



9CFE-1321

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

Estimación del carbono almacenado en la hojarasca del suelo en formaciones forestales a partir de su espesor y cobertura arbórea del suelo

RUIZ-PEINADO GERTRUDIX R. (1), LÓPEZ SENESPLEDA E. (1), MADRIGAL CASANUEVA G. (1), GARCÍA GARCÍA M. (1), RODRÍGUEZ ALONSO J. (1), DEL RÍO GAZTELURRUTIA M. (1), CALAMA SAINZ R. (1)

(1) Departamento de Dinámica y Gestión Forestal, Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Resumen

El carbono almacenado en la hojarasca del suelo supone casi un 4% del carbono total mundial en los bosques. Se trata del almacén más pequeño, por detrás de la madera muerta, suelo y vegetación viva, pero juega un papel fundamental como fuente de materia orgánica y nutrientes para el suelo, protegiéndolo físicamente contra la erosión. Considerando esto, su cuantificación es fundamental para diferentes propósitos. En España existen cuantificaciones de la biomasa de este almacén usando modelos que dependen del tipo de vegetación, cobertura del suelo, factores climáticos y localización geográfica. Pero en este caso, se ha construido y analizado el comportamiento de un modelo que considera como variable explicativa el espesor de la capa de hojarasca, como variable sencilla de medir en campo, y la formación forestal. El modelo se ha ajustado a partir de 340 mediciones de carbono almacenado en la capa de hojarasca y su espesor realizadas en diferentes formaciones forestales (pinos de carrasco, negral, piñonero, laricio y silvestre, sabinas, encinares, quejigales, rebollares, alcornoques, castaños, dehesas y mixtas). Los resultados del modelo son satisfactorios, mostrando un R^2 del 74,5%. Se sigue trabajando en aumentar el número de muestras en formaciones no consideradas.

Palabras clave

Capa orgánica del suelo, stock de carbono, cuantificación carbono, formaciones forestales.

1. Introducción

La capa de hojarasca o capa orgánica del suelo (*forest floor*) se describe como aquella acumulación de restos vegetales procedentes de la vegetación arbórea y/o arbustiva, incluyendo los restos leñosos que tengan un diámetro inferior a 2 cm. Esta capa orgánica supone un pequeño reservorio de carbono (C) dentro del ciclo en los ecosistemas forestales, pero no por ello es menos importante. Las últimas estimaciones para el año 2020, muestran que en esta capa se almacena casi un 4% en el stock total de C de los bosques (PAN ET AL. 2024). Según estos autores, en los bosques templados de Europa la capa de hojarasca supone casi un 5% del stock total de C. Este stock se sitúa por debajo del existente en la biomasa viva (50%) y del suelo (42%), pero se encuentra por delante del stock existente en la necromasa leñosa (3%). Además, esta capa es fundamental para la productividad del ecosistema, al ser un reservorio importante de nutrientes para el suelo, siendo el



hábitat de microflora y microfauna que intervienen en los procesos de descomposición y mineralización. Además, provee de protección al suelo contra la erosión, tanto por acción directa de las gotas de lluvia como por la escorrentía, y también es una parte de la carga de combustible forestal existente, de cara a la gestión de los mismos en incendios forestales. Por todos estos motivos, la cuantificación del peso de biomasa o el stock de C de este reservorio en el bosque resulta fundamental para la mitigación del cambio climático.

La estimación del almacén de C en la capa de hojarasca del suelo se ha llevado cabo utilizando diferentes aproximaciones según autores. Así, se ha realizado una modelización a partir de variables ambientales utilizadas para estimaciones regionales o nacionales (DOMKE ET AL. 2016; CAO ET AL. 2019; LÓPEZ-SENESPLEDA ET AL. 2021). También se han realizado estimaciones a menor escala utilizando valores de densidad aparente de esta capa, que se construyen a partir de valores de stock de C (o peso seco de la capa) y sus espesores (DE VOS ET AL. 2015). Otros trabajos han estudiado las relaciones entre el peso y la edad de la masa (HILLE & DEN OUDEN 2005), el espesor de la capa (FERNANDES ET AL. 2002; BAKŠIĆ & BAKŠIĆ 2020), o combinando el espesor y variables de masa como el área basimétrica, o solamente utilizando variables de masa (VEGA ET AL. 2022).

