LIFE AgroForAdapt

Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos

LIFE20 CCA/ES/001682 10/2021 – 09/2026

https://agroforadapt.eu

ENTREGABLE D2.3: BALANCE DE CARBONO DE LOS SISTEMAS DEMOSTRATIVOS



Junio 2026

Proyecto LIFE AgroForAdapt: Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos 10/2021 – 09/2026

ACCIÓN D2.3: Balance de carbono de los sistemas demostrativos

Beneficiarios del proyecto: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC; coordinador), Diputació de Barcelona (DiBa), Diputació de Girona (DiGi), Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació de la Generalitat de Catalunya (DACC), Fundació Emys (Emys), Agresta S. Coop. (Agresta), Agroof, SCOP (Agroof).

Cofinanciadores del proyecto: Diputació de Tarragona (DipTa). Agencia del Agua RMC (Fra-Montpellier)

Autores del entregable: Jordi Garcia, Carla Fuentes (CTFC)

El proyecto LIFE AgroForAdapt (LIFE20 CCA/ES/001682; 10/2021 – 09/2026) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea

https://agroforadapt.eu

Cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea. No obstante, las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la CINEA. Ni la Unión Europea ni la autoridad concedente pueden ser consideradas responsables de ellos.

Executive summary

Forest management often involves reducing biomass in forest ecosystems. This is the case of the AgroForAdapt's demonstration forests, where heavy and light thinning treatments are applied to allow for grazing, whilst also introducing discontinuity that increases the resistance and resilience of forest systems to eventual wildfires. The implementation of these interventions, however, may cause a loss of C in the system, as the reduction in biomass means a decrease in the organic matter inputs into the soil. However, in the long term, reduced competition for water and nutrients could increase tree growth, fully or partially offsetting any potential carbon losses. This document analyses the short-term impact of the conversion of forest into silvopastoral systems in different demonstration sites. Specifically, it quantifies the impact on C stored in the above-ground woody biomass of trees and shrubs and in the soil, including the organic horizons and the top 15-cm soil. Furthermore, the reduction in CO_2 emissions resulting from the replacement of fossil fuels (gasoil) by wood harvested from wood yields is also estimated in more than 1,100 tC substituted with 108 ha of silvicultural treatments.

The results indicate that most of C is stored in the trees and the soil, while shrub component has a minor contribution to the system's total C storage. As expected, the heavy thinning treatment system had a stronger impact on aboveground biomass than light thinning. Higher woody debris C were produced in the heavy thinning sites, with amounts that, if left on the ground, could prevent the C loss in the organic layer or even increase it during the first years after the silvicultural works. Long term monitoring of organic and mineral soil layers, as well as tree growth, may allow understanding the whole impact of the interventions in the C storage in these ecosystems.

Contenido

1. Introducción 5
1.1. Contexto 5
1.2. Seguimiento D2.3 5
1.2.1. Sistemas silvopastorales demostrativos considerados 5
1.2.2. Resumen del protocolo de seguimiento 6
2. Resultados: Carbono absorbido por los diferentes componentes 7
2.1. Carbono absorbido por el componente leñoso 7
2.1.1 Metodología 7
2.1.2. Resultados 7
2.2. Carbono absorbido por el componente edáfico 12
2.2.1. Metodología 12
2.2.2. Resultados 13
3. Emisiones de C evitadas por sustitución de combustibles fósiles 16
3.1. Metodología 16
3.2. Resultados 16
4. Conclusiones 17
5. Plan de difusión de los resultados 17

1. Introducción

1.1. Contexto

La gestión forestal a menudo implica la reducción de la biomasa en los sistemas forestales. Este es el caso de las claras y adehesamientos aplicados para convertir los bosques demostrativos AgroForAdapt en sistemas silvopastorales, para permitir el aprovechamiento pastoral, a la vez que se genera una discontinuidad que aumenta la resistencia y la resiliencia de los sistemas forestales a eventuales incendios. Estos beneficios pueden tener como contrapartida una cierta pérdida de carbono en el sistema, puesto que la reducción de la biomasa implica una disminución de los aportes de materia orgánica en el suelo. Sin embargo, a largo plazo, la reducción de la competencia por el agua y los nutrientes podría incrementar el crecimiento de los árboles, compensando total o parcialmente las posibles pérdidas de C. En este documento se analiza el impacto a corto plazo de claras y adehesamientos en diversos sistemas silvopastorales demostrativos del proyecto. Concretamente, se analiza el impacto en el C almacenado en el componente leñoso aéreo de los árboles y arbustos y en el componente edáfico. Un seguimiento a medio o largo plazo de los diferentes componentes da la oportunidad de estimar el secuestro neto de C derivado de la gestión aplicada. Además, también se estima la reducción de las emisiones de CO_2 derivado de la sustitución de combustibles fósiles (gasóleo) por la madera extraída de los clareos y adehesamientos con uso como biocombustible, puesto que es un componente más del balance de C de las actuaciones realizadas.

1.2. Seguimiento D2.3.

1.2.1. Sistemas silvopastorales demostrativos considerados

El estudio se ha centrado en ocho rodales demostrativos de seguimiento avanzado implantado en Cataluña, en los municipios de Sant Climent de Llobregat [2], Sora [2], Sant Mateu de Bages [2], Sant Celoni [1] y Aiguamúrcia [1]. Estas localidades cubren el gradiente principal de condiciones climática mediterráneas (Tabla 1).

