención. Por ejemplo, la riqueza florística antes de la intervención en las parcelas control fue: $22,0 \pm 12,7$ especies en robledales, $21,7 \pm 9,5$ especies en pinares de *P. sylvestris*, $18,7 \pm 4,7$ especies en encinares, $15,0 \pm 1,0$ especies en castaños y 10,0 especies en la parcela de *P. pinea*.

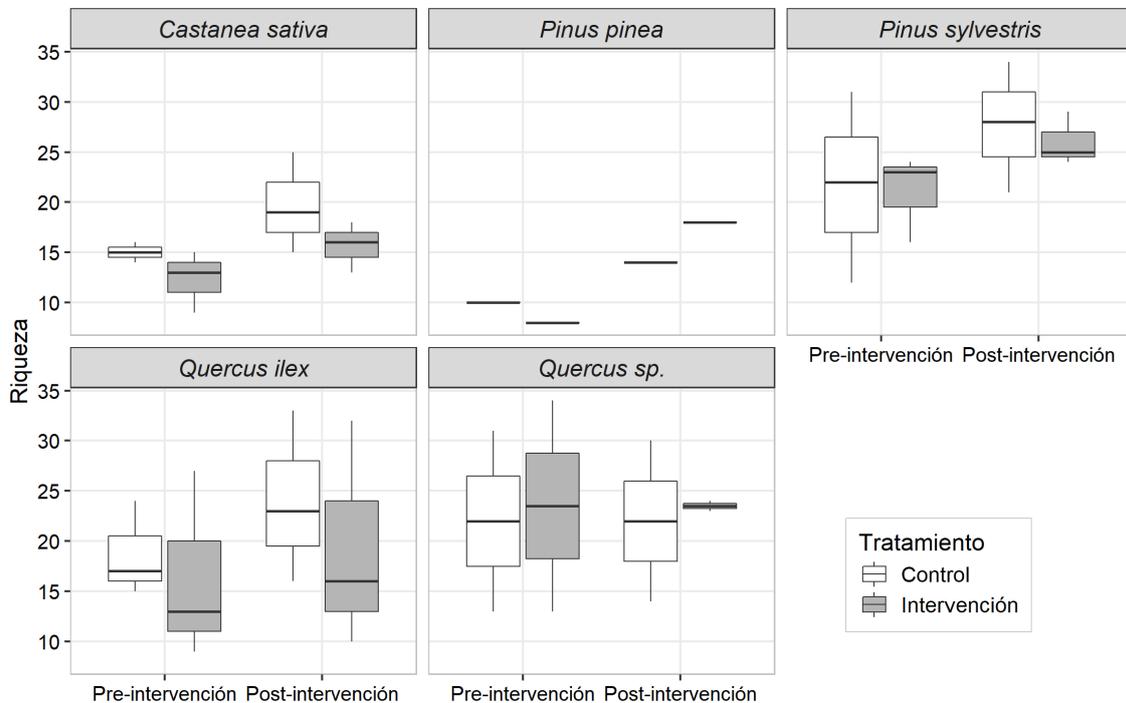


Figura 2: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la riqueza de especies de toda la masa, incluyendo el estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo.

3.2. Efectos de las actuaciones sobre el estrato arbóreo

3.2.1. Crecimiento del arbolado

La intervención tuvo un efecto positivo generalizado sobre el crecimiento del diámetro del arbolado, tanto en las especies principales como en las acompañantes seleccionadas como árboles a potenciar (Fig. 3-4).

Dentro de las especies principales, el crecimiento diario de los individuos de *Q. ilex*, *P. pinea* y, en menor medida, *P. sylvestris* respondieron de forma muy clara a la intervención, hasta el punto de que su efecto sigue perdurando en el seguimiento final (Fig. 3). Es decir, el crecimiento anual de los árboles de dichas especies (en particular en el *Q. ilex* y *P. pinea*) en las parcelas intervenidas se mantuvo superior en el tiempo respecto a los de las parcelas control (Tabla S2). Por ejemplo, el crecimiento medio anual de los árboles de *Q. ilex* fue de $6,4 \pm 6,5$ mm año⁻¹ en parcelas intervenidas y $3,0 \pm 2,7$ mm año⁻¹ en parcelas control. Por otro lado, parece que los crecimientos anuales (dendrómetro) y de los diámetros normales (cinta diamétrica) de las especies de *Quercus* sp. (i.e., *Q. pubescens* y/o *Q. robur*) no reaccionaron a la intervención (Fig. 3-4), y crecen a un ritmo similar en parcelas intervenidas y control.

Los árboles de especies acompañantes que se seleccionaron como ‘árboles de futuro’ (acción D3) y fueron promovidos con la gestión realizada, reaccionaron más claramente que los árboles de la especie principal (Fig. 3-4). Este es el caso de *Q. canariensis*, *P. avium*, *A. opalus*, *S. torminalis* y *Q. pubescens* (cuando es acompañante) (Fig. 4, Tabla S2). Por ejemplo, el diámetro normal de los individuos acompañantes de *Q. canariensis* en castaños intervenidos aumentó $0,93 \pm 0,79$ cm entre la pre-intervención y la post-intervención, mientras que el incremento de esa especie acompañante en parcelas control fue de $0,49 \pm 0,51$ cm. En el caso de *Q. canariensis* y *P. avium*, al contrario que en *Q. pubescens*, parece que el efecto de la intervención sobre el crecimiento anual se mantuvo superior en el tiempo (Fig. 3).

Con respecto a la relación entre la tipología forestal y el crecimiento del diámetro normal del arbolado, se observa que los árboles de las parcelas control crecen de forma similar en la mayoría de las formaciones forestales (Fig. 4). Sin embargo, en estas parcelas se observa también un crecimiento nulo o negativo en el caso de individuos de, por ejemplo, *P. avium* y *P. pinea*, dos especies heliófilas con baja tolerancia a períodos prolongados de sombreado. En el caso de los valores negativos del *P. pinea*, se puede deber a la corteza gruesa e irregular de esta especie que impide hacer una medición fiable con la cinta diamétrica (i.e., se observa un crecimiento positivo de esta especie en el tiempo mediante la observación de dendrómetros; Fig. 3).

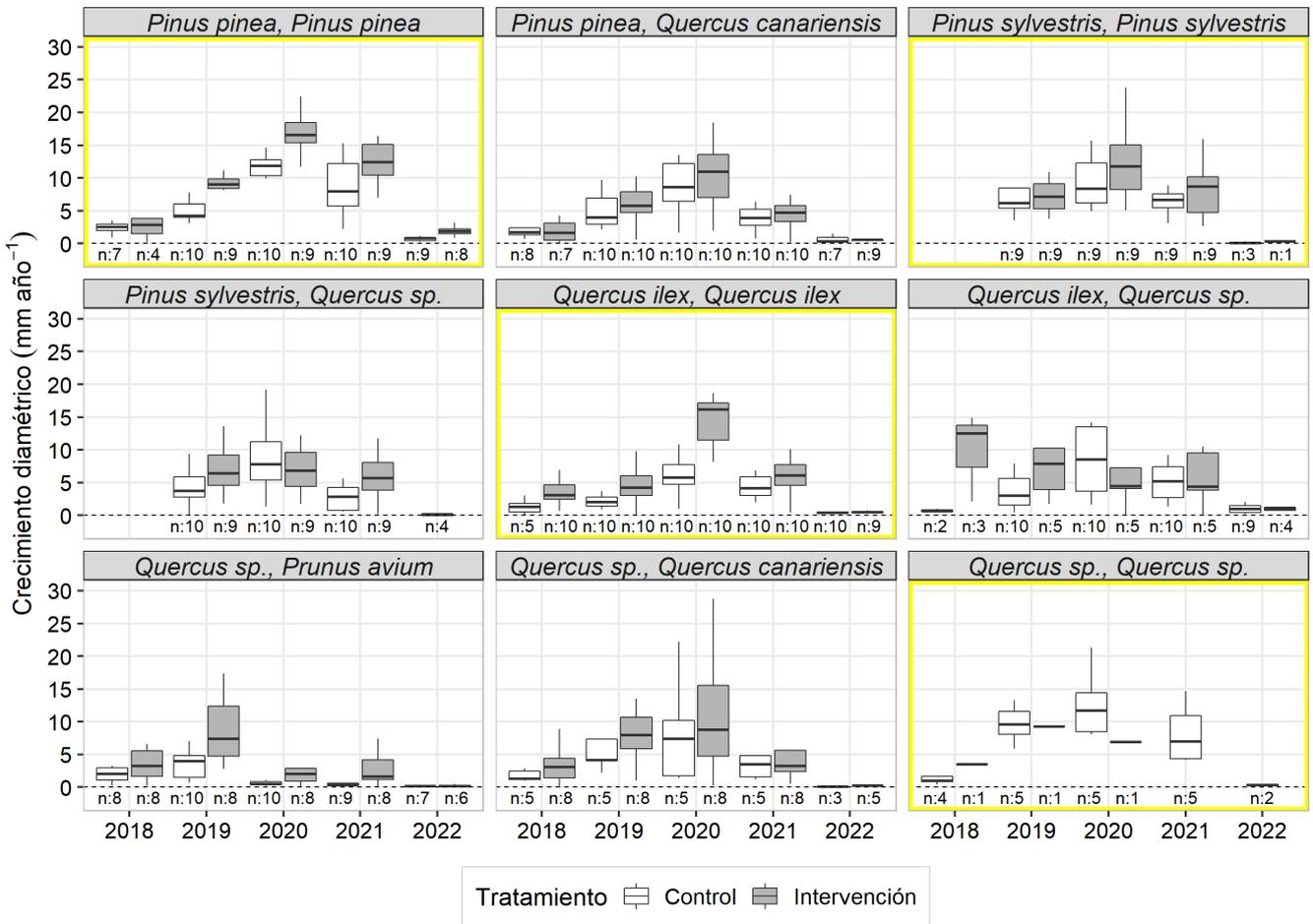


Figura 3: Efecto de la intervención sobre el crecimiento radial anual, obtenido mediante dendrómetros, de algunos árboles inventariados. En la parte superior de cada gráfico se muestra la tipología forestal (primera especie) y la especie del árbol muestreado (segunda especie). Cuando coinciden la especie de la tipología forestal y la del árbol muestreado se considera que es la especie principal de la formación (gráfico con marco amarillo), y si no, es una especie acompañante. El crecimiento anual es el total por año del crecimiento diario estimado (i.e., interpolaciones entre los datos tomados en campo). En el único árbol medido de *Quercus sp.* de la parcela intervenida de *Quercus sp.*, el dendrómetro quedó inutilizado desde julio de 2020. ‘n’ es el número de observaciones (árboles).

