CONAMA 2018 CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
26 NOV / 29 NOV
RUMBO 20.30.

Cuantificación del sumidero de carbono en la materia muerta sobre el suelo en masas de *Pinus halepensis* sometidas a tratamientos selvícolas en la Región de Murcia

Autor: Miguel Chamón Fernández

Institución: Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

Otros autores: Esteban Jordán González (Ingeniería del Entorno Natural SL); Rubén Martínez Rivera (Ingeniería del Entorno Natural SL); Lourdes Vicente Valero (Ingeniería del Entorno Natural SL); Rosa Martínez González (Ingeniería del Entorno Natural SL); Rocío García López (Ingeniería del Entorno Natural SL); Pedro Alcoba Gómez (Ingeniería del Entorno Natural SL)

1. Introducción

Se denomina cambio climático, según la definición del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) a una Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado de tiempo. Fuentes científicas proclaman la idea de que el modo de producción actual de la población y el gran consumo energético que ésta genera, y de la forma en que lo hace, producen una alta contaminación, la cual provoca una alteración climática en el planeta. En el año 2001, el Tercer Informe de Evaluación del IPCC, alertaba de que el aumento de las temperaturas y en general los cambios en el clima, estaban alterando notablemente a la Tierra y por consiguiente el cambio climático se estaba produciendo (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España (MAPAMA, 2018)).

En las regiones mediterráneas se proyecta un calentamiento notablemente superior al calentamiento medio planetario, por lo general durante todo el año pero que será más acusado en los meses de verano. Respecto a las precipitaciones en esta zona, los modelos climáticos indican una notable disminución en los meses más cálidos y una media de precipitación en mm/m2 similar a la actual, pero en un periodo de tiempo mucho más corto, mediante lluvias torrenciales (Romero-March, 2014). Para la Región de Murcia según modelos predictivos de AdapteCCa el rango de temperaturas máximas podría aumentar notablemente en los próximos ochenta años tal y como se muestra en la siguiente figura.

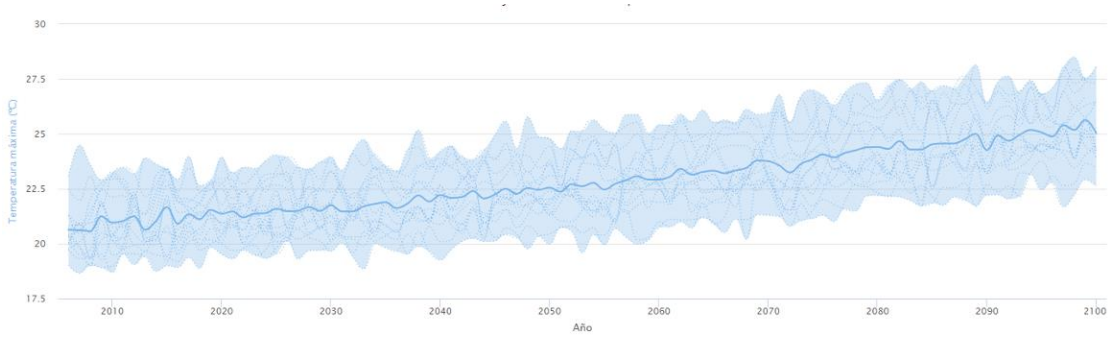

Figura 1. Predicción del rango de temperaturas máximas para la Región de Murcia en los próximos ochenta años. Fuente: Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático (AdapteCCa), 2018

Los bosques tienen un papel fundamental en la mitigación del cambio climático. Funcionan como sumideros de carbono, captan CO_2 de la atmósfera y lo fijan en sus estructuras en forma de carbono. El carbono es absorbido de la molécula de CO_2 y fijado mediante la fotosíntesis, en presencia de luz y agua, almacenándose en forma de hidratos de carbono que la planta necesita para subsistir (IPCC, 2005a). Conforma de esta manera su biomasa viva. Una vez que la biomasa muere, continúa dentro del ciclo del carbono, bien como materia orgánica muerta que puede incorporarse al suelo tras su descomposición, o bien siendo oxidada y pasando de nuevo a la atmósfera. Además, puede seguir almacenado durante años formando parte de productos forestales como madera, corcho, etc.

La gestión forestal sostenible (GFS), definida por la FAO como una tipología de gestión enfocada a mantener y mejorar los valores económicos, sociales y ambientales de todo tipo de bosques en beneficio de las generaciones presentes y futuras, incluye entre los

múltiples objetivos, la fijación y mantenimiento del carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

Esta función de sumidero de carbono que realizan los sistemas forestales se puede ver afectada por el tipo de gestión que se realice. Si en el propio bosque consideramos tres almacenes distintos (biomasa viva, hojarasca y suelo), estos almacenes de carbono se encuentran relacionados entre sí, y su influencia como sumidero de carbono se verá altamente influenciado por las actuaciones de gestión, por ejemplo los tratamientos selvícolas que pueden reducir el área foliar de la copa pero favorecer los restos de madera muerta en el suelo. Por lo que se puede relacionar claramente que la gestión forestal tiene capacidad para modificar el sumidero de carbono forestal (Ruiz-Peinado, 2013).

La hojarasca y madera en descomposición o muerta del suelo (HMM) representa uno de los almacenes menos representativos del potencial de sumidero de carbono (San Miguel-Ayanz *et al*., 2015) en el propio sistema forestal, como se observa en la siguiente figura, sin embargo resulta de especial interés al constituirse como la fase intermedia entre los dos principales almacenes, la biomasa aérea y el suelo.