Tabla 1. Rodales asignados a seguimiento avanzado e integral y variantes de intervención.

Rodal	Triplete ID	TM	Clima		Formación		
			Med seco	Med Subhúm	Pinar	Encinar	Robledal
4K+3.2G	T1	St Mateu B.	X		(X)		X
4J+3.2G	T2	St Mateu B.	X		X		
4M/4O	T3	Sora		X	X		
3.2F+4M	T4	Sora		X	(X)		X
3.2A	T5	St Climent	X		X		
3.2A+4B	T6	St Climent	X			X	
4R	T7	St Celoni		X		X	
4A	T8	Aiguamúrcia	X		X		

1.2.2. Resumen del protocolo de seguimiento

El balance de carbono se realiza comparando el contenido final, al cabo de 2-3 años de la implementación de los tratamientos selvícolas, en relación con la situación inicial o con las áreas control.

En concreto, el estudio se centra en 4 variables, como se detalla en el protocolo D2.3, apartado 5:
· Carbono contenido en el componente leñoso.
· Carbono contenido en el componente herbáceo.
· Carbono contenido en el componente edáfico.
· Emisiones de carbono evitadas.

Se ha realizado una modificación de este protocolo, determinada por la pobre respuesta del componente herbáceo a los tratamientos selvícolas. A la luz de los datos obtenidos, donde el C absorbido por este componente es despreciable en comparación con los componentes leñosos, se ha descartado su cálculo detallado. Además, el estudio se ha centrado en los rodales de seguimiento avanzado instalados en Cataluña y con al menos dos períodos vegetativos entre la intervención selvícola y el inventario final; por tanto, se han descartado los 3 rodales ubicados en Soria por cuestiones logísticas y los 2 rodales situados en Girona, al disponerse de un único periodo vegetativo post-intervención. Por último, en el caso de las emisiones evitadas, el estudio se ha centrado en la sustitución de energías fósiles por biomasa forestal, pero se ha debido descartar el cálculo de las emisiones evitadas asociadas a incendios forestales, debido a la imposibilidad de encontrar una metodología fiable que haya podido seguirse con los recursos disponibles.

2. Resultados: Carbono absorbido por los diferentes componentes

2.1. Carbono absorbido por el componente leñoso

2.1.1 Metodología

El impacto de las acciones realizadas en el componente leñoso de árboles y arbustos se ha estimado mediante inventarios forestales antes de ejecutar los trabajos, un año después y tres años después, aplicados en el marco de la acción D2.2.

A partir de estos inventarios se ha estimado la biomasa de madera utilizando ecuaciones alométricas para las especies de árboles y arbustos de cada localidad. A partir de la biomasa estimada se calcula el carbono (C) en los estratos arbustivo y el arbolado.

El balance global de C de la biomasa en pie se ha obtenido a partir de la diferencia entre el C almacenado en el inventario final (2-3 años después de intervención) y el C estimado antes de ejecutar los tratamientos.

La estimación del C almacenado en los restos leñosos se ha realizado a partir de los datos de los inventarios de combustible (realizados en el marco de la acción D3) antes y justo después de la ejecución de los trabajos (inventarios “pre” y “post”). Se ha considerado la diferencia entre las biomasas de ambos inventarios como un indicador de la cantidad de restos dejados en el suelo.

2.1.2. Resultados

Carbono almacenado en el componente leñoso de los árboles

La cantidad de C almacenado en el componente leñoso de los árboles muestra una alta variabilidad, como consecuencia de las diferencias en las características de los sistemas forestales analizados. En la siguiente figura se muestra el C almacenado en el componente leñoso de los árboles antes, 1 año después y 2-3 años después de cada tipo intervención (clara y adehesamiento), así como en las parcelas control.

Existe una gran variabilidad tanto en la cantidad de C almacenado en el componente leñoso, como en la reducción del C causado por las actuaciones. Esto es debido a la gran variabilidad en las estructuras forestales, edades y especies arbóreas de cada lugar. En los rodales aclarados, la reducción de C almacenado se sitúa en un rango de entre 0,8 y 26,0 KgC m^{-2} (8 – 260 tC ha^{-1}), mientras que en el caso de los adehesamientos el rango está entre 0,7 y 23,7 KgC m^{-2} (7 – 237 tC ha^{-1}). Los datos previos a la intervención o en los controles de la mayoría de localidades indican valores típicos en bosques Mediterráneos, Los bajos valores en Sant Mateu se explican por ser un bosque joven, con árboles de pequeño tamaño.

