



## 6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

---

**6CFE01-117**

---

Montes: Servicios y desarrollo rural  
10-14 junio 2013  
Vitoria-Gasteiz



---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013  
ISBN: 978-84-937964-9-5  
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## ¿Cómo afectan las claras a las cantidades de carbono en una repoblación de *Pinus sylvestris* L.?

RUIZ-PEINADO, R.<sup>1,2</sup>, BRAVO-OVIEDO, A.<sup>1,2</sup>, LÓPEZ-SENEPLEDA, E.<sup>1,2</sup>, RÍO, M.<sup>1,2</sup> y MONTERO, G.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Centro de Investigación Forestal (INIA-CIFOR)

<sup>2</sup> Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible. UVa-INIA  
Ctra A Coruña km 7,5. 28040 MADRID

### Resumen

La estimación del carbono fijado por los bosques tiene gran relevancia por su contribución a la mitigación del cambio climático. Es importante conocer cuáles son los efectos que la aplicación de claras tiene en los distintos reservorios de carbono. En este trabajo se cuantifica el efecto que produce en las cantidades de carbono, la aplicación de distintas intensidades de clara en una masa de *Pinus sylvestris* L. procedente de repoblación forestal. El sitio de ensayo está situado en Villasur de Herreros (Burgos), al pie de la sierra de la Demanda. Los tratamientos ensayados fueron control, clara baja moderada y clara baja fuerte, habiéndose realizado tres intervenciones hasta la fecha. Los compartimentos analizados son la biomasa aérea (actual y extraída en las claras), la biomasa radical, la capa orgánica del suelo y los 30 primeros cm del suelo mineral. El análisis del carbono en los diferentes compartimentos sólo presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en la cantidad de biomasa aérea, existiendo, para la biomasa radical, diferencias entre el tratamiento control y las aclaradas. En cambio, las cantidades de carbono existentes en el suelo, tanto en la capa orgánica como en la mineral, no son estadísticamente distintas entre los tratamientos aplicados. El carbono total acumulado en el bosque, donde se incluye el carbono extraído en las claras, muestra que sólo existen diferencias significativas entre los tratamientos control y clara fuerte, no existiendo diferencias entre las dos intensidades de claras, ni entre el control y la clara débil.

### Palabras clave

Biomasa aérea y radical, carbono en el suelo, ciclo del carbono, gestión forestal, pino silvestre.

### 1. Introducción

Conocer las cantidades de carbono que almacenan los sistemas forestales es fundamental a la hora de efectuar acciones de mitigación del cambio climático mediante la gestión forestal. Así, por ejemplo, PAN et al. (2011) estimaron la cantidad de carbono (C) en los bosques mundiales en 861 Pg C, con un reparto en biomasa viva del 44%, en el suelo del 42% (hasta 1 m de profundidad), en madera muerta del 8% y en la capa orgánica en descomposición del 5%, además de un potencial de secuestro de 2.4 Pg C año<sup>-1</sup>. En estos estudios queda de manifiesto que los principales reservorios de carbono como son la biomasa viva y el suelo representan más de 80% del carbono en los bosques y que, además, la gestión

forestal puede influir, con sus actividades, no sólo modificando este reparto, sino también conservándolos y fomentando su crecimiento.

En las repoblaciones forestales es particularmente importante conocer como es el reparto de carbono en los distintos reservorios. En España, se repoblaron 3.6 millones de hectáreas, aproximadamente, durante el periodo 1940-2006 como primera repoblación sobre terrenos forestales desnudos, 638 mil ha repobladas en áreas de incendios o regeneración tras cortas de aprovechamiento y 668 mil ha sobre terrenos agrarios reforestados (SECF, 2011). MONTERO (2000) estima en más de medio millón de hectáreas la superficie de primera repoblación con pino silvestre en España. Esto muestra la importancia que presenta esta especie en los sistemas forestales arbolados y no sólo por la superficie repoblada, sino también porque en muchos de los casos las cantidades de carbono existentes en el suelo (capa orgánica y capa mineral) antes de la repoblación son bajas, al carecer el suelo de una cubierta arbolada, y muy distintas de las cantidades que pueda tener un bosque que procede de regeneración natural.

En masas repobladas la aplicación de claras es una de las intervenciones necesarias para un correcto desarrollo de la masa, particularmente importante en repoblaciones que parten de elevadas densidades iniciales. La influencia de la gestión forestal en la fijación de carbono en masas forestales ha sido estudiada para algunas especies de bosques templados. Así, existen algunos trabajos sobre los efectos que las claras tienen en los reservorios de carbono (por ejemplo, JANSSENS et al., 1999; SKOVSGAARD et al., 2006), pero son escasos los desarrollados en la región Mediterránea, donde las condiciones en las que vegetan las masas difieren a las de otros bosques de la zona templada. Conocer las cantidades existentes en un momento puntual o los potenciales crecimientos y, además, conocer cuál es el efecto que tiene la aplicación de las distintas técnicas de gestión forestal (clareos, claras, cortas de regeneración) puede proporcionar una valiosa información para la toma de decisiones, ofreciendo datos cuantitativos a los gestores para poder respaldar la sostenibilidad de la gestión forestal, al menos desde el punto de vista de la fijación de carbono.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es conocer cuál es la influencia de las claras en la cantidad de carbono en masas donde se lleva aplicando selvicultura desde hace 30 años. Así, se han cuantificado las cantidades de carbono acumuladas en los diferentes reservorios del bosque (biomasa aérea y radical, carbono en el suelo, madera muerta y carbono extraído en las claras) en una repoblación de pino silvestre de 52 años de edad sometida a diferentes intensidades de claras.

