

Informe de evaluación de los efectos sobre los servicios ecosistémicos según tipo de gestión y hábitat (D4)



Septiembre de 2023

Socios:

Informe de evaluación de los efectos sobre los servicios ecosistémicos según tipo de gestión y hábitat (D4)

Publicación: septiembre de 2023

Coordinación: Jordi Vayreda, Lluís Comas (CREAF).

Cita recomendada: Vayreda, J., Comas, L. (2023). Informe de evaluación de los efectos sobre los servicios ecosistémicos según tipo de gestión y hábitat (D4). Life Biorgest, 48p.

LIFE BIORGEST: Innovative Forest Management Strategies to Enhance Biodiversity in Mediterranean Forests. Incentives & Management Tools.

El proyecto LIFE BIORGEST (LIFE17 NAT/ES/000568) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea.

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.

Cofinanciadores:



Socios:



Executive summary

In Action D4, the effects of silvicultural actions on the ecosystem services and the state of health of the forest are evaluated, depending on the type of habitat (holm oak forests, Aleppo pine forests or Mediterranean oak forests) pure or mixed and the type of management (reference silviculture model, close-to-nature silviculture or preparation to natural dynamics). This monitoring has been carried out in the 18 stands corresponding to actions C1, C2, C3 and C4.

The changes in ecosystem services analysed (and which are presented in this report) are the provision of wood and firewood, carbon sink capacity, soil protection against erosion and protection against fires. Regarding the forest health status, the changes in the half-life of the leaves (for evergreen species), the moisture content of the leaves and the relative growth in the basal area of the trees (except oak) were analysed. This report explains the methodology used for the evaluation of all these ecosystem services, based on the variables measured in the 18 demonstration stands.

On the other hand, the affectation of Aleppo pine by scolitidae was monitored during two years after treatments in the six pure or mixed stands.

The report includes the English translation of the conclusions section (see page 45).

Resumen ejecutivo

En la Acción D4 se evalúan los efectos de las actuaciones silvícolas sobre los servicios ecosistémicos y el estado de salud del bosque, en función del tipo de hábitat (encinares, pinares de pino carrasco o robledales mediterráneos) puros o mixtos y del tipo de manejo (modelos de gestión de referencia, silvicultura naturalística o de preparación a dinámica natural). Este seguimiento se ha realizado en los 18 rodales que corresponden a las acciones C1, C2, C3 y C4.

Los cambios en los servicios ecosistémicos que se han analizado, y que se presentan en este informe, son la provisión de madera y leñas, la capacidad de sumidero de carbono, la protección del suelo contra la erosión y la protección contra incendios. En cuanto al estado de salud del bosque se han analizado los cambios en la vida media de las hojas (para las especies perennifolias), el contenido de humedad de las hojas y el crecimiento relativo en área basal de los árboles (excepto encina). En este informe se explica la metodología utilizada para la evaluación de todos estos servicios ecosistémicos, en base a las variables medidas en los 18 rodales demostrativos.

Por otra parte, se siguió la afectación por escolítidos del pino carrasco en los dos años posteriores a la actuación en los seis rodales puros o mixtos.

Índice

1. Introducción y objetivos	5
Contexto climático (anomalías climáticas)	7
2. Cambios en los servicios ecosistémicos debido a los tratamientos.....	8
2.1 Provisión de madera y leñas	8
2.2. Capacidad de sumidero de carbono.....	11
2.3. Protección del suelo contra la erosión	14
2.4. Protección contra los incendios	22
3. Cambios en el estado de salud	27
3.1. Vida media de las hojas	29
3.2. Contenido de humedad de las hojas.....	31
3.3. Crecimiento relativo en área basal de los árboles.....	34
3.4. Seguimiento de escolítidos por trampeo.....	37
3.5. Evaluación anual de la afectación de pinos por escolítidos.....	40
4. Conclusiones / <i>Conclusions</i>	43
5. Referencias	47

1. Introducción y objetivos

El objetivo de este informe es cuantificar y evaluar el efecto de la aplicación de modelos de gestión forestal en los servicios ecosistémicos y en el estado de salud para las tres tipologías de rodales puros y mixtos de bosque mediterráneo del proyecto: pinares mediterráneos, encinares y robledales.

Como se explica más adelante, la evaluación de los servicios ecosistémicos se ha realizado a partir del muestreo llevado a cabo con parcelas en todos los rodales para todas las actuaciones de las acciones C1, C2, C3 y C4 en Catalunya.

Esta evaluación tiene como objetivo principal cuantificar mediante indicadores directos los cambios en cada rodal en algunos servicios ecosistémicos antes y después de las intervenciones como consecuencia de las actuaciones silvícolas de manera objetiva y transferible.

Los servicios ecosistémicos evaluados a escala de rodal han sido:

- La provisión de madera y leñas
- La capacidad de sumidero de carbono
- La protección del suelo contra la erosión
- La protección contra incendios.

Los tratamientos silvícolas se realizaron durante la parada vegetativa del 2020-2021. Se llevaron a cabo tres inventarios dasométricos y algunos complementarios a lo largo del proyecto: (a) pre-intervención, (b) post intervención (sin transcurrir ningún período vegetativo desde la intervención) y, (c) final. El inventario final se realizó al cabo de dos o tres períodos vegetativos después de la intervención (tabla 1).

Tabla 1: Cronograma de las intervenciones silvícolas e inventarios dasométricos para la caracterización de los indicadores de los servicios ecosistémicos.

Campaña	2019		2020				2021				2022				2023
	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T
	Veg.	Parada													
1	A														
2			X			X	B								
3															C

Nota: La posición de la intervención o del inventario dentro del cronograma depende del mes en el que se realizó. 'T' es el trimestre del año, 'Veg.' Es el periodo vegetativo (entre abril y setiembre), 'Parada' es la parada vegetativa (entre octubre y marzo), 'X' indica el momento de la intervención que en algunos rodales se realizó a principios de 2020 y en otros a finales, 'A' es el inventario antes de la intervención, 'B' es el inventario después de la intervención, y 'C' es el último inventario realizado (dos o tres años después de la intervención).

Para la cuantificación de los indicadores se realizaron tres inventarios forestales (indicados con las letras A, B y C de la tabla 1) donde se tomó información en parcelas circulares de muestreo (entre 3 y 5 parcelas por rodal según los casos) de: (i) el arbolado vivo, (ii) la madera muerta en pie y en el suelo, (iii) la estructura horizontal y vertical de la vegetación arbolada, etc. Se explica con detalle las distintas

escalas de datos de inventario (árbol, parcela, rodal) y las variables en el [Protocolo común de muestreo de evaluación de las actuaciones silvícolas, de indicadores de biodiversidad y funciones ecosistémicas \(Acciones D2, D3 y D4\)](#).

Un caso aparte es la evaluación del estado de salud de los árboles como consecuencia de las actuaciones. Para ello se realizó un muestreo adicional durante el mes de septiembre de 2022. Los indicadores evaluados han sido los siguiente:

- Vida media de las hojas
- Contenido de humedad de las hojas
- Crecimiento relativo en área basal de los árboles

En el apartado 3 se describen algunos detalles del protocolo de campo adicional y los cálculos que se realizaron para poder evaluar estos tres indicadores. También se pueden encontrar más detalles del muestreo en el mismo [Protocolo común de muestreo de evaluación de las actuaciones silvícolas, de indicadores de biodiversidad y funciones ecosistémicas \(Acciones D2, D3 y D4\)](#).

Tabla 2: Resumen de las características de los rodales evaluados, la acción a la cual pertenecen y el número y tipo de parcelas de inventario dasométrico realizado.

Código	Nombre Finca	Acción	Sup. (ha)	Modelo gestión	Especies principal	Tipo de bosque
GOQip	El Bruix	C1	8,01	De referencia	<i>Quercus ilex</i>	Puro
GpNQip	El Bruix	C1	7,94	Naturalístico	<i>Quercus ilex</i>	Puro
GOQim	Mas Quintana	C1	7,11	De referencia	<i>Quercus ilex</i>	Mixto
GpNQim	La Torroella	C1	7,85	Naturalístico	<i>Quercus ilex</i>	Mixto
GOPhp	Muntanya Gran	C2	7,62	De referencia	<i>Pinus halepensis</i>	Puro
GpNPhp	Muntanya Gran	C2	7,66	Naturalístico	<i>Pinus halepensis</i>	Puro
GoPhm	Can Planes	C2	7,40	De referencia	<i>Pinus halepensis</i>	Mixto
GpNPhm	Can Planes	C2	7,41	Naturalístico	<i>Pinus halepensis</i>	Mixto
GOQhp	Can Cases	C3	8,29	De referencia	<i>Quercus pubescens</i>	Puro
GpNQhp	Can Buscastell	C3	8,05	Naturalístico	<i>Quercus pubescens</i>	Puro
GOQhm	Can Bernench	C3	8,52	De referencia	<i>Quercus pubescens</i>	Mixto
GpNQhm	Casanova de Maspons	C3	7,92	Naturalístico	<i>Quercus pubescens</i>	Mixto
GNQip	Can Bosc	C4	8,35	Prep. Dinámica. Nat.	<i>Quercus ilex</i>	Puro
GNQim	Can Calopa	C4	8,06	Prep. Dinámica. Nat.	<i>Quercus ilex</i>	Mixto
GNPhp	Muntanya Gran	C4	8,88	Prep. Dinámica. Nat.	<i>Pinus halepensis</i>	Puro
GNPhm	Can Calopa	C4	8,12	Prep. Dinámica. Nat.	<i>Pinus halepensis</i>	Mixto
GNQhp	Font Grogà	C4	8,16	Prep. Dinámica. Nat.	<i>Quercus pubescens</i>	Puro
GNQhm	Carena del Pagès	C4	8,40	Prep. Dinámica. Nat.	<i>Quercus pubescens</i>	Mixto

En este informe se resume la metodología y los resultados obtenidos de las acciones de seguimiento de la acción D4 en relación a las actuaciones silvícolas de las acciones de C1 a C4. Son 18 rodales en los que se han realizado actuaciones que sumados a los de evolución natural suman un total de 201,54 ha. En la tabla 2 se resumen los datos generales de los rodales, la superficie de actuación y la acción a la que corresponden. Todos estos rodales han sido cartografiados e inventariados mediante parcelas de seguimiento permanentes. En las acciones C1 a C3 hay 3 parcelas en cada rodal y en la acción C4 hay 5 parcelas por rodal, que hacen un total de 66 parcelas permanentes.

Contexto climático (anomalías climáticas)

Una cuestión muy relevante en el contexto de los resultados de los seguimientos de este informe es que durante los dos años posteriores a las actuaciones silvícolas se produjo una sequía entre muy severa y extremadamente severa lo cual, muy probablemente, ha condicionado los resultados de dicho seguimiento hasta el extremo que podría incluso haber cancelado los supuestos efectos positivos de las actuaciones forestales. En la figura 1 se muestra la severidad de la sequía meteorológica teniendo en cuenta la precipitación y la demanda de agua por parte de la atmósfera (evapotranspiración) (Vicente-Serrano et al. 2017). Cuanto más rojo es el color (más negativo el índice SPEI), más severa es la sequía meteorológica.

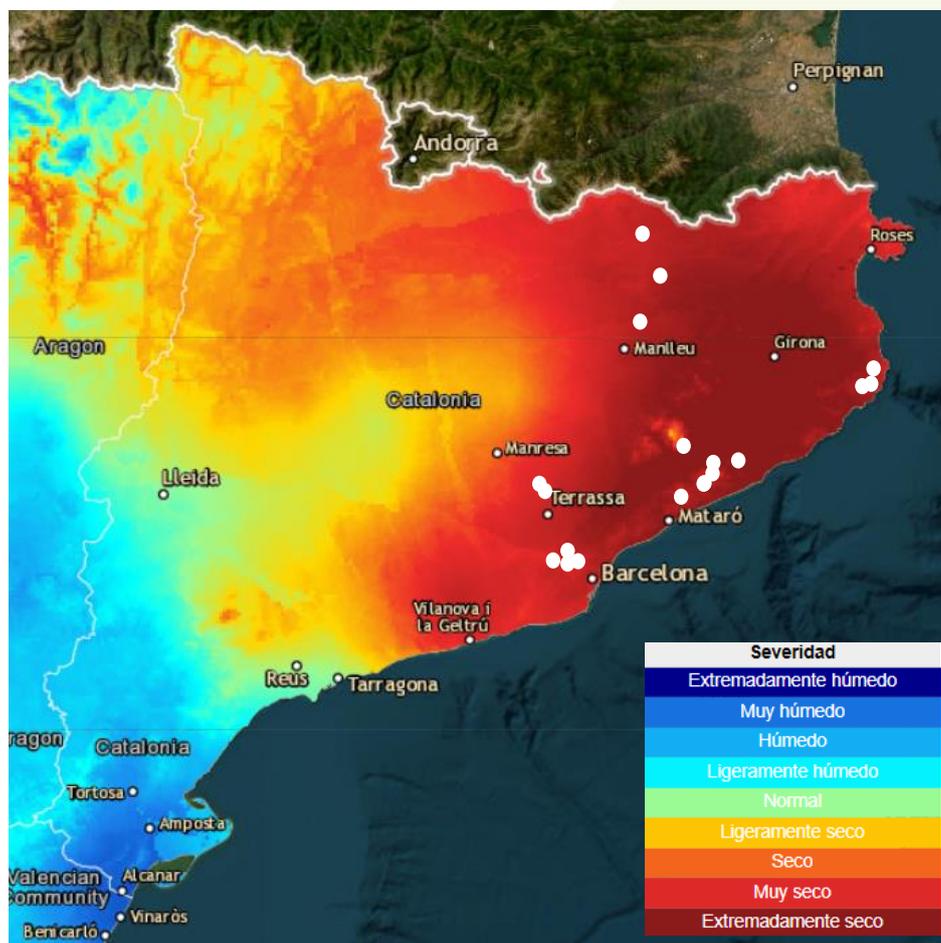


Figura 1. Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizada (SPEI, en sus siglas en inglés) de 24 meses (2 años, diciembre de 2022). Se puede observar que todos los rodales de las acciones C1-C4 se encuentran en la zona donde el valor de sequía se corresponde a una sequía entre muy seca y extremadamente seca. Los puntos blancos señalan la ubicación de los rodales (Fuente: <https://monitordesequia.csic.es/>).

2. Cambios en los servicios ecosistémicos debido a los tratamientos

En los siguientes apartados, se muestra la metodología y los resultados para cada servicio ecosistémico evaluado para cada rodal comparando los cambios entre el antes y el después de los tratamientos para cada uno de ellos. Estos resultados se han basado en la comparación de los resultados de los inventarios llevados a cabo en 2019 antes de la actuación (Antes 2019) y los realizados en 2022, al final del proyecto (Final 2022).

2.1 Provisión de madera y leñas

La Tabla 3 resume los cambios en el volumen con corteza (madera y leñas) para todos los rodales por hábitat, tipo de bosque (puro o mixto) y tipo de gestión. La diferencia entre el volumen final (Final 2022) y el volumen inicial (2019) es una estima de la provisión de madera y leñas que se podría generar si todo el volumen cortado hubiera sido aprovechado. En el caso de la gestión de preparación a dinámica natural no se hizo ningún tipo de extracción de madera. En este caso la diferencia es una estima de la del volumen de madera que se dejó in situ o bien como madera en el suelo o bien como madera en pie (caso de los pies anillados si ya estaban muertos en el último muestreo).

De manera independiente se cuantificó la cantidad de madera que realmente se extrajo de cada rodal. Se obtuvo pesando en industria los camiones que provenían de cada uno de los rodales. El valor obtenido se dividió por la superficie de actuación para obtener un valor comparable con el volumen calculado a partir de los datos de las parcelas de muestreo (Cambio (Final - Antes) de la tabla 3). Pero además hay que tener en cuenta que las unidades son distintas el volumen se expresa en m³/ha mientras que la cantidad extraída se expresa en toneladas/ha (t/ha). Además de que las unidades no son las mismas, la madera aprovechada puede tener contenidos de humedad distintos dependiendo de las condiciones meteorológicas posteriores a la actuación y del tiempo transcurrido hasta su transporte a industria. Como se puede observar en muchos casos las diferencias son notables y en algunos casos dispares, es decir, valores medidos en parcelas superiores a los valores extraídos o, viceversa. Estas diferencias pueden ser atribuidas al hecho de que el muestreo en las parcelas de seguimiento no sea del todo representativo de lo acontecido a escala de todo el rodal.

Des del punto de vista del servicio ecosistémico, provisión de madera y leñas, el valor que se debe tener en cuenta es el que proviene de los datos de la madera realmente transportada a industria (biomasa extraída, en t/ha, de la tabla 3). En relación a este valor existen grandes diferencias entre rodales, desde más de 100 t/ha extraídas en encinares puros a valores intermedios, entre 10 y 60 t/ha, en robledales puros o mixtos, hasta valores muy bajos en los pinares de pino carrasco con valores inferiores a 10 t/ha. No hay diferencias substanciales para un mismo tipo de hábitat entre rodales con gestión de referencia y rodales con gestión naturalística.

Tabla 3: Valores promedio y error estándar y cambio (valor absoluto y %) del volumen con corteza (madera y leñas, m³/ha) antes de las actuaciones (Antes 2019) y al final del proyecto (Final 2022) en los rodales puros o mixto según tipo de gestión y de la cantidad extraída según los datos del peso de los camiones.