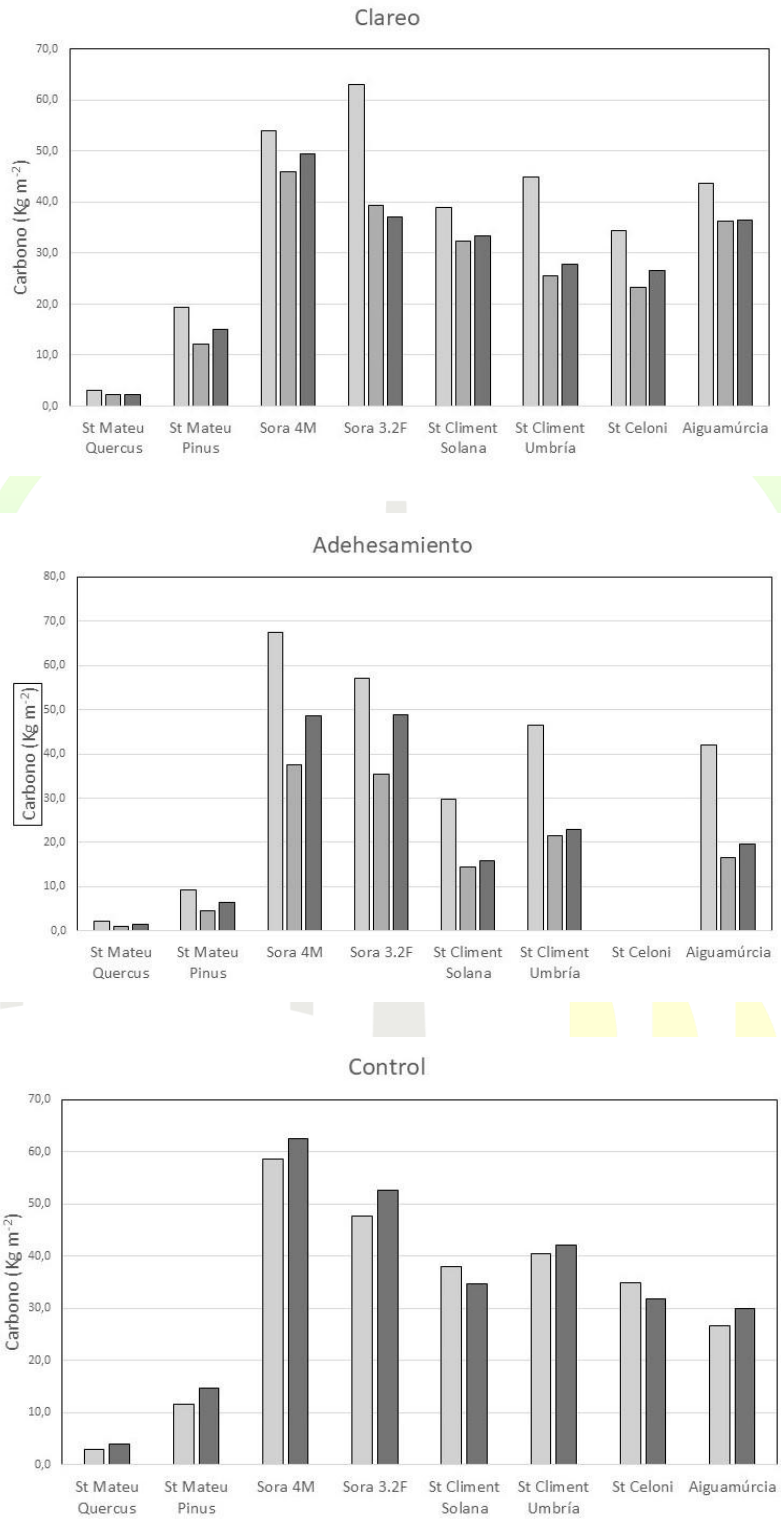


Figura 1: Carbono almacenado en el componenente leñoso del estrato arbóreo en las parcelas de clara, adehesamiento y control antes (gris claro), después (intermedio) y 2-3 años después (gris oscuro) de las intervenciones para cada localidad. En las parcelas control se tomaron medidas solamente antes de la intervención y 2-3 años después. No hay dato para el adehesamiento en Sant Celoni, ya que no se realizó este tratamiento.

Como era de esperar, la reducción de la biomasa con las claras o los adehesamientos implica una pérdida de C en el componente aéreo de los árboles (Figuras 1 y 2). A largo plazo, la reducción de la competencia por la luz y los nutrientes podría aumentar el crecimiento de los árboles y compensar, al menos en parte, la pérdida de C que se observa en los primeros años después de la intervención.

