

Invest Agrar: Sist Recur For (2006) 15(2), 231-242

Distribución de biomasa y fijación de carbono tras clareos mecanizados intensos en regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. (Monte «Fraguas», Guadalajara, España)

J. Madrigal*¹, C. Hernando¹, M. Guijarro¹, C. Díez¹, E. Jiménez²

¹ CIFOR-INIA. Ctra. La Coruña, km 7,5. 28040 Madrid. España

² Departamento de Protección Ambiental. CIIA Lourizán. Apartado 127. 36080 Pontevedra. España

Resumen

Se ha llevado a cabo una experiencia en el monte «Fraguas» (Guadalajara, España) que fue afectado por un incendio en 1992, para evaluar la biomasa acumulada en las diversas fracciones de brinzales post-incendio de *Pinus pinaster* y cuantificar las diferencias observadas como consecuencia de diferentes intervenciones de clareo mecanizado intenso y muy intenso. Se realizó un diseño por bloques al azar estableciendo 9 parcelas permanentes de 20 m × 20 m (3 repeticiones por bloque), en las cuales se llevó a cabo un inventario dendrométrico anual desde 2000 a 2004 y un inventario destructivo de biomasa cada dos años, extrayendo de cada tratamiento 10 pies representativos por clases diamétricas. Se han elaborado modelos de tipo potencial ($y = ax^b$) para relacionar las variables dendrométricas con la biomasa obtenida en los muestreos destructivos. Los mejores ajustes se obtuvieron para el diámetro de la base del fuste con los diferentes valores de biomasa (r^2 entre 0,80 y 0,97). Los inventarios anuales permitieron establecer la evolución en la fijación de C a lo largo del período de estudio.

Los resultados muestran que la biomasa acumulada en las distintas partes del árbol difiere significativamente entre los tratamientos efectuados, obteniendo unos incrementos de C tanto mayores cuanto más intenso fue el tratamiento, sobre todo los dos primeros años. Sin embargo, el C fijado en la masa (t/ha) fue significativamente mayor en el tratamiento testigo.

Por tanto, si bien los tratamientos han aumentado el vigor de la masa de porvenir y pueden constituir una práctica interesante desde el punto de vista de la prevención de incendios, provocan una exportación importante de C fijado.

Palabras clave: regeneración post-incendio, tratamiento selvícola, biomasa, carbono, pino rodeno.

Abstract

Biomass accumulation and carbon sequestration after heavy mechanical thinning on post-fire *Pinus pinaster* seedlings (Monte 'Fraguas', Guadalajara, Central Spain)

An experience has been conducted on a *Pinus pinaster* stand in Guadalajara (Central Spain) affected by a wildfire in 1992 to evaluate biomass allocation of different seedling fractions and to quantify the differences between two heavy pine seedling mechanical thinnings. Nine permanent plots (20 m × 20 m) were installed in the study area, in 2000. After measuring initial seedling density (10,000 seedlings/ha), a completely randomized block design was used. Three plots remained as control, three were treated with a heavy pine seedling thinning and the other three were treated with a very heavy pine seedling thinning. In each plot, a yearly dasonomic inventory and a biomass destructive inventory every two years, removing 10 representative seedlings of each treatment, were carried out. Multiplicative models ($y = ax^b$) have been elaborated in order to relate dasometric variables with the biomass obtained through destructive samplings. The highest correlation coefficients (from 0.80 to 0.97) were obtained for the stem groundline diameter.

Results show that biomass accumulation of different seedling fractions is significantly different among treatments, being the increment of C higher with the heaviest thinning. These changes were higher the two first years after thinning. Nevertheless, Carbon sequestration of the stand was significantly higher in the control plots.

Consequently, heavy thinning on post-fire *Pinus pinaster* seedlings makes better their vigour, and decreases forest fire hazard, but at the same time, it produces an important extraction of Carbon sequestered.

Key words: post-fire regeneration, silvicultural treatment, biomass, carbon, maritime pine.