El stock de C en la hojarasca depende de la especie o el grupo de especies que domina el ecosistema forestal. Así, se ha encontrado que en los bosques donde dominan especies del grupo de las coníferas existe un stock de C generalmente mayor frente a aquellos donde dominan las especies de frondosas (para una edad y estructura similar). Esto es debido, fundamentalmente, a las características del desfronde de las especies y al proceso de descomposición mucho más lento de ciertas estructuras existentes en la hojarasca de coníferas, por lo que existe una mayor acumulación. Además, este proceso se ralentiza bajo climas más fríos y, por tanto, la acumulación es más notable. En los bosques de la Península Ibérica, LÓPEZ-SENESPLEDA ET AL. (2021) obtienen, a partir de un proceso de modelización, que el stock de C en la capa orgánica en formaciones de coníferas alcanza de media los 10,1 Mg C/ha y en las de frondosas 6,3 Mg C/ha. Dentro de las coníferas, los abetales y pinares de *Pinus sylvestris* mostraron los valores más altos, mientras que en masas de frondosas los stocks más grandes se encontraron en robledales atlánticos de *Quercus robur/petraea*.

2. Objetivos

El objetivo fundamental de este estudio es obtener una relación entre el stock de C en la capa de hojarasca en sistemas forestales arbolados y variables que sean de obtención directa en inventarios forestales, lo que permitiría para realizar una estimación rápida y a su vez precisa. Como variables independientes, se probaron el espesor, la fracción de cabida cubierta arbórea y variables climáticas. Se trata de variables que, habiéndose utilizado previamente en trabajos similares, se muestran directamente relacionadas con el stock de C en esta capa afectando a la cantidad y tipo de desfronde, y descomposición del mismo. Con ello se pretende proveer a gestores e investigadores de una herramienta para la estimación del

stock de C en la hojarasca en las principales formaciones forestales de la Península Ibérica.

3. Metodología

La determinación del stock de C en la capa de hojarasca se ha desarrollado para trece de las principales formaciones forestales de la península Ibérica, según el Mapa Forestal de España (MITECO 2024). Se muestrearon masas de coníferas dominadas por *Pinus halepensis*, *P. nigra*, *P. pinaster* spp. *mesogeensis*, *P. pinea*, *P. sylvestris*, *Juniperus thurifera*, masas de frondosas dominadas por *Castanea sativa*, *Quercus faginea*, *Q. ilex*, *Q. pyrenaica*, *Q. suber*, formaciones adehesadas y masas mixtas (fundamentalmente mezclas de especies existentes en el área mediterránea). Estas formaciones arboladas representan aproximadamente un 76,7% de la superficie forestal arbolada en la península Ibérica (2,24 millones ha).

Se realizó un muestreo en 340 parcelas en estas formaciones, recogiendo la capa orgánica del suelo para estimar el stock de C acumulado, midiéndose el espesor de la misma y la fracción de cabida cubierta arbórea. En el muestreo, se recogió cuidadosamente toda la materia orgánica de las capas *L* (fresca) incluyendo los restos leñosos hasta 2 cm de diámetro, *F* (fragmentada) y *H* (humificada) de manera conjunta, en una superficie conocida de 625 cm² (marco de 25 x 25 cm), sin incluir suelo mineral. Se realizaron 4 mediciones del espesor de esta capa en sus esquinas de la superficie de muestreo para obtener un dato medio del punto de muestreo. Para obtener una mejor representatividad de la capa, tanto la recogida como las mediciones del espesor se realizaron en tres puntos por parcela, obteniéndose en cada parcela una única muestra compuesta. Estos puntos se distribuyeron sistemáticamente en la parcela, a 4 metros del centro en orientación Norte, 120° y 240°. La muestra recogida fue llevada al laboratorio para ser secada a 65° y posteriormente se identificó su contenido de C utilizando un analizador total de elementos. A partir de estos datos se calculó, el stock de C multiplicando el contenido de C por el peso seco de la capa.