## 3. Metodología

### *Área de estudio*

La zona de estudio está situada al este de la provincia de Burgos, en el municipio de Villasur de Herreros, al pie de la Sierra de la Demanda. La altitud es de 1200 m, con precipitación media anual de 959 mm y temperatura media anual de 9.2 °C (MAGRAMA, 2012). La zona donde se localiza la masa presenta unas pendientes bajas, siendo en su mayor parte llana. El suelo es clasificado como un Cambisol Húmico (IUSS, 2007).

La masa forestal en la que se sitúa el estudio procede de repoblación con *Pinus sylvestris* L. sobre terrenos rasos que fueron utilizados marginalmente por la agricultura y fuertemente pastoreados. El índice de sitio estimado de esta repoblación, siguiendo la clasificación de RÍO et al. (2006) para masas procedentes de repoblación en Castilla y León, se corresponde con un valor de 18 (calidad intermedia). En esta masa, el INIA-CIFOR instaló un sitio de ensayo de claras en 1982 cuando la masa contaba con 22 años de edad (MONTERO et al., 2004). Se han ensayado tres intensidades de clara: testigo sin aclarar (*T*), clara baja moderada (*M*) y clara baja fuerte (*F*). El diseño fue de bloques completos aleatorizados, estableciéndose tres bloques con tres tratamientos en cada uno de ellos. Las parcelas tienen una superficie de 1000 m<sup>2</sup>, con una franja de 10 m alrededor de ellas donde se aplica el mismo tratamiento para evitar el efecto borde. En las parcelas de ensayo se han realizado tres claras: la primera en 1982 con una reducción del área basimétrica del 11% para el tratamiento *M* y del 22% para el tratamiento *F*, respecto al *T*; la segunda en 1992 con una reducción media del 17% y del 30% para los tratamientos *M* y *F* respectivamente; la tercera en 2002 con una reducción media del 29% y 39% para los tratamientos *M* y *F* respectivamente. La reducción media total del área basimétrica, a fecha del último inventario, es del 26% para la clara *M* y del 37% para la clara *F*, respecto al tratamiento *T*. El sistema de aprovechamiento forestal utilizado en las claras ha sido el de fustes enteros, con trituración de restos in situ.

### **Recogida de datos**

Desde su instalación en 1982, las parcelas han sido inventariadas periódicamente cada cinco años, disponiéndose en la actualidad de siete inventarios. Estos inventarios contienen datos del diámetro normal (dbh) de todos los pies y la altura total de una muestra de 30 árboles por parcela para la estimación de la altura media y de los 10 árboles más gruesos para la determinación de la altura dominante, según el criterio de ASSMANN (1970). Las alturas de los árboles no medidos fueron estimadas utilizando un modelo mixto, en función del diámetro normal, las alturas medidas y la parcela a la que pertenecen los árboles (ROBINSON & WYKOFF, 2004). La tabla 1 muestra las principales características dasométricas de la masa, para el último inventario.

Tabla 1. Principales características selvícolas (media±error estándar) para cada intensidad de clara ensayada.

Tipo de clara	Edad (años)	Densidad (pies·ha <sup>-1</sup> )	Ho (m)	dg (cm)	G (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	V (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Ba (Mg·ha <sup>-1</sup> )	Br (Mg·ha <sup>-1</sup> )
Testigo	52	1460±66	17.7±0.3	24.5±0.4	68.7±1.9	474.5±8.9	266.1±7.4	113.6±3.9
Moderada	52	780±14	17.8±0.3	28.8±0.4	50.7±0.2	375.6±5.0	206.9±2.6	84.0±0.5
Fuerte	52	590±36	17.2±0.2	30.7±0.8	43.3±0.9	321.2±7.6	177.8±4.3	71.6±1.7

Ho: Altura dominante; dg: diámetro medio cuadrático; G: Área basimétrica; V: Volumen; Ba: Biomasa aérea; Br: Biomasa radical.

Para la estimación de biomasa aérea y radical se han usado los modelos para pino silvestre de RUIZ-PEINADO et al. (2011), que utilizan como variables independientes el dbh y la altura total del árbol. En la posterior transformación de materia seca a peso de carbono se ha utilizado el valor de carbono en la madera de 50.9%, propuesto por IBÁÑEZ et al. (2002).