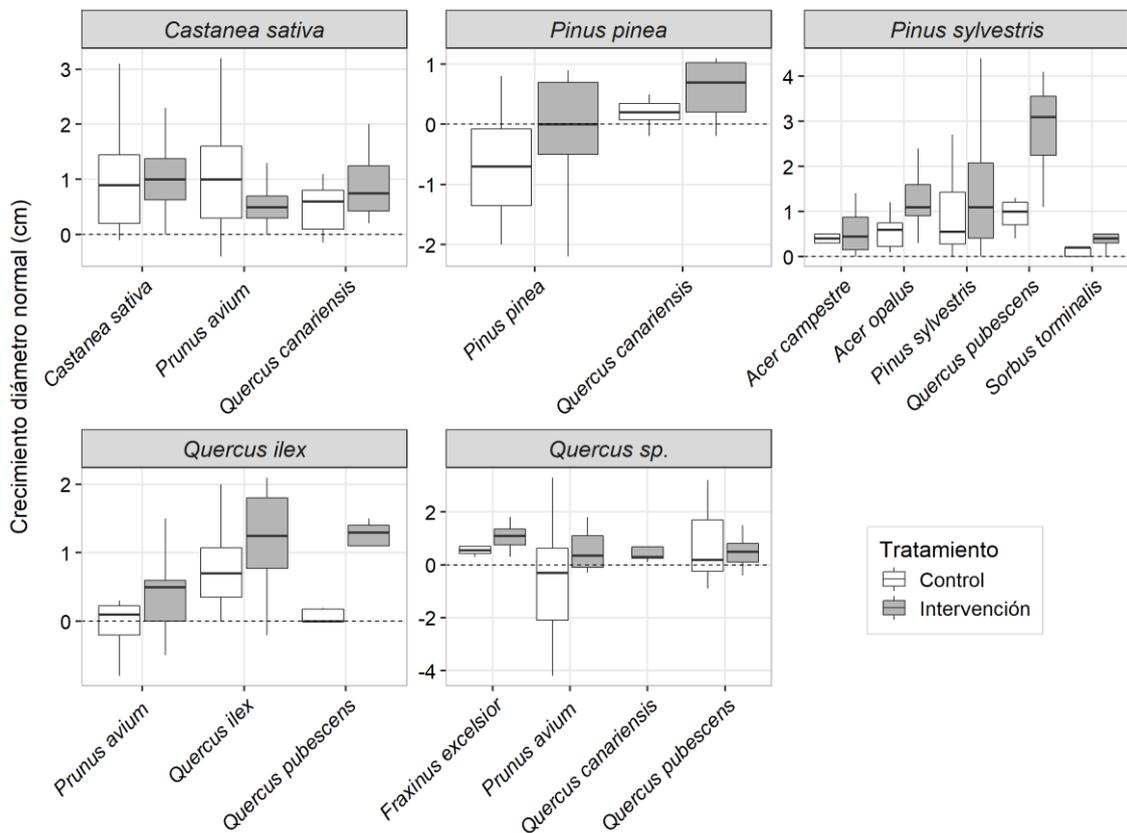


Figura 4: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre el crecimiento del diámetro normal de los árboles inventariados, tanto principales como acompañantes. Las especies principales inventariadas son: *Castanea sativa*, *Pinus pinea*, *Pinus sylvestris*, *Quercus ilex* y *Quercus pubescens* (únicamente dentro de la masa forestal de *Quercus sp.*). Los árboles de las demás especies se consideran acompañantes dentro de la tipología forestal. El crecimiento es la diferencia entre el diámetro normal de antes de la corta y el de 2-3 años después.

3.2.2. Competencia

El índice de Hegyi (Ci; 1974) reveló que la intervención, al reducir la densidad de la masa, disminuyó considerablemente el nivel de competencia a los 2 – 3 años tras la intervención en castañar ($1,50 \pm 1,45$), robleal ($2,51 \pm 2,29$) y pinares de *P. pinea* y *P. sylvestris* ($1,54 \pm 1,04$ y $1,88 \pm 2,32$, respectivamente) (Fig. 5). En el caso de los encinares no hubo datos de la post-intervención.

Las posibles incoherencias de este índice pueden ser debidas a la realización de dos caracterizaciones independientes, al inicio y al final (2-3 años después) de las intervenciones.

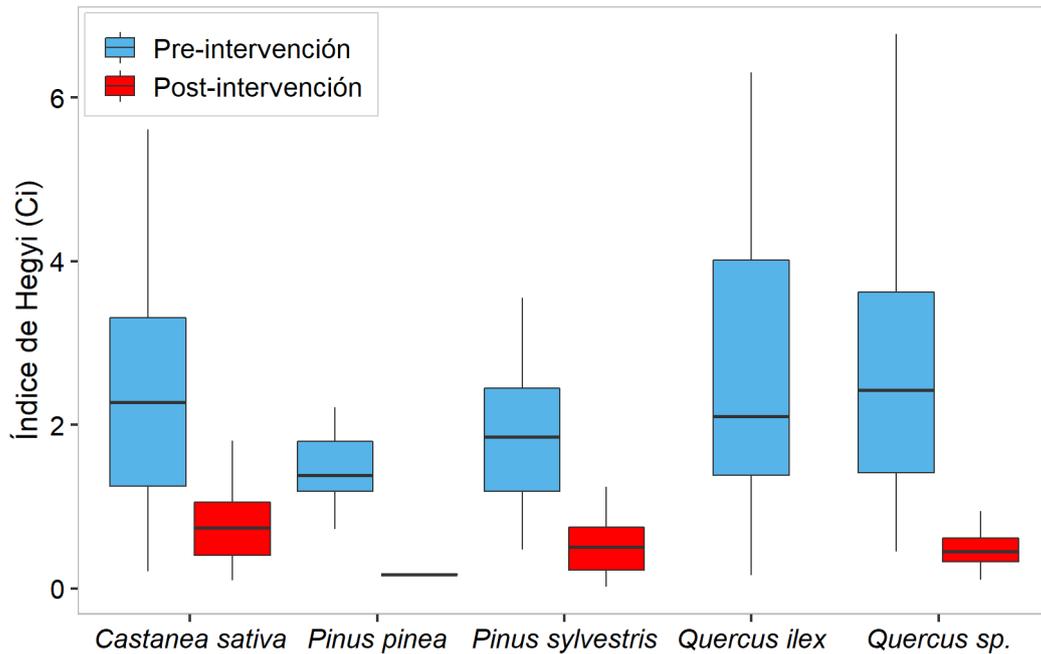


Figura 5: Efecto de la intervención, tras 2-3 años del tratamiento, sobre la competencia individual de los árboles inventariados en las distintas tipologías forestales. La competencia individual se evaluó mediante el índice de Hegyi (Ci; 1974). Valores más bajos indican un menor grado de competencia sobre el individuo.

3.3. Efectos de las actuaciones sobre el estrato juvenil y regenerado

No se ha podido hacer una evaluación adecuada de los efectos de la intervención sobre el crecimiento en altura y en diámetro basal del estrato juvenil y del regenerado (Fig. 6). En primer lugar, una parte importante de los individuos no inventariables seleccionados antes de las intervenciones se vieron afectados por la ejecución de las cortas y sufrieron daños derivados de los trabajos de arrastre y desembosque de la madera. En segundo lugar, se han detectado incongruencias entre los distintos muestreos, reflejándose en datos erráticos (i.e., decrecimientos en altura y/o en diámetro con el tiempo). Lo que sí se ha podido determinar es que la mayoría de los individuos medidos (antes y después de la intervención) presentan un vigor medio-alto en todas las tipologías forestales.

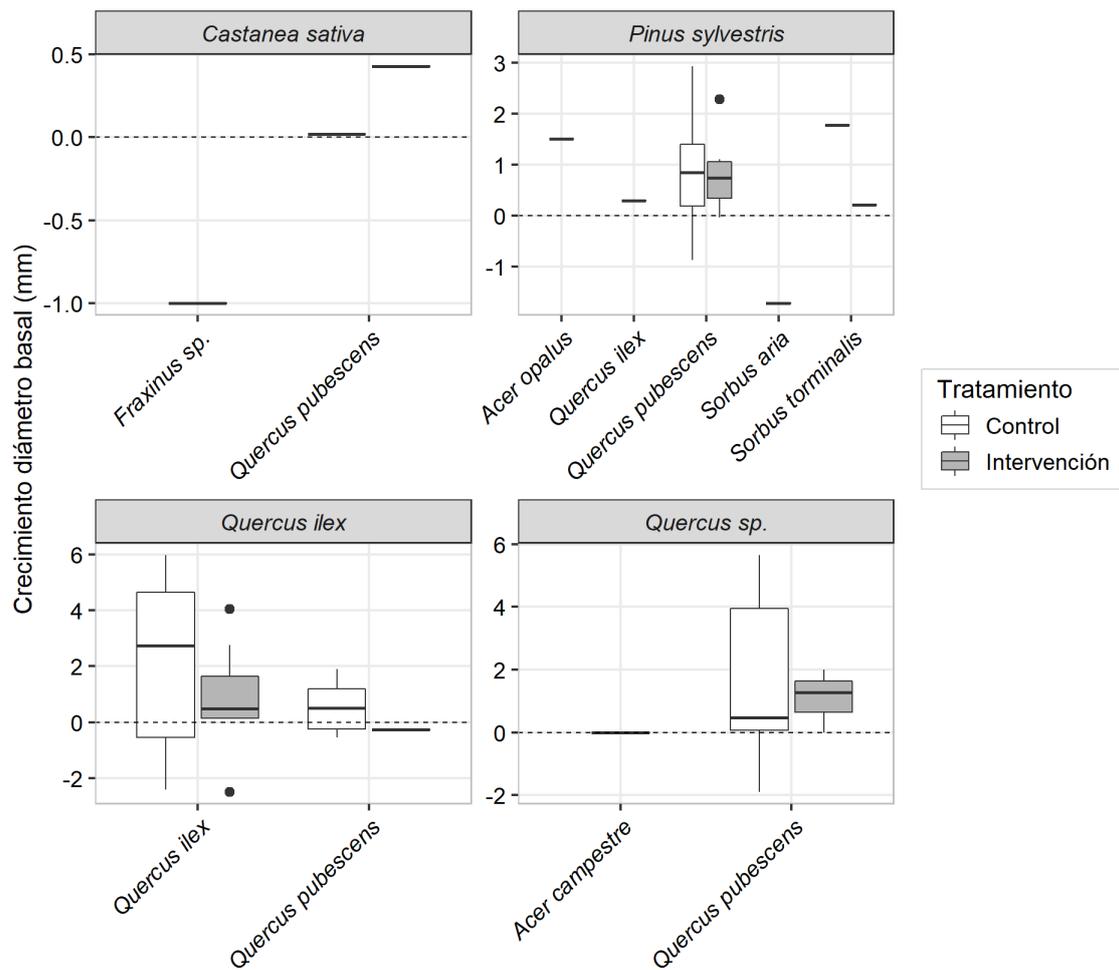


Figura 6: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre el crecimiento del diámetro basal de los individuos no inventariables (altura < 1,3 m) de especies preferentemente diferentes a la principal de la formación. El crecimiento es la diferencia entre el diámetro basal de antes de la corta y el de después (2-3 años).