El ajuste del modelo se realizó empleando modelos mixtos. Se ajustó un modelo lineal mixto a los datos indicados arriba, siendo la variable dependiente el stock de C de la capa de hojarasca. Como variables independientes se utilizaron el espesor de dicha capa y otras variables ecológicas que mostraron una alta correlación y que, a priori, tienen una influencia significativa en el proceso de descomposición y desfronde. Así, se incluyeron variables de tipo climático como la temperatura y la precipitación media anual, y de tipo selvícola como la fracción de cabida cubierta del suelo por las especies arbóreas. En el ajuste del modelo se incluyó un efecto aleatorio de la formación arbolada, considerándose tanto su efecto en la constante como en el parámetro asociado al espesor de la capa buscando el mejor modelo. La consideración de la formación como un efecto aleatorio, y no como un efecto fijo (como podría parecer lógico a priori), se fundamenta en (1) desequilibrio y baja representatividad de algunas de las formaciones, y (2) la muestra no cubre todas las posibles formaciones, sino solo una muestra de ellas, y el posible interés en dar estimaciones a nivel poblacional para otras formaciones. Para solventar los

problemas debido a la heterocedasticidad de los residuos y la no linealidad de la relación, se realizó una transformación logarítmica tanto de la variable dependiente como en las variables independientes explicativas. En la retransformación de la relación, se ha de aplicar un coeficiente de corrección (CF) que considera tanto la varianza del error residual como la del efecto aleatorio para la predicción marginal, mientras que para predicción condicional solo se considera el error residual.

$$CF_{\text{marginal}} = \exp((\text{Varianza de los efectos aleatorios} + \text{Varianza residual}) / 2)$$

$$CF_{\text{condicional}} = \exp(\text{Varianza residual} / 2)$$

4. Resultados

La profundidad de la capa de hojarasca varió entre 0,1 y 9,0 cm (mediana= 1,2 cm), mostrando una alta variabilidad (coeficiente de variación= 91,4%) (Tabla 1). Por grupos de especies, la profundidad varió entre los 0,1 y los 9,0 cm en coníferas y entre 0,2 y 4,7 cm para frondosas (mediana= 1,6 cm y 0,8 cm, y coeficiente de variación= 86,8% y 119,2%, respectivamente).

Tabla 1. Características medias de las parcelas muestreadas por formación arbolada.

Formación arbolada	Número de parcelas	Fracción cabida (%)	Espesor medio y rango (cm)	Stock de C (Mg C/ha)	Densidad aparente (kg C/m³)
Pinares de pino carrasco	8	70,0	0,7 (0,1-1,3)	6,6	102,7
Pinares de pino laricio	10	74,5	2,3 (0,9-5,0)	8,4	40,6
Pinares de pino piñonero	12	63,3	1,0 (0,3-1,8)	4,3	45,5
Pinares de pino negral	32	74,5	2,1 (0,6-9,0)	10,4	54,0
Pinares de pino silvestre	26	84,4	2,0 (0,8-4,0)	9,2	62,2
Sabinares albares	21	44,8	0,6 (0,1-1,7)	1,9	43,2
Coníferas	109	69,6	1,6 (0,1-9,0)	7,3	55,3
Castañares	7	79,3	1,9 (1,1-4,7)	2,7	17,7
Quejigares	20	69,5	1,2 (0,2-2,8)	4,0	37,8
Encinares	46	64,7	1,0 (0,3-3,3)	4,0	44,1
Rebollares	41	75,5	1,1 (0,3-3,5)	2,9	28,3
Alcornocales	3	78,3	0,5 (0,4-0,7)	3,6	78,1
Frondosas*	117	70,5	1,1 (0,3-4,7)	3,5	36,7
Dehesas	44	30,5	0,5 (0,1-2,7)	1,0	22,8
Masas mixtas	70	74,2	2,3 (0,3-6,9)	7,6	39,4
TOTAL	340	65,6	1,4 (0,1-9,0)	6,2	41,4