			Volumen (m ³ /ha)				Cantidad extraída	Cambio (Final - Antes)	
			Antes 2019		Final 2022				
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	t/ha	m ³ /ha	%
Encinares									
GpNQip	Puro	De referencia	161,0	11,7	115,6	5,3	-100,8	-45,4	-28,2
GOQip	Puro	Naturalística	182,1	4,2	155,1	1,7	-124,8	-27,0	-14,8
GNQip	Puro	Preparación	222,9	16,4	189,8	23,3	0	-33,1	-14,8
GpNQim	Mixto	De referencia	137,2	16,8	113,0	17,9	-11,5	-24,2	-17,6
GOQim	Mixto	Naturalística	181,4	4,4	161,5	17,2	-18,3	-19,8	-10,9
GNQim	Mixto	Preparación	214,6	16,9	169,9	27,9	0	-44,7	-20,8
Pinares de pino carrasco									
GpNPhp	Puro	De referencia	140,4	29,2	147,3	33,9	-6,5	6,9	4,9
GOPhp	Puro	Naturalística	146,8	13,3	117,7	31,6	0	-29,0	-19,8
GNPhp	Puro	Preparación	143,3	32,5	132,6	30,0	0	-10,7	-7,5
GpNPhm	Mixto	De referencia	163,3	15,7	136,4	8,7	-3,3	-26,9	-16,5
GOPhm	Mixto	Naturalística	133,9	10,4	119,3	10,9	-6,1	-14,6	-10,9
GNPhm	Mixto	Preparación	241,6	40,4	216,5	41,9	0	-25,2	-10,4
Robledales mediterráneos									
GpNQhp	Puro	De referencia	209,1	27,5	195,0	41,6	-23,7	-14,1	-6,7
GOQhp	Puro	Naturalística	226,5	40,0	203,7	30,9	-10,1	-22,8	-10,1
GNQhp	Puro	Preparación	182,9	24,9	157,1	17,1	0	-25,8	-14,1
GpNQhm	Mixto	De referencia	128,2	16,4	113,9	14,7	-61,8	-14,3	-11,2
GOQhm	Mixto	Naturalística	282,4	74,7	221,5	51,8	-31,8	-60,9	-21,6
GNQhm	Mixto	Preparación	282,9	33,6	250,8	33,5	0	-32,1	-11,4

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran los cambios en el volumen con corteza en pie en todos los rodales consecuencia de las actuaciones forestales, es decir pies cortados extraídos o dejados en el suelo. En el caso de los rodales de preparación a dinámica natural también se incluyen los pies anillados que han muerto. Para los encinares (figura 2) hay reducciones significativas del volumen con corteza de entre el 10 y el 30% del volumen en pie vivo antes de la actuación. En la figura 3 se muestran los cambios en los rodales de pino carrasco. En este hábitat, no hay diferencias

significativas entre el antes y el final con la excepción de los rodales mixtos con gestión de referencia y naturalística. En la figura 4 se muestran los cambios en los robledales mediterráneos. En este hábitat, la reducción del volumen con corteza está entre el 6 y el 22% del volumen en pie vivo de antes de la actuación.

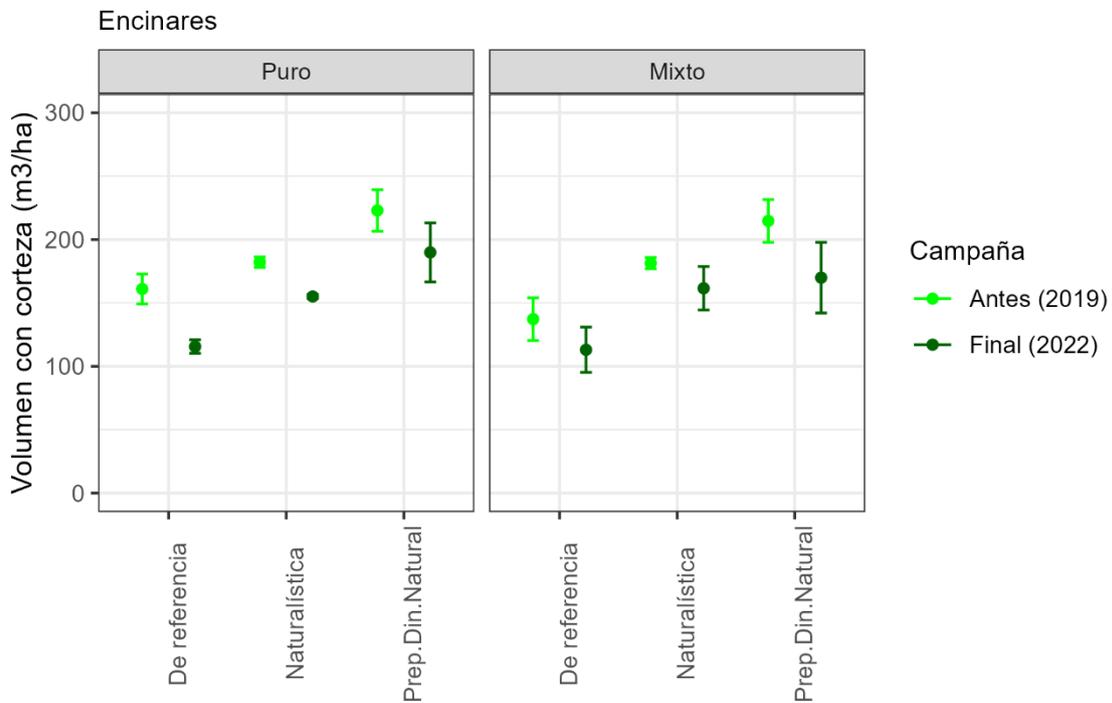


Figura 2. Diferencias en volumen con corteza (m³/ha): media y error estándar, entre el antes y el final para encinares puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

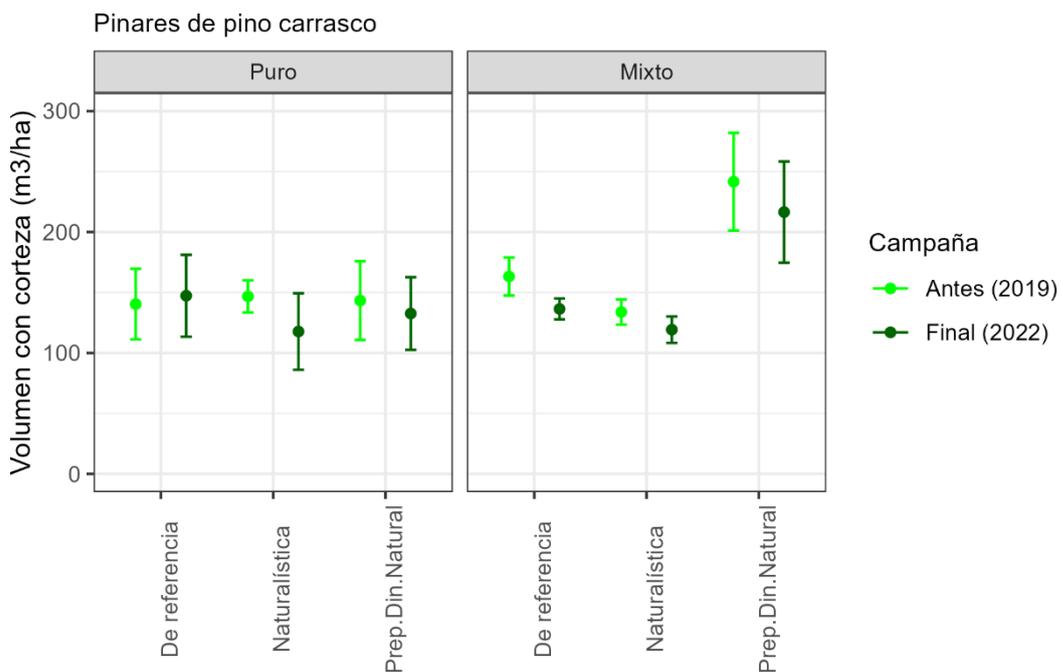


Figura 3. Diferencias en volumen con corteza (m³/ha): media y error estándar, entre el antes y el final para pinares de pino carrasco puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

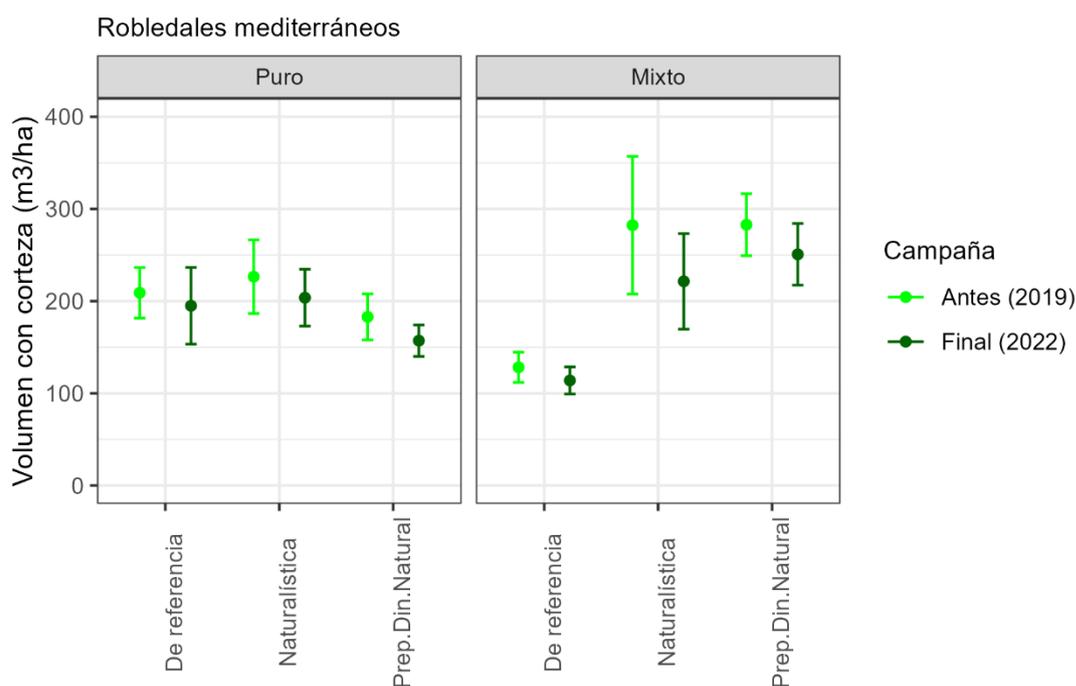


Figura 4. Diferencias en volumen con corteza (m^3/ha): media y error estándar, entre el antes y el final para robledales mediterráneos puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

2.2. Capacidad de sumidero de carbono

La tabla 4 resume los cambios en el stock de carbono (C) acumulado en la parte aérea de los pies vivos para todos los rodales por hábitat, tipo de bosque (puro o mixto) y tipo de gestión. La diferencia entre el stock de carbono (Final 2022) y el inicial (2019) es una estima de la reducción en la capacidad de sumidero de C y de la cantidad de CO_2 que se liberará a la atmósfera en función de distintas circunstancias. En efecto, la liberación del CO_2 no es instantánea, una parte importante de estas emisiones pueden considerarse parcialmente evitadas o retardadas dependiendo del destino final: i) si es transportado a industria, las emisiones dependerán de la vida media del producto final, muy bajo si se trata de combustible (astilla, pelet o leña) o de varias décadas si se transforma en un mueble; ii) de la parte que permanece en el bosque (restos de tala o árboles enteros), una proporción se emitirá a la atmósfera por descomposición y otra parte se incorporará como C en el suelo y no se liberará. El ritmo de descomposición y la proporción de C liberado va depender de su tamaño, de las condiciones climáticas, de si está en contacto directo con el suelo o de si se mantiene total o parcialmente en pie (p. ej., árboles anillados). En este último caso, la tasa de descomposición va a ser menor si se mantiene en pie que si está en contacto con el suelo.

Tabla 4: Valores promedio y error estándar y cambio (valor absoluto y %) del stock de C aéreo (tC/ha) antes de las actuaciones (Antes 2019) y al final del proyecto (Final 2022) en los rodales puros o mixto según tipo de gestión.

			Stock de carbono (tC/ha)				Cambio (Final - Antes)	
			Antes 2019		Final 2022		tC/ha	%
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.		
Encinares								
GpNQip	Puro	De referencia	80,0	3,9	57,6	2,5	-22,4	-28,0
GOQip	Puro	Naturalística	87,4	1,6	73,7	1,0	-13,7	-15,7
GNQip	Puro	Preparación	94,2	6,2	84,2	9,3	-10,0	-10,6
GpNQim	Mixto	De referencia	55,7	4,7	45,3	4,3	-10,4	-18,7
GOQim	Mixto	Naturalística	74,9	1,6	66,9	5,9	-8,0	-10,7
GNQim	Mixto	Preparación	63,6	5,5	56,0	8,3	-7,6	-12,0
Pinares de pino carrasco								
GpNPhp	Puro	De referencia	42,5	7,2	43,5	7,7	1,0	2,3
GOPhp	Puro	Naturalística	43,4	4,0	34,8	8,9	-8,6	-19,8
GNPhp	Puro	Preparación	43,7	9,5	40,3	8,9	-3,4	-7,8
GpNPhm	Mixto	De referencia	45,4	4,9	37,9	2,4	-7,5	-16,5
GOPhm	Mixto	Naturalística	41,2	4,5	36,4	4,3	-4,8	-11,6
GNPhm	Mixto	Preparación	68,5	10,5	61,9	11,3	-6,6	-9,7
Robledales mediterráneos								
GpNQhp	Puro	De referencia	87,4	7,0	79,6	12,5	-7,9	-9,0
GOQhp	Puro	Naturalística	69,9	10,8	63,1	8,3	-6,8	-9,7
GNQhp	Puro	Preparación	71,8	6,2	63,0	4,3	-8,9	-12,4
GpNQhm	Mixto	De referencia	52,8	5,7	45,2	4,6	-7,5	-14,3
GOQhm	Mixto	Naturalística	118,9	25,6	91,5	18,4	-27,4	-23,0
GNQhm	Mixto	Preparación	98,8	10,4	91,0	11,6	-7,8	-7,9

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran los cambios en el stock de C en pie en todos los rodales consecuencia de las actuaciones forestales, es decir el stock correspondiente a los pies cortados y extraídos o los dejados en el suelo como restos de corta. En el caso de los rodales de preparación a dinámica natural también se incluyen los pies anillados que han muerto. Para los encinares (figura 5) hay reducciones significativas del stock de C de entre el 10 y el 28%. En la figura 6 se muestran los cambios en los rodales de pino carrasco. En este hábitat, aunque en algunos rodales hay diferencias notables estas no son significativas con la excepción del rodal mixto con gestión de referencia. En la figura 7 se muestran los cambios en los robledales mediterráneos. En este hábitat, la reducción del stock de C está entre el 8 y el 23% del stock de antes de la actuación. Salvo alguna excepción, la gestión de preparación a dinámica natural muestra valores de reducción de la capacidad de sumidero menores que en los otros tipos de gestión. Es de esperar que, en el futuro, (after-LIFE plan) podamos demostrar que la gestión ha permitido mejorar la capacidad de sumideros en todos los rodales y tipos de gestión. La cuestión a resolver será determinar qué tipo de gestión ha permitido un mayor secuestro de carbono.

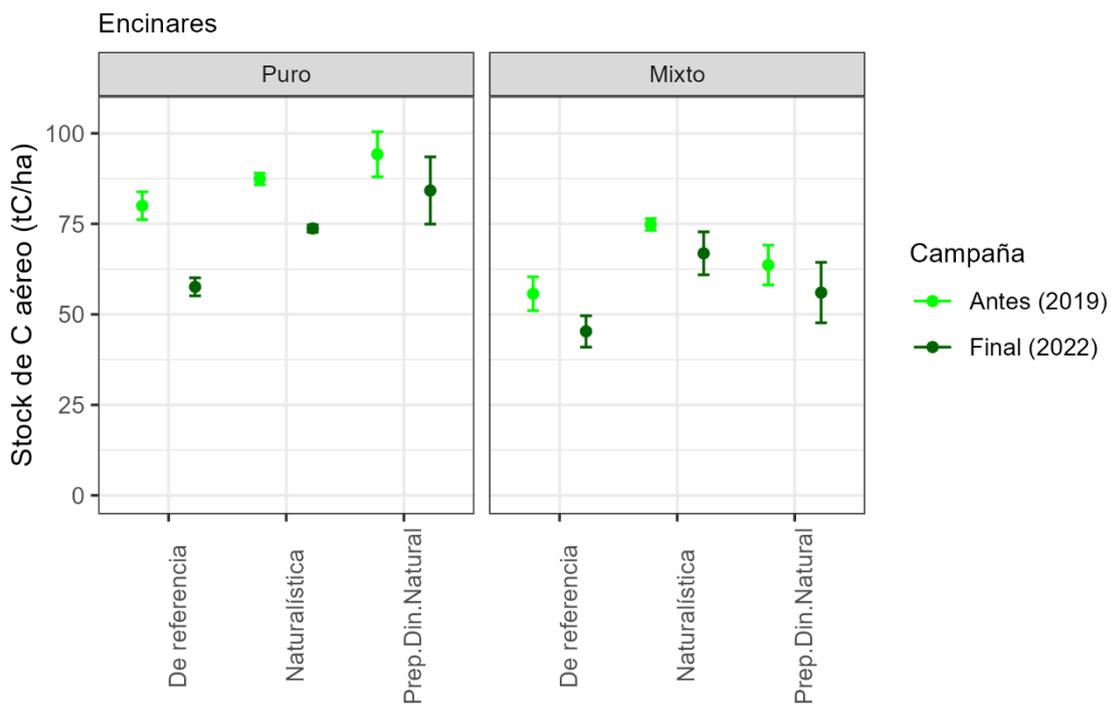


Figura 5. Diferencias en stock de carbono aéreo (tC/ha): media y error estándar, entre el antes y el final para encinares puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