El número de individuos de todas las especies del estrato juvenil y regenerado se vio incrementado gracias a las actuaciones en todas las tipologías forestales, a excepción del encinar (i.e., permaneció invariable) (Fig. 7, Tabla S2). Por ejemplo, el regenerado en castañares intervenidos aumentó 81 ± 125 individuos entre la pre-intervención y la post-intervención frente al regenerado de las parcelas control que apenas varió (-1 ± 23 individuos). En este caso, el efecto observado se debe principalmente al abundante regenerado de *Fraxinus sp.* (en una única parcela) y, en menor medida, de *Prunus avium*, *Corylus avellana* e *Ilex aquifolium*. Respecto al regenerado de otras formaciones, la intervención favoreció, en concreto, al regenerado de: *Quercus pubescens* en la parcela de *P. pinea*; *Acer opalus* y *S. torminalis* en la formación de *P. sylvestris*; y *Q. pubescens* (sobre todo) en la formación de *Quercus sp.*

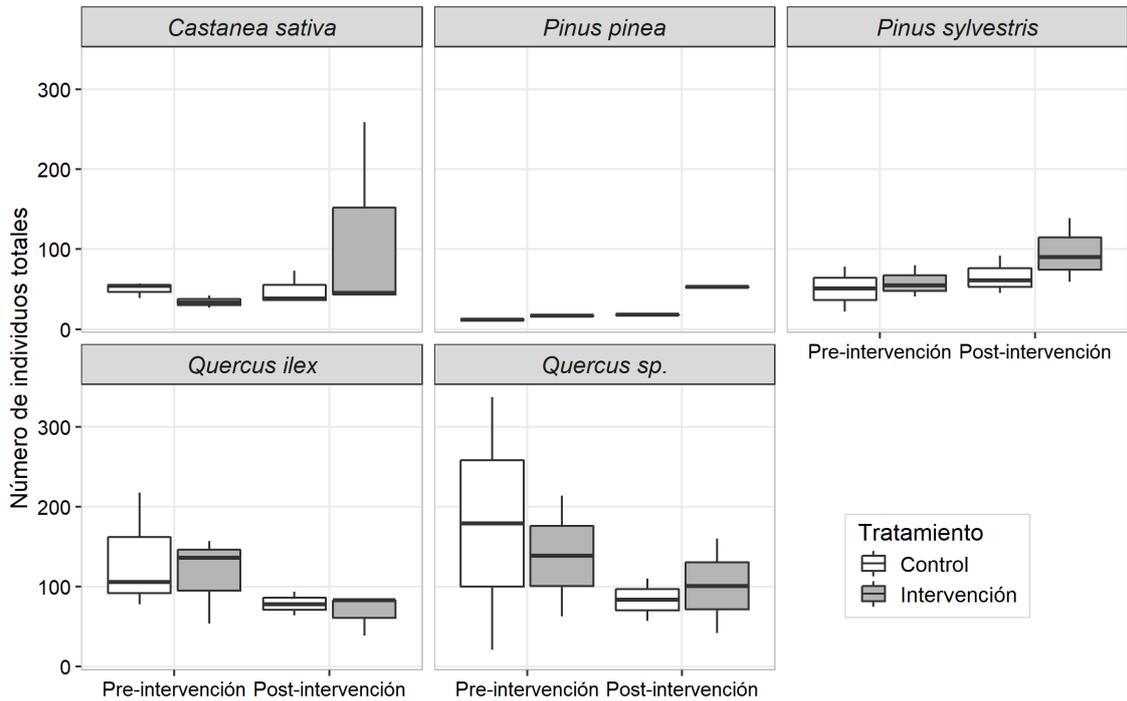


Figura 7: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre el número de individuos de todas las especies del estrato juvenil y regenerado.

Con respecto a la diversidad de especies del estrato juvenil y regenerado, no parece que la gestión forestal haya tenido un efecto claro ni en la riqueza ni en la equitatividad de especies (Fig. 8-9). Se intuye una reducción menos acusada de la riqueza de especies en las parcelas intervenidas ($-0,7 \pm 2,6$ especies) de encinares en comparación con la riqueza de las parcelas control ($-1,7 \pm 1,6$ especies), mientras que la intervención dio lugar a un ligero aumento de la riqueza en la formación de *P. pinea* (i.e., 2 especies más en la parcela intervenida y ningún cambio en la riqueza de la parcela control) (Fig. 8). Por otro lado, la riqueza de especies no parece variar entre las distintas tipologías forestales, a excepción de la baja riqueza de la masa de *P. pinea* (Fig. 8). Respecto a la equitatividad, solo parece observarse un efecto estabilizador de la intervención en la abundancia de especies en parcelas de *C. sativa*: la equitatividad aumentó tras la corta en las parcelas control ($0,20 \pm 0,14$), mientras que no hubo apenas cambios en las parcelas intervenidas ($-0,07 \pm 0,40$). La única tipología forestal que muestra una baja equitatividad de especies es *Q. ilex* ($< 0,5$), indicando una clara dominancia de *Q. ilex* (y *Q. pubescens* en menor medida) sobre otras especies.

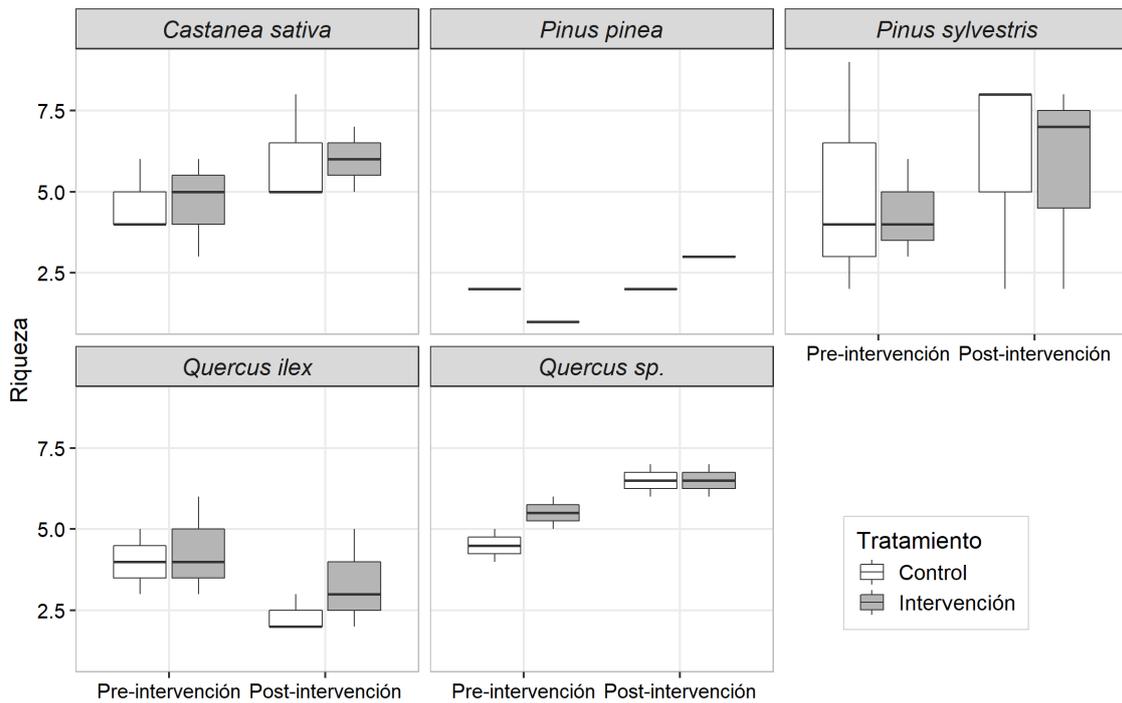


Figura 8: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la riqueza de especies del estrato juvenil y del regenerado.

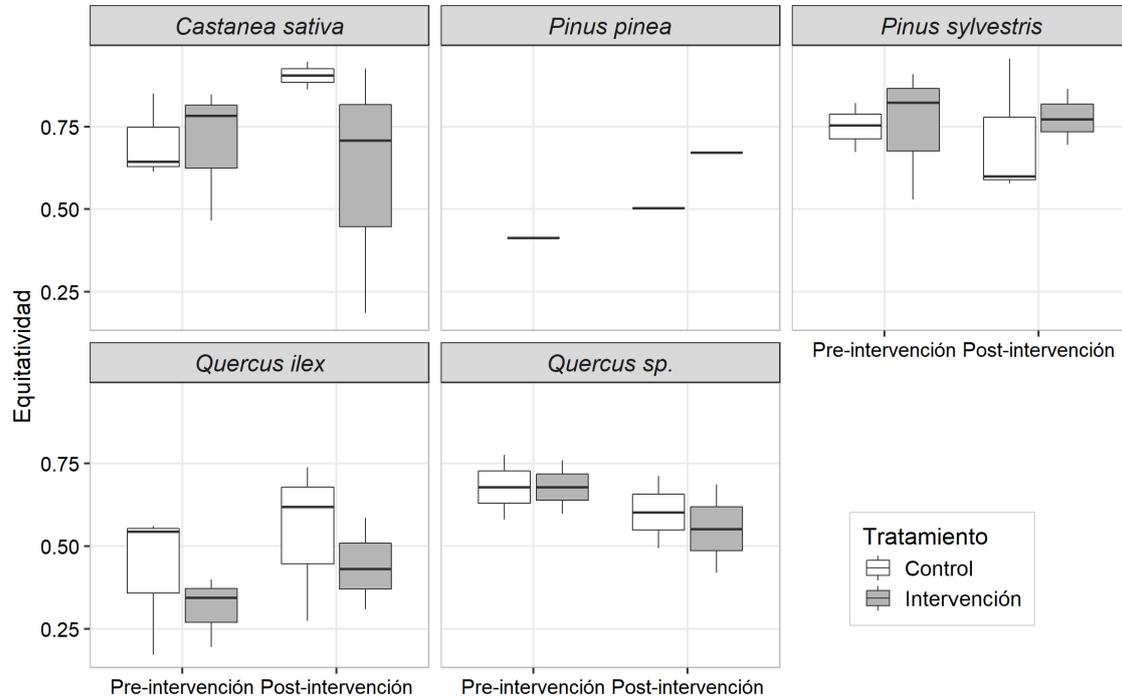


Figura 9: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la equitatividad de especies del estrato juvenil y del regenerado. La equitatividad se calculó mediante el índice de Pielou (1966).