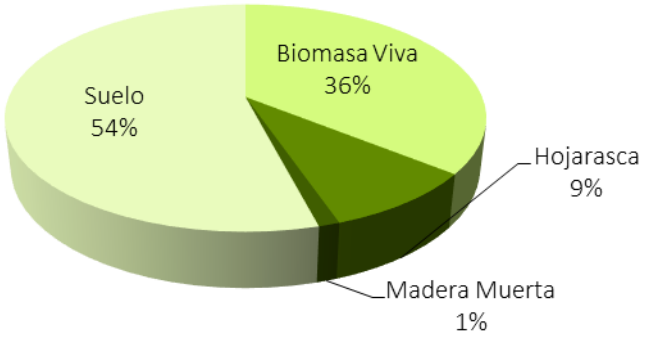

Figura 2. Representatividad de los almacenes de carbono en los bosques de Europa
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de San Miguel-Ayanz et al., 2015

La producción de hojarasca mediante desfronde se encuentra relacionada con la cantidad total de acículas que los árboles disponen, es decir del área foliar, variable que está asociada a la fracción de cabida cubierta (FCC). A su vez, estas variables se encuentran correlacionadas con el área basimétrica (AB) soportada en cada unidad de gestión forestal (Ruiz-Peinado, 2013). Todas estas variables forestales pueden modificarse a través de la selvicultura y por tanto, afectar a HMM. A estos parámetros, se suma otra variable de gran interés como es el método de eliminación de residuos. A continuación se muestra un gráfico que representa las diferentes cantidades de hojarasca dependiendo del tratamiento selvícola (Ruiz-Peinado, 2013).

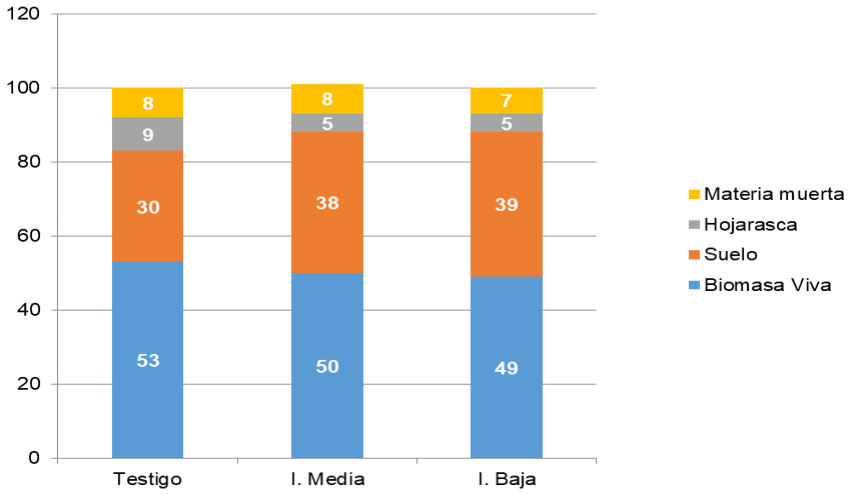

Figura 3. Representación cantidades de hojarasca en función de la selvicultura. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Ruiz-Peinado (2013)

En la Región de Murcia se da un clima árido que no proporciona suficiente humedad para que la descomposición de la hojarasca y la materia muerta del suelo sea rápida y pase a formar parte de la materia orgánica del suelo a corto plazo. Esto supone que el almacén de hojarasca se prolongue a lo largo del tiempo y permanezca intacto sobre el suelo. Este almacén resulta representativo de las masas de la Región de Murcia ya que la cantidad de carbono obtenida puede ser bastante importante respecto a otras regiones en las que se descompone rápidamente y pasa a formar parte del suelo.

Es por la representatividad que este almacén puede tener en las masas forestales de especies de coníferas, especialmente de *Pinus halepensis*, al ser de mayor abundancia en la Región de Murcia que este trabajo se centra en él y en estudiar cómo le afectan tanto las variables forestales como las climáticas.

El desarrollo de este artículo se enmarca dentro de la Acción D3 del proyecto europeo LIFE FOREST CO2, LIFE14 CCM/ES/001271 - *Cuantificación de sumideros de carbono forestal y fomento de los sistemas de compensación como herramientas de mitigación del cambio climático*. El principal objetivo de este proyecto LIFE es el fomento de los sistemas forestales y la gestión forestal sostenible como una herramienta para la mitigación del cambio climático, y busca, conocer de forma precisa la contabilidad neta de emisiones y absorciones de CO_2 como consecuencia de los trabajos de gestión forestal sostenible en masas forestales mediterráneas.

2. Objetivo

El objetivo principal del desarrollo de esta acción es conocer el carbono acumulado en la hojarasca y materia muerta del suelo y la influencia de los tratamientos forestales en pinares de *Pinus halepensis* de la Región de Murcia, con el fin de buscar un escenario de gestión óptimo que contribuya a la mitigación del cambio climático mediante la conservación y potenciación de sumideros de carbono a largo plazo.

3. Material y Métodos

Para lograr los objetivos propuestos, se ha realizado un procedimiento, cuyos materiales de estudio y metodologías se describen a continuación.

3. 1. Material de trabajo

El material que conforma las muestras de trabajo es el material vegetal sobre el suelo y se circunscribe a las definiciones aportadas por el IPCC (2005b) para la hojarasca y materia muerta del suelo:

- Hojarasca: Incluye toda la biomasa no viva con un diámetro inferior a 10 cm (*en España; tabla nacional T7 de FRA 2005), en varios estados de descomposición, sobre el suelo, tanto mineral como orgánico. Esto incluye no sólo a la hojarasca, sino también pequeñas ramas, frutas, flores, y corteza (IPCC, 2005b), así como las capas húmicas. Las raíces pequeñas (<2mm) y vivas también se consideran en este almacén.
- Madera Muerta: Incluye todo el volumen de materia no viva que no se incluye en la sección de hojarasca (>10 cm), bien en pie, o tumbada sobre el suelo. Incluye raíces muertas (desde 2 mm de diámetro) y tocones, como se puede observar en la figura 4.