El muestreo de suelos (capa orgánica y mineral) y la estimación de la madera muerta se realizaron en otoño de 2010. La capa orgánica del suelo fue recogida en 4 puntos a distancia fija del centro de la parcela y según los rumbos 45°, 135°, 225° y 315°. Para ello se utilizó un marco metálico de superficie conocida (25 x 25 cm) y se realizó una separación en capa orgánica fresca (*QL*), capa fragmentada (*QF*) y capa humificada (*QH*). En la mayoría de los

casos se encontró que la capa humificada presentaba un espesor menor de 1 cm, por lo que se incluyó dentro de la capa fragmentada, denominándose capa *QFH*. Los cuatro puntos de muestreo de cada parcela se unieron para formar una muestra compuesta por capa y parcela. Las muestras orgánicas se llevaron a laboratorio, donde se secaron al aire y la capa orgánica fresca se separó en las principales fracciones (ramillos, acículas, cortezas y piñas) para realizar un análisis detallado. Posteriormente fueron secadas a 65 °C y pesadas para conocer la cantidad de materia seca por superficie. En estas muestras se llevó a cabo un análisis de carbono y nitrógeno utilizando un analizador LECO-HCN 600 (St. Joseph, USA). Para el cálculo del carbono existente en estas capas orgánicas del suelo se utilizó el valor de concentración de carbono en cada capa y el peso de materia seca de esa capa. Las capas minerales del suelo se muestrearon en los mismos puntos en que se recogió la capa orgánica, mediante la apertura de una calicata. En la recogida de muestras del suelo mineral se siguió el método de muestreo por profundidades fijas, con un intervalo de 10 cm hasta una profundidad de 30 cm. Las cuatro muestras de cada profundidad existentes en cada parcela, se unieron para formar una muestra compuesta, sobre la cual se realizaron los análisis. En laboratorio las muestras compuestas se homogeneizaron, se secaron al aire y se tamizaron para separar la tierra fina. Ésta, posteriormente, se secó en cámara a 65 °C para la realización de los análisis. Así, se analizaron los principales parámetros físico-químicos y el contenido en carbono y nitrógeno mediante un analizador LECO-HCN 600 (St. Joseph, USA). La densidad aparente del suelo se estimó utilizando el método de los cilindros de acero con volumen conocido, realizándose una estimación para cada profundidad muestreada. Para el cálculo de la cantidad de carbono acumulado en la capa mineral del suelo se utilizaron los siguientes datos: densidad aparente de cada profundidad, espesor de cada profundidad, porcentaje de carbono en cada profundidad y la pedregosidad no muestreable del suelo.

Para la estimación de la madera muerta gruesa, se realizó un muestro completo de todos los árboles muertos en pie o sobre el suelo (enteros o en partes) y los tocones en todas las parcelas. Cada uno de ellos fue clasificado según su estado de descomposición (WADDELL, 2002) para aplicar un factor de reducción en el cálculo de volumen (HARMON & SEXTON, 1996), siendo el volumen de cada pieza calculado según la fórmula de Smalian. Además, se recogieron muestras de madera de cada estado de descomposición para realizar cálculos de densidad básica (desplazamiento volumétrico de muestras secas en cámara), para el paso a peso de biomasa y para realizar un análisis del carbono contenido en cada estado de descomposición. Para la estimación de la cantidad de madera muerta fina, considerando madera fina aquella con diámetro comprendido desde siete a dos cm de diámetro (las inferiores a este diámetro se muestrearon incluidas en la capa orgánica del suelo), se replantearon dos subparcelas de 16 m<sup>2</sup> (4x4 m) por parcela, donde se recogió y pesó toda la madera muerta encontrada. También se llevó a laboratorio una muestra de la madera fina para conocer el porcentaje de materia seca, mediante su secado en cámara. Para el cálculo del peso de carbono se ha utilizado el porcentaje de carbono existente en la madera.

### ***Análisis de los datos***

Se realizó un análisis de varianza mediante la aplicación de modelos mixtos con el paquete “*lme4*” de BATES et al. (2012) usando R Software (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012), para identificar diferencias entre las cantidades de carbono almacenados en cada compartimento del bosque, en función del tipo de clara aplicado. En estos modelos se ha considerado el tratamiento como efecto fijo y el bloque como efecto aleatorio. Cuando el modelo identificó que el tratamiento era significativo, se aplicó el test HSD (*Honestly*

*Significant Differences*) de comparación de medias para clarificar entre qué tratamientos existían esas diferencias.

Para el análisis del contenido de carbono almacenado en la capa mineral del suelo y en la capa orgánica, puesto que se han utilizado datos de diferentes profundidades o capas que la forman, se ha de tener en cuenta que los datos en cada parcela están correlacionados. Así, las capas o profundidades se han considerado como medidas repetidas en el sitio, siendo la profundidad incluida como un factor fijo, analizándose mediante medias repetidas (RMANOVA) para ver la influencia de la profundidad y el tratamiento aplicado conjuntamente.

#### 4. Resultados

La biomasa aérea en el último inventario ascendió a 266, 207 y 178 Mg de materia seca  $\text{ha}^{-1}$  (135.4, 105.3 y 90.5  $\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para los tratamientos *T*, *M* y *F* respectivamente, existiendo diferencias significativas entre todos los tratamientos. En la figura 1 se muestra la variación de la biomasa aérea desde la instalación del experimento para cada tratamiento aplicado. En el último inventario y respecto a la cantidad de biomasa existente en el tratamiento *T*, existe una reducción de la cantidad de biomasa aérea del 22% en el tratamiento *M* y del 34% en el tratamiento *F*, en correspondencia con la reducción en área basimétrica explicada en la sección anterior. El carbono acumulado en la biomasa radical se situó en 57.8, 42.7 y 38.0  $\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$  para el tratamiento *T*, *M* y *F* respectivamente, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento testigo y las masas aclaradas (*M* y *F*).