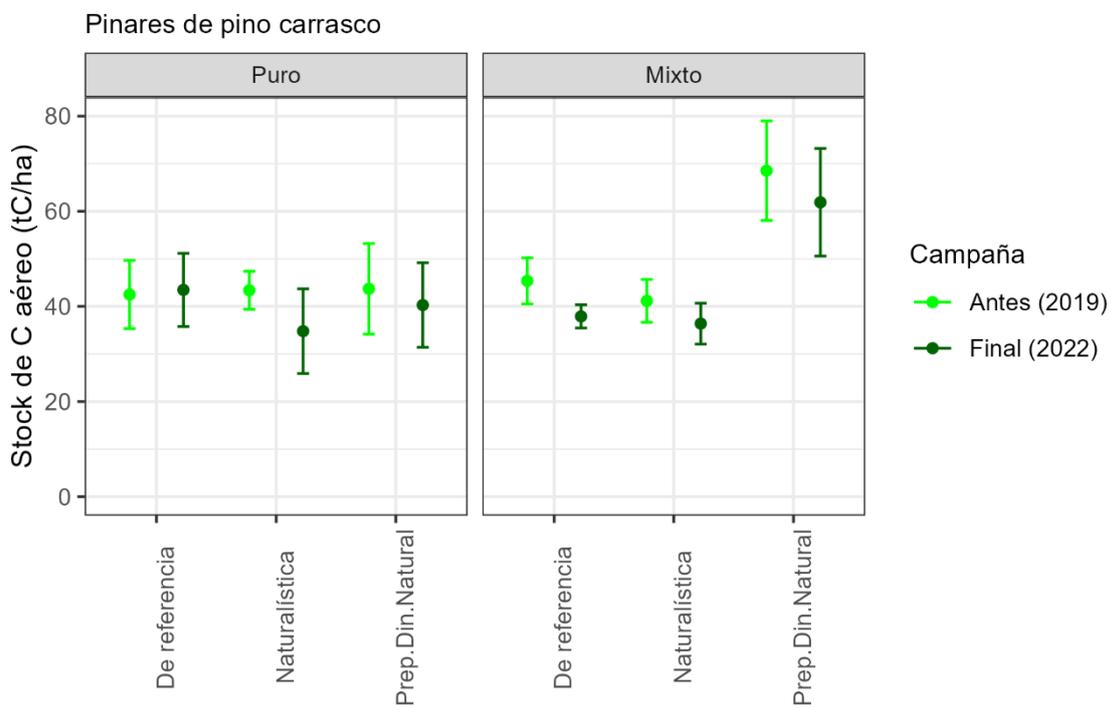


Figura 6. Diferencias en stock de carbono aéreo (tC/ha): media y error estándar, entre el antes y el final para pinares de pino carrasco puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

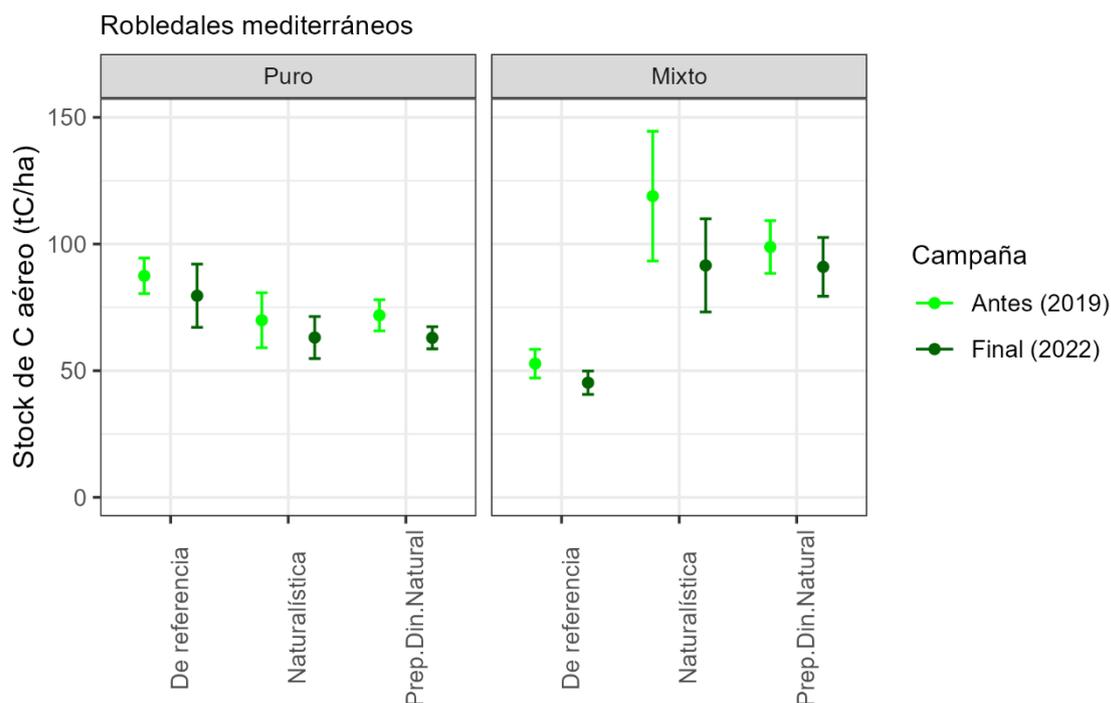


Figura 7. Diferencias en stock de carbono aéreo (tC/ha): media y error estándar, entre el antes y el final para robledales mediterráneos puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

2.3. Protección del suelo contra la erosión

El control de la erosión se ha evaluado a partir de un indicador que mide los cambios en la cubierta arbórea y/o del sotobosque, es decir, la cantidad de suelo que no se erosiona gracias a la presencia de vegetación. Cuanto mayor sea la cobertura de la vegetación más contribuirá la vegetación en la protección del suelo. Las copas de los árboles y la cubierta del sotobosque interceptan y amortiguan el agua que llega al suelo cuando llueve. Además, habrá más protección del suelo cuanto más cerca esté del suelo (vegetación baja frente a vegetación alta). Por otra parte, la hojarasca añade una protección extra, reteniendo el suelo y evitando que se erosione pero en este proyecto no se ha evaluado. Pero la erosión no solo depende de la vegetación, también está relacionada con la pendiente del terreno, el tipo de suelo (textura y estructura), de la erosionabilidad de la lluvia, es decir la capacidad de la lluvia para provocar erosión que depende de cómo se distribuye la lluvia en el tiempo; a mayor intensidad (lluvia torrencial) mayor potencial de erosión. Lo que se evalúa aquí es la contribución de la vegetación en dicha protección.

Para ello se evalúan 3 indicadores relacionados con el cambio de cobertura de la vegetación: la cobertura total como suma de los 5 estratos de vegetación: el estrato herbáceo y semileñoso y el sotobosque (como suma del estrato muy bajo (< 1,5 m) y bajo (1,5-5 m)) y el estrato arbóreo como suma del estrato intermedio (5-15 m) y alto (≥ 15 m).

2.3.1. Cobertura total de la vegetación

La Tabla 5 resume los cambios en la cobertura total de la vegetación para todos los rodales por tipos de gestión y tipo de bosque (puro o mixto). En todos los casos el cambio en la cobertura final, sea significativa o no, no supone un incremento del riesgo de pérdida de suelo por erosión ya que la cobertura sigue siendo muy elevada.

Tabla 5: Valores promedio y error estándar y cambio (valor absoluto y %) de recubrimiento de todos los estratos (%) antes de las actuaciones (Antes 2019) y al final del proyecto (Final 2022) en los rodales puros o mixto según tipo de gestión.

			Recubrimiento total (%)				Cambio (Final - Antes)	
			Antes 2019		Final 2022		Absoluto	Relativo
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	%	%
Encinares								
GOQip	De referencia	Puro	261.7	34.2	196.7	10.9	-65.0	-24.8
GpNQip	Naturalística	Puro	241.7	41.1	186.7	9.3	-55.0	-22.8
GNQip	Preparación	Puro	338.0	17.0	211.0	18.4	-127.0	-37.6
GOQim	De referencia	Mixto	155.0	46.5	193.3	54.2	38.3	24.7
GpNQim	Naturalística	Mixto	493.3	7.3	333.3	19.6	-160.0	-32.4
GNQim	Preparación	Mixto	293.0	25.3	235.0	5.0	-58.0	-19.8
Pinares de pino carrasco								
GOPhp	De referencia	Puro	221.7	38.4	146.7	33.5	-75.0	-33.8
GpNPhp	Naturalística	Puro	265.0	26.0	226.7	24.9	-38.3	-14.5
GNPhp	Preparación	Puro	346.3	11.3	281.0	14.3	-65.3	-18.8
GOPhm	De referencia	Mixto	250.0	92.6	158.3	28.0	-91.7	-36.7
GpNPhm	Naturalística	Mixto	291.7	10.1	208.3	24.2	-83.3	-28.6
GNPhm	Preparación	Mixto	295.0	17.6	256.0	20.0	-39.0	-13.2
Robledales								
GOQhp	De referencia	Puro	360.0	28.9	296.7	10.9	-63.3	-17.6
GpNQhp	Naturalística	Puro	318.3	28.9	290.0	23.6	-28.3	-8.9
GNQhp	Preparación	Puro	367.0	18.3	343.0	32.3	-24.0	-6.5
GOQhm	De referencia	Mixto	358.3	26.8	210.0	17.6	-148.3	-41.4
GpNQhm	Naturalística	Mixto	303.3	23.2	276.7	23.2	-26.7	-8.8
GNQhm	Preparación	Mixto	287.0	21.0	251.0	12.9	-36.0	-12.5

En las figuras 8, 9 y 10 se muestran los cambios en cobertura total de la vegetación (suma de la cobertura de todos los estratos) entre el antes y el final en todos los rodales consecuencia de las actuaciones forestales. Para los encinares (figura 8) hay reducciones significativas de la cobertura de entre el 20 y el 38% con la excepción del rodal mixto de referencia en donde no hay cambios significativos. En la figura 9 se muestran los cambios en los rodales de pino carrasco. En todos los rodales hay diferencias significativas con reducciones de entre el 13 y el 38%. En la figura 10 se muestran los cambios en los robledales mediterráneos. En este hábitat, la reducción es significativa únicamente en los rodales con gestión de referencia y en el rodal mixto de preparación a dinámica natural con reducciones de entre el 12 y el 42%. Para el resto la disminución no es significativa.

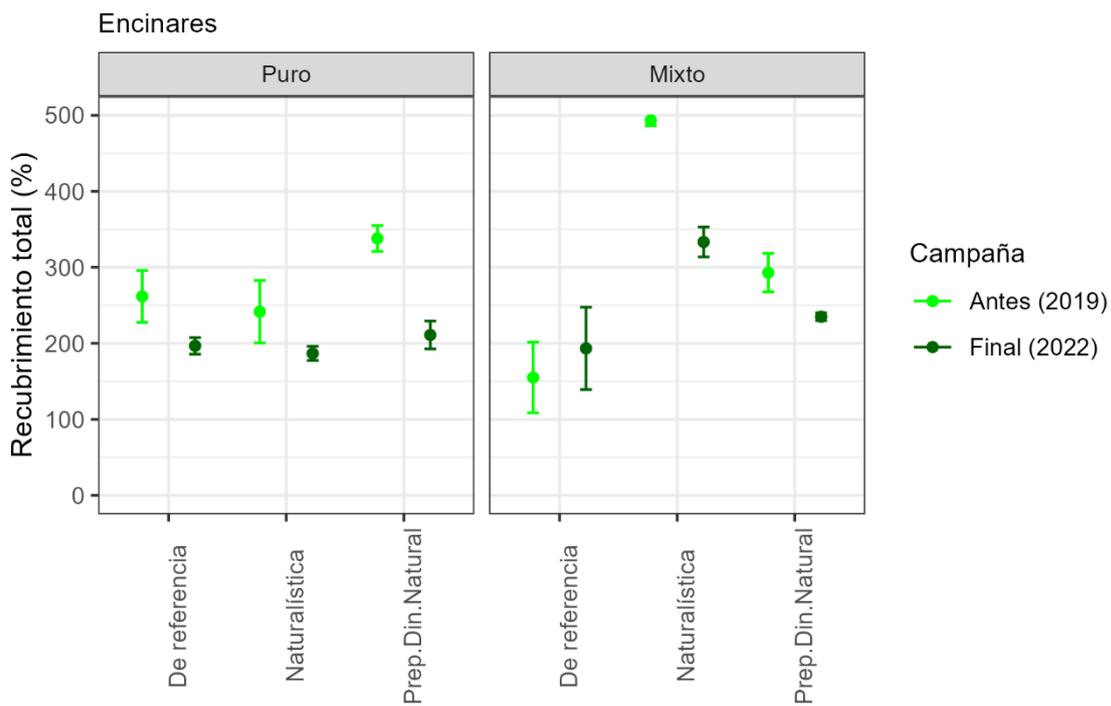


Figura 8. Diferencias en el recubrimiento total (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los encinares puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

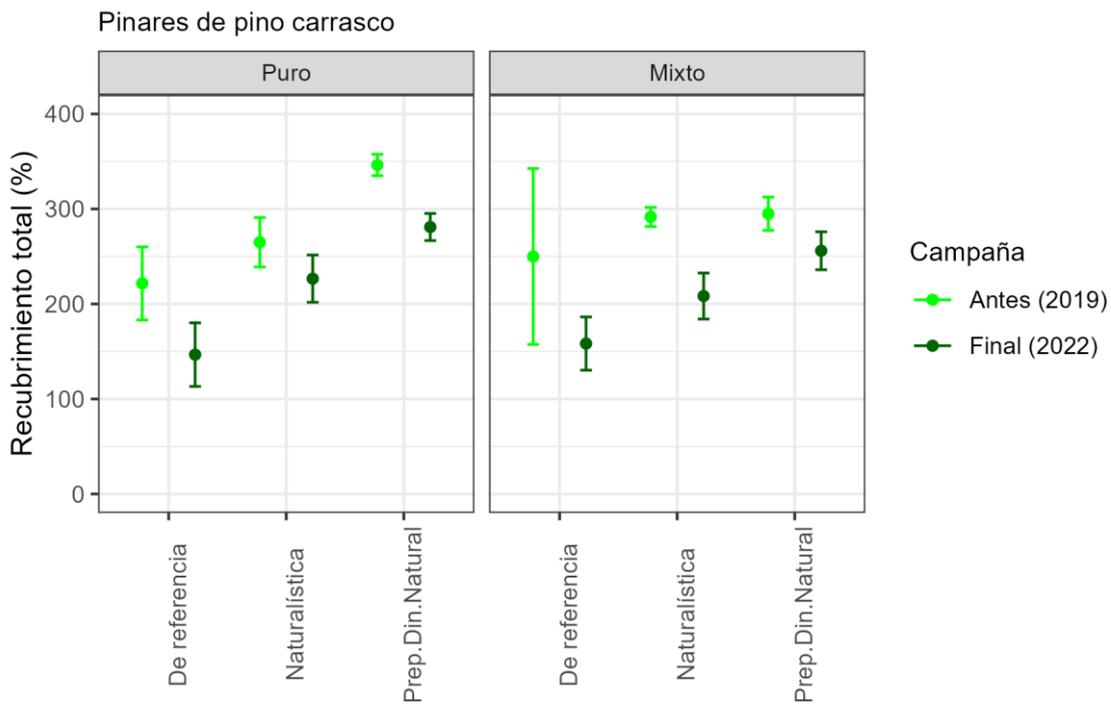


Figura 9. Diferencias en el recubrimiento total (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los pinares de pino carrasco puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

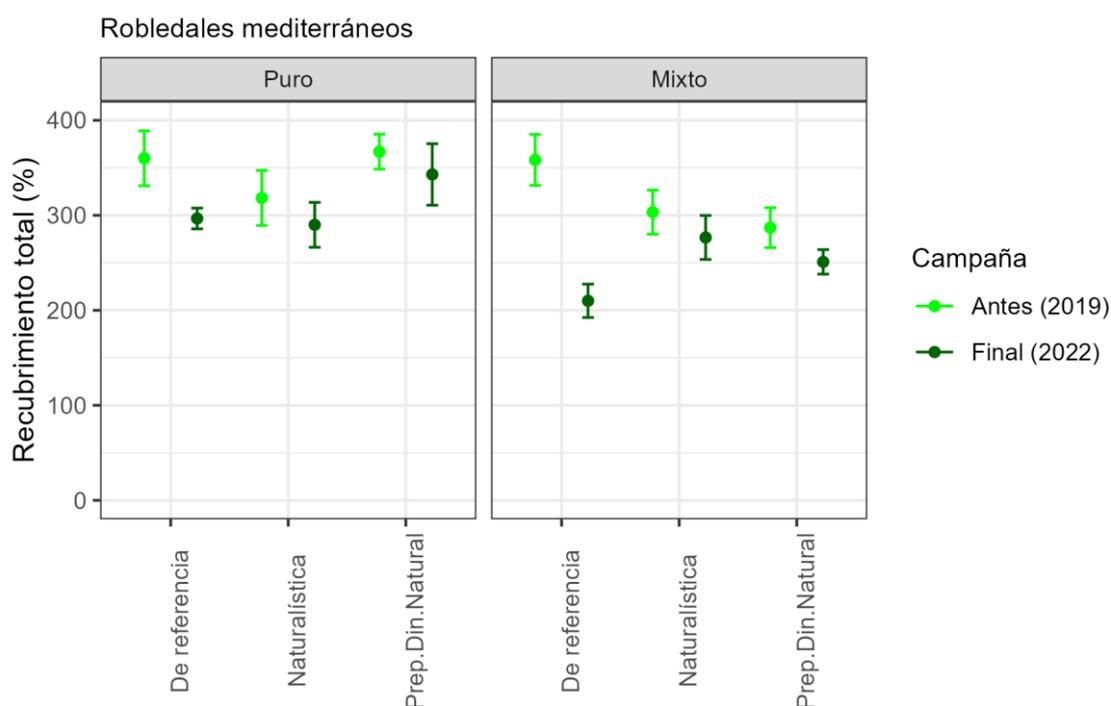


Figura 10. Diferencias en el recubrimiento total (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los robledales mediterráneos puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

2.3.2. Cobertura del estrato arbóreo (> 5m)

La Tabla 6 resume los cambios en la cobertura del estrato arbóreo, es decir, considerando toda la vegetación con altura superior a 5 m, para todos los rodales por tipos de gestión y tipo de bosque (puro o mixto). En todos los casos el cambio en la cobertura arbórea final, sea significativa o no, no debería suponer un riesgo excesivo de riesgo de erosión porque en todos los casos el valor medio se mantiene por encima del 70% i en muchos casos es muy superior.