Figura 4. Hojarasca y madera muerta localizada en una de las parcelas de trabajo

3. 2. Metodología

3.2.1. Cuantificación del carbono acumulado en la HMM

El trabajo se ha enfocado en la Región de Murcia, concretamente en masas de *Pinus halepensis*, que conforman la mayoría de la superficie forestal en la Comunidad Autónoma. Dados los objetivos perseguidos, se buscaron áreas distribuidas por todo el territorio de la Región en las que existieran simultáneamente parcelas sin tratamientos selvícolas, y parcelas sometidas a diversas intensidades de gestión en un periodo superior a 10 años. Al encontrarse directamente relacionada la cantidad de área foliar de los árboles con la cantidad de hojarasca presente sobre el suelo, se quiere saber de qué manera afecta una cantidad mayor o inferior de masa en pie a la cantidad de HMM que se encuentra en la superficie del suelo. Además, también se busca estudiar si la mayor exposición (en claras más intensas) afecta a la descomposición de la misma (Jiménez y Navarro, 2016). Por tanto, se eligen las opciones recogidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipologías de parcelas según el tratamiento selvícola

Intensidad de tratamiento	Descripción
Parcela testigo (sin tratar)	Parcelas no gestionadas, que conformarán la línea base
Intensidad baja	Parcelas con clareos de menos del 20% del área basimétrica inicial
Intensidad media	Parcelas con clareos de entre 20 - 50% del área basimétrica inicial
Intensidad alta	Parcelas con clareos superiores al 50% del área basimétrica inicial

Para complementar el estudio, se tuvo en consideración el sistema de gestión y eliminación de residuos en cada parcela, debido a que el aporte de materia orgánica en suelo de forma antrópica influirá en la cantidad de material orgánico sobre el suelo. Se das así las opciones de gestión de residuos: Astillado o desbroce, tronzado in situ o palustrada y extracción de árbol.

Teniendo en consideración las características descritas, así como la variabilidad climatológica y de calidades de estación, se seleccionaron seis áreas representativas de la Región de Murcia; Los Cuadros, Sierra de Ricote, Hoya de Don Gil y Sierra de Burete, Lavia y Cambrón, Sierra del Gigante y Pericay, Cabezo Negro-Tercia de Totana y Barranco de Italia, las cuales se muestran en la figura adjunta a continuación.

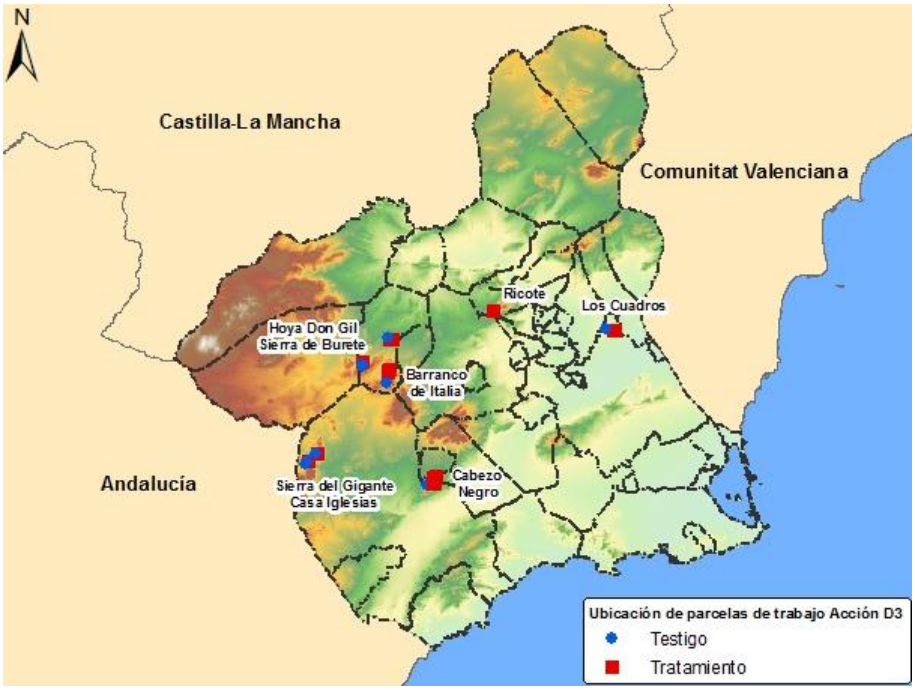

Figura 5. Áreas de trabajo

Dentro de las áreas de trabajo mencionadas, se distribuyeron un total de 44 parcelas de trabajo, con las siguientes tipologías.

Tabla 2. Nº de parcelas seleccionadas por área de trabajo

Ubicación	Nº Parcelas
Los Cuadros	6
Ricote	4
Sierra del Gigante/Pericay	8
Sierra de Burete/ Hoya Don Gil	8
Barranco de Italia	6
Cabezo Negro/ Tercia de Totana	12
TOTAL	**44**

Diseño de muestreos

Tras la selección de las áreas de trabajo, se diseñó un procedimiento de toma de muestras desarrollado en dos fases: una primera fase enfocada a la toma de un mayor número de muestras sobre un menor número de parcelas, con réplicas incluidas, y una segunda fase enfocada a la toma de menos muestras en un mayor número de parcelas para la calibración y validación de los datos y modelos obtenidos.

Así, durante la primera fase, desarrollada durante el periodo estival de los años 2016 y 2017, se delimitaron y replantearon 19 parcelas de trabajo. Dichas parcelas abarcan una superficie total de 900 m^2, enmarcadas en una superficie cuadrada de 30x30 m. La delimitación se realizó mediante cintas métricas de 30 m de longitud, dispuestas de forma perpendicular. mediante el marcaje con pintura permanente de los árboles más próximos

a cada uno de los vértices, a modo de facilitar la identificación visual de las parcelas a larga distancia.

Figura 6. Esquema en planta de la distribución de los puntos de muestreo

Dentro de las parcelas se colocan 12 puntos a favor de la línea de máxima pendiente de los que se extrae la hojarasca y la materia muerta del suelo. Esta metodología se ha seguido en función del trabajo para cuantificación del carbono orgánico en suelos por parte de la Universidad de Córdoba para el proyecto LIFE FOREST CO2, basada en los estudios de Díaz Hernández *et al*., 2003 y Olson *et al*., 2014. La distribución de los puntos de muestreo, posteriormente tomados con un GPS de precisión centimétrica, puede consultarse en el esquema que se muestra en la siguiente figura.