3.4. Efectos de las actuaciones sobre el estrato arbustivo y herbáceo

El recubrimiento de la vegetación del sotobosque antes y 2-3 años después de las intervenciones y en las parcelas control varía en función de las tipologías forestales, aunque en general esta variación no es muy remarcable (Fig. 10). En concreto, se observa una tendencia decreciente en la cobertura del estrato arbustivo de las parcelas intervenidas (al cabo de 2-3 años) respecto a la situación inicial para el caso de *P. pinea* (reducción de 15%) y de la formación de *P. sylvestris* (reducción de $15 \pm 31\%$), mientras que en los robledales aumentó un $12 \pm 4\%$. En el caso de las parcelas control, el recubrimiento del estrato arbustivo en las formaciones de *P. pinea*, *P. sylvestris* y *Quercus sp.* fue, respectivamente: incrementado en un 15%, reducido en un $5 \pm 37\%$ y aumentado en un $5 \pm 36\%$. La intervención también resultó en una disminución de la altura del estrato arbustivo en la tipología de *Quercus sp.* (-30 ± 45 cm), mientras que la altura de este estrato en las parcelas control aumentó en 3 ± 49 cm (Fig. S1). Aparte de los robledales, solo la parcela intervenida de *P. pinea* mostró un cambio (reducción) en la altura de recubrimiento del estrato arbustivo. Por otro lado, en las parcelas intervenidas de *P. sylvestris*, hay un incremento del recubrimiento herbáceo tras la corta ($15 \pm 16\%$), ligeramente mayor que el incremento de las parcelas control ($6 \pm 5\%$). Como era esperable, la cobertura y la altura de elementos vegetales clasificados como “restos” ha sido mayor en las parcelas intervenidas, excepto en la parcela de *P. pinea* (Fig. 10, S1).

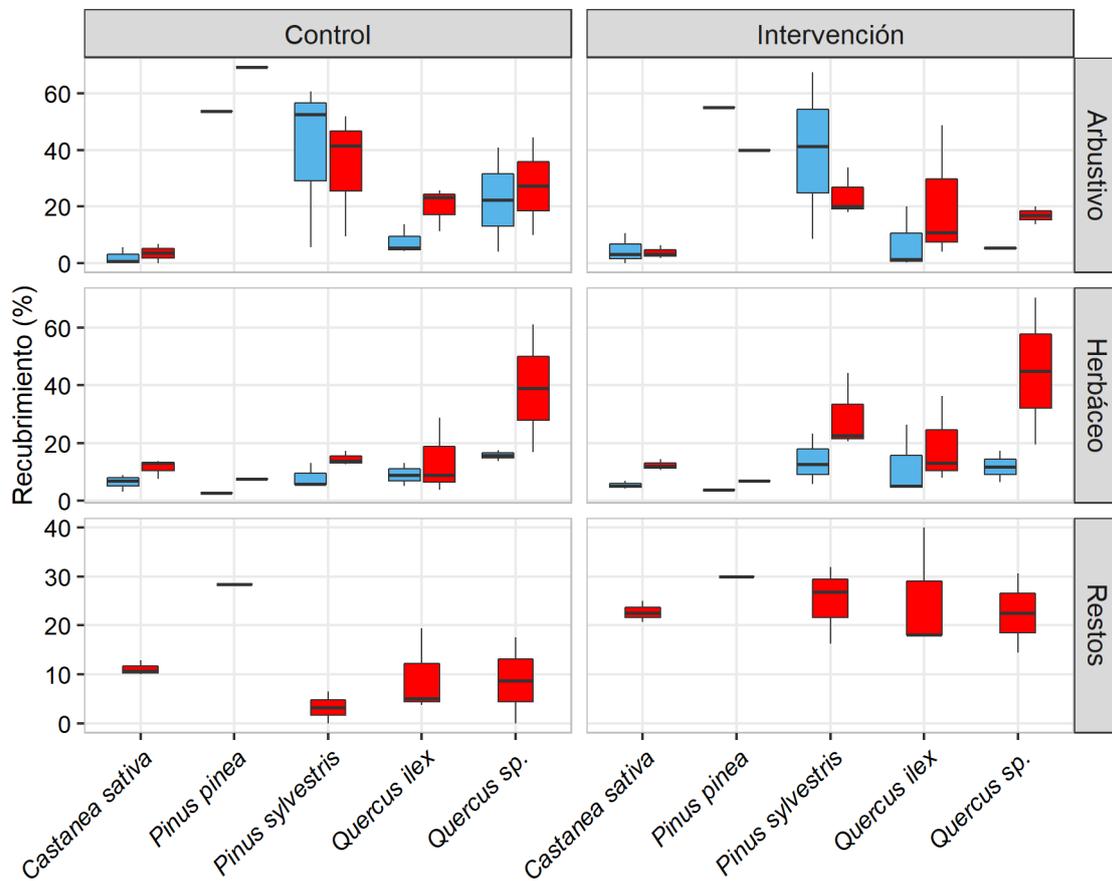


Figura 10: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la cobertura de los distintos tipos de recubrimiento vegetal. Las cajas azules y rojas son los datos observados antes y después de la intervención (2-3 años), respectivamente. ‘Control’ muestra los datos de las parcelas control (sin tratamiento) e ‘Intervención’ muestra los datos de las parcelas intervenidas.

Con respecto a la diversidad de especies del estrato arbustivo y herbáceo, parece que hay una tendencia creciente de la riqueza de especies en todas las formaciones forestales (excepto en la de *P. pinea*) como consecuencia de la intervención, mientras que en las parcelas control no se observa una evolución clara (Fig. 11, Tabla S2). Por ejemplo, la diferencia entre el número de especies en encinares de la post-intervención y de la pre-intervención incrementó más en las parcelas intervenidas ($2,7 \pm 9,8$) que en aquellas no gestionadas ($1,0 \pm 7,2$). Aunque, en este caso, parece que solo hubo un incremento en la riqueza arbustiva y herbácea tras intensidades altas de corta (no mostrado). Por otro lado, comparando estos resultados con los obtenidos mediante el inventario florístico de toda la masa (Fig. 2), se puede deducir que: (i) la intervención no redujo la riqueza del estrato arbóreo, y (ii) alrededor de la mitad de la riqueza de especies pertenece al estrato arbustivo y herbáceo.

La intervención selvícola solo afectó a la equitatividad de las especies arbustivas y herbáceas en el caso de la formación de *C. sativa*, mostrándose un incremento tras la corta (i.e., aumento de $0,10 \pm 0,12$ en parcelas intervenidas y disminución de $0,04 \pm 0,09$ en parcelas control) (Fig. 12). La intervención redujo sobre todo la dominancia de *Hedera helix*. En las demás tipologías forestales, hay una abundancia bastante homogénea de individuos por especie (i.e., equitatividad alta).

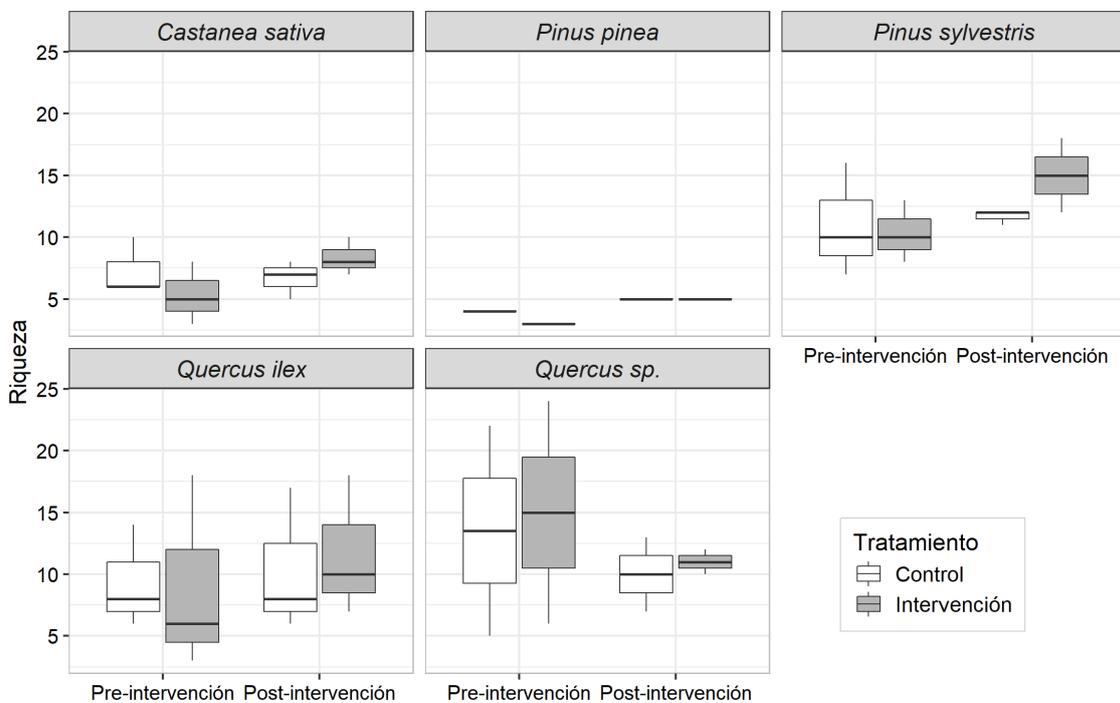


Figura 11: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la riqueza de especies del estrato arbustivo y herbáceo.