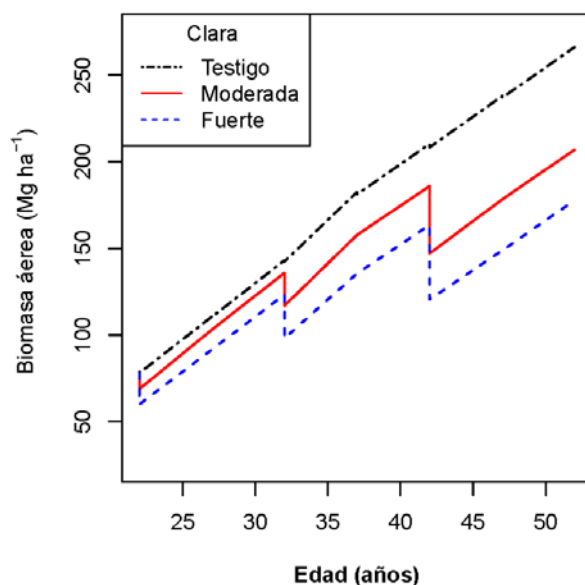


Figura 1. Variación de la biomasa aérea ( $\text{Mg materia seca}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) para los tres tipos de intensidad de clara aplicados

La cantidad de carbono existente en la madera muerta alcanzó 13.5, 15.9 y 21.3  $\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectivamente para los tratamientos *T*, *M* y *F*, representando en ellos la madera muerta fina entre el 90% y el 98% de ese peso. Se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, mostrándose diferentes el tratamiento *T* del tratamiento *F*.

Las cantidades de carbono acumuladas en la capa orgánica del suelo se sitúan en 17.4, 19.4 y 14.7 Mg C·ha<sup>-1</sup>, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El análisis como muestras repetidas en el espacio, considerando conjuntamente capa (*QL* y *QFH*) y tratamiento, muestra que no hay diferencias entre tratamientos (*p-value* = 0.4541), en cambio la capa muestreada si presenta diferencias estadísticas (*p-value* < 0.0001), siendo la interacción capa y tratamiento no significativamente diferente (*p-value* = 0.7600). En este caso la capa *QFH* acumula una cantidad de carbono mayor, entre 2.5 y 3.7 veces la cantidad de la capa *QL*.

El suelo mineral presentó una textura franca, con un contenido medio de arcilla del 15%, un 36% de limo y un 49% de arena. La tabla 2 muestra los resultados de los análisis para los parámetros más importantes. No se ha encontrado carbono inorgánico (CaCO<sub>3</sub>) en las muestras minerales, por lo cual los resultados obtenidos se refieren a carbono orgánico. Las cantidades de carbono acumulado en los primeros 30 cm del suelo mineral alcanzan los 88.2, 87.2 y 87.4 Mg C·ha<sup>-1</sup> para los tratamientos *T*, *M* y *F* respectivamente. En este caso, tampoco existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. El análisis de medidas repetidas para la capa mineral del suelo, donde se considera conjuntamente la profundidad y el tipo de clara aplicada, muestra que el tratamiento no es significativo (*p-value* = 0.9785), la profundidad es significativa (*p-value* < 0.0001) y la interacción tratamiento y profundidad tampoco es significativa (*p-value* = 0.7073). En este caso, sólo existieron diferencias estadísticamente significativas entre la profundidad 0-10 cm y las siguientes profundidades (10-20 y 20-30 cm).

Tabla 2. Principales parámetros físico-químicos de la tierra fina del suelo (media±error estándar)

Profundidad	EG (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	MO (%)
0-10 cm	16.6±3.4	47.6±0.8	38.1±0.7	14.3±0.4	4.4±0.1	3.4±0.1	7.8±0.4
10-20 cm	38.4±3.2	51.5±1.2	34.4±0.9	14.1±0.5	4.5±0.1	3.6±0.1	4.5±0.3
20-30 cm	25.2±3.7	49.6±1.2	34.2±0.8	16.2±1.2	4.7±0.1	3.7±0.1	3.3±0.5

EG: Elementos grueso en la tierra fina del suelo; MO: Materia orgánica

El carbono total actual en la masa, incluyendo todos los compartimentos existentes en el bosque (biomasa aérea y radical, capa orgánica del suelo, 30 primeros cm del suelo mineral y madera muerta), alcanza los 312.4 Mg C·ha<sup>-1</sup> en el caso del tratamiento *T*, con una repartición del 62% en la biomasa viva (43% del total del bosque en la biomasa aérea y 19% en la radical), el 34% en el suelo (28% del total del bosque en la capa mineral del suelo y 6% en la capa orgánica) y el 4% en la madera muerta. El tratamiento *M* presenta una disminución de carbono acumulado del 13% respecto al tratamiento *T*, llegando a 270.6 Mg C·ha<sup>-1</sup>, distribuyéndose el 55% en la biomasa viva (39% la aérea y 16% la radical del total del bosque), el 39% el carbono en el suelo (32% en la capa mineral y 7% en la capa orgánica) y el 6% la madera muerta. En el tratamiento *F* también existe una disminución del 19% respecto del *T*, alcanzado los 251.9 Mg C·ha<sup>-1</sup>, almacenando la biomasa viva un 51% (36% la aérea y 15% la radical), el suelo un 41% (35% en la capa mineral y 6% en la capa orgánica) y un 8% la madera muerta. El análisis de medias reveló diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento *T* y los tratamientos *M* y *F*, no existiéndolas entre estos últimos.