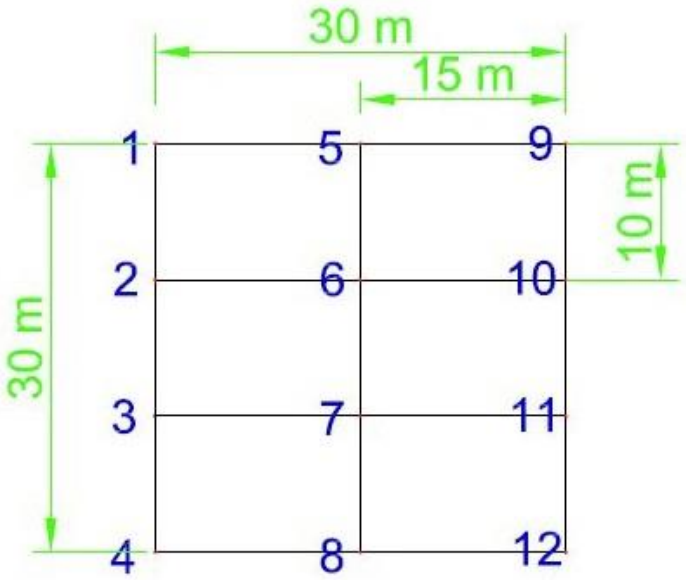

Figura 7. Esquema en planta de la distribución de los puntos de muestreo

Para la fase de calibración de los modelos, se replantearon 25 nuevas parcelas, también en masas forestales de *P. halepensis*. El replanteo se realizó de modo que permitiera agilizar la toma de muestras y su posterior análisis en laboratorio. Así, en dichas parcelas se realizó un muestreo en una superficie circular de 14,1 m de radio (625 m^2 de superficie aproximadamente), en la que se distribuyeron 8 puntos a lo largo de dos ejes perpendiculares en favor de la línea de pendiente desde el punto central (ver fotografía adjunta a continuación).

Figura 8. Delimitiación (izquierda) y Esquema en planta de la distribución de los puntos de muestreo (derecha)

Extracción de muestras

La recolección de la HMM en ambas fases se realizó de forma manual, mediante colocación de un tubo o barrena de 8 cm de diámetro sobre el punto previamente elegido para marcar bien la superficie exacta de materia a recoger (Díaz-Hernández *et al*., 2002), tal como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 9. Toma de muestras de HMM en uno de los puntos de muestreo

Se recogió toda la materia que caía dentro de la circunferencia hasta llegar a la primera capa del suelo, al cual se colocaba en bolsas de plástico semi-abiertas perfectamente marcadas con el número de la parcela y con el número del punto que correspondiente como se muestra a continuación.

Figura 10. Recolección de hojarasca y madera muerta en uno de los puntos

Tamaño de muestreo

El total de muestras recogidas y analizadas en la totalidad de las parcelas alcanzó las 423 unidades, cuya distribución puede consultarse en la siguiente tabla.

Tabla 3. Total de muestras, en función del tratamiento, en cada una de las áreas de trabajo

Ubicación	Tratamiento	Muestras
Barranco de Italia	I. Baja	16
	I. Media	16
	Testigo	16
Sierra de Burete/ Hoya Don Gil	Testigo	36
	I. Media	16
	I. Alta	16
Cabezo Negro/ Tercia de Totana	I. Baja	24
	I. Media	24
	I. Alta	24
	Testigo	24
Sierra del Gigante/Pericay	Testigo	48
	I. Alta	19
	I. Baja	24
Los Cuadros	I. Alta	12
	I. Media	24
	I. Baja	12
	Testigo	24
Ricote	Testigo	24
	I. Baja	24
TOTAL		**423**

Tratamiento en laboratorio y cálculos

A la totalidad de muestras obtenidas en campo se les aplicó idéntico tratamiento en laboratorio, en cuatro pasos, siguiendo el orden lógico que se muestra en la figura adjunta a continuación, consistente en: pretratamiento físico, medición del peso húmedo, secado en estufa, medición del peso seco.

Figura 11. Procedimiento de tratamiento de las muestras obtenidas en campo

De forma más detallada, cada uno de estos pasos consistió en:

- **Pre-tratamiento físico**: Eliminación manual de restos de suelo, piedras y otros inertes como se puede observar en la figura 19.
- **Pesaje en balanza de precisión (peso húmedo)**: se realizaba el pesaje de materia recolectada a peso húmedo.
- **Secado en estufa**: el material, una vez preparado, se introducía en estufa de ventilación por aire durante 24 horas a 60 ºC hasta alcanzar peso constante (García-Plé, 1989).
- **Pesaje en balanza de precisión (peso seco)**: se repetía el procedimiento realizado en el paso 2. Se anotaba el peso seco de la muestra.

Tras el último pesaje, se obtiene el peso en materia seca por muestra. Para calcular el carbono promedio en cada punto, se ha utilizado el factor de conversión que proporciona el IPCC, 2005b por defecto para la HMM, de 0,5. Posteriormente, se extrapoló la superficie a toneladas de carbono por hectárea.

3.2.2. Análisis de parámetros forestales

Para la determinación de los principales parámetros de la masa forestal, debido a su influencia en la deposición de hojarasca y madera muerta bajo el dosel arbóreo (Jiménez y Navarro, 2016), se realizó un inventario forestal de las mismas parcelas donde se realizó la extracción de HMM; se delimitaron parcelas de 14,1 m de radio (625 m²), con centro ubicado en el área de mayor representatividad de la parcela, para la correlación de las variables dasométricas tomadas en campo, con los datos LIDAR.

Dentro de esta superficie se realizó el inventario mediante conteo pie a pie de todos los pies de la parcela de las siguientes variables:

- **Densidad N (pies/ha)**: La determinación del número de pies que se encontraban dentro de la parcela y la extrapolación a pies por hectárea.
- **Diámetro normal Dn (m)**: A la altura normal (1,30 m.) y mediante forcípula electrónica, se tomaron las dos medidas de todos los árboles de la parcela siendo éstos marcados.
- **Altura copa H (m)**: Se midieron mediante hipsómetro todas las alturas de los árboles de la parcela. Realizando un promedio de las alturas obtenidas en la parcela de inventario se obtiene la altura media de la masa.