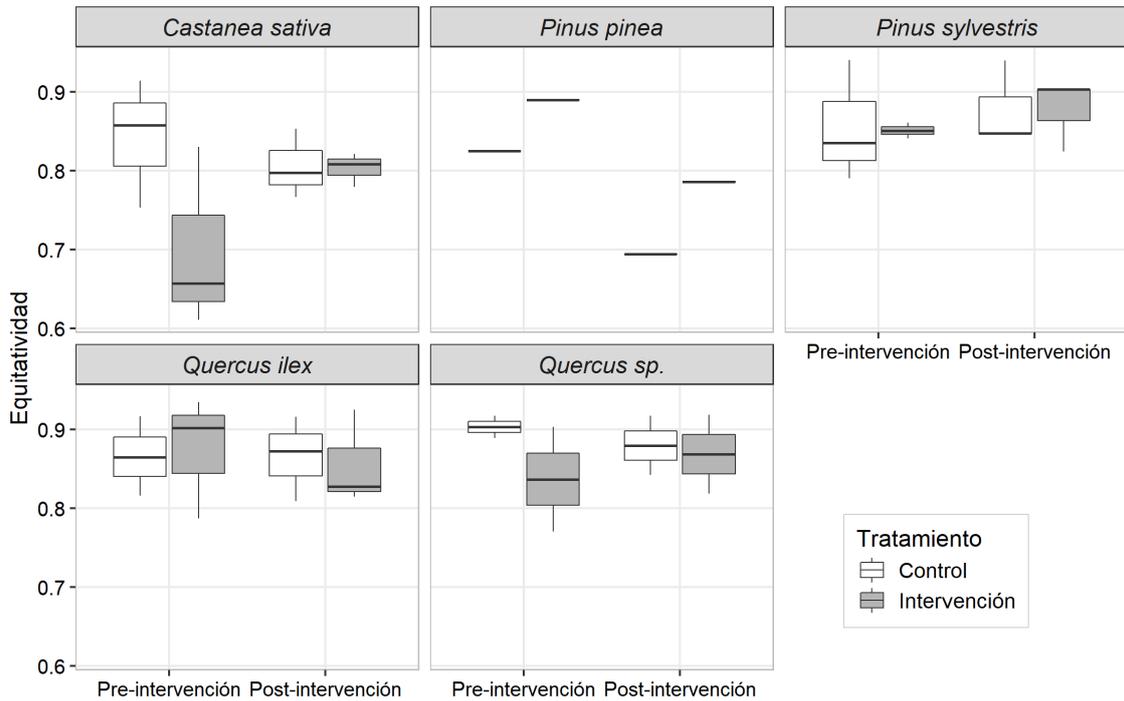


Figura 12: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la equitatividad de especies del estrato arbustivo y herbáceo. La equitatividad se calculó mediante el índice de Pielou (1966).

3.5. Efectos de las actuaciones sobre la madera muerta

En las parcelas intervenidas, a excepción de aquellas de roble, se observó un incremento de la presencia de madera muerta en mayor medida que en las parcelas control (Fig. 13, Tabla S2). Este incremento se debió sobre todo a las piezas de madera muerta en el suelo (troncos, ramas gruesas, tocones) fruto de la corta, mientras que el número de árboles inventariables muertos en pie apenas varió tras la intervención. Por ejemplo, el incremento en número de piezas de madera muerta en suelo de los castaños fue de $7,0 \pm 2,8$ piezas en parcelas intervenidas y de $3,0 \pm 0,0$ piezas en parcelas control. Por contra, en las parcelas control el incremento ha sido principalmente en árboles muertos en pie (mortalidad), deduciéndose que la intervención pudo mitigar en las parcelas intervenidas el aumento del número de pies de árboles muertos. Por ejemplo, el incremento en número de pies muertos de los castaños fue de $2,5 \pm 6,4$ pies en parcelas intervenidas y de $18,2 \pm 6,5$ pies en parcelas control.

Entre las distintas tipologías forestales estudiadas, las formaciones de *C. sativa* fueron las que acumularon mayor cantidad de madera muerta (sobre todo en el suelo), tanto antes como después de las actuaciones (Fig. 13). Antes de la intervención, había homogeneidad en la cantidad de madera muerta entre los distintos tipos de estado de descomposición, a excepción de la “descomposición baja” (i.e., no había madera muerta) (no mostrado). Tras la intervención, apareció madera muerta en “descomposición baja” en todas las tipologías forestales (no mostrado).

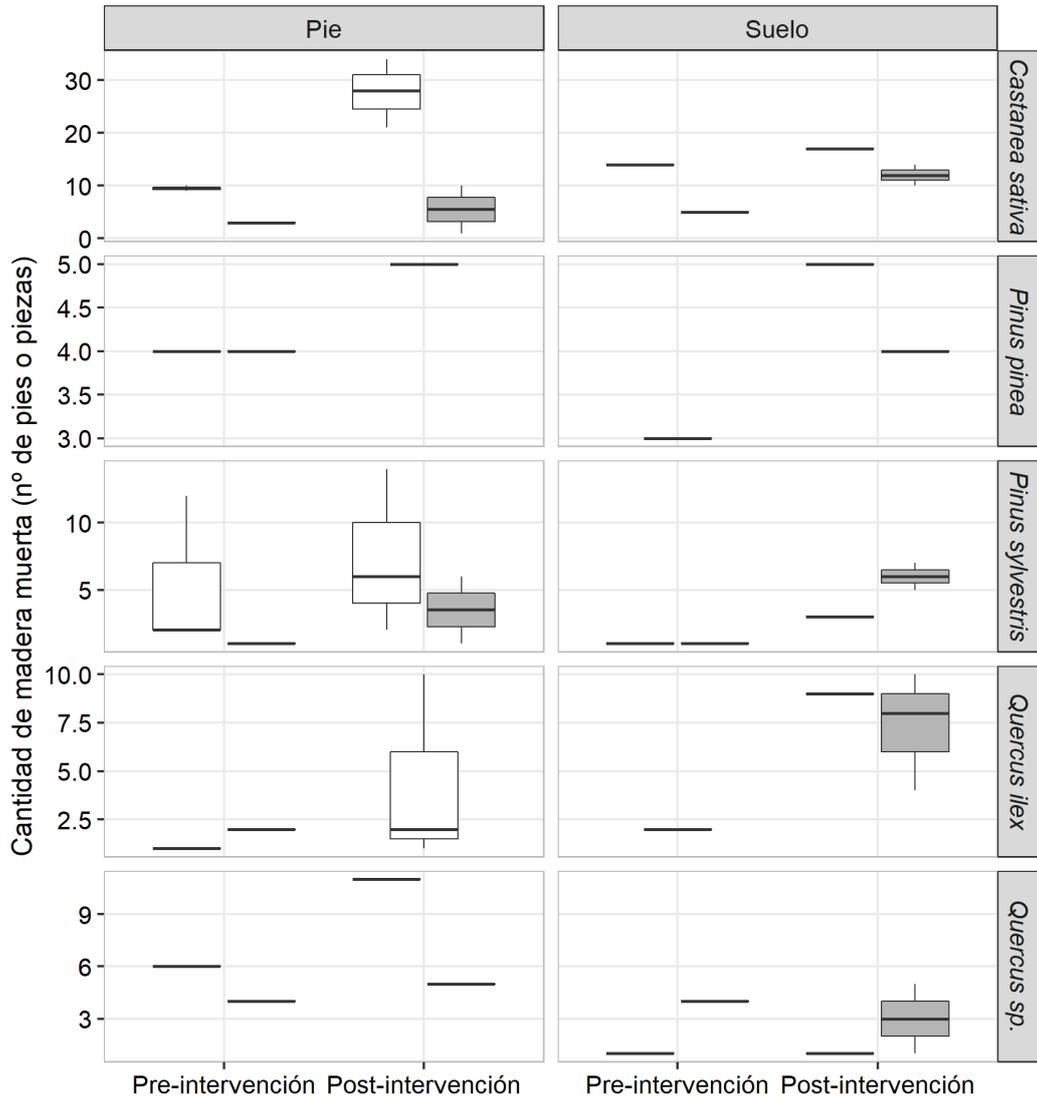


Figura 13: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la cantidad de madera muerta, tanto de árboles inventariables muertos en pie ('Pie') como piezas de madera muerta en el suelo (troncos, ramas gruesas, tocones; 'Suelo'). Las cajas blancas y grises representan los datos de las parcelas control e intervenidas, respectivamente.

3.6. Efectos de las actuaciones sobre la humedad del suelo

En general, se ha observado un efecto positivo de la intervención mantenido en el tiempo sobre la humedad del suelo de las formaciones de *P. pinea*, *P. sylvestris* y, en menor medida, *Q. ilex* (Fig. 14). Estos efectos positivos fueron especialmente marcados en épocas de pocas precipitaciones, como se observa en aquellos sensores de humedad colocados en zonas de la parcela (Fig. S2): más liberadas (i.e., con más luz) y bajo cubierta del árbol de referencia. Por otro lado, parece que los tratamientos selvícolas tuvieron solo un efecto positivo a corto plazo sobre la humedad del suelo, si bien la intensidad de corta fue especialmente baja en robledales y, por lo tanto, la reducción de competencia por el agua fue menor. Cabe indicar que se han detectado posibles errores

de medida en sensores de las parcelas de *Q. ilex*, *Quercus sp.* y *P. sylvestris*, que no han podido ser solventados a causa del bajo número de repeticiones (Fig. S2).

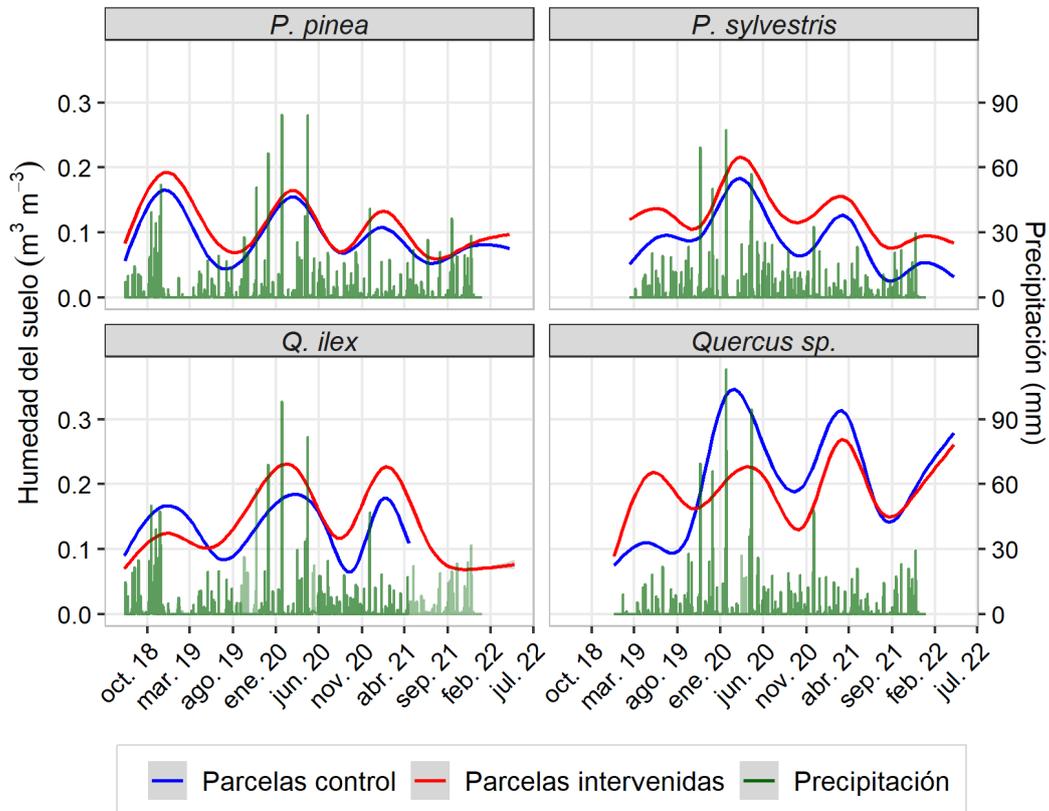


Figura 14: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la humedad del suelo. Los datos de precipitación se obtuvieron mediante las interpolaciones de la metodología DAYMET (i.e., interpolaciones entre estaciones meteorológicas), implementada en el paquete “meteoland” del software R (De Cáceres et al., 2017; Thornton and Running, 1999). No hay datos disponibles de precipitación para el 2022. Las líneas de precipitación son datos observados, y las líneas de las parcelas son tendencias basadas en modelos predictivos ajustados a partir de datos observados.