*Frondosas no adhesionadas

Finalmente, solo se identificaron como variables independientes significativas (p-value <0,01) el espesor de la capa y la fracción de cabida cubierta arbórea, no así las variables climáticas (precipitación y temperatura media anual). El efecto aleatorio solo aparece afectando a la constante. La expresión del modelo finalmente elegido fue:

$$\ln(\text{stock}_{ij}) = [a_0 + u_i] + a_1 \cdot \ln(\text{espesor}_{ij}) + a_2 \cdot \ln(\text{fcc}_{ij}) + e_{ij}$$

$$\text{stock}_{ij} = \exp^{(a_0 + u_i)} \cdot \text{espesor}_{ij}^{a_1} \cdot \text{fcc}_{ij}^{a_2} \cdot \text{CF}$$

siendo stock_{ij} el stock de C de la capa orgánica (Mg C/ha) correspondiente a la parcela j en la formación arbolada i , a_i cada uno de los parámetros fijos ajustados del modelo, espesor_{ij} el espesor medio en la parcela j (cm), fcc_{ij} la fracción de cabida cubierta de la masa (%), u_i es el parámetro aleatorio específico de la *formación i* distribuido según una normal de media cero y varianza estimable.

El modelo presentó buenos estadísticos de ajuste con una proporción de varianza explicada por los efectos fijos del modelo (predicción marginal) del 60,9%, y por el modelo que incluye efectos fijos + efectos aleatorios (predicción condicional) del 74,5%. Los coeficientes del modelo para cada formación, así como los coeficientes para una formación media, se presentan en la tabla 2. En la figura 1 se muestran los gráficos de dispersión para el stock de C en función del espesor (izquierda) y de la fracción de cabida cubierta arbórea (derecha).

Tabla 2. Coeficientes del modelo de stock de carbono (incluyendo efectos fijos + efectos aleatorios) para las formaciones forestales muestreadas, en función de su espesor y fracción de cobertura arbolada.

Formación arbolada	$a_0 + u_i$	a_1	a_2	CF
Pinares de pino carrasco	-1,7639	0,5441	0,8645	1,1272
Pinares de pino laricio	-2,0941	0,5441	0,8645	1,1272
Pinares de pino piñonero	-2,2074	0,5441	0,8645	1,1272
Pinares de pino negral	-1,9463	0,5441	0,8645	1,1272
Pinares de pino silvestre	-1,8987	0,5441	0,8645	1,1272
Sabinares albares	-2,4204	0,5441	0,8645	1,1272
Castañares	-2,9212	0,5441	0,8645	1,1272
Quejigales	-2,4420	0,5441	0,8645	1,1272
Encinares	-2,3465	0,5441	0,8645	1,1272
Rebollares	-2,8549	0,5441	0,8645	1,1272
Alcornocales	-2,1426	0,5441	0,8645	1,1272
Dehesas	-2,5919	0,5441	0,8645	1,1272
Masas mixtas	-2,2180	0,5441	0,8645	1,1272
General	-2,2960	0,5441	0,8645	1,4318