Tabla 6: Valores promedio y error estándar y cambio (valor absoluto y %) de recubrimiento del estrato arbóreo (>5m %) antes de las actuaciones (Antes 2019) y al final del proyecto (Final 2022) en los rodales puros o mixto según tipo de gestión.

			Recubrimiento arbóreo (> 5m, %)				Cambio (Final - Antes)	
			Antes 2019		Final 2022		Absoluto	Relativo
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.		
Encinares								
GOQip	De referencia	Puro	135.0	8.7	95.0	15.3	-40.0	-29.6
GpNQip	Naturalística	Puro	155.0	15.0	128.3	14.8	-26.7	-17.2
GNQip	Preparación	Puro	144.0	4.8	104.0	15.6	-40.0	-27.8
GOQim	De referencia	Mixto	81.7	6.0	88.3	11.7	6.7	8.2
GpNQim	Naturalística	Mixto	151.7	24.0	150.0	7.6	-1.7	-1.1
GNQim	Preparación	Mixto	111.0	4.8	94.0	17.8	-17.0	-15.3
Pinares de pino carrasco								
GOPhp	De referencia	Puro	108.3	10.9	73.3	8.8	-35.0	-32.3
GpNPhp	Naturalística	Puro	98.3	10.9	76.7	6.7	-21.7	-22.0

GNPhp	Preparación	Puro	116.3	5.5	74.0	7.0	-42.3	-36.3
GOPhm	De referencia	Mixto	101.7	18.3	76.7	11.7	-25.0	-24.6
GpNPhm	Naturalística	Mixto	113.3	12.0	80.0	10.4	-33.3	-29.4
GNPhm	Preparación	Mixto	106.3	6.9	92.0	10.9	-14.3	-13.4
Robledales								
GOQhp	De referencia	Puro	138.3	11.7	171.7	8.3	33.3	24.1
GpNQhp	Naturalística	Puro	138.3	6.0	121.7	18.8	-16.7	-12.0
GNQhp	Preparación	Puro	161.0	8.7	126.0	4.8	-35.0	-21.7
GOQhm	De referencia	Mixto	118.3	16.4	121.7	10.1	3.3	2.8
GpNQhm	Naturalística	Mixto	171.7	25.9	178.3	8.3	6.7	3.9
GNQhm	Preparación	Mixto	143.0	6.0	145.0	10.5	2.0	1.4

En las figuras 11, 12 y 13 se muestran los cambios en la cobertura arbórea entre el antes y el final en todos los rodales consecuencia de las actuaciones forestales. Para los encinares hay reducciones significativas de la cobertura en todos los rodales puros, en cambio, en los rodales mixtos no hay cambios significativos (figura 11). En la figura 12 se muestran los cambios en los rodales de pino carrasco, en estos rodales hay diferencias significativas en todos los casos con reducciones de entre el 13 y el 36%. En la figura 13 se muestran los cambios en los robledales mediterráneos. En este hábitat, la reducción es significativa únicamente en el rodal puro con gestión de preparación a dinámica natural con una reducción media del 21%. Para el resto no se detectan diferencias significativas.

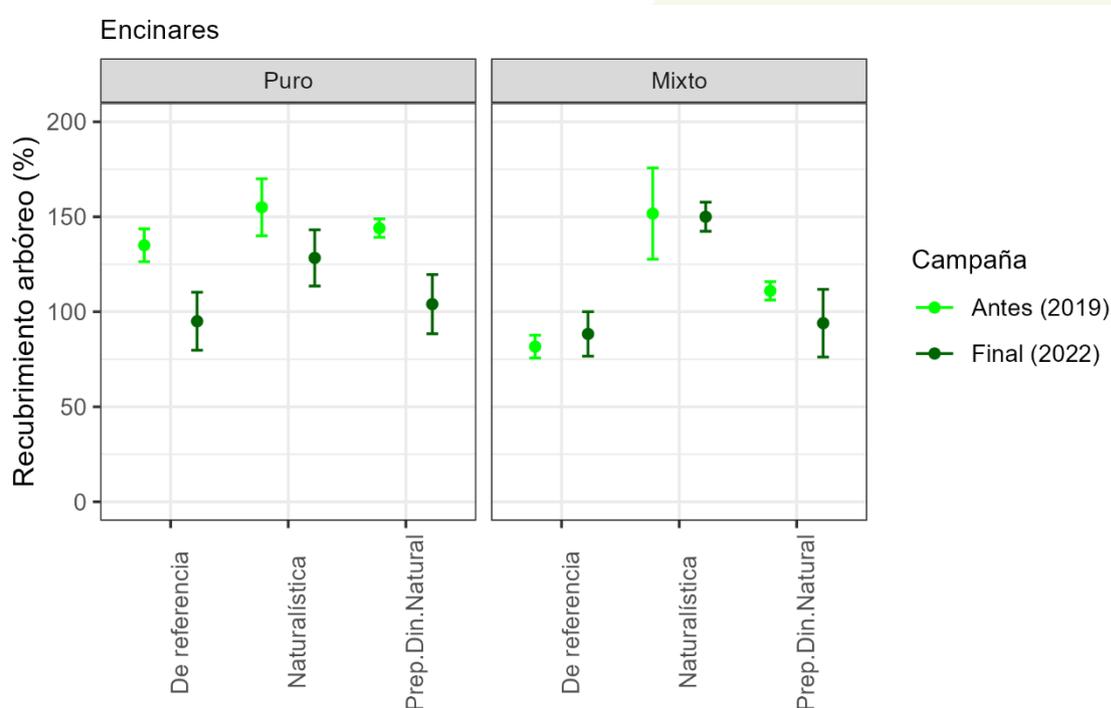


Figura 11. Diferencias en el recubrimiento arbóreo (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los encinares puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

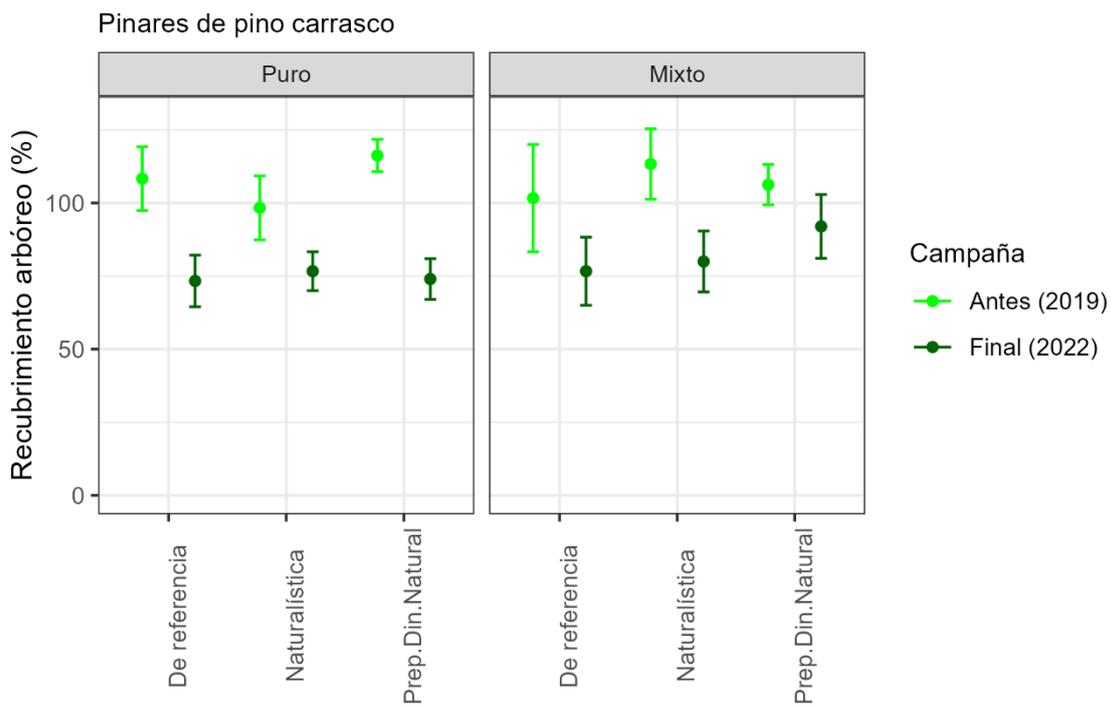


Figura 12. Diferencias en el recubrimiento del arbóreo (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los pinares de pino carrasco puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

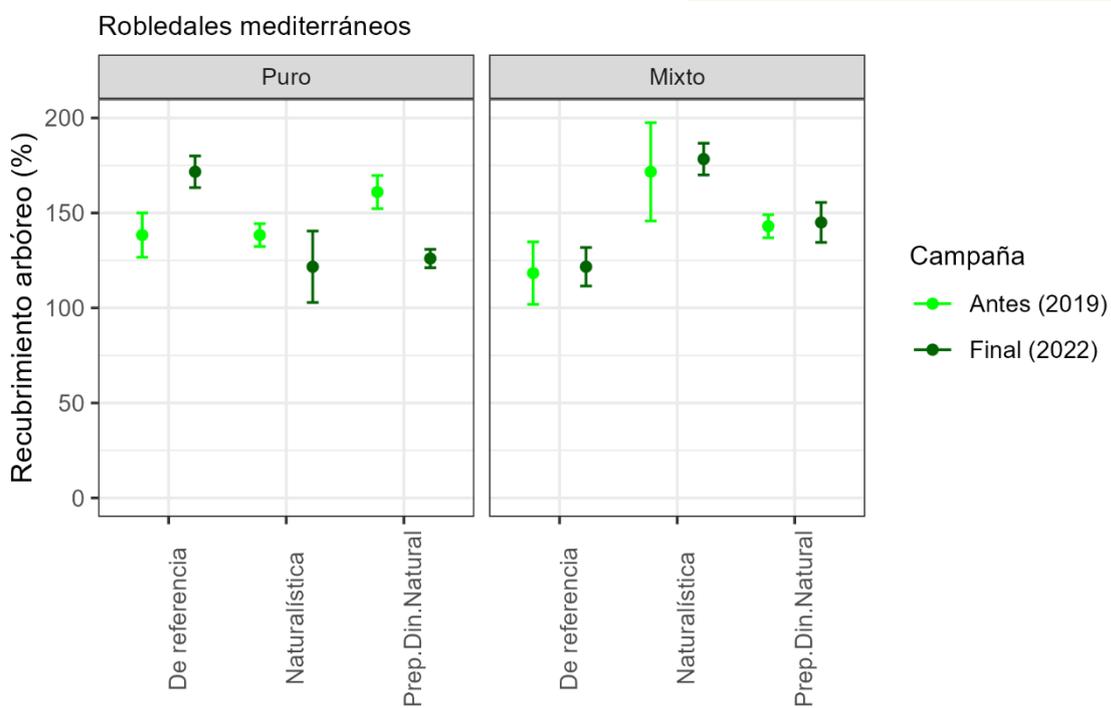


Figura 13. Diferencias en el recubrimiento del arbóreo (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los robledales mediterráneos puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

2.3.3. Cobertura del sotobosque (<5m)

La Tabla 7 resume los cambios en la cobertura del estrato arbóreo, es decir, considerando toda la vegetación leñosa o no leñosa con altura inferior a 5 m, para todos los rodales por tipos de gestión y tipo de bosque (puro o mixto). En todos los casos el cambio en la cobertura del sotobosque final, sea significativa o no, no debería suponer un riesgo excesivo de riesgo de erosión porque el valor medio se mantiene por encima del 70% con la excepción del encinar puro con gestión naturalística que se ha reducido hasta el 63% de media sin que ello pueda suponer riesgo alguno de erosión dado que la cobertura del estrato arbóreo se mantiene a niveles elevados: 128%.

Tabla 7: Valores promedio y error estándar y cambio (valor absoluto y %) de recubrimiento del sotobosque (<5 m, %) antes de las actuaciones (Antes 2019) y al final del proyecto (Final 2022) en los rodales puros o mixto según tipo de gestión.

			Recubrimiento sotobosque (< 5m, %)				Cambio (Final - Antes)	
			Antes 2019		Final 2022		Absoluto	Relativo
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	%	%
Encinares								
GOQip	De referencia	Puro	135.0	40.1	118.3	10.1	-16.7	-12.3
GpNQip	Naturalística	Puro	101.7	24.0	63.3	11.7	-38.3	-37.7
GNQip	Preparación	Puro	196.0	15.7	107.0	15.7	-89.0	-45.4
GOQim	De referencia	Mixto	73.3	43.7	130.0	56.8	56.7	77.3
GpNQim	Naturalística	Mixto	368.3	26.2	221.7	37.2	-146.7	-39.8
GNQim	Preparación	Mixto	200.0	28.8	161.0	25.0	-39.0	-19.5
Pinares de pino carrasco								
GOPhp	De referencia	Puro	115.0	33.3	73.3	25.2	-41.7	-36.2
GpNPhp	Naturalística	Puro	166.7	35.3	183.3	22.4	16.7	10.0
GNPhp	Preparación	Puro	243.8	9.0	222.0	18.9	-21.8	-8.9
GOPhm	De referencia	Mixto	150.0	72.6	81.7	20.9	-68.3	-45.6
GpNPhm	Naturalística	Mixto	178.3	13.0	131.7	15.9	-46.7	-26.2
GNPhm	Preparación	Mixto	195.0	20.3	173.0	25.7	-22.0	-11.3
Robledales								
GOQhp	De referencia	Puro	236.7	29.5	146.7	27.4	-90.0	-38.0
GpNQhp	Naturalística	Puro	223.3	39.2	198.3	32.2	-25.0	-11.2
GNQhp	Preparación	Puro	211.0	13.0	223.0	27.0	12.0	5.7
GOQhm	De referencia	Mixto	240.0	37.9	88.3	20.3	-151.7	-63.2
GpNQhm	Naturalística	Mixto	145.0	44.4	113.3	28.5	-31.7	-21.8
GNQhm	Preparación	Mixto	153.0	17.2	106.0	20.9	-47.0	-30.7

En las figuras 14, 15 y 16 se muestran los cambios en la cobertura del sotobosque entre el antes y el final en todos los rodales consecuencia de las actuaciones forestales. Para los encinares (figura 14) no hay un patrón claro en algunos rodales hay una disminución significativa de la cobertura mientras que en otros no hay cambios significativos. En la figura 15 se muestran los cambios en los rodales de pino carrasco en los que se detecta una reducción del sotobosque pero en la mayoría de casos no es significativa. Las disminuciones están entre el 9 y el 46%. En

la figura 16 se muestran los cambios en los robledales mediterráneos. En este hábitat, la reducción es significativa únicamente en los rodales con gestión de referencia y en el rodal mixto con gestión de preparación a dinámica natural. En estos rodales la disminución media está entre el 22 y el 63%.

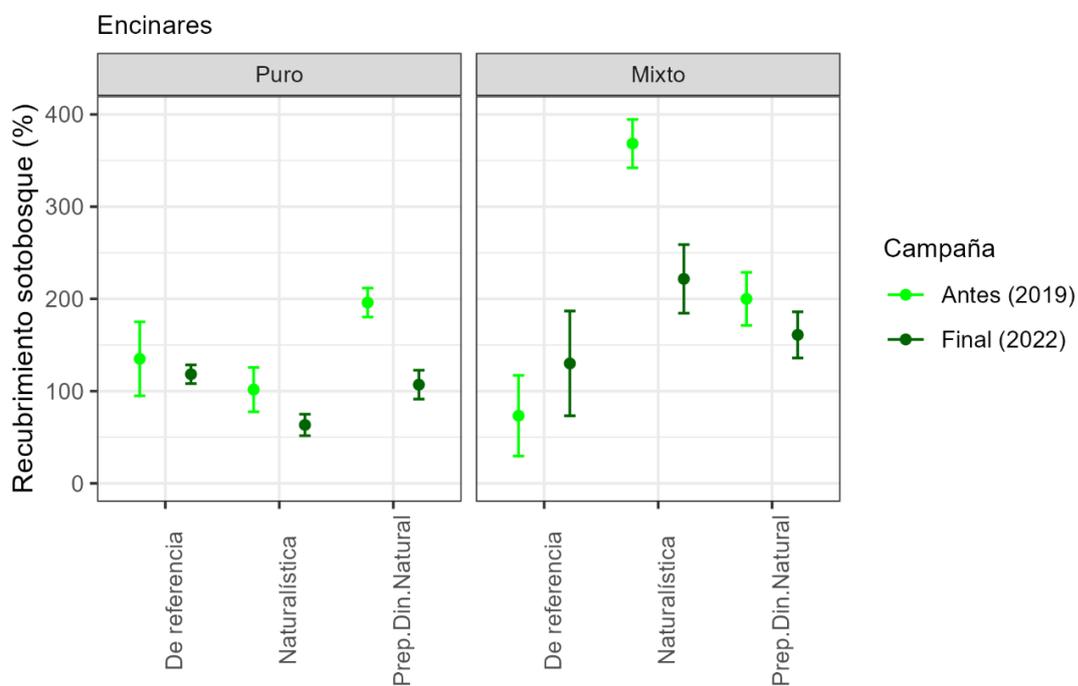


Figura 14. Diferencias en el recubrimiento del sotobosque (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los encinares puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