* Autor para la correspondencia: incendio@inia.es

Recibido: 19-01-06; Aceptado: 05-07-06.

Introducción

Actualmente, los incendios forestales están considerados como la más importante perturbación en los ecosistemas mediterráneos, teniendo repercusión no sólo en la estructura y composición de las masas forestales, sino también en los ciclos de carbono del bosque (Valero y Picos, 2004). Efectivamente, la combustión total o parcial de la biomasa aérea de la vegetación afectada, fundamentalmente hojas y ramas, así como de la primera capa de materia orgánica en descomposición, produce importantes emisiones de C fijado. Además, los árboles quemados son extraídos para aprovechar su madera, principalmente en la industria de trituración (tablero de partículas, MDF, OSB, etc.), lo que da lugar a una extracción del C del sistema forestal, aunque secuestrado en productos de consumo de vida media o larga (Díaz Balteiro y Romero, 2004). De todos los ecosistemas terrestres, los bosques son los que acumulan un mayor porcentaje de carbono, en torno al 80% (Herrero *et al.*, 2005). Por tanto, el éxito de la regeneración post-incendio y las tasas de fijación de C que posea el nuevo regenerado son factores que determinarán la resiliencia del sistema a recuperar el C perdido como consecuencia del incendio.

En especies mediterráneas como *Pinus pinaster* Ait., con gran plasticidad para habitar en diferentes climas y sustratos (Alía *et al.*, 1996), el éxito de la regeneración es diverso, existiendo zonas con grandes dificultades donde el regenerado es escaso, mientras que otras procedencias con gran número de adaptaciones al fuego (cortezas gruesas, conos serótimos y fructificación precoz) (Tapias y Gil, 2000), presentan un regenerado muy abundante, que obliga a realizar intervenciones desde edades tempranas (Madrigal, 2005; Rodríguez *et al.*, 1997; Tapias y Pardos, 1998) con tres objetivos fundamentales: 1) dosificar la competencia; 2) prevenir la aparición de nuevos incendios disminuyendo la carga de combustible disponible y 3) preparar los individuos de porvenir para la aparición futura de nuevos incendios induciendo la fructificación temprana (Tapias *et al.*, 1997a, 1997b). Para alcanzar estos objetivos, se están proponiendo para esta especie y otras coníferas como *Pinus halepensis* (González Ochoa *et al.*, 2001; Lapesa, 2000; Orozco *et al.*, 2005; Sáez *et al.*, 2000; Verkaik y Espelta, 2005) los claros mecanizados intensos a edades tempranas (menos de 10 años), obteniendo respuestas del arbolado muy positivas incluso con extracciones del 80% del número de pies iniciales, sin riesgo de decaimiento de la masa (Madrigal *et al.*, 2004). La difícil

transformación de esta biomasa por la industria, debido a sus pequeñas dimensiones, obliga a que la eliminación de los pies extraídos se lleve a cabo generalmente mediante quema y, en menor medida, por el aumento del coste que esto supone, por trituración *in situ* incorporándolos al suelo. En definitiva, estos tratamientos generan una importante cantidad de biomasa residual cuya eliminación además de ser costosa (Alonso *et al.*, 2005), puede plantear problemas medioambientales.

La importancia actual de la función protectora de nuestros bosques y su capacidad para secuestrar el C atmosférico, máxime los árboles jóvenes procedentes de regeneración post-incendio, son factores a considerar a la hora de establecer criterios sobre el momento, la intensidad y la frecuencia de las intervenciones, compatibilizando la mejora del vigor de la masa, la protección frente al fuego y el balance de C (Litton *et al.*, 2003). El Protocolo de Kioto expresa la posibilidad de utilizar los bosques como sumideros de carbono mediante, entre otras acciones, la capacidad de captación de CO₂ de los sistemas forestales a través de actuaciones selvícolas (Montero *et al.*, 2005a, 2005b), factor que cobra especial importancia en masas regeneradas post-incendio, teniendo en cuenta las importantes emisiones que se producen durante la combustión. Existen diversas experiencias recientes para esta especie y otras coníferas que permiten estimar la biomasa y el C fijado (Barrio-Anta *et al.*, 2006; Cabal *et al.*, 2005; Herrero *et al.*, 2005), así como la influencia que sobre ello tienen los tratamientos selvícolas (Montero *et al.*, 2004; Osorio *et al.*, 2006), aunque son escasas las relativas a masas jóvenes procedentes de regenerado post-incendio (Vega *et al.*, 2002; Vega *et al.*, 2005).