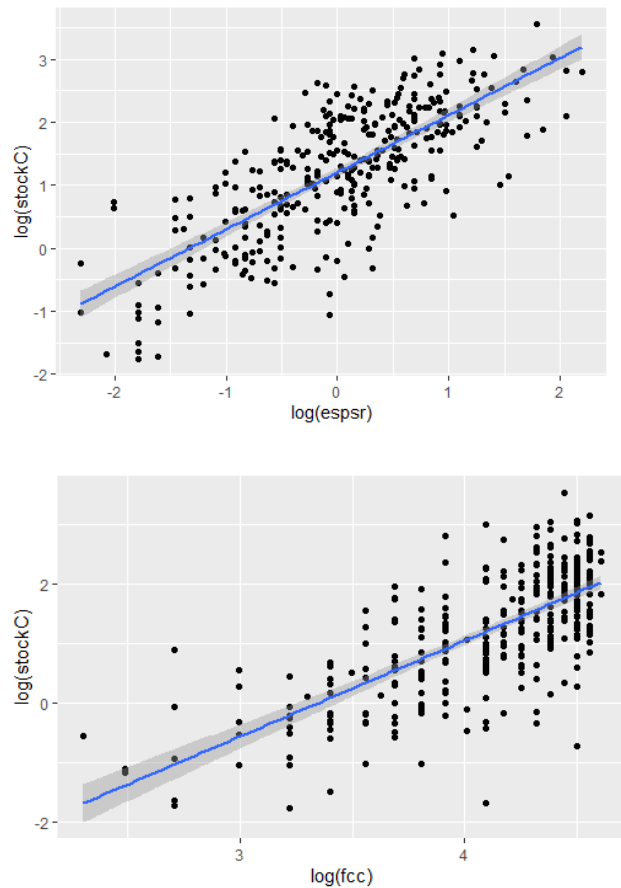


Figura 1. Gráficos de dispersión del stock de C en la capa orgánica para el espesor (izquierda) y la fracción de cabida cubierta (derecha).

Si se representan las diferentes curvas obtenidas para una fracción de cobertura arbolada media de todos los datos (65%), se obtiene la figura 2 donde se muestra de manera gráfica el stock de C en la capa de hojarasca en las diferentes formaciones arboladas en función de su espesor. De igual manera, pero para un espesor medio de 1,4 cm, se presenta la figura 3 con las estimaciones del modelo en función de la fracción de cabida cubierta arbórea. En ambas figuras se puede observar cómo los pinares de pino carrasco muestran el mayor stock de carbono para el mismo espesor y fracción de cabida cubierta, mientras que los castaños se encuentran en el otro extremo con los menores valores.

Figura 2. Stock de C en la capa de hojarasca en función del espesor de la misma dentro del rango de muestreo, considerando una fracción de cabida cubierta arbórea para todas las formaciones forestales del 65%.

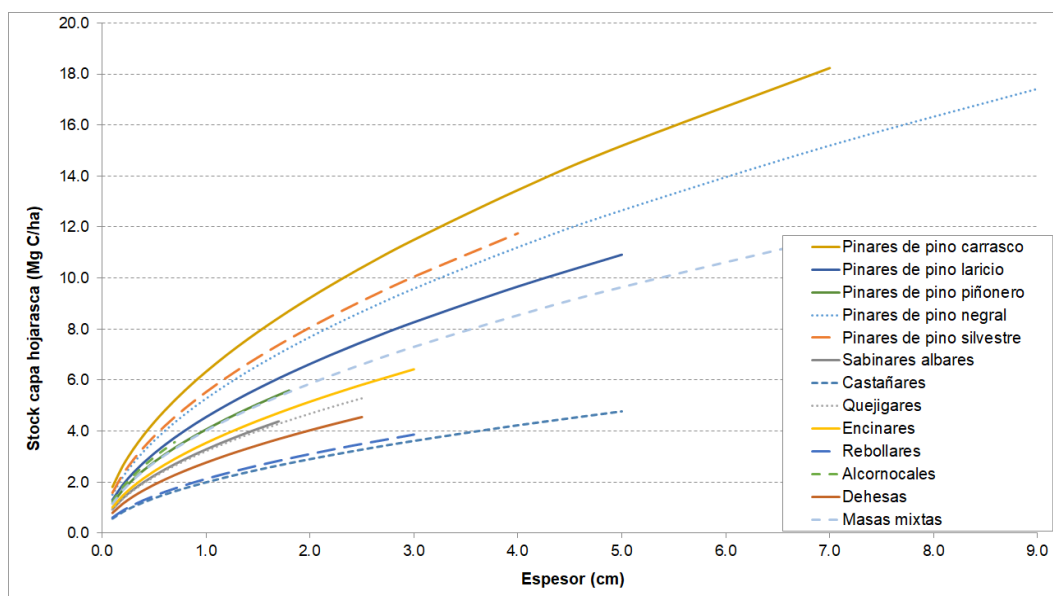
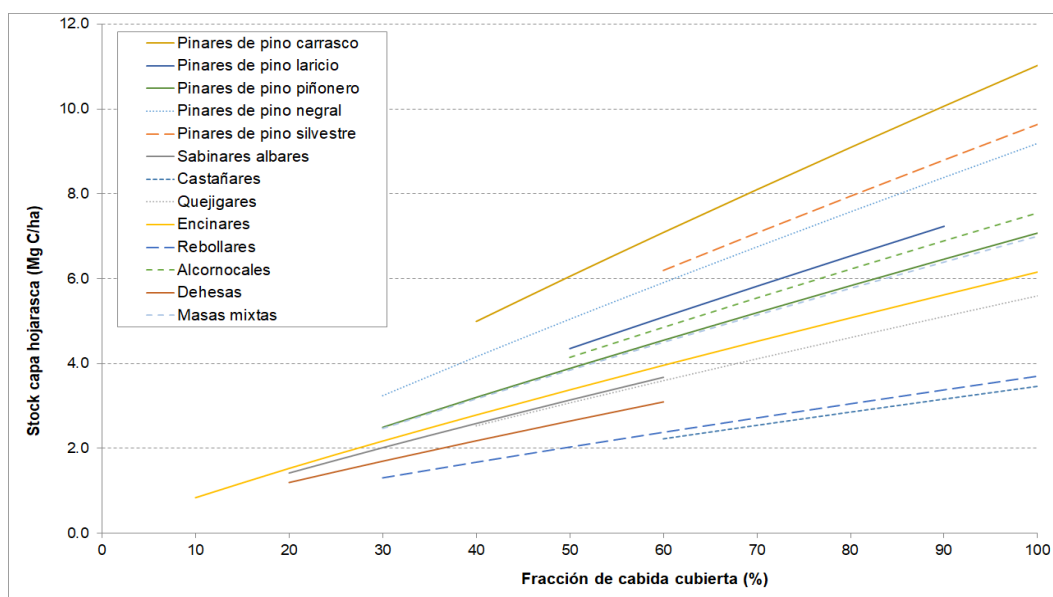