El carbono total acumulado, incluyendo las cantidades de carbono extraídas en las claras, eleva las cantidades de carbono en la masa donde se han aplicado la clara *M* hasta 304.3 Mg C·ha<sup>-1</sup> y a 295.8 Mg C·ha<sup>-1</sup> para la clara *F*. Para el tratamiento *T* se aumenta hasta los 315.5 Mg C·ha<sup>-1</sup> debido a la extracción de árboles secos. El test de comparación de medias revela que sólo existen diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento *T* y la clara *F*. La figura 2 muestra los resultados de carbono acumulado en cada compartimento muestreado, el total actual de la masa principal y el total acumulado, junto con los resultados de la aplicación del test de comparación de medias.

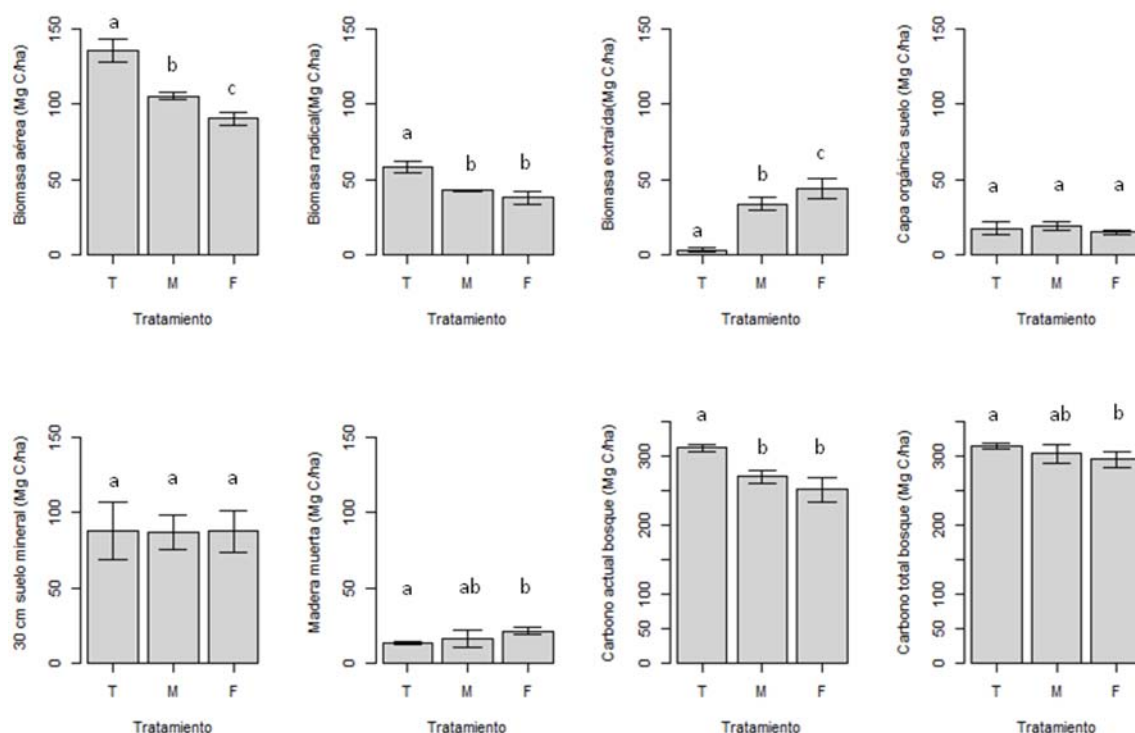


Figura 2. Carbono acumulado en los distintos compartimentos según el tratamiento aplicado (T: tratamiento testigo; M: clara baja moderada; F: clara baja fuerte). Letras distintas señalan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

## 5. Discusión

La aplicación de claras en la masa estudiada ha modificado de manera significativa la cantidad de carbono en los compartimentos de biomasa viva, tanto aérea (reducción del 22% y 33% para los tratamientos *M* y *F* respectivamente) como radical (26% y 34% para la clara *M* y *F* respectivamente). Respecto al carbono acumulado en la biomasa radical, la gestión forestal ha llevado a que existan diferencias entre las parcelas aclaradas y las no aclaradas, debido fundamentalmente a la diferencia en el número de pies (tabla 1). En las masas aclaradas (tratamientos *M* y *F*) los valores de carbono acumulado en la biomasa radical son similares, ya que, aunque existe una pequeña diferencia en el número de pies, el tratamiento *F* cuenta con un mayor diámetro cuadrático medio. A pesar de que existan estas diferencias en estos compartimentos debido a la aplicación de claras, éstas mejoran la estabilidad de la masa



frente a algún desequilibrio, ya sea biótico o abiótico, además de concentrar el crecimiento en árboles de mayores dimensiones.