4. Conclusiones

Los resultados de la acción D2 han permitido valorar el efecto de las intervenciones selvícolas en la capacidad de adaptación de las tipologías forestales, incluyendo una gran diversidad de variables e indicadores. Los principales resultados de las actuaciones, 2 o 3 años después de la intervención, para cada tipología forestal, son los siguientes:

- *Castanea sativa*: Las intervenciones no tuvieron ningún efecto en la riqueza florística total de la masa ni en el regenerado, pero sí condujeron a una mayor riqueza y abundancia relativa de especies arbustivas y herbáceas. Tras las actuaciones, no hubo cambios en el recubrimiento del estrato arbustivo ni del herbáceo, pero sí se incrementó la cobertura y la altura de restos de corta. De hecho, hubo un leve aumento de la cantidad de madera muerta del suelo (p.ej., tocones, ramas gruesas). Respecto al arbolado, tampoco hubo efectos sobre el crecimiento de los árboles de la especie principal (*C. sativa*), aunque las actuaciones tuvieron un efecto positivo únicamente sobre el crecimiento de la especie acompañante *Q. canariensis*. La competencia de los individuos objeto de estudio se redujo gracias a las intervenciones. Las actuaciones también indujeron un abundante regenerado (principalmente de *Fraxinus* sp.).
- *Pinus pinea*: Las intervenciones tuvieron un efecto positivo en la riqueza florística total de la masa y, en concreto, en el regenerado, pero no hubo ningún efecto en la riqueza ni en la abundancia relativa de especies del estrato arbustivo y herbáceo. Las actuaciones resultaron en una reducción de la cobertura y altura del recubrimiento arbustivo de la parcela intervenida. Respecto al arbolado, la intervención condujo a un aumento en el crecimiento radial tanto de los árboles de la especie principal (*P. pinea*) como de la especie acompañante (*Q. canariensis*), y redujo la competencia. Las actuaciones también provocaron una mayor regeneración de *Q. pubescens*. Además, la parcela intervenida mostró más humedad en el suelo que la parcela no gestionada.
- *Pinus sylvestris*: Las actuaciones no alteraron la riqueza florística total de la masa ni la diversidad del regenerado (i.e., ni riqueza ni equitatividad de especies), aunque resultaron en un aumento de la riqueza de especies del sotobosque. Además, las intervenciones redujeron la cobertura del estrato arbustivo, mientras que aumentó el recubrimiento herbáceo y, sobre todo, el de los restos de corta y la altura de éstos. Respecto al estrato arbóreo, las actuaciones aumentaron levemente el crecimiento de los árboles de la especie principal (*P. sylvestris*), y, sobre todo, el de los pies de las especies acompañantes: *Q. pubescens*, *A. opalus* y, en menor medida, *S. torminalis*. Además, la competencia se redujo gracias a la intervención. La regeneración de *Acer opalus*, *Sorbus aria* y *S. torminalis* se vio incrementada gracias a las actuaciones. Las parcelas intervenidas mostraron una mayor cantidad de humedad del suelo que las parcelas no gestionadas, observándose un mayor efecto de la intervención en periodos con bajas precipitaciones.
- *Quercus ilex*: Las intervenciones no tuvieron efecto en la riqueza florística total de la masa, si bien redujeron la tendencia decreciente observada en parcelas control de la riqueza de especies del regenerado y aumentaron, solo con altas intensidades

de corta, la riqueza del estrato arbustivo y herbáceo. Ni el recubrimiento arbustivo y ni el herbáceo mostraron cambios tras los tratamientos selvícolas, aunque sí que aumentó la cobertura y altura de los restos de la corta. Respecto al estrato arbóreo, tanto los árboles de la especie dominante (*Q. ilex*) como de las acompañantes (*Q. pubescens* y *P. avium*) mostraron un aumento en crecimiento radial tras las intervenciones, conduciendo además estas actuaciones a una reducción en la competencia para los individuos. Por el contrario, las actuaciones no han fomentado la regeneración. Además, las parcelas intervenidas mostraron ligeramente una mayor cantidad de humedad del suelo que las parcelas no gestionadas.

- *Quercus* sp.: Los tratamientos selvícolas no causaron ningún efecto claro en la riqueza: florística total de la masa, estratos arbustivo y herbáceo, regenerado. Respecto al efecto de las intervenciones sobre el recubrimiento (cobertura y altura), se observó un incremento en la cobertura y una reducción en la altura del estrato arbustivo, un efecto nulo en el estrato herbáceo y un aumento de los restos de corta. Además, hubo una ligera reducción de la cantidad de madera muerta en el suelo y un mantenimiento de la cantidad de pies muertos (al contrario que en las parcelas no gestionadas). En relación con el arbolado, las actuaciones no provocaron ningún cambio en el crecimiento radial de los pies de la especie principal (*Q. pubescens*, *Q. robur*), si bien aumentaron fuertemente el crecimiento de árboles de especies acompañantes como *P. avium*, *Q. canariensis* y, en menor medida, *F. excelsior*. Estas actuaciones también redujeron la competencia. Además, la regeneración de *Q. pubescens* se vio incrementada gracias a las actuaciones. Sin embargo, se observó solo un efecto a corto plazo de la intervención sobre la humedad del suelo.

En resumen, las actuaciones realizadas en las distintas formaciones forestales han resultado generalmente en: (i) un aumento o mantenimiento de la riqueza de especies de los distintos estratos vegetales, (ii) pocos cambios en la abundancia relativa de especies del regenerado y del estrato arbustivo y herbáceo, (iii) una reducción del recubrimiento arbustivo y un mantenimiento del estrato herbáceo, (iv) un aumento en la cobertura y altura de los restos de corta, así como en la cantidad de madera muerta en el suelo, (v) crecimientos mayores de los árboles de la especie principal y, sobre todo, de las especies acompañantes seleccionadas como árboles de futuro, (vi) una disminución considerable de la competencia individual, (vii) un incremento o mantenimiento en la regeneración (sobre todo de 'árboles de futuro') y (viii) un aumento de la humedad en el suelo. Por lo tanto, estos tratamientos selvícolas han permitido mejorar o mantener la diversidad de la vegetación de la masa, reducir el riesgo de incendios (mediante la reducción del sotobosque y continuidad vertical) e incrementar el crecimiento y regenerado de la masa forestal mediante la reducción de la competencia, sin comprometer la cantidad de agua en el suelo.

A continuación, se muestran resumidamente los efectos principales de las actuaciones sobre los distintos parámetros estudiados en cada tipología forestal (Tabla 4).

Tabla 4: Resumen del efecto de las actuaciones sobre los parámetros observados dentro de cada característica de la parcela para las cinco tipologías forestales.

		<i>C. sativa</i>	<i>P. pinea</i>	<i>P. sylvestris</i>	<i>Q. ilex</i>	<i>Quercus sp.</i>
Riqueza	Florística	=	+	=	=	=
	Regenerado	=	+	=	+/=	=
	Arbustivo/herbáceo	+	=	+	+/=	=
Equitatividad	Regenerado	+/=	?	=	=	=
	Arbustivo/herbáceo	+	=	=	=	=
Recubrimiento (cobertura)	Arbustivo	=	-	-	=	+
	Herbáceo	=	=	+	=	=
	Restos	+	=	+	+	+
Recubrimiento (altura)	Arbustivo	=	-	=	=	-
	Herbáceo	=	=	=	=	=
	Restos	+	?	+	+	+
Madera muerta	Pie	=	?	=	?	=
	Suelo	+	?	+	?	-/=
Crecimientos	Principal	+	+	+	+	=
	Acompañante (nº sp.)*	+ (1)	+ (1)	+ (3)	+ (2)	+ (3)
Competencia		-	-	-	-	-
Regenerado (abundancia)		+	+	+	=	+/=
Humedad de suelo		?	+	+	=/?	=/?

Nota: Tipos de efecto de la intervención sobre las formaciones: ‘=’, no hay efecto; ‘+’, efecto positivo (verde oscuro); ‘-’, efecto negativo (rojo oscuro); ‘+/=’, efecto positivo poco evidente y/o que depende de la intensidad de corta (verde claro); ‘-/=’, efecto negativo poco evidente y/o que depende de la intensidad de corta (rojo claro); ‘?’, no hay datos o son incoherentes; y ‘=/?’, efecto no claro (solo para los sensores de humedad).

* Entre paréntesis se muestra el número de especies acompañantes dentro de la formación afectadas por la intervención.

5. Referencias

- De Cáceres, M., Martin-StPaul, N., Granda, V., Cabon, A., 2017. meteoland: Landscape Meteorology Tools. R package version 0.6.4.
- Hegyí, F., 1974. A simulation model for managing jack-pine standssimulation. R. For, Res. Notes 30, 74–90.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. J. Theor. Biol. 13, 131–144.
- Thornton, P.E., Running, S.W., 1999. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. Agric. For. Meteorol. 93, 211–228.