- **Área basimétrica**: A partir de los datos obtenidos en el inventario (diámetro normal) se calcula el área basimétrica de la parcela (G) en m^2/ha. La determinación del área basimétrica, es un parámetro que nos dice el área que ocupan los troncos de los árboles.
- **Fracción de Cabida Cubierta (FCC)**: Dada la importancia que posee la cobertura de la masa en la deposición sobre el suelo de HMM a través del desfronde, la FCC se ha obtenido mediante tres métodos: transectos en campo, y determinación mediante métodos tradicionales, LiDAR y vuelos dron. La finalidad de la aplicación de estos tres métodos es la calibración de los métodos LiDAR, aplicables a gran escala de forma relativamente sencilla, para aumentar la precisión y poder generar modelos de deposición de carbono sobre el suelo de forma más ágil mediante sistemas de información geográfica. La cartografía desarrollada mediante LIDAR (ver figura adjunta a continuación) resultó ser el método seleccionado para la aplicación de las correlaciones.

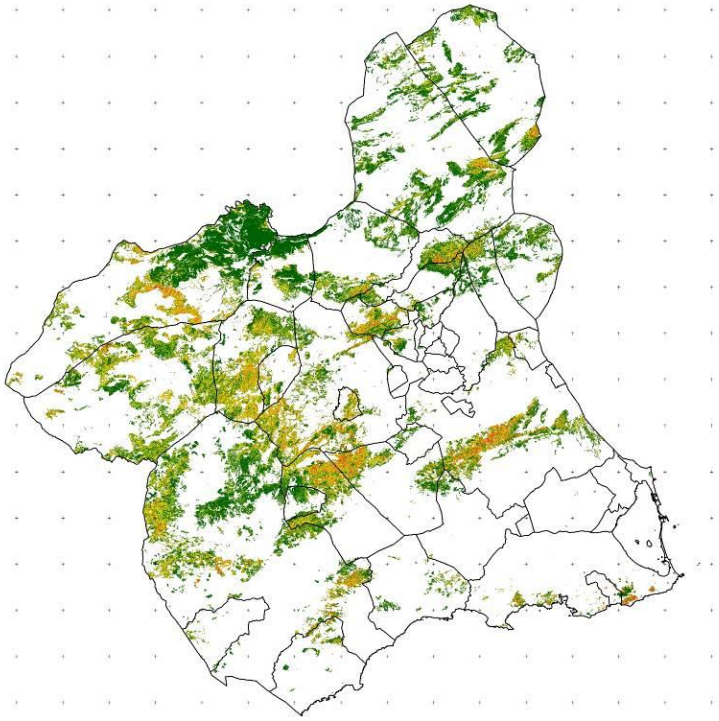

Figura 12. FCC de las masas de *P. halepensis* de la Región de Murcia

3.2.3. Análisis estadístico

Para el análisis de la influencia de los tratamientos selvícolas en la acumulación de carbono en la HMM sobre el suelo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), mediante el programa SPSS, a través de la agrupación de los datos obtenidos para cada intensidad de tratamiento en función de los diferentes grupos subconjuntos de FCC. Se busca así comprobar la existencia de diferencias significativas entre las medias de carbono en t/ha para los diferentes tratamientos en función del rango de FCC de la masa forestal.

4. Resultados

4.1. Stock de carbono en función de la intensidad de tratamiento

Según los resultados obtenidos, los tratamientos selvícolas habituales que pueden ser clasificados como de intensidad baja, con la extracción de un área basimetrica inferior al 20% o equivalente número de pies inferior a un tercio, tienen una repercusión positiva sobre el almacén de carbono en la hojarasca y madera muerta sobre el suelo en el contexto geográfico de las masas de *Pinus halepensis* de la Región de Murcia, en comparación con los resultados obtenidos para las parcelas testigo o línea base.

Atendiendo a otras intensidades de corta de pies que corresponden a intensidades medias (20-50% del área basimétrica) y altas (más el 50% del área basimétrica), se observa que en este caso existe una disminución de la cantidad de materia muerta almacenada sobre el suelo en comparación con la línea base. Estos resultados obtenidos pueden observarse en la tabla adjunta a continuación.

Tabla 4. Resultados obtenidos para el carbono, en t/ha, en función de la intensidad de tratamiento, en masas forestales de *P. halepensis* de la Región de Murcia

Variable dependiente: C (t/ha)

Tratamiento	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Testigo	19,934[b]	1,90	16,20	23,67
Intensidad baja (< 20%)	28,974[c]	2,35	24,35	33,60
Intensidad media (20-50%)	11,714 [a,b]	2,55	6,69	16,74
Intensidad alta (> 50%)	17,477[a]	3,09	11,41	23,54

** a,b,c: Identificación de pertenencia a grupo homogéneo*

El total de carbono acumulado en el almacén de hojarasca y madera muerta sobre el suelo, , alcanza valores de 19,93 t de C/ha en masas testigo o no gestionadas, de 28,97 t/ha en el caso de masas sometidas a tratamientos de intensidad baja, 11,71 t/ha en masas con tratamientos de intensidad media y de 17,48 t/ha en masas sometidas a clareos de alta intensidad, mostrándose diferencias significativas entre los tratamientos.