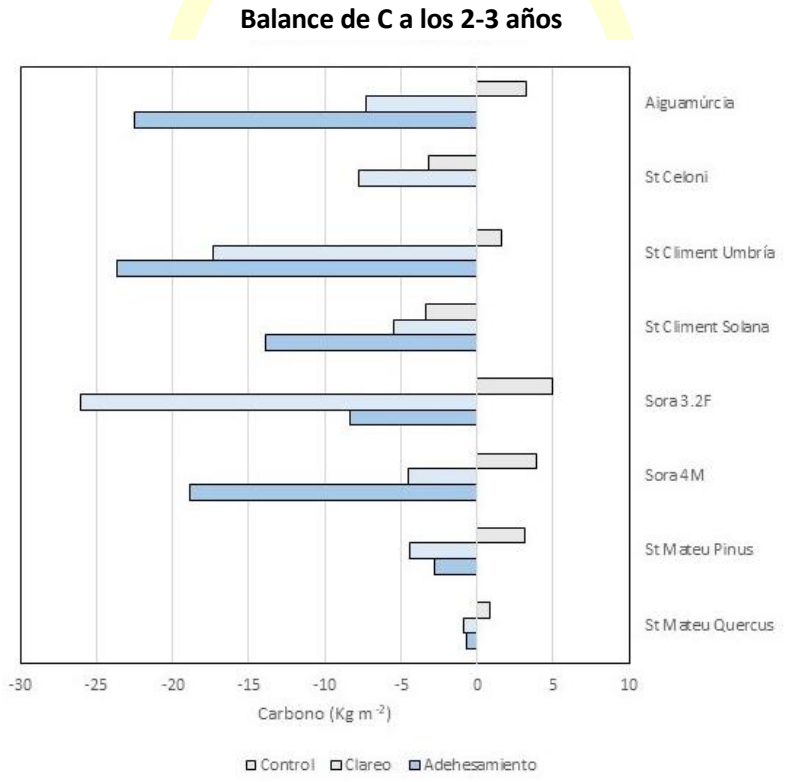


Figura 2: Balance de C del componente leñoso de los árboles a los 2-3 años de la intervención para cada localidad y tipo de gestión. No hay dato para el adehesamiento en Sant Celoni, ya que no se realizó este tratamiento.

Carbono almacenado en el componente leñoso de los arbustos

Si analizamos el contenido de C en el componente leñoso del estrato arbustivo, observamos un descenso medio entre antes de la actuación y 2-3 años después de 0,25±0,35 KgC m^{-2} (2,5±3,5 t ha^{-1}) en las claras y de 0,21 ±0,17 KgC m^{-2} (2,1±1,7 t ha^{-1}) en los adehesamientos. En las parcelas control muestra ligeros aumentos o descensos dependiendo de la localidad, con un descenso medio de 0,03±0,24 KgC m^{-2} (0,3±2,4 t ha^{-1}). Al igual que en el caso de los árboles, la variabilidad entre localidades es elevada por la diversidad de situaciones de partida y del tipo de intervención aplicado en cada rodal.

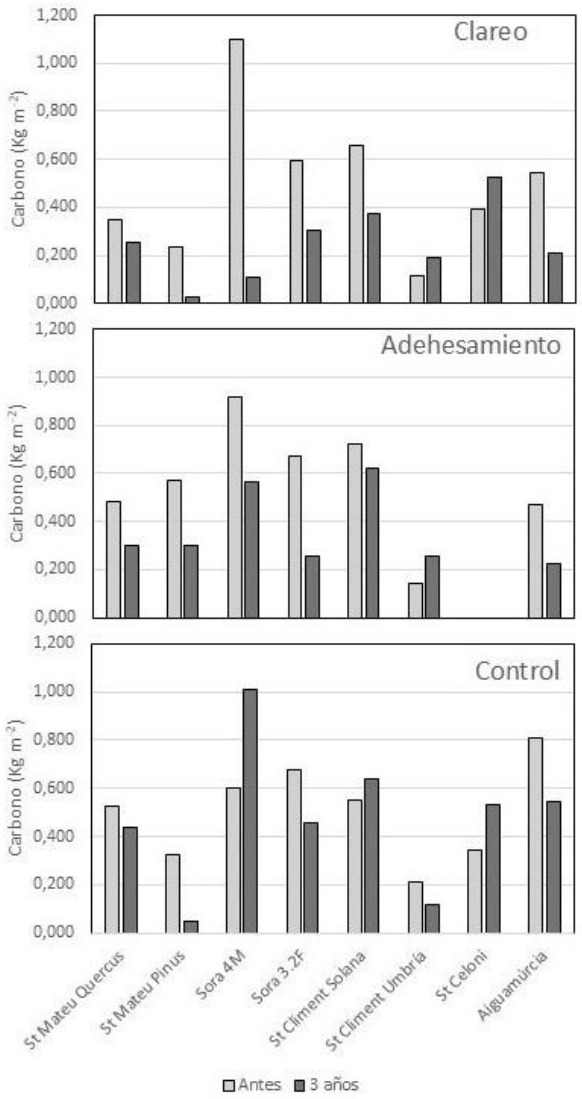


Figura 3: Carbono almacenado en el componente leñoso de los arbustos por localidad y tipo de gestión, antes de los tratamientos y 2-3 años después. No hay dato para el adehesamiento en Sant Celoni, ya que no se realizó este tratamiento.

Es de destacar que el C almacenado en el componente leñoso de los arbustos representa una porción pequeña del C total en la biomasa aérea, ya que es de un orden de magnitud inferior al C contenido en los árboles.

Carbono en los restos leñosos

En promedio, los trabajos de clara dejaron 0,36±0,31 KgC m^{-2} (3,6±3,1 tC ha^{-1}) en forma de restos, de los cuales 0,25±0,19 KgC m^{-2} (2,5±1,9 tC ha^{-1}) fueron en forma de restos finos (< 6 mm). En el caso de los adehesamientos la cantidad de restos fue de 0,48±0,32 KgC m^{-2} (4,8±3,2 tC ha^{-1}), de las cuales 0,28±0,18 KgC m^{-2} (2,8±1,8 tC ha^{-1}) fueron restos finos. La alta variabilidad es debida a las diferentes características (especies, edad y estructura) de los sistemas forestales analizados.

Con alguna excepción, en la mayoría de las localidades estudiadas, la cantidad de carbono estimada en los restos leñosos es mayor en los sistemas adehesados que en los clareos, debido a la mayor cantidad de biomasa cortada en los primeros.