6. Bibliografía adicional

- Ameztegui, A., Cabon, A., De Cáceres, M., Coll, L., 2017. Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: A modelling approach. Ecol. Modell. 356, 141–150.
- Bravo, F., Fabrika, M., Ammer, C., Barreiro, S., Bielak, K., Coll, L., Fonseca, T., Kangur, A., Löf, M., Merganičová, K., 2019. Modelling approaches for mixed forests dynamics prognosis. Research gaps and opportunities. For. Syst. 28, eR002.
- De Cáceres, M., Mencuccini, M., Martin-StPaul, N., Limousin, J.-M., Coll, L., Poyatos, R., Cabon, A., Granda, V., Forner, A., Valladares, F., 2021. Unravelling the effect of species mixing on water use and drought stress in Mediterranean forests: A modelling approach. Agric. For. Meteorol. 296, 108233.
- Steckel, M., del Río, M., Heym, M., Aldea, J., Bielak, K., Brazaitis, G., Černý, J., Coll, L., Collet, C., Ehbrecht, M., 2020. Species mixing reduces drought susceptibility of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and oak (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.)—Site water supply and fertility modify the mixing effect. For. Ecol. Manage. 461, 117908.
- Vilà-Cabrera, A., Coll, L., Martínez-Vilalta, J., Retana, J., 2018. Forest management for adaptation to climate change in the Mediterranean basin: A synthesis of evidence. For. Ecol. Manage. 407, 16–22.

7. Anejos

7.1. Calendario de las actuaciones e inventarios

Tabla S1: Cronograma sobre las intervenciones llevadas a cabo en las parcelas gestionadas, así como los distintos inventarios forestales realizados antes y después de las intervenciones tanto en las parcelas intervenidas como en las control (i.e., ninguna intervención).

Masa dominante	Rodal	Parcela	2017		2018				2019				2020				21	Períodos vegetativos tras intervención
			3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	
			Veg.	Parada	Veg.													
<i>Quercus ilex</i>	C1.01	C1.01.02			A	X									B1	B2	3	
	C1.01	C1.01.02.C			A1	A2									B1	B2	-	
	C1.06	C1.06.02			A1	A2	X								B1	B2	3	
	C1.06	C1.06.02.C			A										B1	B2	-	
	C1.21	C1.21.01					A1	X							B1		2	
	C1.21	C1.21.01.C					A1								B1		-	
<i>Castanea sativa</i>	C2.12	C2.12.01			A1	A2		X							B1	B2	2	
	C2.12	C2.12.01.C			A										B1	B2	-	
	C2.13	C2.13.02			A2		A1	X							B1	B2	2	
	C2.13	C2.13.02.C			A1										B1	B2	-	
	C2.21	C2.21.04					A	X							B1	B2	2	
	C2.21	C2.21.04.C					A								B1	B2	-	
<i>Quercus sp.</i>	C3.03	C3.03.01			A1	A2	X								B1	B2	3	
	C3.03	C3.03.01.C			A										B1	B2	-	
	C3.06	C3.06.03			A			X							B1	B2	2	
	C3.06	C3.06.03.C															-	
	C3.07	C3.07.02			A1		A2	X							B1	B2	2	
	C3.07	C3.07.02.C			A2												-	
	C3.08	C3.08.01			A1	A2	X								B1	B2	2-3	
	C3.08	C3.08.01.C			A										B1	B2	-	
<i>Pinus pinea</i>	C4.03	C4.03.01			A1	A2	X								B1	B2	3	
	C4.03	C4.03.01.C			A										B1	B2	-	
<i>P. sylvestris</i>	C4.05	C4.05.02			A1	A2		X							B1	B2	2	
	C4.05	C4.05.02.C			A										B1	B2	-	
	C4.06	C4.06.01			A1	A2		X							B1	B2	2	
	C4.06	C4.06.01.C			A										B1	B2	-	
	C4.22	C4.22.03					A	X							B1	B2	2	
	C4.22	C4.22.03.C					A								B1	B2	-	

Nota: La posición de la intervención o del inventario dentro del cronograma depende del mes en el que se realizó. La parcela cuyo código termina en ‘.C’ indica que es una parcela control; por el contrario, indica que es una parcela intervenida. ‘T’ es el trimestre del año, ‘Veg.’ es el periodo vegetativo (i.e., entre abril y septiembre, inclusive), ‘Parada’ es el periodo de parada vegetativa (i.e., entre octubre y marzo, inclusive), ‘X’ indica el momento de la intervención, ‘A’ es el inventario antes de la intervención de todas las variables, ‘A1’ es el inventario antes de la intervención de todas las variables menos aquellas sobre el estrato arbóreo y competidores del arbolado, ‘A2’ es el inventario antes de la intervención de las variables sobre el estrato arbóreo y competidores del arbolado, ‘B1’ indica el inventario después de la intervención de todas las variables menos aquellas sobre el estrato arbóreo y competidores del arbolado, ‘B2’ indica el inventario después de la intervención de las variables sobre el estrato arbóreo y competidores del arbolado.

7.2. Resumen de resultados destacados sobre el efecto de las actuaciones en diferentes variables ecológicas

Tabla S2: Resultados más destacados del efecto de las actuaciones para las cinco tipologías forestales sobre las variables: riqueza del estrato arbustivo y herbáceo, madera muerta y crecimiento del arbolado. Los resultados son la diferencia entre los valores medios observados de la post-intervención y los de la pre-intervención (en las parcelas control no hay intervención, el valor corresponde a la evolución de la variable tras 2-3 años).

		<i>C. sativa</i>		<i>P. pinea</i>		<i>P. sylvestris</i>		<i>Q. ilex</i>		<i>Quercus sp.</i>	
		Control (n = 3)	Intervenida (n = 3)	Control (n = 1)	Intervenida (n = 1)	Control (n = 3)	Intervenida (n = 3)	Control (n = 3)	Intervenida (n = 3)	Control (n = 2)	Intervenida (n = 2)
Riqueza (nº sp.)	Arbustivo/herbáceo	-0,7 ± 2,8	3,0 ± 2,9	4	10	0,7 ± 4,6	4,7 ± 3,9	1,0 ± 7,2	2,7 ± 9,8	-3,5 ± 12,7	-4,0 ± 12,8
Madera muerta	Pie (nº pies)	18,2 ± 6,5	2,5 ± 6,4	1	0	2,0 ± 8,4	2,5 ± 3,5	3,3 ± 4,9	0,0 ± 0,0	5,0	1,0
	Suelo (nº piezas)	3,0 ± 0,0	7,0 ± 2,8	2	0	2,0 ± 0,0	5,0 ± 1,0	0,0 ± 0,0	5,3 ± 3,1	0,0	-1,0 ± 2,8
Crecimientos*	Principal (mm/año)	-	-	5,7 ± 4,8	9,4 ± 6,1	8,1 ± 6,4	9,4 ± 5,6	3,0 ± 2,7	6,4 ± 6,5	7,6 ± 5,7	6,6 ± 2,9
	<i>Q. canariensis</i> (cm)	0,49 ± 0,51	0,93 ± 0,79	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P. avium</i> (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06 ± 4,54	0,58 ± 0,84
	<i>A. opalus</i> (cm)	-	-	-	-	0,56 ± 0,37	1,23 ± 0,64	-	-	-	-
	<i>S. torminalis</i> (cm)	-	-	-	-	0,00 ± 0,52	0,34 ± 0,20	-	-	-	-
	<i>Q. pubescens</i> (cm)	-	-	-	-	1,02 ± 0,51	2,92 ± 0,93	0,23 ± 1,32	1,32 ± 0,89	-	-
Regenerado (nº individuos)		-1 ± 23	81 ± 125	6	36	16 ± 37	37 ± 45	-55 ± 76	-47 ± 60	-96 ± 227	-38 ± 136

Nota: 'n' indica el número de parcelas.

* 'Principal' es el crecimiento medio anual de la especie principal de la formación forestal (mediante la interpolación de crecimientos diarios entre lecturas de dendrómetros). Las otras especies diferentes a 'Principal' indican el crecimiento del diámetro normal (medido con cinta diamétrica) para cada especie acompañante mencionada dentro de la formación. El número de observaciones es variable según el número de árboles medidos de esa especie en cada parcela e inventario.

7.3. Efecto de las actuaciones sobre la altura del recubrimiento vegetal

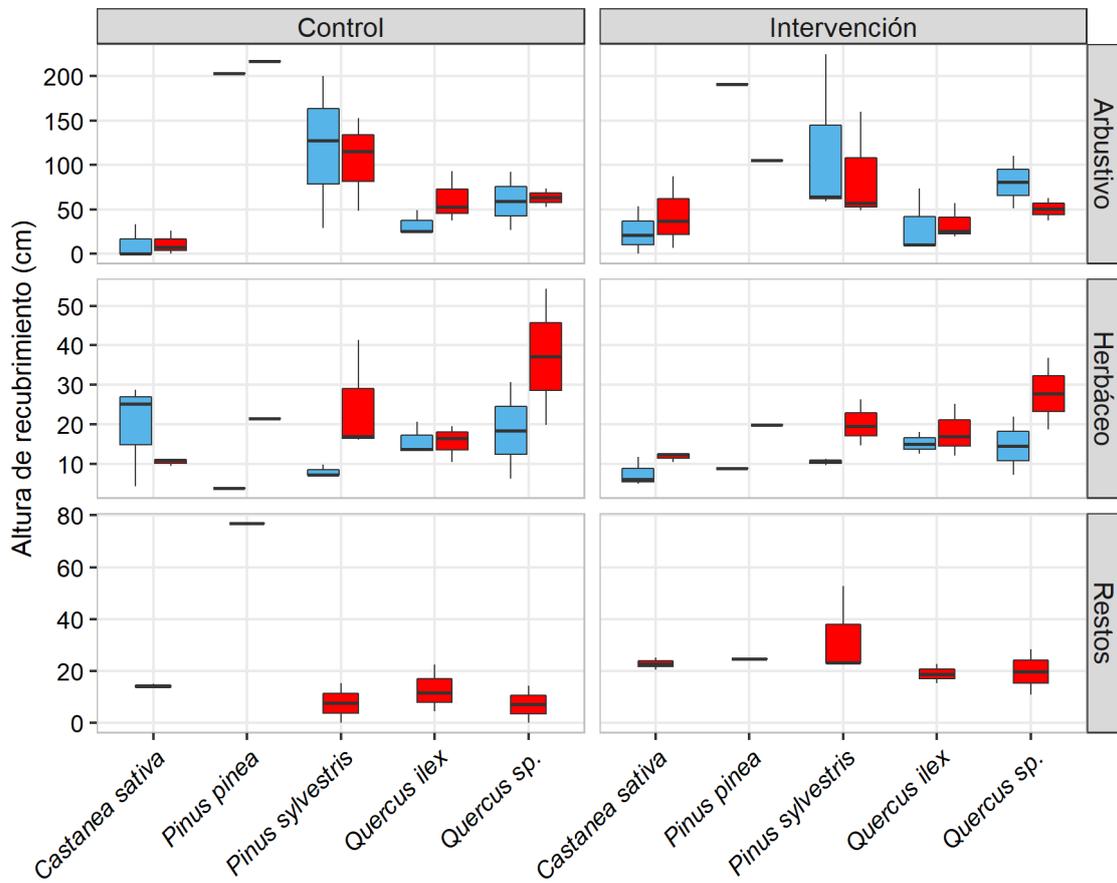


Figura S1: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la altura de los distintos tipos de recubrimiento vegetal. Las cajas azules y rojas son los datos observados antes y después de la intervención, respectivamente. 'Control' muestra los datos de las parcelas control (sin tratamiento) e 'Intervención' muestra los datos de las parcelas intervenidas.