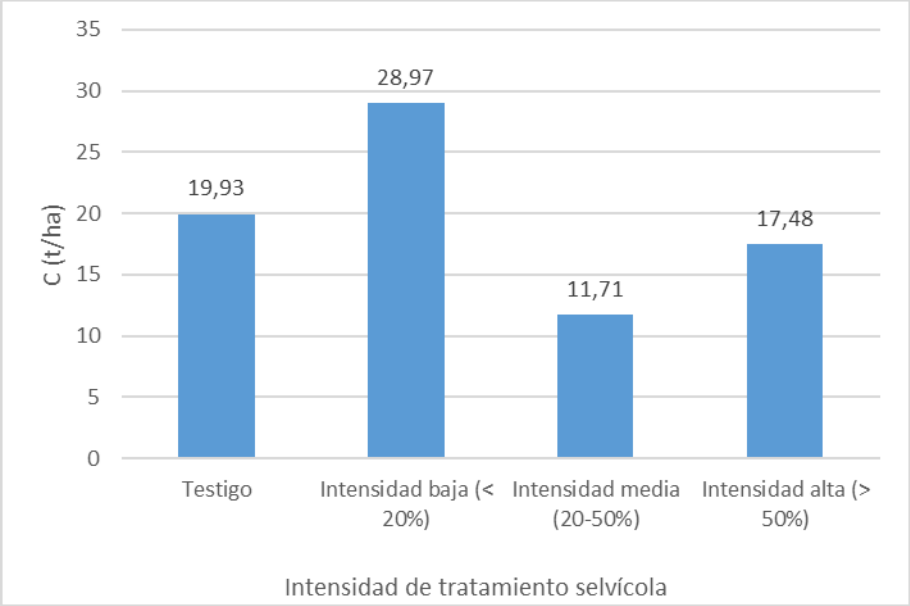

Figura 13. Estimación de carbono en la materia muerta y hojarasca del suelo, en t/ha, en función de la intensidad de tratamiento

4.2. Stock de carbono en función de la FCC

Se observa que a mayor Fracción de Cabida Cubierta existe una mayor acumulación de materia muerta y hojarasca sobre el suelo, pero esta relación alométrica presenta máximos en el intervalo del 70-80% de FCC. A partir de este intervalo se produce una disminución de la materia muerta sobre el suelo qué hace indicar que masas con una alta densidad, donde los tratamientos selvícolas se encuentran ausentes, reducen la cantidad de materia muerta. Está inflexión observada no ofrece diferencias significativas entre el rango 70-80 % y 80-90%, aunque la media del intervalo de mayor fracción de cabida cubierta es menor.

Tabla 5. Resultados obtenidos para el carbono, en t/ha, en función de la intensidad de tratamiento, en masas forestales de *P. halepensis* de la Región de Murcia

Variable dependiente: C (t/ha)

FCC	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0-40	10,027[a]	2,746	4,629	15,425
40-50	14,403[a]	3,156	8,200	20,607
50-60	19,558[a,b]	3,406	12,862	26,253
60-70	19,125[a,b]	2,377	14,452	23,797
70-80	32,536[c]	1,864	28,872	36,201
80-90	26,496[b,c]	2,852	20,890	32,103

** a,b,c: Identificación de pertenencia a grupo homogéneo*

El conjunto de resultados muestra un crecimiento progresivo en el stock de carbono en función de la FCC, con un punto de inflexión en fracciones de entre 70-80%, donde se observan máximos (32,54 t C/ha), a partir de los que comienza a producirse un

decrecimiento que se manifiesta en valores e 26,50 t C/ha en FFC superiores al 80%, tal como se puede observar en la siguiente figura.

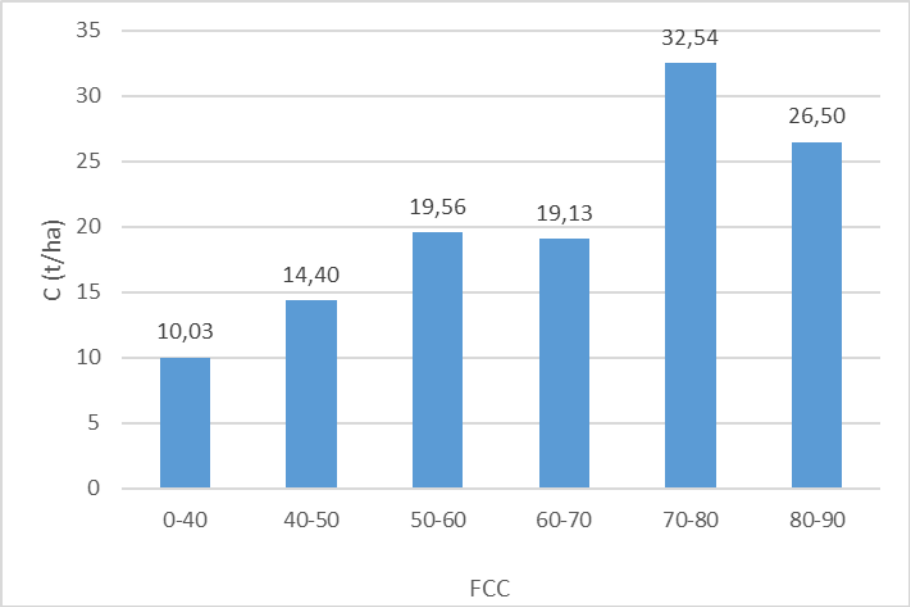

Figura 14. Estimación de carbono en la materia muerta y hojarasca del suelo, en t/ha, en función de la FCC

5. Discusión

Atendiendo a los resultados obtenidos, las masas forestales de *Pinus halepensis* en el sureste peninsular muestran valores para la acumulación del carbono en el almacén de la hojarasca y materia muerta sobre el suelo de 19,9 t/ha en aquellas áreas en las que no se produce intervención humana para su manejo y gestión. Este dato concuerda con los proporcionados por el IPCC (2005), que, a pesar de no aportar datos locales, sí ofrece una cantidad promedio para climas templados/cálidos y secos de 20,3 t/ha. En estudios realizados en el norte de España, en suelos ácidos (Herrero *et al*., 2010) se muestran cantidades de 26,9 t/ha de carbono acumulado sobre el suelo para especies de pinar. Si se centra la atención en los estudios de Ruiz-Peinado (2013), da unos valores de carbono en este almacén de 28.4 t/ha.