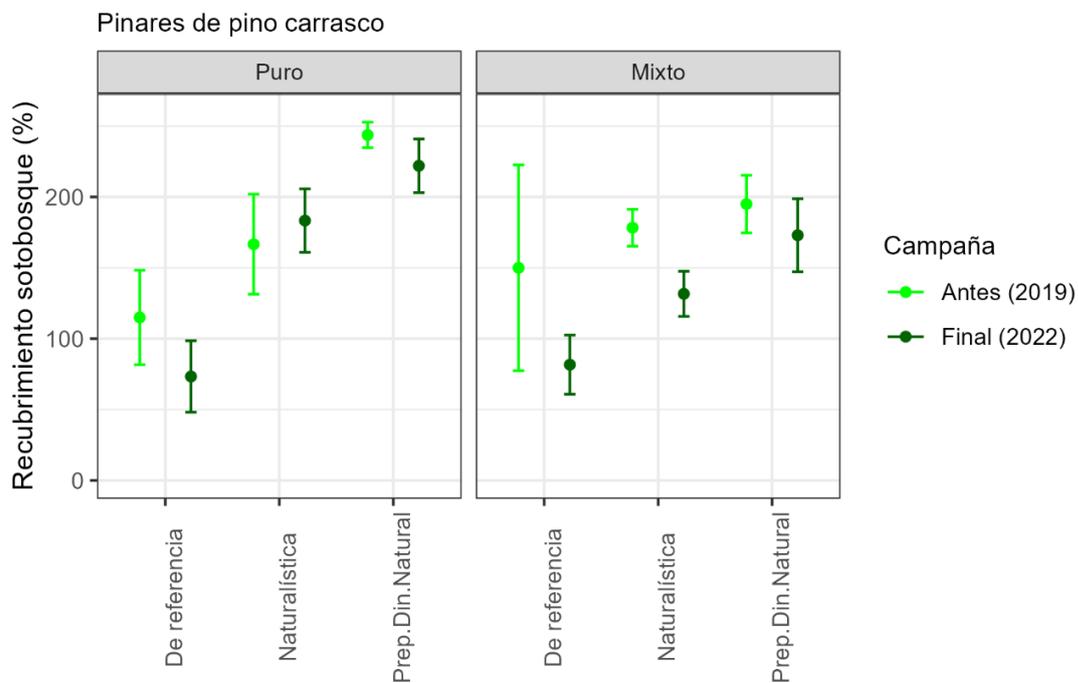


Figura 15. Diferencias en el recubrimiento del sotobosque (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los pinares de pino carrasco puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

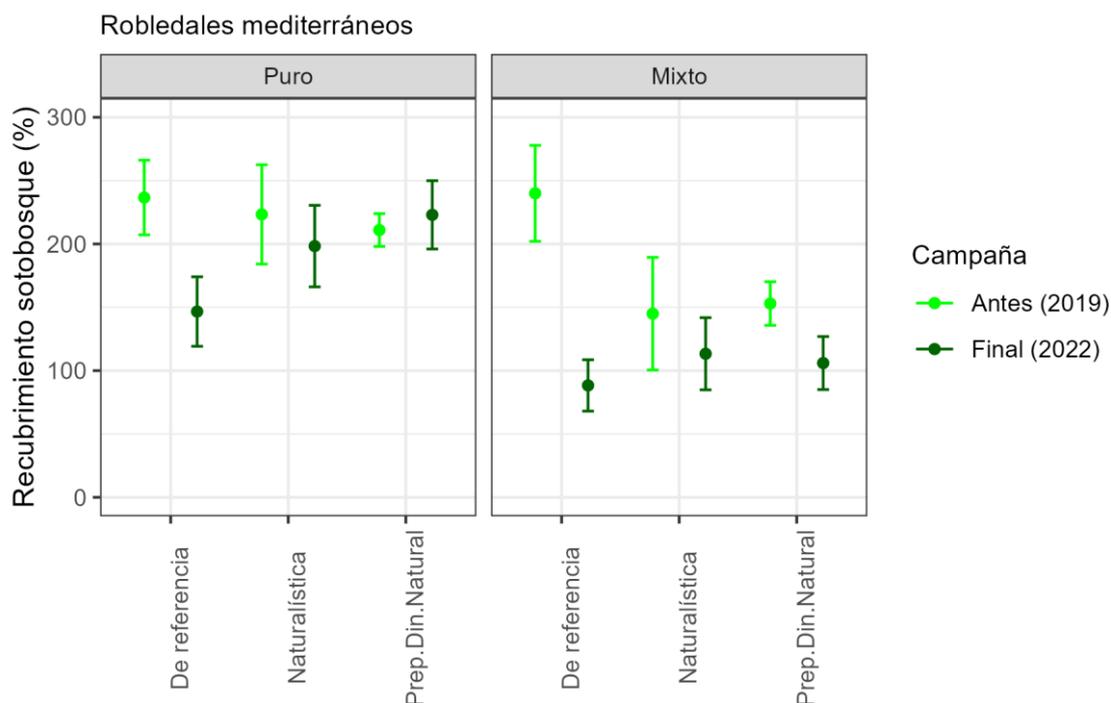


Figura 16. Diferencias en el recubrimiento del sotobosque (%): media y error estándar, entre el antes y el final para los robledales mediterráneos puros y mixtos y para cada tipo de gestión.

2.4. Protección contra los incendios

Para evaluar el cambio en cuanto a vulnerabilidad a incendios como consecuencia de las actuaciones forestales de las acciones C1-C4 se evaluó el cambio en el valor de vulnerabilidad al fuego de copas según la clasificación de los manuales de orientaciones forestales (Beltran et al. 2011, Vericat et al. 2011 y Vericat et al. 2012) y el cambio en la abundancia del combustible de escala que es el estrato que transmite un fuego de superficie a un fuego de copas.

2.4.1. Vulnerabilidad al fuego de copas

Las claves para la identificación del fuego de copas (TVFoC) sirven para clasificar el tipo de estructura de un rodal forestal en lo que se refiere a su vulnerabilidad a generar fuegos de copas. Así, se diferencian las estructuras tipo A# consideradas muy vulnerables porque el fuego se propaga por las copas del estrato arbóreo de manera sostenida, las de tipo B#, moderadamente vulnerables, donde la propagación se alterna entre la superficie y la cubierta arbórea y las C#, poco vulnerables, en el que el fuego es mayoritariamente de superficie. La clasificación se basa en los datos de campo de fracción de cubierta de cada estrato de vegetación: estrato arbóreo (combustible aéreo), combustible de escala y combustible de superficie (estrato arbustivo bajo) y las distancias medias entre ellos.

Las definiciones de cada estrato son:

- *Combustible aéreo*: formado por las copas de los árboles del estrato dominante o codominante de mayor altura.
- *Combustible de escala*: combustible aéreo de altura superior a 1,30 m que no forma parte del estrato dominante o codominante. Incluye árboles pequeños, arbustos, lianas o árboles caídos.
- *Combustible de superficie*: combustible de altura no superior a 1,30 m. Pueden ser matorral, vegetación herbácea, ramas, troncos caídos, restos silvícolas.

En la tabla 8 se muestran los cambios en el TVFoC a escala de rodal. Para indicar si hay cambio y el sentido del cambio se utiliza un código de colores: naranja (se mantiene igual) o ha disminuido (verde, p. ej., se pasa de un valor B# a C#). Para los encinares, no se observan cambios substanciales en la vulnerabilidad al fuego de copas como consecuencia de las actuaciones forestales, en los pinares los resultados son de mejora en 2 rodales y en los otros 3 se mantiene sin cambios. En los robledales es en donde se hay mayor mejora: 4 de los 6 rodales.

Tabla 8. Cambios en la vulnerabilidad al fuego de copas (TVFoC) en los rodales. Naranja = sin cambios; Verde=menor vulnerabilidad.

Encinares			TVFoC		
			Antes (2019)	Final (2019)	Cambio
GOQip	De referencia	Puro	B9	B15	
GpNQip	Naturalística	Puro	B9	C17	
GNQip	Preparación	Puro	B10	B9	
GOQim	De referencia	Mixto	B9	B9	
GpNQim	Naturalística	Mixto	A1	A3	
GNQim	Preparación	Mixto	B11	B11	
Pinares de pino carrasco					
GOPhp	De referencia	Puro	C17	C17	
GpNPhp	Naturalística	Puro	-	C17	
GNPhp	Preparación	Puro	A4	C17	
GOPhm	De referencia	Mixto	C12	C17	
GpNPhm	Naturalística	Mixto	A2	B10	
GNPhm	Preparación	Mixto	B11	B11	
Robledales mediterráneos					
GOQhp	De referencia	Puro	A1	B9	
GpNQhp	Naturalística	Puro	B5	B10	
GNQhp	Preparación	Puro	A2	B3	
GOQhm	De referencia	Mixto	A4	B10	
GpNQhm	Naturalística	Mixto	B9	C13	
GNQhm	Preparación	Mixto	B3	B10	

2.4.2. Recubrimiento combustible de escala

Para los encinares, no se observan cambios substanciales en la vulnerabilidad al fuego de copas como consecuencia de las actuaciones forestales, en los pinares los resultados son de mejora en 2 rodales y en los otros 3 se mantiene sin cambios. En los robledales es en donde se hay mayor mejora: 4 de los 6 rodales. En la mayoría de rodales ha habido una reducción significativa del combustible de escala, sin embargo, en algunos rodales esta reducción no ha sido suficiente como para suponer una reducción de la vulnerabilidad al fuego de copas.

La Tabla 9 resume los cambios en el recubrimiento del combustible de escala (%) para todos los rodales por tipos de gestión y tipo de bosque (puro o mixto). En la mayoría de rodales ha habido una reducción significativa del combustible de escala, sin embargo, en algunos rodales esta reducción no ha sido suficiente como para suponer una reducción de la vulnerabilidad al fuego de copas. Un valor medio por debajo del 25-30% suele ser suficientemente bajo como para reducir a valores de vulnerabilidad al fuego de copas bajos (TVFoC = C). En los rodales de preparación a dinámica natural no se hizo ninguna actuación directa para reducir el combustible de escala porque no era un objetivo de este tipo de actuación.

Tabla 9: Valores promedio y error estándar y cambio (valor absoluto y %) del recubrimiento del combustible de escala (%) antes de las actuaciones (Antes 2019) y al final del proyecto (Final 2022) en los rodales puros o mixto según tipo de gestión.

			Recubr. combustible de escala (%)				Cambio (Final - Antes)	
			Antes (2019)		Final (2022)		Absoluto	Relativo
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	%	%
Encinares								
GOQip	De referencia	Puro	35.0	12.6	21.7	6.0	-13.3	-38.1
GpNQip	Naturalística	Puro	33.3	15.9	11.7	3.3	-21.7	-65.0
GNQip	Preparación	Puro	52.0	8.0	34.0	8.1	-18.0	-34.6
GOQim	De referencia	Mixto	26.7	14.5	30.0	5.8	3.3	12.5
GpNQim	Naturalística	Mixto	93.3	6.7	66.7	12.0	-26.7	-28.6
GNQim	Preparación	Mixto	67.0	2.0	50.0	10.4	-17.0	-25.4
Pinares de pino carrasco								
GOPhp	De referencia	Puro	6.7	1.7	6.7	1.7	0.0	0.0
GpNPhp	Naturalística	Puro	-	-	11.7	1.7	-	-
GNPhp	Preparación	Puro	25.0	6.7	17.0	3.7	-8.0	-32.0
GOPhm	De referencia	Mixto	70.0	5.0	10.0	2.9	-60.0	-85.7
GpNPhm	Naturalística	Mixto	75.0	2.9	51.7	7.3	-23.3	-31.1
GNPhm	Preparación	Mixto	59.0	2.4	61.0	1.9	2.0	3.4
Robledales mediterráneos								
GOQhp	De referencia	Puro	73.3	3.3	30.0	5.8	-43.3	-59.1
GpNQhp	Naturalística	Puro	77.5	2.5	40.0	5.8	-37.5	-48.4
GNQhp	Preparación	Puro	79.0	3.3	71.0	1.9	-8.0	-10.1
GOQhm	De referencia	Mixto	58.3	11.7	26.7	6.0	-31.7	-54.3
GpNQhm	Naturalística	Mixto	53.3	18.6	18.3	10.1	-35.0	-65.6
GNQhm	Preparación	Mixto	71.0	3.3	43.0	5.4	-28.0	-39.4

En las figuras 17, 18 y 19 se muestran los cambios en el recubrimiento del combustible de escala entre el antes y el final en todos los rodales consecuencia de las actuaciones forestales. Para los encinares (figura 17) hay una reducción, en algunos casos significativa del valor de recubrimiento. En los rodales puros la reducción ha permitido rebajar la vulnerabilidad, en los mixtos no ha sido suficiente. En la figura 18 se muestran los resultados para los rodales de pino carrasco. En este caso, solo en el rodal mixto de referencia hay una reducción significativa para reducir la vulnerabilidad al fuego de copas. En los otros rodales o apenas ha habido cambios porque tampoco eran necesarios o no han sido suficientes. En la figura 19 se muestran los cambios en los robledales mediterráneos. En este hábitat, con la excepción del rodal puro de preparación a dinámica natural, la reducción ha ido significativa en todos los casos. En estos rodales la disminución media está entre el 40 y el 66%.

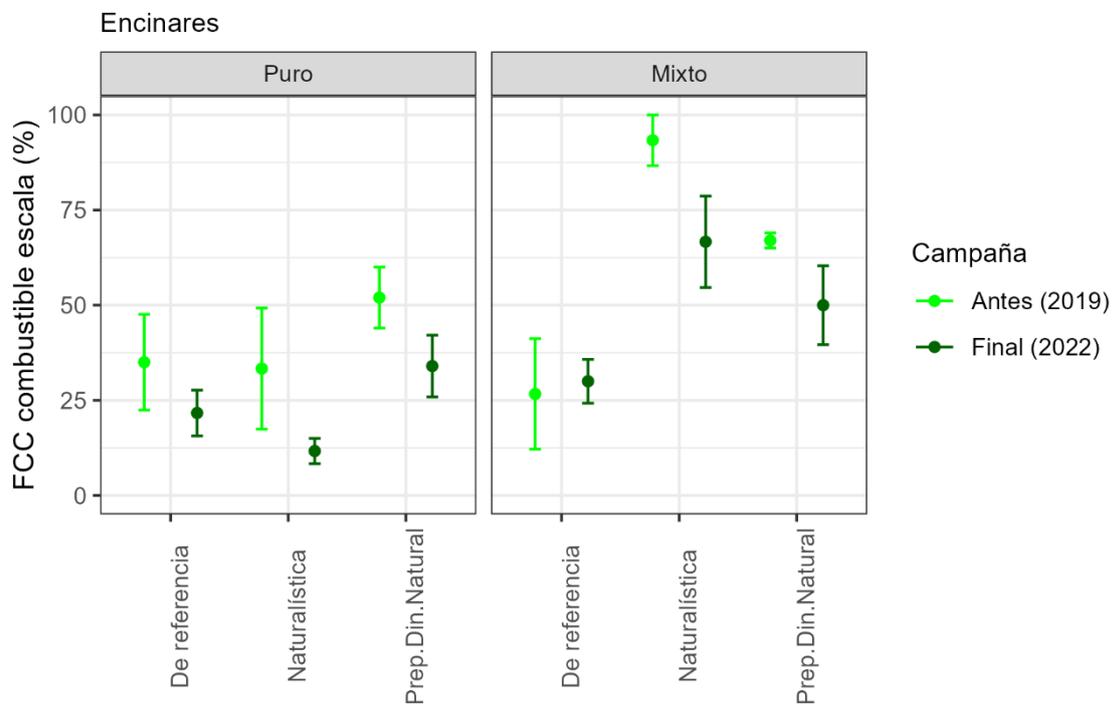


Figura 17. Diferencias en la fracción de cabida cubierta del combustible de escala (%) en los rodales puros y mixtos de encinar: media y error estándar, entre el antes (2019) y el final (2022) según tipo de gestión.

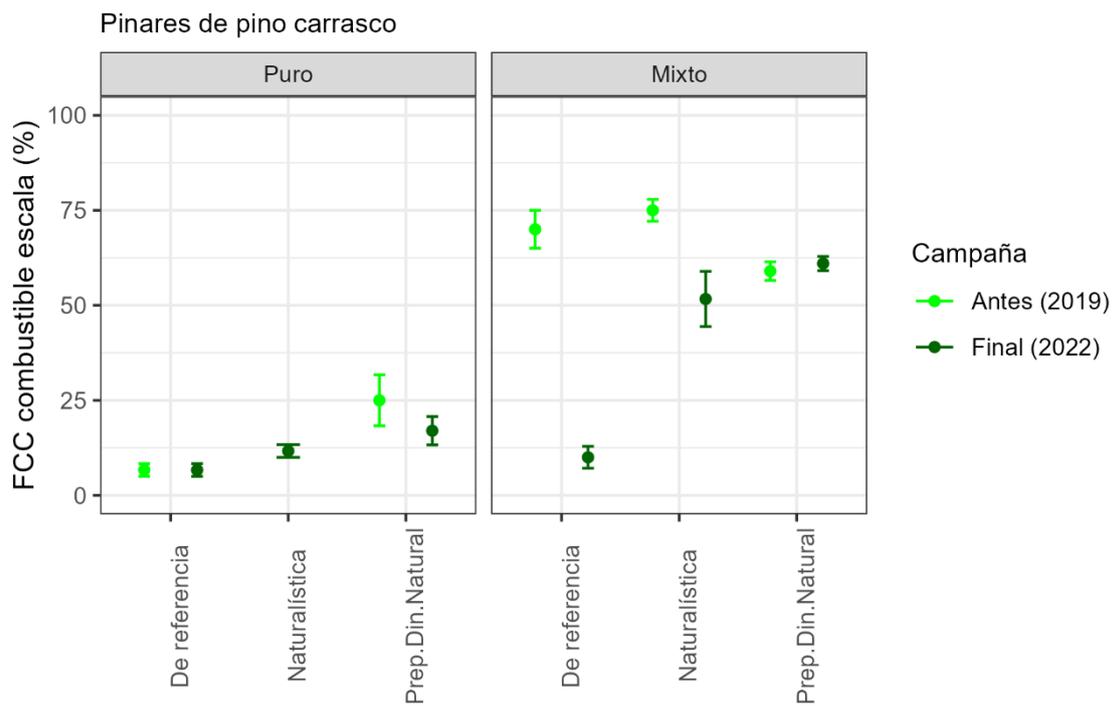


Figura 18. Diferencias en la fracción de cabida cubierta del combustible de escala (%) en los rodales puros y mixtos de pino carrasco: media y error estándar, entre el antes (2019) y el final (2022) según tipo de gestión.