Es fundamental incluir en la contabilidad del carbono fijado en el bosque aquellas cantidades de carbono que han sido extraídas en las claras, puesto que están dentro de la producción del sistema. Estas cantidades extraídas en claras ascienden a 3.1, 33.7 y 43.9 Mg C·ha<sup>-1</sup> para los tratamientos *T* (cortas de árboles secos), *M* y *F*, respectivamente (figura 2). Así, incluyendo estos valores de carbono extraído con los de biomasa aérea actual, el valor acumulado se iguala en todos los tratamientos (138.6 Mg C·ha<sup>-1</sup> para el tratamiento *T*, 139.0 Mg C·ha<sup>-1</sup> para el *M* y 134.4 Mg C·ha<sup>-1</sup> para la clara *F*), desapareciendo las diferencias estadísticas existentes en carbono acumulado en la biomasa aérea.

Las cantidades de madera muerta, tanto gruesa como fina, varían entre un 4%, 6% y 8% del total del carbono del bosque, para los tratamientos *T*, *M* y *F* respectivamente. Este aumento del porcentaje (y de la cantidad total) de madera muerta con el grado de intensidad de claras, es debido a la cantidad de madera muerta fina encontrada. Esta supone entre el 90% (tratamiento *T*) y el 98% (tratamiento *M*) del total de madera muerta y está claramente influenciada por el tipo de aprovechamiento y gestión de los restos de corta que se ha realizado, empleándose el método de fustes enteros con la trituración de los restos de copa en el sitio. Esto genera una mayor concentración de madera muerta fina (en términos absolutos) en las parcelas con mayor intensidad de clara.

El carbono almacenado en el suelo varía entre 102 Mg C ha<sup>-1</sup> y 107 Mg C ha<sup>-1</sup>, siendo bastante similar a los valores presentados por otros autores para esta misma especie. Así, en España, DÍAZ-PINÉS et al. (2011) presentan una horquilla entre 83 y 130 Mg C ha<sup>-1</sup> para diferentes zonas del Sistema Central (Ávila y Segovia), muestreando hasta 50 cm de profundidad del suelo. Valores mayores son los encontrados por CHARRO et al. (2010), también en un pinar de repoblación de 50 años de edad del Sistema Central (Salamanca), con 166 Mg C ha<sup>-1</sup>, hasta 20 cm de profundidad. Y valores menores han sido encontrados por HERRERO et al. (2011) en los suelos de pinares de repoblación de 40-50 años (con *Pinus sylvestris*, *P. nigra* y *P. pinaster*) en la comarca “Páramos y Valles” de Palencia, obteniendo valores medios de 67 Mg C ha<sup>-1</sup>, muestreando hasta 60 cm de profundidad. Otros estudios realizados en Europa muestran cifras similares, como el de SCHULP et al. (2008) llevado a cabo en Holanda donde encontraron para pinares gestionados de pino silvestre con 60 años de edad cantidades de carbono en suelos (hasta 20 cm de profundidad) que alcanzan los 98 Mg C ha<sup>-1</sup> o el realizado por JANNSENS et al. (1999) en Bélgica donde en una repoblación de 69 años de esta misma especie encontraron 140 Mg C ha<sup>-1</sup>, hasta 1 m de profundidad.

La influencia de la aplicación de claras de carácter moderado o fuerte, con una rotación de 10 años y una edad de iniciación temprana (22 años), no ha tenido un efecto negativo en el carbono del suelo. Así, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos, considerando el suelo de forma conjunta (capa orgánica y capa mineral), ni tampoco en las dos capas consideradas de manera separada. Existen estudios que confirman estos resultados (por ejemplo, CHATTERJEE et al., 2009; JOHNSON & CURTIS, 2001; SKOVSGAARD et al., 2006), aunque en ambiente mediterráneo estos efectos no habían sido constatados para diferentes especies. Así, los resultados de este estudio coinciden con los hallados por RUIZ-PEINADO et al. (2013) para una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. en Sierra Morena (Ciudad Real), donde también se han aplicado distintas intensidades de claras en una masa de 59 años de edad (final del turno en esta estación y especie). Como

prognosis de este compartimento en el futuro no se prevén grandes influencias debidas a la gestión, ya que en la actualidad la masa se sitúa en torno a la mitad del turno, establecido en 90-100 años por el carácter multifuncional de la masa (productor-protector-recreo) (MONTERO et al., 2008; RÍO et al., 2006), con un posible plan de claras que pueda incluir una o dos claras relativamente débiles con rotación de 15 años. Así, las intervenciones más fuertes, ya se habrían realizado en esta primera mitad del turno, por lo que este compartimento no tendría por qué ser fuertemente influenciado por las futuras operaciones selvícolas.

Las cantidades de carbono almacenado en la capa orgánica del suelo muestran mayores cantidades en el tratamiento *M* que en el *T* y mayor en este que en el *F*, no mostrando diferencias significativas entre los tratamientos. El valor más alto encontrado en el tratamiento *M* podría explicarse por la mayor cantidad de madera muerta fina que se incorpora a la capa orgánica. La menor cantidad del tratamiento *F* (menor que el *T*) puede deberse a la acción de las claras fuertes en la disminución de la espesura y la apertura de la masa, con una disminución de los aportes por desfronde con la mayor intensidad de clara, efecto observado por BLANCO et al. (2006) en pinares de silvestre aclarados del Pirineo navarro. Este hecho producido por la aplicación de claras fuertes, combinado con el probable incremento en las tasas de descomposición debido a la mayor incidencia de luz y consecuente elevación de la temperatura en la superficie, puede hacer aumentar la velocidad de descomposición de restos y disminuir la cantidad total de carbono acumulado en la capa mineral en este tratamiento.