Estos valores varían cuando existe intervención antrópica, observándose una mayor cantidad almacenada, de 28,97 t C/ha, cuando la selvicultura se realiza con intensidades de extracción del área basimétrica inferiores al 20%. Cuando la intensidad de los tratamientos es superior, se observan notables disminuciones en este almacén, que descienden hasta los 11,71 t C/ha en el caso de las actuaciones de intensidad media (20-50% del área basimétrica extraída). Estos datos ponen de manifiesto la necesidad de abordar una selvicultura del carbono adaptada a criterios de mitigación del cambio climático, ya que un adecuado planteamiento de las actuaciones podría influir en ganancias de en torno al 31% o pérdidas de entre el 12 y el 40% cuando se hace una gestión no adecuada.

La disminución de la cantidad de hojarasca y materia muerta sobre el suelo, en función de la intensidad de los tratamientos y la reducción del área basimétrica y su relación con el desfronde, es un fenómeno ampliamente documentado en las masas forestales de especies coníferas en la Península Ibérica (Roig *et al*., 2005, Blanco *et al*., 2006, Navarro *et. al*, 2013, Bravo-Oviedo *et al*. 2013 Ruiz-Peinado, 2013, Lado-Monserrat *et al*., 2015, Jiménez y Navarro, 2016). Así, para tratamientos de intensidad moderada y alta, superiores al 20% del área basimétrica, los resultados obtenidos se relacionan con la extensa bibliografía al respecto que concluye que la disminución del arbolado influye negativamente en el desfronde, y por tanto, en el stock de carbono sobre el suelo. En el caso que procede, se relaciona adicionalmente con la capacidad de crecimiento de *P. halepensis*, tanto a nivel individual como de masa, tras actuaciones intensas, sin que se provoque una reducción significativa del crecimiento. No ocurre así con tratamientos de intensidad inferior al 20%, que contrastan con la bibliografía citada, donde se observan diferencias significativas en la acumulación de carbono en este almacén.

El hecho de que una parcela tratada con una intensidad baja sea la que mayor cantidad de carbono acumule frente a una parcela en la que no se han extraído pies (testigo) y la tratada con media y alta intensidad, podría explicarse porque al extraer una pequeña parte de los pies se deja un número de pies apropiado para que proporcione materia orgánica, especialmente debido a un aumento del desfronde por la disminución de la competencia entre pies (Navarro *et. al*, 2013) tal y como se observa en otros estudios sobre *Pinus halepensis* en el Sureste Peninsular (Jiménez y Navarro, 2016). Cuando se produce un clareo, la biomasa viva del árbol aumenta y con ello la cantidad de desfronde, por el contrario, a nivel parcela disminuye el desfronde cuando el clareo es muy intenso debido a la reducción del área basimétrica.

En cuanto al carbono acumulado en función de la FCC de la masa forestal, a pesar de no observarse diferencias significativas, sí resulta especialmente relevante el resultado óptimo obtenido en fracciones de entre el 70-80%, ya que, los diagnósticos sanitarios de las masas que han formado parte del estudio, permiten observar que las masas con FCC

superiores al 80%, en las que hay ausencia de selvicultura, sufren una importante degradación de la cubierta arbórea, que se traduce en la presencia de árboles caídos en proceso de pudrición y ramas de diferentes diámetros. A pesar de que esto se considera como materia muerta, es importante remarcar la diferencia con aquella generada en el proceso de desfronde, ya que esta última no posee interés como sumidero de carbono, al encontrarse en periodo de degradación y, por tanto, no garantizando la permanencia a largo plazo de dicho sumidero.

Otro factor que se postula como clave para la explicación de los resultados obtenidos está relacionado con el aporte de residuos forestales tras el tratamiento, los cuales pueden contribuir positivamente a la permanencia del carbono sobre la superficie del suelo, junto con la influencia que el manejo de las variables forestales puede tener en los parámetros climáticos que influyen en la descomposición de la materia orgánica sobre el suelo (Adair *et al*., 2008, Bueis *et al*., 2017), siendo las de mayor importancia la temperatura y el contenido en agua las de mayor influencia. La descomposición generalmente aumenta cuando aumenta la temperatura y la humedad (Adair *et al*., 2008).

Estudios paralelos en el marco del proyecto y del presente estudio (pendientes de publicación) enfocados a la medición de la influencia de la selvicultura en las variables microclimáticas de temperatura y humedad relativa del suelo forestal, muestran mayores temperaturas en parcelas con intensidades de tratamiento altas, mientras que en parcelas no tratadas o con tratamientos de intensidad baja, se observan temperaturas más bajas.

Esto concuerda con fuentes bibliográficas consultadas (Ruiz-Peinado *et al*., 2017 y Lado-Monserrat *et al*., 2015). Esto se explica debido a que, a mayor FCC, menor radiación solar penetra hacia la superficie del suelo y en consecuencia menos calentamiento se produce y a su vez más se mantiene la humedad debido al efecto tamponador de la cobertura vegetal.

Estos datos, teniendo en cuenta los numerosos factores bióticos y abióticos que explican la descomposición de esta materia y su posterior incorporación al perfil edáfico (Incerti *et al*., 2011), pueden explicar menores tasas de descomposición de la materia orgánica, relacionadas con altas áreas basimétricas a nivel de parcela (Bueis *et al*., 2017), lo que explicaría las mayores cantidades de hojarasca y materia muerta sobre el suelo en FCC altas.

Relacionar ambos aspectos se postula como clave para el futuro diseño y planificación de una selvicultura adaptada al secuestro de carbono, que permita no sólo maximizar la acumulación de carbono sobre los suelos forestales, sino también la incorporación del carbono presente en el perfil del suelo, como medio para garantizar a largo plazo su permanencia.

6. Conclusiones

Tras el desarrollo de todos los trabajos y el posterior estudio de los resultados se concluye que:

- El almacén de hojarasca y materia muerta del suelo en masas forestales de *Pinus halepensis* en la Región de Murcia se ve claramente influenciado por el desarrollo de actuaciones selvícolas, viéndose significativamente favorecido en términos de aumento de toneladas de carbono por hectárea cuando se aplican tratamientos selvícolas de intensidad baja, frente a opciones de no actuación.

- En el caso de tratamientos de media y alta intensidad, con extracciones de área basimétrica superiores al 20%, se observa una significativa disminución del stock de carbono en este almacén de carbono forestal frente a la no actuación.