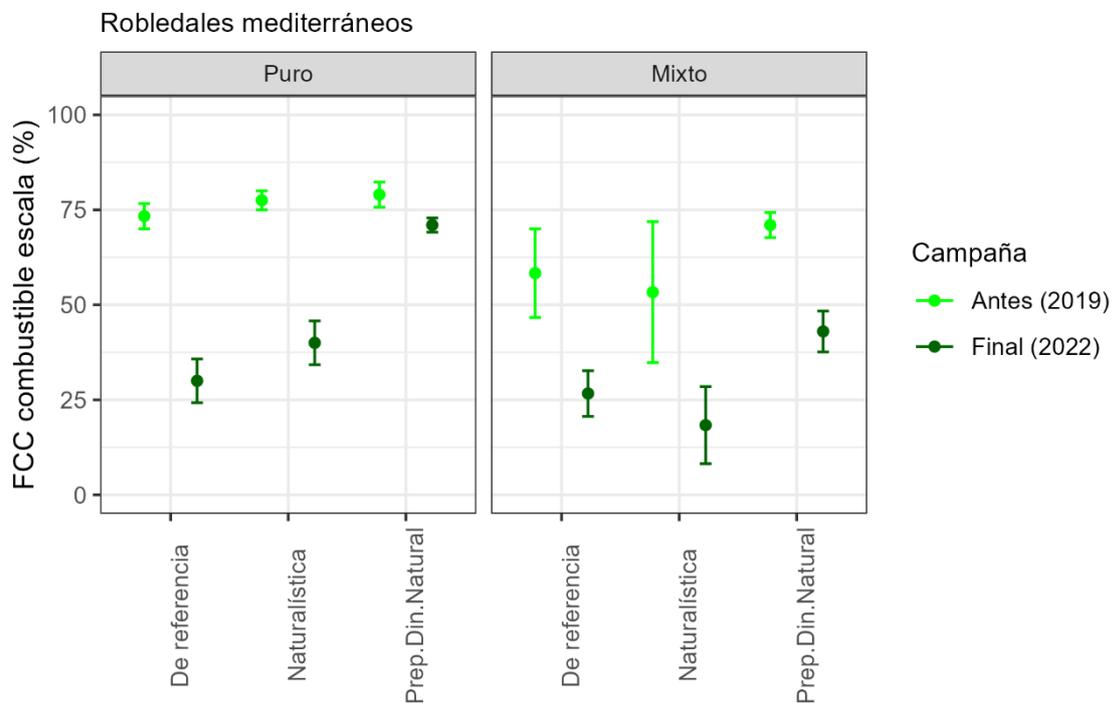


Figura 19. Diferencias en la fracción de cabida cubierta del combustible de escala (%) en los rodales puros y mixtos de robleal mediterráneo: media y error estándar, entre el antes (2019) y el final (2022) según tipo de gestión.

3. Cambios en el estado de salud

Para evaluar el estado de salud de los árboles después de las distintas actuaciones de las acciones C1, C2, C3 y C4 se procedió a realizar un muestreo adicional durante el mes de septiembre de 2022. Para ello, en cada rodal se escogieron 5 pies de la especie dominante en la zona de actuación y 5 más en la zona control, de una hectárea, colindante. Los pies escogidos en la zona de actuación tenían que ser pies codominantes de aproximadamente el mismo tamaño y que estuvieran liberados, es decir que había evidencias de que se había cortado uno o varios pies vecinos con los que competía. En la zona control, los pies escogidos debían tener tamaños parecidos a los de la zona de actuación y estatus (también codominantes) y que tuvieran uno o varios árboles vecinos competidores y de tamaño parecido.

De cada árbol se cortaron 2 ramas de 2-3 cm de diámetro que podían estar situadas en las partes terminales de ramas más gruesas. En todos los casos la rama debía estar en la mitad superior de la copa del árbol. De esta manera se garantizaba que la rama no estaba en zona de penumbra del dosel dominante. Para poder acceder a esta parte de la copa se contaba con una pértiga extensible de 10 m de largo con unas tijeras de podar en su extremo (figura 20).



Figura 20. Pértiga extensible con tijeras de poder en su extremo para la obtención de una rama de la parte superior del dosel en uno de los rodales de pino carrasco. El árbol escogido tenía que ser codominante (foto: Lluís Comas).

Adicionalmente, de cada árbol se medía el diámetro normal (DN, en cm), su altura total, y se medía el diámetro del tocón (en la zona de actuación) o de la base del tronco (zona control) de los 2-3 vecinos más próximos y la distancia a la que se encontraban.

De estos mismos árboles (con la excepción de la encina en la que no es posible distinguir anillos de crecimiento) se sacaron testigos de madera (cores) con barrena de Pressler a 1,30 m de altura desde la base del tronco. Los cores se extrajeron paralelos a la máxima pendiente, se colocaron en portacores de madera y se etiquetaron para su procesado posterior. Los cores se dejaron secar al aire durante unas semanas y, posteriormente se pulieron con distintos papeles de lija de mayor a menor poder abrasivo hasta poder distinguir con claridad los anillos de crecimiento. Finalmente, se escanearon para hacer una lectura semiautomática de los anillos de crecimiento con el software CDendro (Cybis Dendrochronology).

Por otra parte, en campo, de las distintas partes de la rama cortada de cada árbol se separaba una muestra compuesta y representativa de varias ramillas de la parte apical de la rama cortada. Si se trataba de una especie perennifolia como la encina o el pino carrasco, de otra submuestra compuesta, también se separaban las hojas por años (cada verticilo por separado) (figura 21). Las hojas se pesaban en campo con una balanza de precisión de 1 gramo. Cada muestra se almacenaba en una bolsa de papel que se etiquetaba con el código del rodal, el número de árbol y por años según el caso.



Figura 21. Rama cortada de la parte alta de la copa de pino carrasco de la que se separaban en campo las hojas por años y se pesaban posteriormente en seco en laboratorio (foto: Lluís Comas).

Las muestras se llevaban al laboratorio y se secaban en estufa a 80°C durante al menos 48h y se pesaban en seco para poder determinar el contenido de humedad de las hojas. Con las hojas separadas por verticilos se determinó (también en seco) la proporción de hojas por años.

Con esta información se calcularon los indicadores siguientes:

- **Vida media de las hojas:** peso seco de las hojas del último año en relación al peso seco total (tanto por uno).
- **Contenido de humedad de las hojas:** relación entre el peso seco y el peso fresco (tanto por uno).
- **Crecimiento relativo en área basal del árbol** = Incremento medio anual en área basal de los años posteriores a la actuación (media de los años 2021-2022) en relación al incremento medio anual en área basal de los cinco años anteriores a la actuación (media de los años 2015-2019).

3.1. Vida media de las hojas

En este apartado se muestran los resultados en todos los rodales de las acciones C1 a C4 del efecto de los tratamientos silvícolas en la vida media de las hojas comparando los pies muestreados en la zona de actuación con los pies muestreados en la zona control.

La hipótesis de partida es que los pies liberados de competencia muestren una proporción de hojas del último año superior a los pies no liberados de la zona control. La razón es que la liberación debería suponer una mayor disponibilidad de recursos (agua, nutrientes, radiación solar) lo que debería permitir al árbol invertir más en la fabricación de nuevas hojas.

La Tabla 10 resume el valor del indicador por especie, tipo de gestión y tipo de bosque (puro o mixto) para todos los rodales comparando el valor medio del indicador para los pies liberados en la zona de actuación con los pies de la zona control.

Tabla 10: Valores promedio y error estándar de la vida media de las hojas de los pies liberados en la zona de actuación y los pies (no liberados) de la zona control. Para el roble no hay datos al tratarse de una especie caducifolia.

			Tratamiento		Control		Nº pies
Encinar			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	
GOQip	Puro	De referencia	0.56	0.040	0.48	0.103	5
GpNQip	Puro	Naturalística	0.58	0.067	0.48	0.103	5
GNQip	Puro	Preparación	0.57	0.103	0.32	0.105	5
GOQim	Mixto	De referencia	0.39	0.114	0.30	0.074	5
GpNQim	Mixto	Naturalística	0.45	0.092	0.25	0.097	5
GNQim	Mixto	Preparación	0.37	0.064	0.14	0.085	5
Pinar de pino carrasco							
GOPhp	Puro	De referencia	0.43	0.075	0.36	0.019	5
GpNPhp	Puro	Naturalística	0.49	0.014	0.36	0.019	5
GNPhp	Puro	Preparación	0.41	0.038	0.40	0.051	5
GOPhm	Mixto	De referencia	0.28	0.035	0.43	0.021	5
GpNPhm	Mixto	Naturalística	0.43	0.025	0.40	0.037	5
GNPhm	Mixto	Preparación	0.31	0.030	0.31	0.039	5

En las figuras 22 y 23 se muestran las diferencias en la proporción de hojas del último año por rodal, tipo de actuación y por tipología de hábitat (puro o mixto). En los encinares (figura 22) se aprecian valores superiores en los pies liberados (zona de actuación) en relación a los no liberados (zona control), en algunos casos las diferencias son muy significativas. En cambio, en los pinares de pino carrasco (figura 23), los patrones son muy dispares, entre la zona de actuación y la control, en tres de los seis rodales no hay diferencias significativas, en los dos rodales puros con una gestión más intensa hay diferencias significativas, mientras que el rodal mixto con gestión de referencia incluso el efecto es contrario al esperado. Los dos últimos años (2021 i 2022) que coinciden exactamente con los años posteriores a la actuación han sido extraordinariamente secos en la mayoría de rodales (figura 1) lo que podría haber cancelado, o como mínimo alterado, el supuesto efecto beneficioso de aumento de la disponibilidad hídrica en las zonas de actuación.

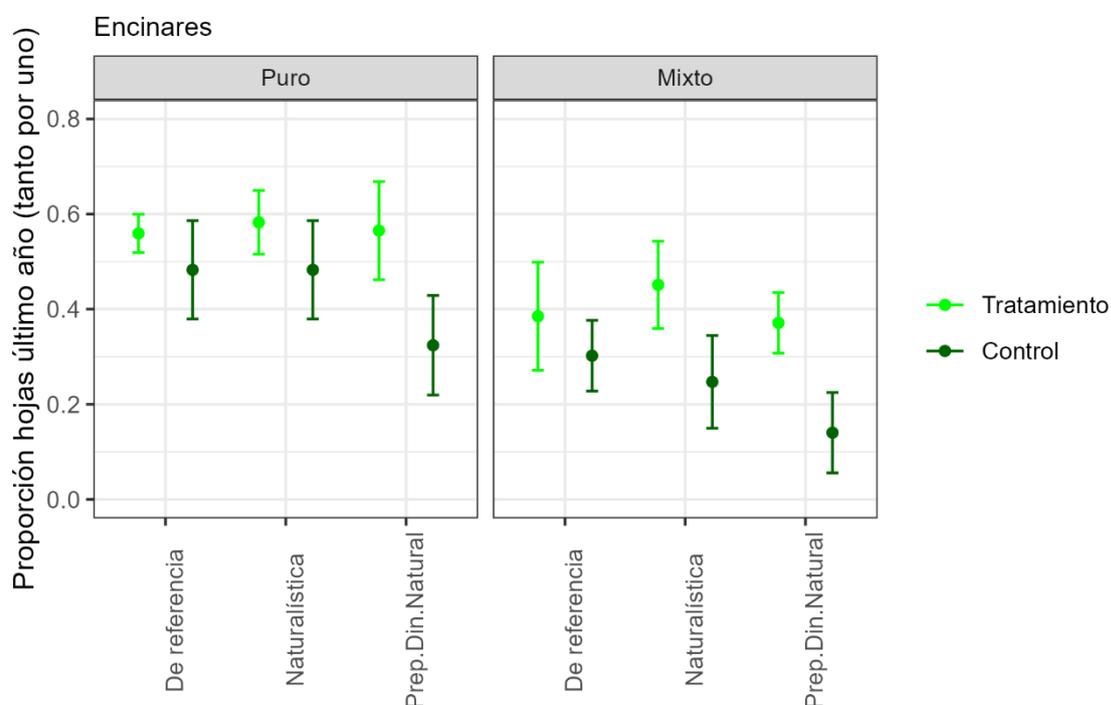


Figura 22. Diferencias en la proporción de hojas del último año (tanto por uno) en los rodales de encinar: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

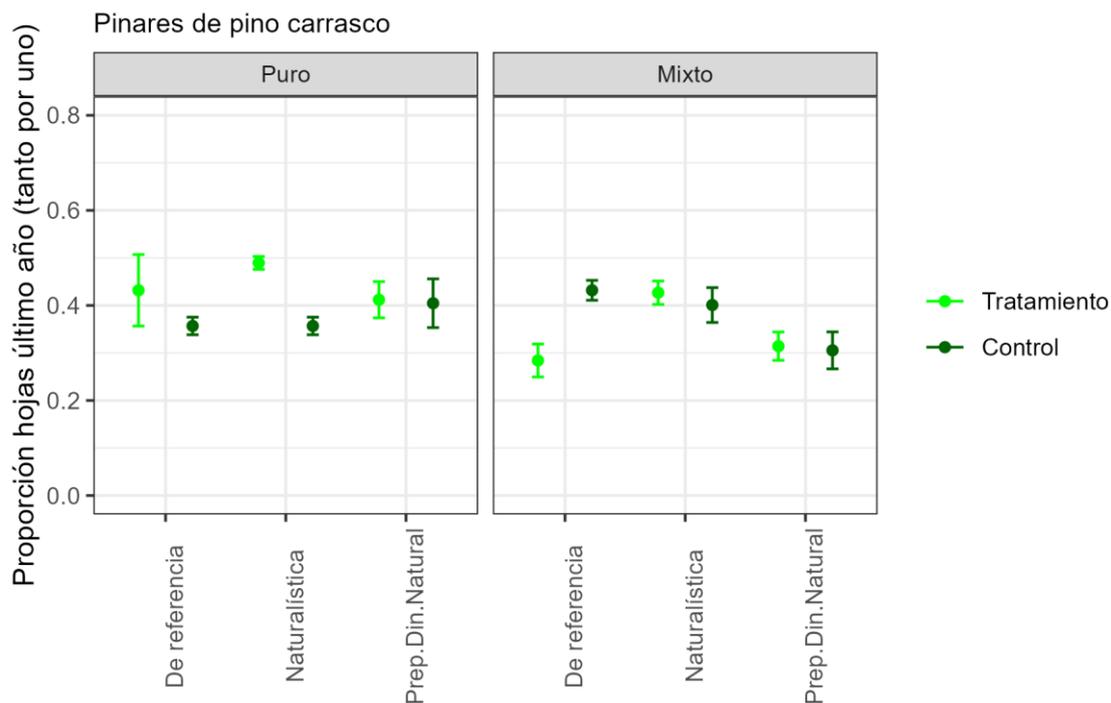


Figura 23. Diferencias en la proporción de hojas del último año (tanto por uno) en los rodales de pinar de pino carrasco: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

3.2. Contenido de humedad de las hojas

En este apartado se muestran los resultados en todos los rodales de las acciones C1 a C4 del efecto de los tratamientos silvícolas en el contenido de humedad de las hojas comparando los pies muestreados en la zona de actuación con los muestreados en la zona control.

La hipótesis de partida es que los pies liberados de competencia muestren un contenido de humedad en hojas superior a los pies (no liberados) de la zona control. La liberación supone una mayor disponibilidad de recursos, entre ellos mayor disponibilidad de agua, que debería suponer una mayor hidratación de las hojas. Las hojas son uno de los órganos más dinámicos y fundamentales para mantener uno de los procesos básicos para la supervivencia de la planta (la fotosíntesis) con lo que, en caso de cambios en la disponibilidad hídrica y/o radiación solar, es uno de los órganos que más rápidamente responde a estos cambios.

La Tabla 11 resume el valor del indicador por especie, tipo de gestión y tipo de bosque (puro o mixto) para todos los rodales comparando el valor medio del indicador para los pies liberados en la zona de actuación con los pies de la zona control.

Tabla 11: Valores promedio y error estándar del contenido de humedad de las hojas (tanto por uno) de los pies liberados en la zona de actuación y los pies (no liberados) de la zona control. Para el roble no hay datos al tratarse de una especie caducifolia.

Encinar			Tratamiento		Control		Nº pies
			Media	Err. Std.	Media	Err. Std.	
GOQip	Puro	De referencia	0.55	0.004	0.56	0.006	5
GpNQip	Puro	Naturalística	0.56	0.008	0.56	0.006	5
GNQip	Puro	Preparación	0.58	0.009	0.56	0.003	5
GOQim	Mixto	De referencia	0.56	0.014	0.56	0.006	5
GpNQim	Mixto	Naturalística	0.59	0.004	0.55	0.019	5
GNQim	Mixto	Preparación	0.56	0.005	0.54	0.022	5
Pinar de pino carrasco							
GOPhp	Puro	De referencia	0.47	0.020	0.49	0.005	5
GpNPhp	Puro	Naturalística	0.47	0.004	0.49	0.005	5
GNPhp	Puro	Preparación	0.49	0.005	0.49	0.005	5
GOPhm	Mixto	De referencia	0.49	0.012	0.46	0.015	5
GpNPhm	Mixto	Naturalística	0.45	0.020	0.47	0.007	5
GNPhm	Mixto	Preparación	0.50	0.006	0.49	0.003	5
Robledal mediterráneo							
GOQhp	Puro	De referencia	0.45	0.004	0.45	0.012	5
GpNQhp	Puro	Naturalística	0.49	0.005	0.48	0.011	5
GNQhp	Puro	Preparación	0.48	0.011	0.46	0.006	5
GOQhm	Mixto	De referencia	0.47	0.007	0.52	0.002	5
GpNQhm	Mixto	Naturalística	0.45	0.003	0.43	0.006	5
GNQhm	Mixto	Preparación	0.47	0.009	0.47	0.007	5

En las figuras 24, 25 y 26 se muestran las diferencias en el contenido relativo de agua de las hojas por rodal, tipo de actuación y por tipología de hábitat (puro o mixto). En los encinares (figura 24), en general, se aprecian muy pocas diferencias entre los pies liberados (zona de actuación) en relación a los no liberados (zona control), solo en dos rodales las diferencias son significativas y de acuerdo con lo esperable. En los pinares de pino carrasco (figura 25), los resultados son muy dispares, entre la zona de actuación y la control, en dos de los seis rodales los resultados son contrarios a los esperados, en dos no hay diferencias significativas y solamente en dos rodales las diferencias, significativas, están alineadas con la hipótesis de partida. En los robledales (figura 26) los resultados son también muy dispares, en tres de los seis rodales no hay diferencias significativas, en dos las diferencias están alineada con la hipótesis de partida y en uno el resultado es contrario a lo esperado.