Tampoco la aplicación de claras de distinta intensidad ha mostrado diferencias en los tratamientos para las cantidades de carbono almacenadas en la capa mineral del suelo. Los valores encontrados son prácticamente idénticos en los tres tratamientos (87-88 Mg C ha<sup>-1</sup>). En esta similitud de valores tiene mucha influencia que el muestreo de suelos se haya realizado ocho años después de la última clara, ya que, posiblemente hayan existido variaciones en esas cantidades debidas a la mezcla de horizontes superficiales con la capa orgánica del suelo en los trabajos de corta y la compactación del suelo, aunque debido al tiempo transcurrido se han estabilizado los valores. Del estudio de la distribución del almacenamiento de carbono en función de la profundidad, se observa que los 10 primeros centímetros del suelo mineral presentan una cantidad muy importante de carbono, disminuyendo las cantidades con la profundidad. En ésta primera profundidad considerada, la cantidad de carbono es casi la suma de las siguiente dos profundidades consideradas (10-20 y 20-30 cm).

Las diferencias encontradas en el carbono total actual del bosque entre el tratamiento *T* (no aclarado) y los tratamientos *M* y *F* (aclarados) son debidas, casi en su totalidad, a la diferencia de carbono acumulado entre estos grupos en la biomasa aérea y radical, debido a las claras. Aparte del mayor reservorio de carbono que es la biomasa viva, el suelo es otro de los reservorios más importantes. Si se incluye la biomasa radical arbórea en el sistema suelo, dada su gran relación con el suelo (rizodeposición de carbono), el sistema suelo alcanza una importancia relativa del 53%-57% del carbono acumulado en el sistema, según intensidades de clara. Este hecho ofrece más datos sobre la importancia de este reservorio, en éste caso por las cantidades encontradas, aunque también hay que considerar por los tiempos de almacenaje, ya que gran parte del carbono está o puede estar en formas recalitrantes permaneciendo, en condiciones normales, durante un extenso plazo de tiempo.

Si se considera la producción acumulada del bosque, incluyendo el carbono en la biomasa aérea y radical, madera muerta y biomasa extraída, se constata una pequeña pérdida de producción respecto al tratamiento *T* del 6% para el tratamiento *M* y del 8% para el *F*. La pérdida de volumen acumulado debido a las claras fue descrita por ASSMANN (1970) y ha sido también cuantificada en masas naturales de pino silvestre en España tras la aplicación de claras moderadas o fuertes (RÍO et al., 2008). Estos autores encontraron para pino silvestre en España, un valor crítico del 83% de área basimétrica residual en masas aclaradas respecto del área basimétrica testigo, por debajo del cual se pierde más de un 5% del crecimiento en volumen. Los tratamientos *M* y *F* aplicados presentan, actualmente, un área basimétrica residual del 74% y del 63% respectivamente, inferiores al valor crítico, detectándose también la pérdida de producción en las masas aclaradas, expresado en carbono acumulado en la biomasa. Sin embargo, esta pérdida de producción acumulada no ha sido constatada en un estudio del impacto de la gestión forestal en el carbono en masas de *Pinus pinaster* (RUIZ-PEINADO et al., 2013). Estos autores encontraron que la producción acumulada fue mayor en las parcelas con clara más fuerte, existiendo diferencias significativas entre las masas aclaradas y no aclaradas, por situarse el área basimétrica de las parcelas aclaradas dentro del óptimo productivo para esta especie.

## 6. Conclusiones

La aplicación de un plan de claras intenso (tres claras por lo bajo, con un periodo de rotación de 10 años, con aprovechamiento de fuste entero) sobre una masa de *Pinus sylvestris*, una vez superado la mitad del turno propuesto, no supone una modificación de las cantidades de carbono almacenadas en el suelo, tanto en la capa orgánica como en la capa mineral, mostrando la sostenibilidad de las operaciones selvícolas, al menos desde el punto de vista de la fijación de carbono.

El carbono total actual existente en el bosque se ve afectado por la aplicación de claras, presentando la masa sin aclarar una mayor cantidad de carbono que las parcelas aclaradas, diferencias debidas exclusivamente a la diferencia en las cantidades de carbono en la biomasa aérea y radical. Sin embargo, si se considera el carbono total acumulado incluyendo lo extraído en las claras, solo existen pérdidas de carbono con respecto a la masa sin aclarar en las claras más fuertes.

## 7. Agradecimientos

Queremos reconocer el trabajo de todos aquellos que han colaborado en el mantenimiento del sitio de ensayo de gestión forestal sostenible de Villasur de Herreros (Burgos). Asimismo, agradecer a aquellas personas que han ayudado en la realización del muestreo tanto en el campo en la recogida de muestras como en laboratorio realizando la preparación, secado y el análisis de las muestras. Este trabajo se ha financiado parcialmente con los proyectos AT 010-007 y AGL2011-29701-CO2-00.