Figura 3. Stock de C en la capa de hojarasca en función de la fracción de cabida cubierta arbórea dentro del rango de muestreo, considerando un espesor medio para todas las formaciones forestales de 1,4 cm.



5. Discusión

No existe una gran diversidad de estudios que se centren en la capa orgánica del suelo a pesar de su importancia reseñada anteriormente, si exceptuamos aquellos sobre descomposición. Sin embargo, tener información adecuada sobre el peso de esta capa y su stock de C a nivel monte, permitirá a los gestores disponer de datos valiosos para la toma de decisiones.

La medición de espesores y estimación de coberturas de suelo por la vegetación arbórea para el cálculo del stock de C podría incorporarse dentro de la necesaria toma de datos en los inventarios forestales. Estas mediciones no implican un aumento significativo de los tiempos en el replanteo de las parcelas, ni un gran esfuerzo de formación del personal. Tan solo se necesita conocer los conceptos



básicos en la medición del espesor para evitar realizar una evaluación subjetiva de las características cualitativas a la hora de delimitar las capas orgánicas y minerales del suelo (WOODALL ET AL. 2012). Además, la estimación de la fracción de cabida cubierta podría obtenerse a partir de sensores remotos, lo que evitaría una medición subjetiva en campo.

La modelización realizada permite tener en cuenta variables de sencilla estimación en campo para una rápida y ajustada estimación del stock de C en la capa de hojarasca. Los modelos ajustados como modelos mixtos lineales, incluyen en su formulación parámetros aleatorios específicos de la formación, que afectan en este caso a la constante del modelo. Estos modelos permiten tener en cuenta la dependencia inherente entre las observaciones tomadas en una misma formación, permitiendo obtener una estimación eficiente de los parámetros fijos (ZUUR ET AL. 2009). El uso de estos modelos permite además realizar una estimación marginal (asumiendo el valor de los parámetros aleatorios igual a cero) para formaciones no incluidas en la muestra. Una última ventaja de este tipo de formulación es que permite calibrar el modelo para un tipo de formación no incluida en la muestra a partir de cualquier muestra adicional de stock de C, espesor y fracción de cabida cubierta que se tomara en esa formación (CALAMA Y MONTERO 2004), asumiendo siempre que el efecto asociado a la formación sigue una distribución normal, lo que podría ser un condicionante para su uso. Como se indicó en la metodología, la inclusión de la formación como factor fijo o factor aleatorio dentro del modelo podría ser objeto de discusión. En nuestro caso, nos hemos decantado por la consideración como efecto aleatorio, al no tener muestreadas todas las posibles formaciones de interés, y tener un desequilibrio en las observaciones en las formaciones arboladas.