7.4. Efecto de la actuaciones y precipitación sobre distintos sensores de humedad del suelo

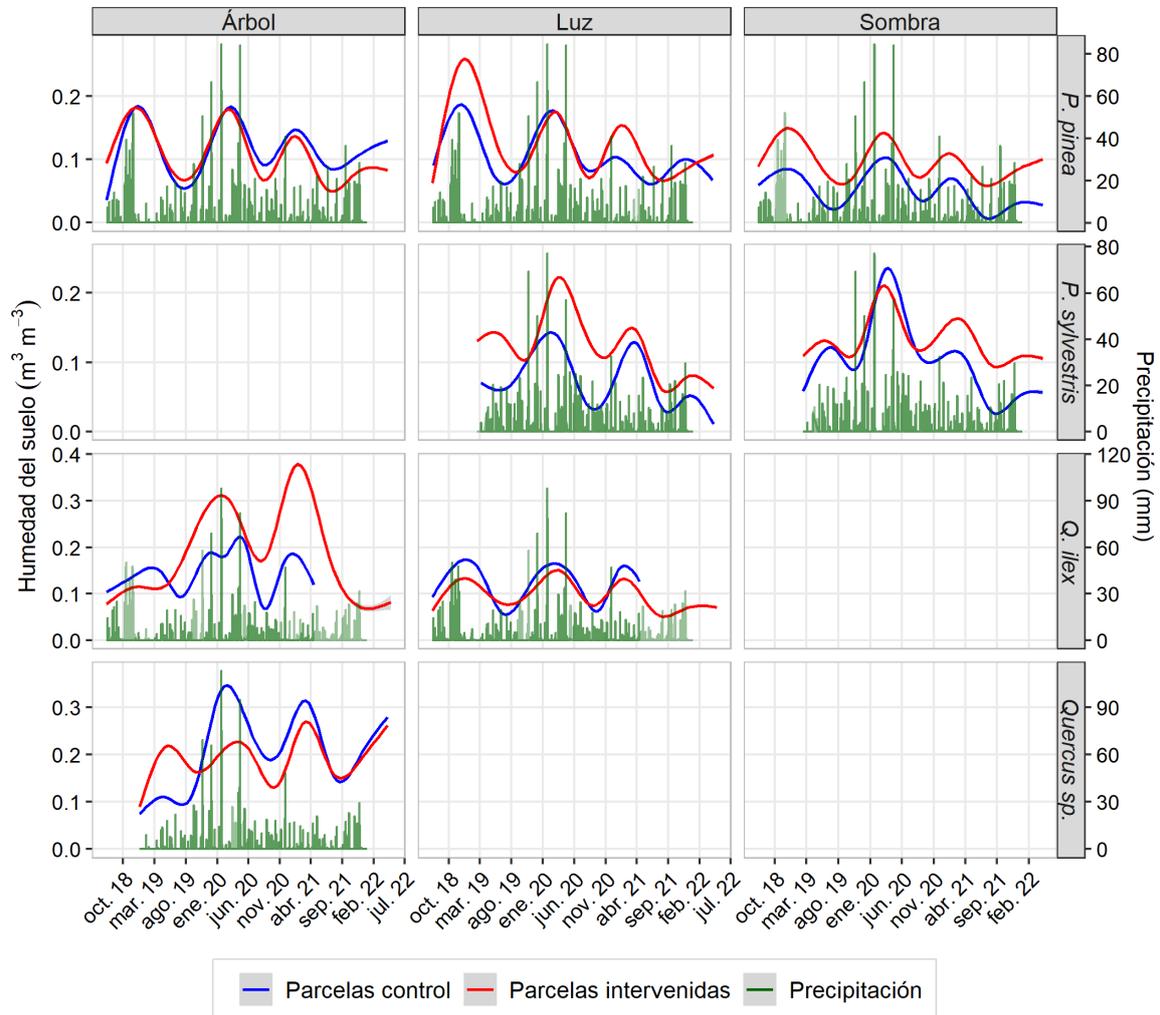


Figura S2: Efecto de la intervención sobre la humedad del suelo en los distintos sensores colocados en las parcelas de las diferentes tipologías forestales. Hay 3 sensores de humedad por parcela: en un árbol de referencia (‘Árbol’), en una zona liberada (‘Luz’) y en una zona bajo cubierta del árbol de referencia (‘Sombra’). No se muestran los datos recopilados de sensores defectuosos (gráficas en blanco). Los datos de precipitación se obtuvieron mediante las interpolaciones de la metodología DAYMET, implementada en el paquete “meteoland” del software R (De Cáceres et al., 2017; Thornton and Running, 1999). No hay datos disponibles de precipitación para el 2021. Las líneas de precipitación son datos observados, y las líneas de las parcelas son tendencias basadas en modelos predictivos ajustados a partir de datos observados.

7.5. Efecto de la actuaciones y evapotranspiración sobre la humedad del suelo

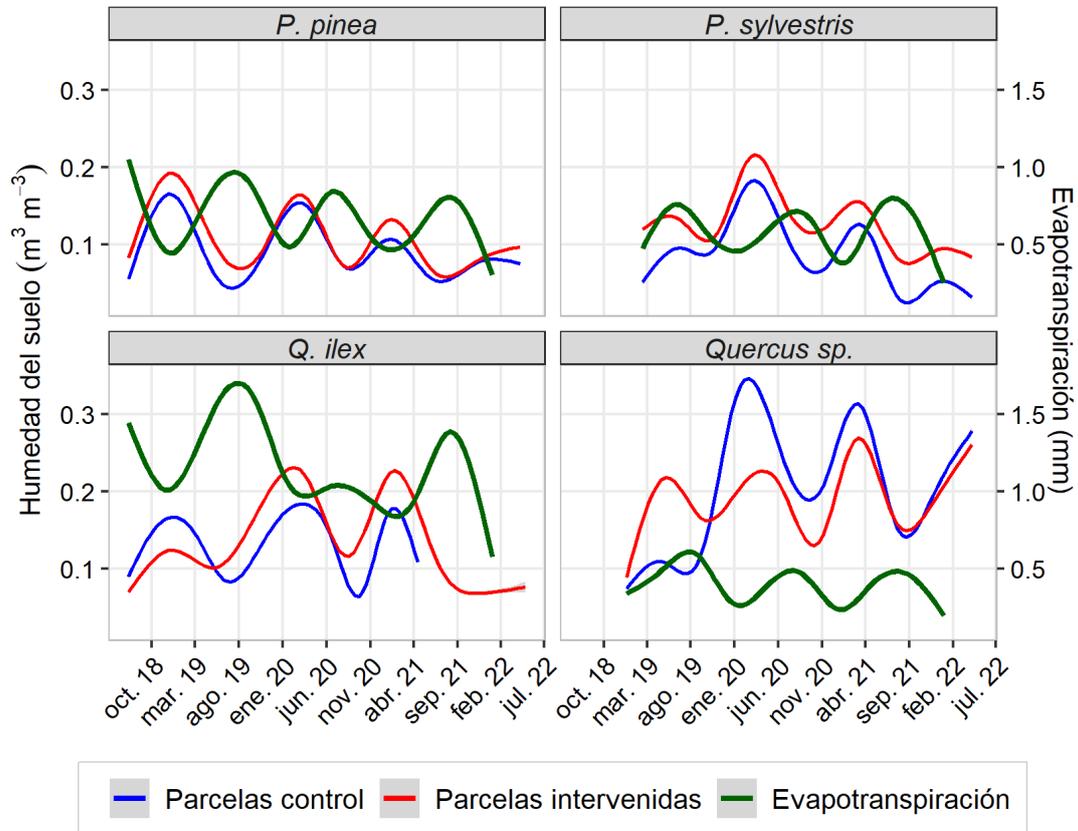


Figura S3: Efecto de la intervención en las distintas tipologías forestales sobre la humedad del suelo. Los datos de evapotranspiración potencial se obtuvieron mediante las interpolaciones de la metodología DAYMET (i.e., interpolaciones entre estaciones meteorológicas), implementada en el paquete “meteoland” del software R (De Cáceres et al., 2017; Thornton and Running, 1999). No hay datos disponibles de evapotranspiración para el 2021. Las líneas de evapotranspiración son datos observados, y las líneas de las parcelas son tendencias basadas en modelos predictivos ajustados a partir de datos observados.

7.6. Características del suelo del Montseny

Los resultados obtenidos del análisis visual de las características del suelo proceden de un único perfil del suelo en el verano del 2020 ('post-intervención') y para la formación exclusivamente de *Quercus* sp. del Montseny (rodal C3.07).

En resumen, el suelo se caracteriza por: (i) ser profundo y rojizo, (ii) tener poca pedregosidad y con piedras de pequeño tamaño (< 2 cm de diámetro), (iii) tener una rocosidad del 0%, (iv) aumentar de densidad y pedregosidad a los 40 cm de profundidad, y (v) cambiar gradualmente su textura y color (más oscuro) hasta la profundidad máxima alcanzada (50 cm).

A continuación, se muestra los resultados descriptivos del perfil:

Cata (5x5x25 cm):	
	<p>0-5 cm - Horizonte orgánico.</p> <p>5-11,5 cm - Horizonte A (más oscuro).</p> <p>11,5-17,5 cm - Horizonte AB.</p> <p>17,5-25 cm - Horizonte B.</p>
Perfil (50 cm profundidad):	
	<p>0-5 cm - Horizonte orgánico</p> <p>5-13 cm - Horizonte A. Textura con arena. 0% rocosidad. Húmedo.</p> <p>13-23 cm - Cambio gradual de color. Rojo más intenso.</p> <p>23-30 cm - Sigue habiendo un cambio gradual.</p> <p>30-50 cm – Color rojo oscuro. Textura más fina. Un poco de pedregosidad (2 cm máx. de diámetro).</p>

	
<p>Textura 0-30 cm La materia orgánica puede contribuir a se establezca más la estructura. Contenido: 50% limo 30% arena 20% arcilla</p>	<p>Textura 30-50 cm 40% arena 30% limo 30% arcilla</p>

Profundidad observada en un talud entre el rodal C3.07 y C4.06:

	<p>Horizonte B: hasta los 40 cm.</p> <p>Transición: 40-50 cm.</p> <p>Horizonte C: 50 – 120 cm, con piedra descompuesta.</p>
---	---