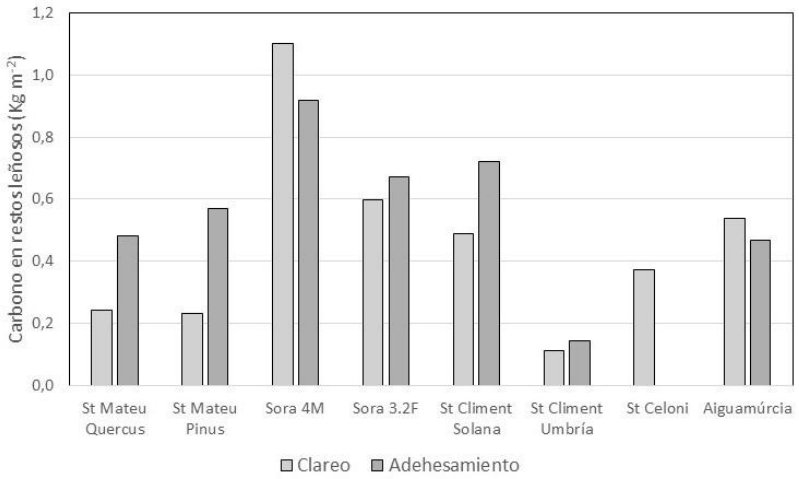


Figura 4: Cantidad estimada de C en los restos leñosos por tipo de gestión y localidad. No hay dato para el adehesamiento en Sant Celoni, ya que no se realizó este tratamiento en esta localidad.

El C en los restos leñosos se espera que, en parte, se incorpore a los horizontes orgánicos del suelo y a la materia orgánica del suelo mineral. Los valores obtenidos representarían una fracción importante del C en los horizontes orgánicos del suelo (ver Tabla 3), aunque una parte estos restos leñosos se mineralizará antes de incorporarse al suelo. Aun así, la magnitud obtenida de los restos leñosos sugiere que durante los primeros años estos restos pueden compensar la pérdida esperada de C de los horizontes orgánicos superficiales del suelo o incluso aumentarla.

En conclusión, el C en los árboles representa la mayor parte del C almacenado en la biomasa aérea, siendo la contribución de los arbustos pequeña. La pérdida de C en la biomasa está ligada a la intensidad del tratamiento, siendo, por lo tanto, mayor en los adehesamientos. El C en los restos leñosos mantenidos en el suelo después de las actuaciones es del mismo orden de magnitud que el de los arbustos y puede ayudar a mantener las existencias de C en el suelo superficial.

2.2. Carbono absorbido por el componente edáfico

2.2.1. Metodología

La estimación del C orgánico en el componente edáfico se ha realizado exclusivamente en las parcelas adehesadas, ya que es donde potencialmente la gestión realizada puede tener un mayor impacto. Por tanto, se ha realizado el cálculo en siete de los ocho rodales mencionados previamente (detallados en la Tabla 2), es decir, en todos salvo el ubicado en Sant Celoni, donde no se ha aplicado este tratamiento.

Tabla 2: Clima y especie arbórea principal de los rodales en los que se estimó el contenido de carbono en el suelo. Datos de temperatura media anual y precipitación anual extraídos del Altas Climático Digital de la Península Ibérica (Ninyerola et al, 2005).

	Especie	Temp media anual (ºC)	Precip. anual (mm)	Clima	Litología
St Mateu	*Pinus halepensis*	11.9	621	Mediterr. continental	Margas
St Mateu	*Quercus sp.*	11.2	577	Mediterr. continental	Margas
Sora 4M	*P. sylvestris*	11.5	886	Mediterr. subhúmedo	Conglomerados
Sora 3.2G	*P. sylvestris*	11.7	897	Mediterr. subhúmedo	Conglomerados
St Climent (solana)	*P. halepensis*	14.4	660	Mediterr. típico	Pizarras
St Climent (umbría)	*Q. ilex*	13.8	660	Mediterr. típico	Pizarras
Aiguamúrcia	*P. halepensis*	14.1	569	Mediterr. típico	Conglomerados

Para la estimación del C orgánico del suelo contenido en los rodales de las distintas localidades se ha muestreado tanto los horizontes orgánicos como el suelo mineral superficial. Puesto que el adehesamiento causa una heterogeneidad espacial en el recubrimiento de las copas de los árboles y, por lo tanto, en los aportes de C al suelo, se ha considerado que era necesario hacer un seguimiento diferenciado del suelo de debajo de las copas ("bajo árbol") y del suelo no cubierto por las copas de los árboles ("sin árbol). Para ello, en cada localidad se escogieron entre 2 y 4 árboles del tratamiento de adehesamiento y se muestreó en 3 puntos alrededor del tronco (a 1 m de distancia de este) que corresponden al suelo de debajo de las copas, y 3 muestras a mayor distancia (3 – 5 m) del tronco, fuera de la vertical de las copas.

Para el muestreo de los horizontes orgánicos se utilizaron marcos circulares de 24 cm de diámetro de donde se recolectaron a mano los horizontes orgánicos de la superficie delimitada (452 cm^2). En total se muestreó 1.357 cm^2 por cada árbol y en cada tipo de suelo (bajo copa o sin copa). De los horizontes orgánicos se muestreó por separado la fracción L (hojarasca fresca), F+H (restos orgánicos en distintos estadios de descomposición) y material leñoso (ramas, corteza). Posteriormente, en el laboratorio se separó la fracción F de la H de forma sistemática mediante tamizado con un tamiz de 4 mm de luz.