En cuanto a las variables incluidas, el uso de variables como el espesor, la edad de la masa (en masas regulares) o el área basimétrica han sido identificadas por varios autores como adecuadas a la hora de estimar el peso de la capa de hojarasca, mostrando correlaciones positivas (PARRESOL ET AL. 2012; VEGA ET AL. 2022). De la misma manera, LÓPEZ-SENESPLEDA ET AL. (2021) identificaron que, entre otras variables, el índice NDVI estaba relacionado positivamente con el peso de la capa de hojarasca, aportando información sobre el desarrollo de la vegetación existente que condiciona la cantidad de desfronde aportado.

En relación con el espesor de la capa de hojarasca, WOODALL ET AL. (2012) obtuvieron valores medios del espesor de la capa de hojarasca de 6,6 cm (mediana 3,6 cm) en bosques de Estados Unidos. Igualmente advierten de la variabilidad encontrada dentro de la misma parcela de muestreo, que excedía el 100%. En comparación con los valores medios obtenidos en nuestro estudio, estos valores son bastante mayores. Una de las causas de esta diferencia, aparte de la debida a las especies y áreas geográficas, puede estar relacionada con el origen no natural de la gran mayoría de las masas de coníferas muestreadas (repoblaciones del género *Pinus*), donde muchas de ellas se encuentran en estados juveniles o incluso adultos donde aún no se ha alcanzado un estado de equilibrio entre el desfronde y la descomposición de los ecosistemas maduros, y se sigue incrementando el stock de C en la hojarasca. BAKŠIĆ & BAKŠIĆ (2020) identificaron que en bosques de pino



laricio en Croacia el espesor aumentaba desde los 2,5 cm en masas jóvenes, a los 3,8 cm en adultas y 5,9 cm en masas maduras. Además, indican que, aunque el espesor de la capa L no variaba de forma significativa con la edad, las capas *F* y *H* incrementaban su espesor. El aumento en la capa *H* con la edad también fue encontrado por HILLE & DEN OUDEN (2005).

Como se ha visto anteriormente, en las edades jóvenes se han reportado menores stocks de C que en bosques adultos, influyendo claramente la cantidad de desfronde y el desarrollo de la vegetación. Aunque la capa orgánica del suelo se desarrolla relativamente rápido debido al desfronde en aquellas especies donde el desarrollo de la biomasa aérea es rápido, en otras especies se requiere un tiempo bastante largo. Por ello, parece importante complementar el estudio en repoblaciones jóvenes para conocer de mejor manera como se realiza este proceso, tanto en diferentes especies como bajo diversas condiciones ecológicas.

Estudios en bosques europeos identificaron un aumento significativo de la densidad aparente de la capa orgánica en profundidad (capa L < capa F < capa FH < capa H), fundamentado en una mejor ocupación del espacio por la materia orgánica fragmentada y descompuesta (DE VOS ET AL. 2015). Estos autores encontraron un valor medio de densidad aparente para el peso de la biomasa de la capa de hojarasca de 118 kg/m³ que es mayor que el valor medio obtenido en nuestro estudio (99,6 kg/m³, expresado en C 41,4 kg C/m³). Si se pone el foco en las formaciones estudiadas, hay una gran variabilidad con valores medios mínimos encontrados en los castaños y medios máximos en los alcornoques, mostrando mayores valores medios en coníferas (55,3 kg C/m³) que en frondosas (36,7 kg C/m³). Por el contrario, en un área de Países Bajos, SCHULP ET AL. (2008) encontraron que las masas de coníferas (pino silvestre) tenían valores menores de densidad aparente para la capa de hojarasca que las de frondosas (haya/roble), aunque no identificaron diferencias significativas entre ellas.