- Existe una clara relación entre la cobertura del dosel arbóreo y la acumulación de carbono en el almacén de hojarasca y materia muerta sobre el suelo, que presenta máximos en fracciones de cabida de cubierta de entre el 70 y el 80%.

- Estrategias combinadas de gestión y manejo poco intensas sobre masas forestales que han alcanzado coberturas superiores al 80% se posicionan como óptimas para fomentar la deposición de materia muerta y hojarasca sobre el suelo, cuya descomposición verá favorecido el almacén de carbono orgánico en el suelo a largo plazo.

- La selvicultura se postula por tanto como una herramienta fundamental para maximizar el secuestro de carbono en sumideros de carbono forestales, así como para garantizar su permanencia a largo plazo, tanto por su importante componente de resiliencia, evitando la mortalidad de las masas forestales, como por las posibilidades de mejora que ofrece.

7. Referencias

Adair, E.C.; J . Parton, W.; J. Del Grosso, S.; L. Silver, W.; E. Harmon, M.; A. Hall, S.; C. Burke, I. & C. Hart, S. 2008. Simple three-pool model accurately describes patterns of long-term litter decomposition in diverse climates. *Global Change Biology*. 14: 2636–2660.

Blanco, J. A.; Imbert, J. B. & J. Castillo, F. 2006. Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two Pinus sylvestris L. forests in the western Pyrenees. *Forest Ecology and Management*. 237: 342–352.

Bravo-Oviedo, A.; Del Río, M.; Montero, G.; Onrubia Fernández, R.; Rubio Cuadrado, A. y Ruiz-Peinado, R. 2013. *Desfronde y Tasa de Descomposición foliar en rebollar-pinar de repoblación con distinto grado de clara.* 6 Congreso Forestal Español. Vitoria-Gasteiz.

Bueis, T.; Bravo, F.; Pando, V. y Turrión, M. B. 2017. Influencia de la densidad del arbolado sobre el desfronde y su reciclado en pinares de repoblación del norte de España. *Bosque*. 38 (2): 401-407.

Díaz-Hernández, J.L.; Barahona Fernández, E. & Linares González, J. 2003. Organic and inorganic carbon in soils of semiarid regions: a case study from the Guadix–Baza basin (Southeast Spain). *Geoderma*. 114: 65-80.

García Plé, C.E.; Prats, E.; Vanrell, P.; Sabater, LL. y Morey, M. 1989. Dinamica de la descomposicion de las hojas de *Pinus halepensis* MILL. en Cap Des Pinar (Alcudia, Mallorca). *Boll. Soco Hist. Nat. Balears*. 33 (1989-1990): 175-187.

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC). 2005a. *La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono*. *Prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el IPCC. 51 pp. Ginebra, Suiza.

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC); 2005b. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el IPCC. 628 pp. Ginebra, Suiza.

GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC); 2001. *Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001 Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el IPCC .101 pp. Ginebra, Suiza.

Herrero, C.; Turrión, M.B.; Pando, V. & Bravo, F. 2010. Carbon content of forest floor and mineral soil in Mediterranean *Pinus* spp. and Oak stands in acid soils in Northern Spain. *Forest Systems*. 25 (2) e65.

Incerti, G.; Bonanomi, G.; Giannino, F.; Rutigliano, F.A.; Piermatteo, D.; Castaldi, S.; De Marco, A.; Fierro, A.; Fioretto, A.; Maggi, O.; Papa, S.; Persiani, A.M.; Feoli, E.; Virzo De Santo, A.M. & Mazzoleni, S. 2011. Litter decomposition in Mediterranean ecosystems: Modelling the controlling role of climatic conditions and litter quality. *Applied Soil Ecology*. 49 (2011) : 148-157.

Jiménez, M.N. y Navarro F.B. 2016. Thinning effects on litterfall remaining after 8 years and improved stand resilience in Aleppo pine afforestation (SE Spain). *Journal of Environmental Management*. 169 (2016): 174-183.

Lado-Monserrat, L.; Lidón A. & Bautista, I. 2015. Litterfall, litter decomposition and associated nutrient fluxes in *Pinus halepensis*: influence of tree removal intensity in a Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research*. 134 (5): 833-844.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA (MITECO). 2018. ¿Qué es el cambio climático y cómo nos afecta? Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/

Olson, K.R.; Al-Kaisi, M.M.; Lal, R. & Lowery, B. 2014. Experimental Consideration, Treatments, and Methods in Determining Soil Organic Carbon Sequestration Rates. *Soil Science Society of America Journal*. 78 (2): 348-360.

Navarro, F.B.; Romero-Freire, A.; Del Castillo, T.; Foronda, A.; Jiménez, A., Ripoll, M.A.; Sánchez-Miranda, A.; Huntsinger, L. & Fernández-Ondoño, E. 2013. Effects of thinning on litterfall were found after years in a *Pinus halepensis* afforestation area at tree and stand levels. *Forest Ecology and Management*. 289 (2013): 354-362.

PLATAFORMA SOBRE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (AdapteCCa). 2018. Escenarios de cambio climático. Disponible en: http://www.adaptecca.es/

Roig, S.; del Río, M.; Canellas, I. & Montero, G. 2005. Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*. 206 (2005): 179–190.

Romero March, R. 2014. Cambio climático: un problema global, mediterráneo y balear.

Ruiz-Peinado, R.; 2013. *Modelos para la estimación del carbono en la biomasa de los sistemas forestales. Influencia de la selvicultura en los stocks de carbono*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. 231 pp. Palencia.

Ruiz-Peinado, R.; Andrés Bravo-Oviedo, A.; López-Senespleda; Bravo, F. & del Río, M. 2017. Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest system.* 26 (2), eR04S.

San-Miguel Ayanz, J.; Ståhl, G.; Cienciala, E.; Godinho Ferrera, P.; Korhonen, K. 2015. Criterion 1: Maintenance and Appropriate Enhancement of Forest Resources and their Contribution to Global Carbon Cycles. In FOREST EUROPE, 2015; *State of Europe's Forests 2015*. 314 pp. Madrid, Spain.