Como en el caso anterior, los dos últimos años (2021 i 2022) que coinciden exactamente con los años posteriores a la actuación han sido extraordinariamente secos en la mayoría de rodales (figura 1) lo que podría haber cancelado o alterado, el supuesto efecto beneficioso de aumento de la disponibilidad hídrica en las zonas de actuación. También hay que tener en cuenta que la encina y, especialmente, el

pino carrasco son especies que controlan de manera precisa la pérdida de agua a través de sus hojas (especies isohídricas), de hecho, entre los pinos, el que mejor soporta los largos e intensos períodos de sequía y, por los resultados obtenidos, incluso con una sequía tan extraordinaria como la del 2021-2022.

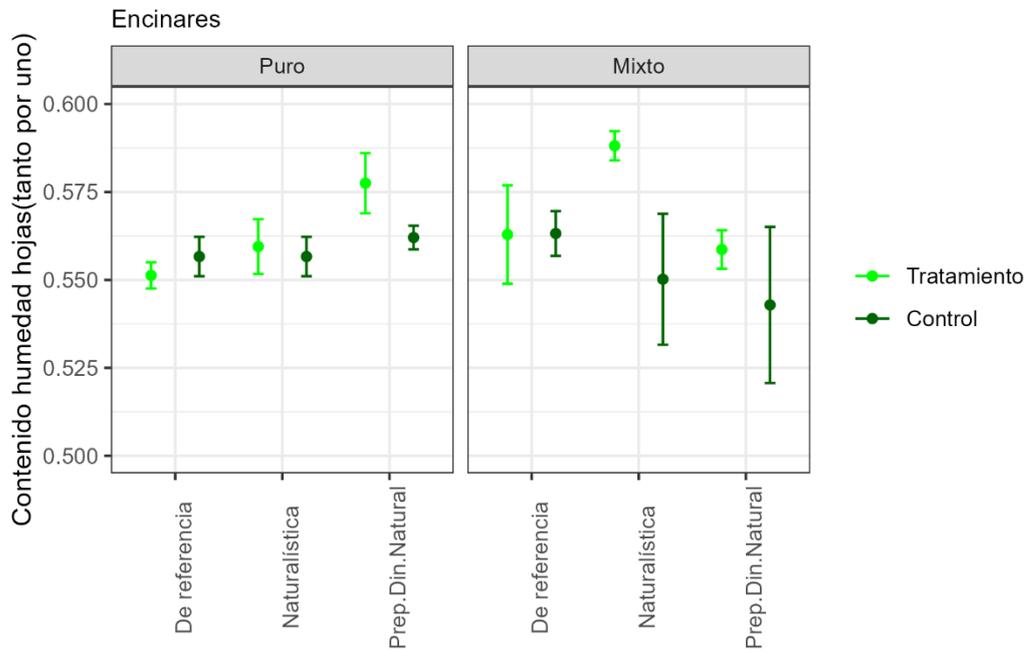


Figura 24. Diferencias en el contenido de humedad de las hojas (tanto por uno) en los rodales de encinar: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

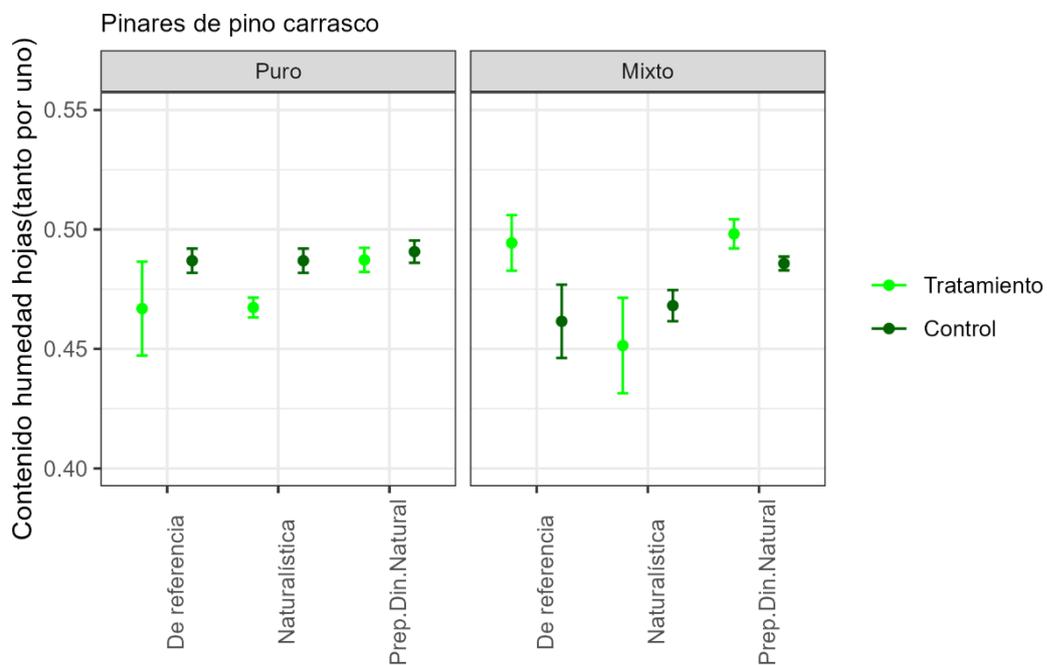


Figura 25. Diferencias en el contenido de humedad de las hojas (tanto por uno) en los rodales de pino carrasco: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

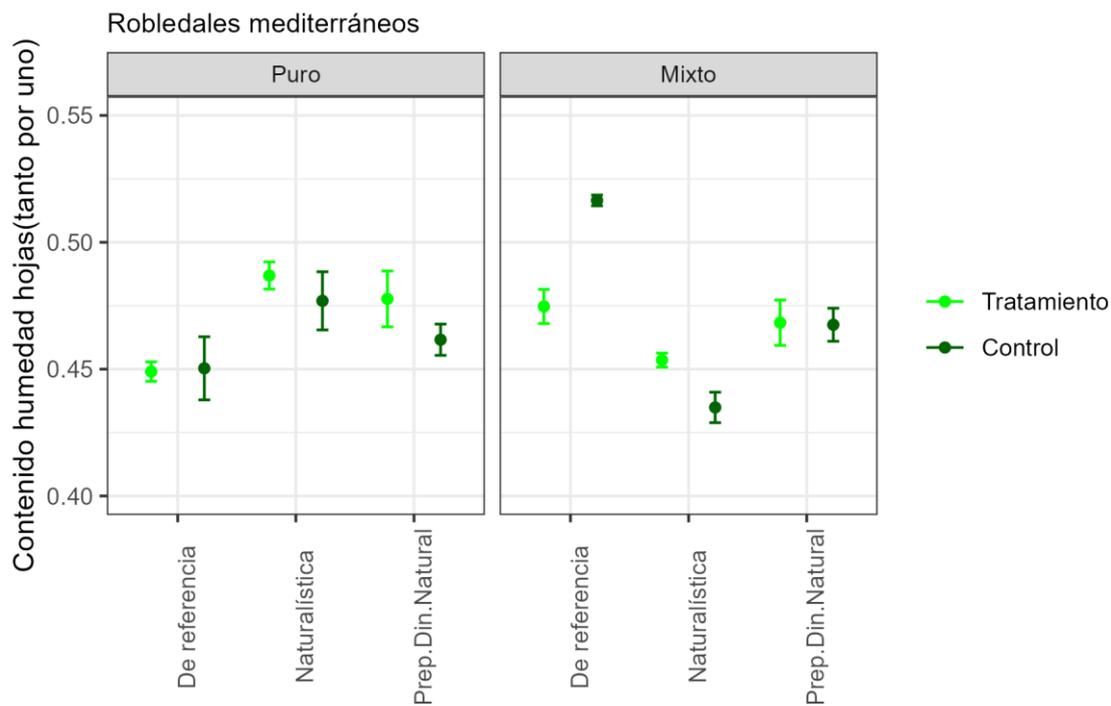


Figura 26. Diferencias en el contenido de humedad de las hojas (tanto por uno) en los rodales de roble mediterráneo: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

3.3. Crecimiento relativo en área basal de los árboles

En este apartado se muestran los resultados en todos los rodales de las acciones C1 a C4 del efecto en el crecimiento relativo en área basal de los árboles como consecuencia de los tratamientos comparando los pies muestreados en la zona de actuación con los pies muestreados en la zona control.

La hipótesis de partida es que los pies liberados de competencia muestren un crecimiento relativo superior a los de la zona control. La actuación supone una liberación de recursos, entre ellos mayor disponibilidad de agua y mayor radiación solar, que debería suponer un aumento de del crecimiento en diámetro del árbol en relación al período inmediatamente anterior a la intervención.

La Tabla 12 resume el valor del indicador por especie, tipo de gestión y tipo de bosque (puro o mixto) para todos los rodales comparando el valor medio del indicador para los pies liberados en la zona de actuación con los pies de la zona control.

Tabla 12: Valores promedio y error estándar del contenido del crecimiento relativo en área basal (s.u.) de los pies liberados en la zona de actuación y los pies (no liberados) de la zona control. Para la encina no hay datos al tratarse de una especie que no tiene anillos de crecimiento.

			Tratamiento			Control		
			Media	Err. Std.	Nº cores	Media	Err. Std.	Nº cores
Pinar de pino carrasco								
GOPhp	Puro	De referencia	2.02	0.41	5	1.71	0.50	3
GpNPhp	Puro	Naturalística	1.31	0.15	5	1.71	0.50	3
GNPhp	Puro	Preparación	1.59	0.44	4	1.35	0.20	5
GOPhm	Mixto	De referencia	1.51	0.41	5	2.98	0.70	4
GpNPhm	Mixto	Naturalística	1.98	0.27	4	1.90	0.10	4
GNPhm	Mixto	Preparación	1.28	0.27	5	0.43	-	1
Robledal mediterráneo								
GOQhp	Puro	De referencia	1.20	0.35	3	1.24	0.08	4
GpNQhp	Puro	Naturalística	1.49	0.36	3	1.02	0.07	5
GNQhp	Puro	Preparación	1.19	0.31	3	1.37	0.11	4
GOQhm	Mixto	De referencia	1.28	0.18	5	0.90	0.08	5
GpNQhm	Mixto	Naturalística	1.35	0.07	3	0.98	0.06	5
GNQhm	Mixto	Preparación	1.25	0.18	3	1.21	0.21	4

En las figuras 27 y 28 se muestran las diferencias en el crecimiento relativo en área basal por rodal, tipo de actuación y por tipología de hábitat (puro o mixto). En los pinares (figura 27), en cuatro de los seis rodales no se aprecian diferencias entre los pies liberados (zona de actuación) en relación a los no liberados (zona control), solo en dos rodales las diferencias son significativas y en uno de los rodales el resultado es contrario al esperado. En los robledales mediterráneos (figura 27), en tres de los seis rodales los resultados están alineados con la hipótesis de partida, en los otros tres rodales no hay diferencias significativas.

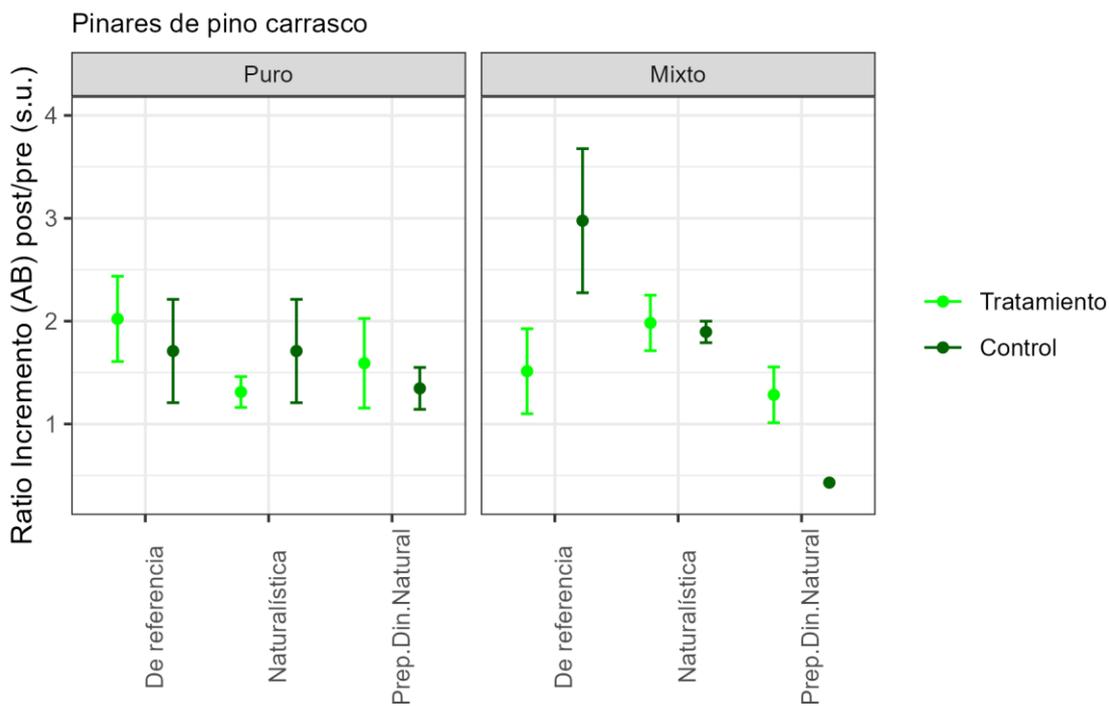


Figura 27. Diferencias en el crecimiento relativo en área basal (s.u.) en los rodales de pino carrasco: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

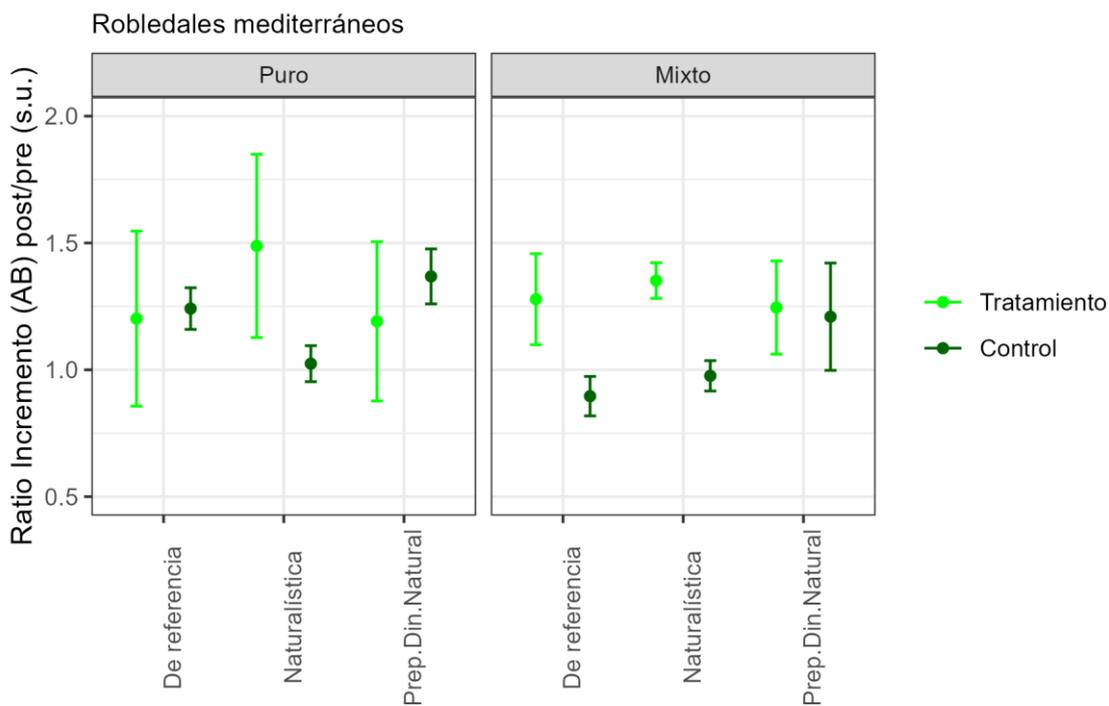


Figura 28. Diferencias en el crecimiento relativo en área basal (s.u.) en los rodales de roble mediterráneo: media y error estándar, entre los pies liberados de la zona de actuación y los pies (no liberados) de zona control.

3.4. Seguimiento de escolítidos por trampeo

En este apartado se muestran los resultados del seguimiento de los escolítidos por trampeo en cuatro de los rodales de *Pinus halepensis* (acción C2 y C4) para determinar la abundancia y diversidad de escolítidos y determinar su patogenicidad y capacidad para genera plagas forestales. La hipótesis de partida es que la generación de madera muerta en cantidades elevadas puede producir, a corto plazo, un efecto llamada de escolítidos potencialmente virulentos hasta el punto de generar una plaga.

En la propuesta original del proyecto esta subacción no estaba prevista pero debido a que los trabajos forestales de la Acción C4 tuvieron menos gastos de los previstos se propuso a la Comisión Europea una nueva subacción (parcialmente subcontratada) para llevar a cabo, el seguimiento de escolítidos en cuatro rodales de pino carrasco (puros o mixtos). El seguimiento en estos cuatro rodales se realizó en el Parque Natural de la Serra de Collserola: GOPhm, GpNPhm (finca de Can Planes), GNPhm y GNQim (en la finca de Can Calopa) (tabla 2). En este último rodal, aunque la especie principal es la encina se generó una cantidad considerable de madera muerta de pino en pie y en el suelo de gran tamaño). En la primera primavera post actuación (año 2020), en cada uno de los rodales se instalaron 3 trampas pasivas de intercepción de vuelo del tipo CROSSTRAP mini de la casa ECONEX (figura 29, izquierda), una en cada parcela. Se mantuvieron durante 7 meses, de principios de mayo hasta finales de noviembre. Las muestras se recogieron cada 15 días. Este muestreo empezó en primavera de 2020 y se repitió en 2021 y 2022. En total y por año supuso un total 4 rodales x 3 trampas x 7 meses x 2 veces/mes = 168 muestras/año, que en tres años supuso 504 muestras. Cada muestra se fijaba con alcohol de 70° y se llevaba al laboratorio. Para cada muestra se separaban y determinaban todos los escolítidos y se construyó una base de datos con cada captura individualizada por trampa (=parcela), rodal y fecha de muestreo.