6. Conclusiones

La realización de este tipo de modelizaciones para la cuantificación del almacén de carbono en la capa de hojarasca del suelo utilizando variables que se pueden obtener de manera directa en campo, como la profundidad de la capa orgánica y la fracción de cabida cubierta, permite disponer de herramientas sencillas de aplicación. Esto ayudará a los gestores, planificadores e investigadores tanto en la cuantificación y determinación del papel de los bosques como sumideros de C atmosférico como en la toma de decisiones al aportar una cuantificación ajustada y asumible del stock de esta capa al requerir una serie de datos asumibles de obtener.

7. Agradecimientos



Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) a través de la Encomienda de Gestión EG-17-042-C2.2 y el proyecto MITECO20234TE005.

8. Bibliografía

BAKŠIĆ, N.; BAKŠIĆ, D.; 2020. Estimation of fuel loads and carbon stocks of forest floor in endemic Dalmatian black pine forests. *iForest* 13, 382.

CALAMA, R; MONTERO, G.; 2004. Aplicación de los modelos mixtos a un caso práctico de modelización del crecimiento y producción forestal. *Cuadernos SECF* 18, 317-321

CAO, B.; DOMKE, G.M.; RUSSELL, M.B.; WALTERS, B.F.; 2019. Spatial modeling of litter and soil carbon stocks on forest land in the conterminous United States. *Sci Total Environ* 654, 94-106.

DE VOS, B.; COOLS, N.; ILVESNIEMI, H.; VESTERDAL, L.; VANGUELOVA, E.; CARNICELLI, S.; 2015. Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey. *Geoderma* 251-252, 33-46.

DOMKE, G.M.; PERRY, C.H.; WALTERS, B.F.; WOODALL, C.W.; RUSSELL, M.B.; SMITH, J.E.; 2016. Estimating litter carbon stocks on forest land in the United States. *Sci Total Environ* 557-558, 469-478.

HILLE, M.; DEN OUDEN, J.; 2005. Fuel load, humus consumption and humus moisture dynamics in Central European Scots pine stands. *Int J Wildland Fire* 14, 153-159.

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C.; BOTELHO, H.; FERREIRA, A.; FERNANDES, M.; 2002. Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusit* 10, 73-90.

LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; CALAMA, R.; RUIZ-PEINADO, R.; 2021. Estimating forest floor carbon stocks in woodland formations in Spain. *Sci Total Environ* 788, 147734.

PAN, Y.; BIRDSEY, R.A.; PHILLIPS, O.L.; HOUGHTON, R.A.; FANG, J.; KAUPPI, P.E.; KEITH, H.; KURZ, W.A.; ITO, A.; LEWIS, S.L.; NABUURS, G.-J.; SHVIDENKO, A.; HASHIMOTO, S.; LERINK, B.; SCHEPASCHENKO, D.; CASTANHO, A.; MURDIYARSO, D.; 2024. The enduring world forest carbon sink. *Nature* 631, 563-569.

PARRESOL, B. R.; BLAKE, J. I.; THOMPSON, A. J.; 2012. Effects of overstory composition and prescribed fire on fuel loading across a heterogeneous managed landscape in the southeastern USA. *For Ecol Manag* 273, 29-42.



SCHULP, C.J.E.; NABUURS, G.-J.; VERBURG, P.H.; DE WAAL, R.W.; 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *For Ecol Manag* 256, 482-490.

VEGA, J.A.; ARELLANO-PÉREZ, S.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; FERNÁNDEZ, C.; JIMÉNEZ, E.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; VEGA-NIEVA, D.J.; BRIONES-HERRERA, C.; ALONSO-REGO, C.; FONTÚRBEL, T.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; 2022. Modelling aboveground biomass and fuel load components at stand level in shrub communities in NW Spain. *For Ecol Manag* 505, 119926,

WOODALL, C.W.; PERRY, C.H.; WESTFALL, J.A.; 2012. An empirical assessment of forest floor carbon stock components across the United States. *For Ecol Manag* 269, 1-9.

ZUUR, A.F.; IENO, E.N.; WALKER, N.J.; SAVELIEV, A.A.; SMITH, G.M. 2009. Mixed effects models and Extensions in Ecology with R. Springer. 550 pp,

MITECO; 2024. Mapa Forestal de España. Máxima actualidad. Banco de Datos de la Naturaleza.

<https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.htm>