El muestreo del suelo mineral se realizó en los mismos puntos donde se había recolectado el suelo orgánico. Se recolectó con una pala pequeña suelo de dos profundidades (0 – 5 cm y 5 – 15 cm). Para obtener la densidad aparente del suelo (necesaria para el cálculo de las reservas) se recolectaron en el rodal diferentes 4 cilindros en ambas profundidades, para obtener un valor medio de densidad aparente a nivel de rodal.

2.2.2. Resultados

Carbono almacenado en los distintos componentes del suelo

Las reservas de carbono del suelo de las siguientes tablas representan el punto de partida para hacer un seguimiento del impacto de las actuaciones forestales llevadas a cabo. Como se puede observar en las tablas 3 y 4 hay una importante variabilidad entre localidades, reflejando las notables diferencias climáticas y de tipología forestal. Los valores obtenidos estan dentro del rango habitual de los bosques mediterráneos, representando una parte importante del C de los sistemas forestales.

Tabla 3: Reservas iniciales de carbono (media±error estándar, gC m^{-2}) en los horizontes orgánicos y el material leñoso bajo las copas de los árboles y fuera de las copas en las localidades de seguimiento avanzado. Se detalla el C orgánico contenido en los horizontes L, F, H, así como el material leñoso.

	n	L	F	H	Material leñoso	TOTAL
				Sin árbol		
St Mateu (pinar)	4	145.7±23	358.0±127	884.8±296	415.5±96	1827.2±527
St Mateu (robledal)	4	253.2±46	307.9±69	645.9±64	210.0±37	1417.1±196
Aiguamúcia	3	223.0±8	315.3±49	2141.9±154	261.8±75	2942.0±161
Sora 4M	3	81.3±6	220.2±77	335.8±94	651.3±55	1352.5±66
Sora 3.2G	3	84.9±13	405.1±118	512.1±179	457.3±75	1459.4±346
St Climent (solana)	2	280.6±7	289.8±56	498.6±167	1033.0±158	2101.9±389
St Climent (umbría)	2	59.3±16	212.2±58	1559.9±749	238.3±108	2112.2±856
				Bajo árbol		
Sant Mateu (pinar)	4	210.5±54	242.7±22	1170.0±357	382.5±94	1800.2±297
St Mateu (robledal)	4	245.7±36	322.1±66	622.6±51	453.7±201	1644.1±201
Aiguamúcia	3	272.5±23	393.4±122	2654.4±249	321.5±55	3641.7±330
Sora 4M	3	77.2±24	506.0±45	496.7±102	505.9±68	1781.3±81
Sora 3.2G	3	61.1±24	397.6±48	557.5±226	468.9±111	1485.2±147
St Climent (solana)	2	174.0±16	232.8±108	432.4±320	670.9±131	1510.1±282
St Climent (umbría)	2	88.2±60	346.1±144	1664.9±234	432.7±34	2531.9±283

Tabla 4: Reservas de carbono orgánico (media±error estándar, KgC m^{-2}) inicial en el suelo mineral a dos profundidades en las localidades de seguimiento avanzado. Dado el posible impacto de los árboles en la acumulación de C se estimó las reservas de C en el suelo bajo las copas de los árboles y fuera de las copas.

		Sin árbol		Bajo árbol	
	n	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm
Sant Mateu (pinar)	4	3.33±0.15	5.63±0.71	3.08±0.21	5.08±0.37
Sant Mateu (robledal)	4	2.99±0.22	4.09±0.59	3.03±0.20	3.78±0.25
Aiguamúrcia	3	1.83±0.21	2.55±0.64	2.10±0.21	2.72±0.31
Sora 4M	3	3.07±0.06	3.75±0.19	3.13±0.20	4.37±0.20
Sora 3.2G	3	3.87±0.19	5.22±0.09	3.96±0.05	6.03±0.43
Sant Climent (solana)	2	1.88±0.04	1.97±0.07	1.83±0.05	2.19±0.14
Sant Climent (umbría)	2	1.89±0.03	2.51±0.31	2.00±0.21	2.64±0.41

Cabe destacar que el C almacenado en los horizontes orgánicos superficiales tiene una importancia relativa mayor en las localidades de Aiguamúrcia y de Sant Climent, representando alrededor del 30-40% del C total almacenado hasta los 15 cm de profundidad. En cambio, en las cuatro localidades de Sant Mateu y Sora, la proporción de C almacenado en los horizontes orgánicos representa menos del 20% (Figura 5). Aunque sería necesario hacer un estudio específico para determinar las causas de estas diferencias, las localidades de Aiguamúrcia y Sant Climent son las que tienen clima Mediterráneo típico, probablemente con sequía estival más pronunciada que puede afectar a las tasas descomposición de la hojarasca.