Figura 29. Parcela de muestreo con la trampa pasiva de captura de artrópodos. Cada 15 días se recogía la muestra, se limpiaba y se renovaba el líquido fijador (fotos: Jordi Vayreda).

Se capturaron un total de 245 especies saproxílicas mayoría con un potencial patogénico desconocido. De estas solo 7 tienen un potencial patogénico entre medio y alto (figura 30).

Hylastes linearis



Foto: Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org

Hylurgus ligniperda



Foto: Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org

Orthotomicus erosus



Foto: Steven Valley, Oregon Department of Agriculture, Bugwood.org

Pityophthorus pubescens



Foto: Steven Valley, Oregon Department of Agriculture, Bugwood.org

Tomicus destruens



Foto: Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org

Tomicus piniperda



Foto: Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org

Xylosandrus crassiusculus



Foto: Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org

Figura 30. Especies de escolítidos con mayor potencial patogénico capturados con las trampas pasivas en los tres años de campana.

De estas especies, el número medio de ejemplares capturados cada 100 días es bajo (tabla 13). 3 de las 7 especies son relativamente abundantes, las otras 4 son muy poco abundantes. La única especie que aparece con una cierta abundancia y con patogeneidad alta es *Orthotomicus erosus* en el rodal GOPhm.

Tabla 13. Media y error estándar de la abundancia de escolítidos capturados (ejemplares/100 días) por rodal a lo largo de los tres años de seguimiento.

Especie	Patogenicidad	GOPhm	GpNPhm	GNPhm	GNQim
		De referencia	Naturalística	Preparación	Preparación
<i>Hylastes linearis</i>	Alta	2.8 (2.6)	1.0 (0.6)	1.3 (1.1)	0.9 (0.5)
<i>Hylurgus ligniperda</i>	Moderada	6.8 (3.6)	6.2 (4.3)	5.6 (2.3)	2.1 (0.7)
<i>Orthotomicus erosus</i>	Alta	27.4 (22.8)	4.2 (2.4)	1.1 (0.7)	0.1 (0.1)
<i>Pityophthorus pubescens</i>	Moderada	0.3 (0.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
<i>Tomicus destruens</i>	Alta	3.1 (1.6)	0.4 (0.4)	0.6 (0.4)	0.0 (0.0)
<i>Tomicus piniperda</i>	Alta	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.1 (0.1)	0.0 (0.0)
<i>Xylosandrus sp.</i>	Alta	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.8 (0.8)	0.1 (0.1)

En la figura 31 se muestra la abundancia y la riqueza medias de especies de escolítidos según su grado de patogenicidad para los tres años de seguimiento en cada rodal. La abundancia y diversidad relativa de las especies con mayor potencial patogénico es muy baja en todos los rodales y para todos los años de seguimiento y no guardan relación con la cantidad de madera muerta generada con la actuación forestal ya que en los rodales donde se ha generado mayor cantidad de madera muerta han sido los de gestión de preparación a dinámica natural (GNPhm y GNQim).

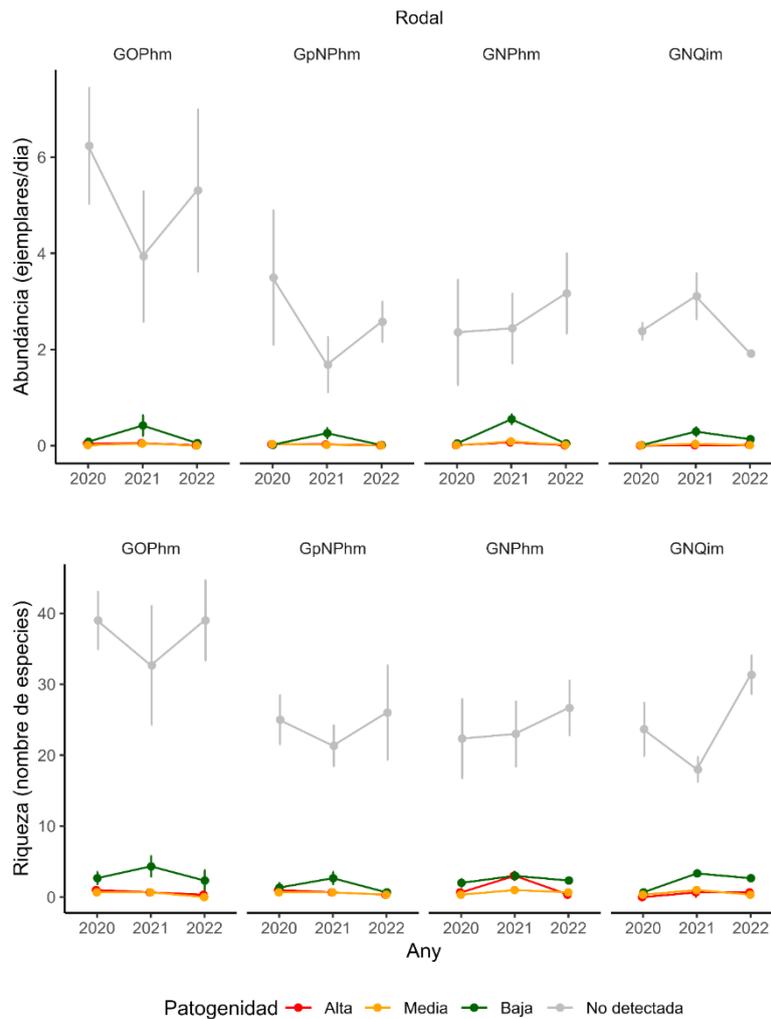


Figura 31. Arriba: Abundancia media y error estándar (ejemplares/día) de saproxílicos según su grado de patogenicidad por rodal y por años.

3.5. Evaluación anual de la afectación de pinos por escolítidos

En cuanto a la evaluación del riesgo de plagas de escolítidos, por un lado, se dispone de las muestras recogidas en las trampas de intercepción del vuelo (apartado 3.4) que permiten conocer cuáles son las especies de escolítidos presentes en los rodales de pino carrasco que potencialmente pueden convertirse en plaga.

Como segundo objetivo que debe responder la propuesta metodológica es evaluar el riesgo de promover plagas forestales de escolítidos primarios como consecuencia de generar madera muerta en coníferas. Así como, conocer la evolución en la colonización de la madera muerta por parte de los coleópteros saproxílicos en los primeros estadios de descomposición.

Para ello se diseñó un muestreo que consistió en que dos veces al año (diciembre-enero julio) y durante 3 años se visitaban las 3 parcelas de los 6 rodales de pino carrasco (puros y mixtos): GOPhm, GpNPhm, GNPhm y GNQim y las parcelas de los rodales de pino carrasco a evolución libre (parcelas control):

ENPhp (puro-Muntanya gran) y ENPhm (mixto-Can Calopa). En total 8 rodales x 3 parcelas = 24 parcelas.

En cada parcela de muestreo se realizó un seguimiento de la colonización por escolítidos en 15 pies vivos de pino carrasco más próximos al centro de la parcela. Para cada uno se hará una evaluación visual y cuantificada de daños: 1) estatus social (suprimido, codominante, dominante, aislado...); 2) vivo o muerto; 3) vitalidad de la copa según su coloración (verde, roja o marrón); 4) abundancia de agujero de emergencia en el tronco; 5) abundancia de botones de resina; 6) presencia de cuerpos fructíferos, descortezados.

En cada árbol se hacía un conteo del número de agujeros de emergencia de escolítidos y botones de resina con la ayuda de un marco, de 30 x 10 cm, puesto a 2 m de altura (figura 32). También se contaba el número de ramillas perforadas por acción de los escolítidos en una subparcela de 3 m de radio.

Teniendo en cuenta que los trabajos forestales en los rodales de pino carrasco se terminaron a finales de mayo de 2020 el primer muestreo se realizó en invierno de 2021. Se realizaron 4 campañas: invierno de 2021, verano de 2021, invierno de 2022 e invierno de 2023. Las campañas al segundo año de seguimiento se desprogramaron las campañas de verano porque no se detectó mortalidad en los pies vivos y apenas había daños.



Figura 32. Contaje de los agujeros de emergencia de escolítidos. En cada árbol se hacía un conteo del número de agujeros y botones con la ayuda de un marco, de 30 x 10 cm, puesto a 2 m de altura (foto: Jordi Vayreda).

A lo largo de las cuatro campañas de muestreo ninguno de los 120 pies sufrió ningún ataque por escolítidos que supusiera su muerte. En la campaña de verano de 2021 en 1 de los 120 pies se detectaron 10 botones de resina, es decir, un ataque sin consecuencias para el árbol. En la tercera campaña, la del invierno de 2022, se detectaron 6 pies con exudaciones sin más consecuencias y 1 pie con un agujero de emergencia sin que supusiera un daño detectable en el árbol. En la última campaña, invierno de 2023, no se detectó ningún ataque.

En la tabla 14 se muestra la abundancia media de ramillas atacadas por escolítidos de pino carrasco a lo largo de las cuatro campañas de muestreo por rodal. La primera campaña es cuando se encontró la mayor cantidad de ramillas en el suelo, pero con abundancias muy distintas entre rodales y siendo especialmente elevadas en el rodal puro de preparación a dinámica natural y en el rodal mixto con gestión de referencia. Durante el verano del mismo año la abundancia disminuyó significativamente en la mayoría de rodales y las 2 siguientes campañas (invierno de 2022 y 2023) apenas hubo ramillas. Salvo pequeñas excepciones, en los rodales control es donde se detectó la menor cantidad de ramillas perforadas sea cual fuese la campaña.

Tabla 14. Media y error estándar de la abundancia de ramillas perforadas por escolítidos de cada campaña por rodal.

Rodal			Invierno 2021		Verano 2021		Invierno 2022		Invierno 2023	
			Media	Error std.	Media	Error std.	Media	Error std.	Media	Error std.
GOPhm	Puro	De referencia	1.33	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33
GpNPhp	Puro	Naturalística	14.33	8.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33
GNPhp	Puro	Preparación	33.00	13.58	5.33	2.67	0.00	0.00	3.33	1.20
ENPhp	Puro	Control	1.67	0.33	2.67	1.45	0.00	0.00	0.33	0.33
GOPhm	Mixto	De referencia	30.67	9.91	5.00	2.65	0.67	0.67	0.33	0.33
GpNPhm	Mixto	Naturalística	10.33	2.33	1.67	0.88	0.00	0.00	0.33	0.33
GNPhm	Mixto	Preparación	3.33	1.20	5.67	4.70	2.33	1.20	3.33	1.20
ENPhm	Mixto	Control	2.33	1.86	1.33	0.88	1.67	0.33	3.00	2.08

4. Conclusiones

- **Provisión de madera y leñas.** Existen grandes diferencias entre rodales, desde más de 100 t/ha extraídas en encinares puros a valores intermedios, entre 10 y 60 t/ha, en robledales puros o mixtos, hasta valores muy bajos en los pinares de pino carrasco con valores inferiores a 10 t/ha. No hay diferencias para un mismo tipo de hábitat entre rodales por el hecho de que la gestión haya sido la de referencia o la naturalística.
- **Capacidad de sumidero de carbono (C).** Para los rodales con gestión de referencia o naturalística la reducción del stock de C ha sido entre el 8 y el 30%. Salvo alguna excepción, la gestión de preparación a dinámica natural muestra valores relativos de reducción del stock de C menores que en los otros tipos de gestión. Es de esperar que, en el futuro, se pueda demostrar que la gestión ha permitido mejorar la capacidad de sumideros en todos los rodales y tipos de gestión. La cuestión a resolver será determinar qué tipo de gestión ha permitido un mayor secuestro de carbono.
- **Protección del suelo contra la erosión.** En todos los rodales el cambio en la cobertura arbórea o del sotobosque como consecuencia de las actuaciones, aunque significativa en muchos casos, no debería suponer riesgo de erosión porque en todos los casos el valor medio se mantiene por encima del 70% i en muchos casos es muy superior.
- **Protección contra incendios.** En todos los rodales con actuaciones forestales de referencia y naturalística la vulnerabilidad al fuego de copas se mantiene, pero en valores moderados (tipo B#) o se ha reducido (tipo C#) como consecuencia de los desbroces parciales realizados en el sotobosque.
- **Vida media de las hojas.** Únicamente en los encinares la vida media de las hojas de la zona de actuación es superior a la de la zona control. Es posible que los años especialmente secos del 2021 y 2022, que coinciden exactamente con los años posteriores a la actuación, hayan cancelado el posible efecto beneficioso de las actuaciones forestales.
- **Contenido de humedad de las hojas.** Se han detectado muy pocas diferencias entre árboles de la zona de actuación y de la zona control. Como en el caso anterior, los dos últimos años (2021 i 2022) han sido extraordinariamente secos lo que podría haber cancelado o alterado, el supuesto efecto beneficioso de aumento de la disponibilidad hídrica en las zonas de actuación.
- **Crecimiento relativo en área basal.** Solo en la mitad aproximadamente de los rodales se ha detectado un incremento relativo mayor en los pies liberados (zona de actuación) que en los pies no liberados (zona control), en el resto, las diferencias no son significativas.

- **Seguimiento de escolítidos por trampeo.** La abundancia y diversidad relativa de las especies de escolítidos con mayor potencial patogénico es muy baja en todos los rodales y para todos los años de seguimiento y no guardan relación con la cantidad de madera muerta generada con la actuación forestal. Se concluye que el riesgo de plaga por acumulación de madera muerta ha sido nulo.
- **Afectación de pinos por escolítidos.** A lo largo de las cuatro campañas de muestreo ninguno de los 120 pies sufrió ningún ataque por escolítidos que supusiera su muerte. La primera campaña es cuando se encontró la mayor cantidad de ramillas en el suelo, pero con abundancias muy distintas entre rodales. En las siguientes campañas la cantidad media disminuyó. En general, en los rodales control es donde se detectó menor cantidad de ramillas perforadas.

Conclusions

- **Provision of wood and firewood.** There are great differences between stands, from more than 100 t/ha extracted in pure holm oak forests at intermediate values, between 10 and 60 t/ha, in pure or mixed oak forests, to very low values in Aleppo pine forests with values below 10 t/ha. There are no differences for the same type of habitat between stands due to the management type, whether of reference or naturalistic.
- **Carbon sink capacity (C).** For stands with reference or naturalistic management, the reduction in C stock was between 8 and 30%. With a few exceptions, natural dynamic preparation management shows lower relative values of C stock reduction than in the other types of management. It is to be hoped that, in the future, it will be possible to demonstrate that management has improved the sink capacity in all stands and types of management. The question to solve will be to determine what type of management will allowed for greater carbon sequestration.
- **Soil protection against erosion.** In all stands, the change in canopy cover or understory vegetation as a result of the actions, although significant in many cases, should not pose a risk of erosion because in all cases the average value remains above 70% and, in many cases, it is much higher.
- **Fire protection.** In all stands with reference and naturalistic forestry interventions, vulnerability to crown fire is maintained at moderate values (type B#) or has been reduced (type C#) as a result of the partial clearing of understory vegetation.
- **Mean life-span of leaves.** Only in holm oak stands the mean life-span of leaves in the managed area was longer than in the control stand. It is possible that the particularly dry years of 2021 and 2022, which coincide exactly with the years after the action, have cancelled out the potential benefits of forestry intervention.
- **Leaf moisture content.** Very few differences have been detected between trees in the intervention area and control stand trees. As in the previous case, the last two years (2021 and 2022) have been extraordinarily dry, which could have cancelled or altered the supposed beneficial effect of increasing water availability in the intervention areas.
- **Basal area relative growth.** Only in approximately half of the stands a greater relative increase was detected in the freed trees (management area) than in the non-freed trees (control area), in the rest, the differences were not significant.
- **Monitoring of bark beetles by trapping.** The abundance and relative diversity of the bark beetles with the highest pathogenic potential was very low in all stands and for all monitoring years and is not related to the amount of dead

wood generated by forest management. It is concluded that the risk of pest due to the accumulation of dead wood has been null.

- **Pine trees affected by bark beetles.** Throughout the four sampling campaigns, none of the 120 pine trees suffered any attack by bark beetles that resulted in their deaths. The first campaign was when the largest number of twigs were found in the soil, with very different abundances between stands. In the following seasons, the average number decreased. In general, the lowest number of perforated twigs was detected in the control stands.

5. Referencias

Beltrán M, Piqué M, Vericat P, Cervera T. 2011. Models de gestió per als boscos de pi blanc (*Pinus halepensis* Mill.): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: ORGEST. CPF. DARP. Barcelona. 124 p.

Vicente-Serrano SM, Tomás-Burguera M, Beguería S, Reig-Gracia F, Latorre B, Peña-Gallardo M, Luna Y, Morata A, González-Hidalgo JC. A. 2017. High Resolution Dataset of Drought Indices for Spain. *Data*, 2 (3): 22.

Vericat P, Piqué M, Beltrán M, Cervera T. 2011. Models de gestió per als boscos d'alzina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) i carrasca (*Quercus ilex* subsp. *ballota*): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie:

Vericat P, Piqué M, Beltrán, M, Cervera T 2012. Models de gestió per als boscos de roure de fulla petita (*Quercus faginea*) i roure martinenc (*Quercus humilis*): producció de fusta i prevenció d'incendis forestals. Sèrie: ORGEST. CPF. DARP. Generalitat de Catalunya. Barcelona.



www.lifebiorgest.eu



@LifeBiorgest