## 8. Bibliografía

ASSMANN, E.; 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, 506 pp. Oxford, UK.

BATES, D.; MAECHLER, M.; BOLKER, B.; 2012. lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigen. R package version 0.999375-42.

BLANCO, J.A.; IMBERT, J.B.; CASTILLO, F.J.; 2006. Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees. *For Ecol Manage* 237: 342-352.

CHARRO, E.; GALLARDO, J.; MOYANO, A., 2010. Degradability of soils under oak and pine in Central Spain. *Eur J For Res* 129: 83-91.

CHATTERJEE, A.; VANCE, G.F.; TINKER, D.B.; 2009. Carbon pools of managed and unmanaged stands of ponderosa and lodgepole pine forests in Wyoming. *Can J For Res* 39: 1893-1900.

DÍAZ-PINÉS, E.; RUBIO, A.; VAN MIEGROET, H.; MONTES, F.; BENITO, M.; 2011. Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests? *For Ecol Manage* 262: 1895-1904.

HARMON, M.E.; SEXTON, J.; 1996. Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems. USLTER Network Publication N° 20. Univ. Washington, Seattle, WA, USA.

HERRERO, C., BRAVO, F.; TURRIÓN, M.B.; 2011. Cuantificación de carbono en el suelo y en el mantillo en pinares y rebollares del Norte de España. En: GALLARDO, J.F.; GARCÍA-OLIVA, F.; TURRIÓN, M.B.; (Eds). *Materia orgánica edáfica y captura de carbono en sistemas iberoamericanos*, pp 249-266. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Salamanca.

IBÁÑEZ, J.J.; VAYREDA, J.; GRACIA, C.; 2002. Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya. En: BRAVO F., RÍO M., PESO C. (Eds.), *El Inventario Forestal Nacional. Elemento clave para la gestión forestal sostenible*. pp. 67-77. Fundación General de la Universidad de Valladolid. Palencia.

IUSS (INTERNATIONAL UNION SOIL SCIENCE WORKING GROUP); 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006. En: FAO (Ed.) *World Soil Resources Reports* n° 103. Roma, Italy, 117 p.

JANSSENS, I.A.; SAMPSON, D.A.; CERMAK, J.; MEIRESONNE, L.; RIGUZZI, F.; OVERLOOP, S.; CEULEMANS, R.; 1999. Above- and belowground phytomass and carbon storage in a Belgian Scots pine stand. *Ann For Sci* 56: 81-90.

JOHNSON, D.W. & CURTIS, P.S.; 2001. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *For Eco Manage* 140: 227-238.

MAGRAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; 2012. Infraestructura de datos espaciales. <http://sig.magrama.es/geoportal> [Acceso 25 de Junio de 2012].

- MONTERO, G.; 2000. Breve descripción del proceso repoblador en España (1940-1995). Documento inédito.
- MONTERO, G.; MADRIGAL, G.; RUIZ-PEINADO, R.; BACHILLER, A.; 2004. Red de parcelas experimentales del CIFOR-INIA. *Cuad Soc Esp Cienc For* 18: 229-236.
- MONTERO, G.; RÍO, M.; ROIG, S.; ROJO, A.; 2008. Selvicultura de *Pinus sylvestris* L. En: SERRADA, R.; MONTERO, G.; REQUE, J. (Eds). Compendio de selvicultura aplicada en España, pp 503-534. INIA-Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- PAN, Y.; BIRDSEY, R.A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P.E.; KURZ, W.A.; PHILLIPS, O.L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S.L.; CANADELL, J.G.; CIAIS, P.; JACKSON, R.B.; PACALA, S.W.; MCGUIRE, A.D.; PIAO, S.; RAUTIAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D.; 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM; 2012. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RIO, M.; CALAMA, R.; CAÑELLAS, I.; ROIG, S.; MONTERO, G.; 2008. Thinning intensity and growth response in SW-European Scots pine stands. *Ann For Sci* 65: 308.
- RÍO, M.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; MONTERO, G.; 2006. Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn. en Castilla y León. Junta de Castilla y León, 102 pp.
- ROBINSON, A.P.; WYKOFF, W.R.; 2004. Imputing missing height measures using a mixed-effects modeling strategy. *Can J For Res* 34: 2492-2500.
- RUIZ-PEINADO, R.; RÍO, M.; MONTERO, G.; 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *For Syst* 20(1): 176-188.
- RUIZ-PEINADO, R.; BRAVO-OVIEDO, A.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; MONTERO, G.; RÍO, M.; 2013. Do thinnings influence biomass and soil carbon stock in Mediterranean maritime pinewoods? *Eur J For Res* 132: 253-262.
- 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 Eco Manage* 256: 482-490.
- SECF (SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES); 2011. Situación de los bosques y del sector forestal en España. Informe 2010. 302 p. <http://www.secforestales.org/web/images/inforestal2010.pdf>
- SKOVSGAARD, J.P.; STUPAK, I.; VESTERDAL, L.; 2006. Distribution of biomass and carbon in even-aged stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.): A case study on spacing and thinning effects in northern Denmark. *Scand J Forest Res* 21: 470-488.

WADDELL, K.L.; 2002. Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. *Ecol Indic* 1(3):139-153.