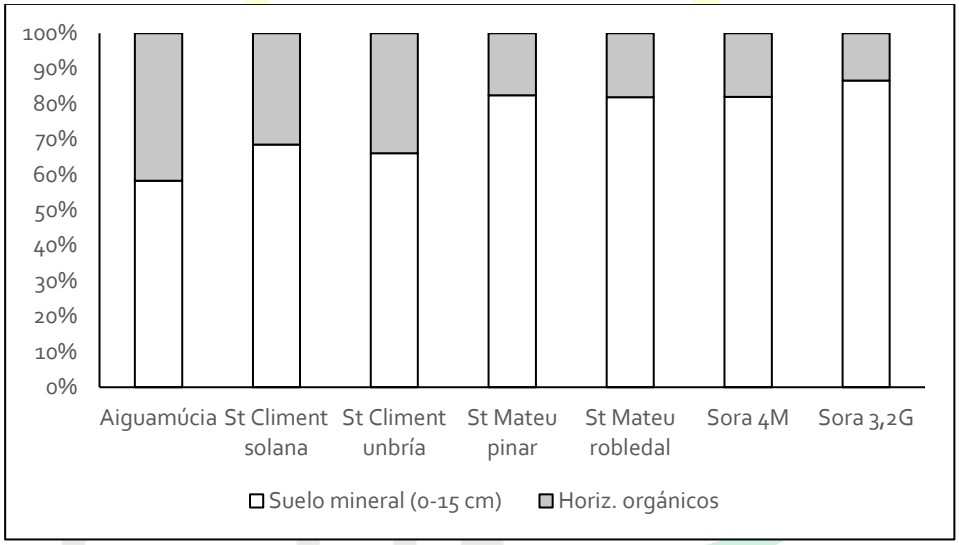


Figura 5: Proporción de C orgánico contenido en los horizontes orgánicos y el suelo mineral superficial (0 – 15 cm) para las 7 localidades analizadas.

Dado que el C en los horizontes orgánicos es el más vulnerable la gestión forestal o a los cambios de uso, es en Aiguamúrcia y Sant Climent donde el riesgo de perder C a medio plazo es más importante. Por el mismo motivo, estas son las localidades que tienen más C vulnerable a su pérdida ante eventuales incendios forestales.

Otros parámetros edáficos

La Tabla 5 muestra otros parámetros edáficos analizados en cada rodal estudiado para tener una caracterización edáfica más completa, más allá del contenido de C. En general, se observa que todas las localidades muestran suelos moderadamente alcalinos, sobre todo por la presencia de carbonatos ($CaCO_3$), especialmente en Sant Mateu y Aiguamúrcia. Es de destacar el pH alcalino de St Climent (umbría) a pesar de estar ubicado sobre pizarras y tener una concentración de carbonatos bastante baja. En general son suelos relativamente ricos en materia orgánica a nivel superficial, como es habitual en suelos forestales. La textura es también bastante equilibrada.

Como es de esperar, en estos parámetros tampoco se detectan diferencias importantes entre los suelos bajo las copas y fuera de las copas.

Tabla 5: Características edáficos de los horizontes minerales en las distintas localidades de seguimiento avanzado. Los datos corresponden a 5 – 15 cm de profundidad excepto la concentración de C orgánico que se incluye también los datos del suelo a 0 – 5 cm de profundidad ($Corg_{0-5}$).

	Sant Mateu (pinar)	Sant Mateu (robledal)	Aiguamúrcia	Sora 3.2G	Sora 4M	Sant Climent (solana)	Sant Climent (umbría)
				Sin árbol			
pH	8.3	8.2	8.2	8.1	7.9	8.2	7.9
CE (dS/m)	0.17	0.16	0.21	0.14	0.14	0.21	0.24
$Corg_{0-5}$ (%)	6.3	5.8	7.2	5.8	4.7	5.1	5.9
$Corg_{5-15}$ (%)	5.0	3.8	4.0	4.0	2.6	3.3	4.2
$CaCO_3$ (%)	20	22	43	14	3	21	4
N total (%)	0.31	0.22	0.21	0.24	<0.05	0.11	0.24
Na (mg Kg^{-1})	18	14.1	34	11.9	16	77	47
K (mg Kg^{-1})	329	205	139	172	100	48	129
Ca (mg Kg^{-1})	7173	7025	7955	6203	4677	6886	5172
Mg (mg Kg^{-1})	765	238	262	110	96	118	307
Arena (%)	44.6	44.5	58.4	46.5	28.5	66.1	56.3
Limo (%)	36.3	36.3	22.4	34.3	42.3	18.2	24.3
Arcilla (%)	19.1	19.2	19.2	19.2	29.2	15.7	19.4
Textura	Franca	Franca	Franco-arenosa	Franca	Franco-arcillosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa
				Bajo árbol			
pH	8.2	8.1	8.2	8.1	7.9	8.2	7.9
CE (dS/m)	0.19	0.16	0.23	0.14	0.15	0.21	0.14
$Corg_{0-5}$ (%)	5.8	5.8	7.3	6.6	3.8	4.9	6.3
$Corg_{5-15}$ (%)	4.5	3.4	4.2	4.6	3.0	3.7	4.4
$CaCO_3$ (%)	20	32	44	14	4	23	<3
N total (%)	0.08	<0.05	0.19	0.20	0.28	0.15	0.33
Na (mg Kg^{-1})	20	18	64	22	15	171	30
K (mg Kg^{-1})	259	219	176	175	123	94	166
Ca (mg Kg^{-1})	6124	7212	8758	5822	5046	10412	4203
Mg (mg Kg^{-1})	259	249	445	114	101	223	360
Arena (%)	52.5	42.6	62.5	46.0	32.6	62.3	60.4
Limo (%)	28.3	32.3	18.3	34.6	44.2	22.3	18.3
Arcilla (%)	19.2	25.1	19.2	19.4	23.2	15.4	21.3
Textura	Franca	Franca	Franco-arenosa	Franca	Franco-arcillosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa

3. Emisiones de C evitadas por sustitución de combustibles fósiles

3.1. Metodología

Se ha estimado las emisiones de CO_2 de combustibles fósiles ahorradas con el uso de la madera extraída de los rodales de adehesamiento. Para el cálculo de las emisiones de C evitadas, se ha asumido un contenido energético de la madera de 5.5 KWh/kg (Obernberger, 1998) y una densidad de la madera de 500 kg/m^3. Además, se asume una densidad energética del gasóleo de 10 KWh/litro, con unas emisiones de 2.68 $KgCO_2$/L por la combustión del gasóleo.
En el cálculo solamente se ha tenido en cuenta las emisiones directas de la combustión de la madera y el gasóleo. Para obtener un balance real se debería tener en cuenta las emisiones derivadas de los trabajos forestales (maquinaria, procesamiento de la madera, etc) y de la extracción del petróleo, refinado, etc.

3.2. Resultados

Los resultados indican que utilizar la madera obtenida en los tratamientos de adehesamiento (108 ha) como biocombustible permitiría sustituir más de 1.100 tC de emisiones (10.6 MgC-CO_2 ha^{-1}). Este ahorro de emisiones de CO_2 representa una porción importante de la reducción de C en la biomasa aérea de los árboles (ver Figura 2), contribuyendo a la compensación de las pérdidas de C del sistema.

Tabla 8: Madera extraída, energía obtenida y gasóleo (y emisiones de CO_2) ahorrados con el uso de la madera como combustible para cada localidad.

	Superficie	**Madera extraída**	**Madera usada como combustible**	**Energía madera**	**Gasóleo equivalente (ahorrado)**	**Emisiones ahorradas**
	ha	m^3	%	MWh	L (x1000)	tC-CO_2
Sant Mateu (pinar)	10.5	184.8	100	508.2	50.82	37.17
Sant Mateu (robledal)	5.8	114.3	100	314.3	31.43	22.99
Sant Mateu	3.7	31.3	100	86.1	8.61	6.30
Aiguamúrcia	18.8	746.4	80	1642.1	164.21	120.11
Sant Climent (solana)	8.0	405.6	90	1003.9	100.39	73.43
Sant Climent (umbría)	50.0	4295.0	90	10630.1	1063.01	777.52
Sora4M	4.6	259.0	80	569.8	56.98	41.68
Sora2.3G	6.4	389.1	80	856.0	85.60	62.61
TOTAL	**107.8**	**6425.5**	**88.3**	**15610.5**	**1561.05**	**1141.80**

El seguimiento a largo plazo del contenido de C del suelo y la biomasa permitirá tener en cuenta la respuesta del ecosistema (crecimiento de la vegetación, acumulación de C en el suelo, etc) en el balance de C de las actuaciones realizadas.

4. Conclusiones

La eliminación de parte de la biomasa forestal con las intervenciones silvícolas realizadas representa una reducción durante los primeros años del C almacenado en la madera y del aporte de materia orgánica en el suelo.

Aunque el efecto en el suelo necesita más tiempo para poder detectarse, es de esperar que las claras y especialmente los adehesamientos puedan reducir el C almacenado sobre todo de los horizontes orgánicos superficiales. Los restos leñosos generados en las actuaciones compensan en gran medida esta deficiencia en el C aportado por la vegetación durante los primeros años después de los tratamientos.

A más largo plazo, se espera que un mayor crecimiento de los árboles por la reducción de la competencia por los nutrientes y el agua puede recuperar los aportes de C al suelo por parte de la vegetación.

Por último, el aprovechamiento de la madera como combustible en sustitución de los combustibles fósiles compensa en parte el impacto de la ejecución de estas actuaciones en el secuestro de C, reduciendo las emisiones asociadas a este tipo de actuaciones. Además, la reducción del combustible reduce la vulnerabilidad a incendios forestales (como se describe en el entregable D3), con la correspondiente reducción de emisiones.

5. Plan de difusión de los resultados

Los datos recopilados en esta acción, adecuadamente analizados, se emplean en, al menos, los siguientes productos de comunicación del proyecto:

· Vilarnau, M; Coello, J; Margalef, J; Llena, G; Gallego, M; Vilà, L; Tejedor, R; Mollà, S; Cárdenas, C; Liagre, F. Outcomes of LIFE AgroForAdapt (2021-26): five years promoting agroforestry for climate change adaptation in the Mediterranean. European Agroforestry Conference.

· Jornada de campo del 23 de junio de 2026, organizada conjuntamente con el proyecto SUDOE CoopTree.

· Informe público con las conclusiones de los resultados del seguimiento de sistemas silvopastorales demostrativos AgroForAdapt.

Se prevé además la publicación de un artículo científico para evaluar los efectos de los tratamientos en los servicios ecosistémicos y el microclima forestal.

Referencia

Obernberger I. 1998. Decentralized biomass combustion: state of the art and future development. Biomass and Bioenergy 14: 33-56