En este sentido, se ha realizado una experiencia de claro mecanizado intenso y muy intenso sobre una masa procedente de regeneración post-incendio de *P. pinaster* en la provincia de Guadalajara (España). El objetivo fue determinar la distribución de biomasa en los individuos y la cantidad de C secuestrado en cada fracción del árbol, así como estimar el C total extraído tras las intervenciones y las diferencias que los distintos tratamientos realizados producen en los incrementos de C secuestrado a corto plazo.

Material y métodos

Área de estudio

El estudio se ha realizado en el monte GU-1026, «Fraguas», del Término Municipal de Monasterio

(Guadalajara, España) (Figura 1). Las parcelas se encuentran localizadas en un área quemada en 1992 por un pequeño incendio de 11,6 ha. En el año 2000 (regenerado con 8 años de edad), en la ladera de umbría, la densidad media era de 10.417 ± 1.448 pies/ha (media \pm error estándar), con una altura media de $119 \pm 3,70$ cm, diámetro medio en la base del fuste de $3,1 \pm 0,13$ cm y diámetro de copa medio de $83,80 \pm 2,80$ cm.

En la ladera de solana la regeneración era prácticamente nula, por lo que las parcelas se ubicaron en la zona de umbría, que presenta una pendiente media del 10%. Las coordenadas UTM de la zona son: X = 490.000 m; Y = 4.540.200 m; Z = 1.150 m (Huso 30, Elipsoide Hayford, Datum EUR50).

El área tiene una precipitación media anual de 766 mm, temperatura media anual de $10,4^{\circ}\text{C}$, con media de las máximas del mes más cálido de $28,4^{\circ}\text{C}$ y media de las mínimas del mes más frío de $-1,8^{\circ}\text{C}$, lo que supone un fitoclima VI(IV)₁ (Allué, 1990). Los suelos de la zona se asientan sobre granitos y muestran una productividad potencial forestal entre IIIa y IVb (Sánchez Palomares y Sánchez Serrano, 2000) con lo que se pueden calificar como de calidad media desde el punto de vista forestal. Las texturas son franco-arcillosas y el pH de los suelos oscila entre 6,5 y 6.

La masa forestal adulta proviene de una repoblación de *Pinus pinaster*, realizada a marco real durante los años 1971 y 1972 con una densidad de 1.100 pies/ha. La densidad actual después de una primera clara moderada por lo bajo es de 600 pies/ha, con una altura media de 10 m, altura dominante de 11,5 m, diámetro cuadrático medio de 24 cm y $14 \text{ m}^2/\text{ha}$ de área basimétrica. El sotobosque está constituido principalmente por *Cistus ladanifer* y *Cistus laurifolius* presentando coberturas de hasta el 85%. Todo ello genera una estructura de gran continuidad horizontal y vertical con alto peligro de incendio.

Diseño experimental

En febrero de 2000 se replantearon 9 parcelas cuadradas de 20 m de lado realizándose los siguientes tratamientos, con 3 repeticiones en cada uno de ellos (Figura 1):

- Clareo y roza mecanizada por fajas: **Tratamiento A**
- Clareo y roza mecanizada por fajas, más clareo y desbroce manual en la entre-faja: **Tratamiento B**
- Testigo: **Tratamiento T**

Tras la caracterización de la masa se asignaron aleatoriamente los tratamientos a realizar en cada parcela. El re-

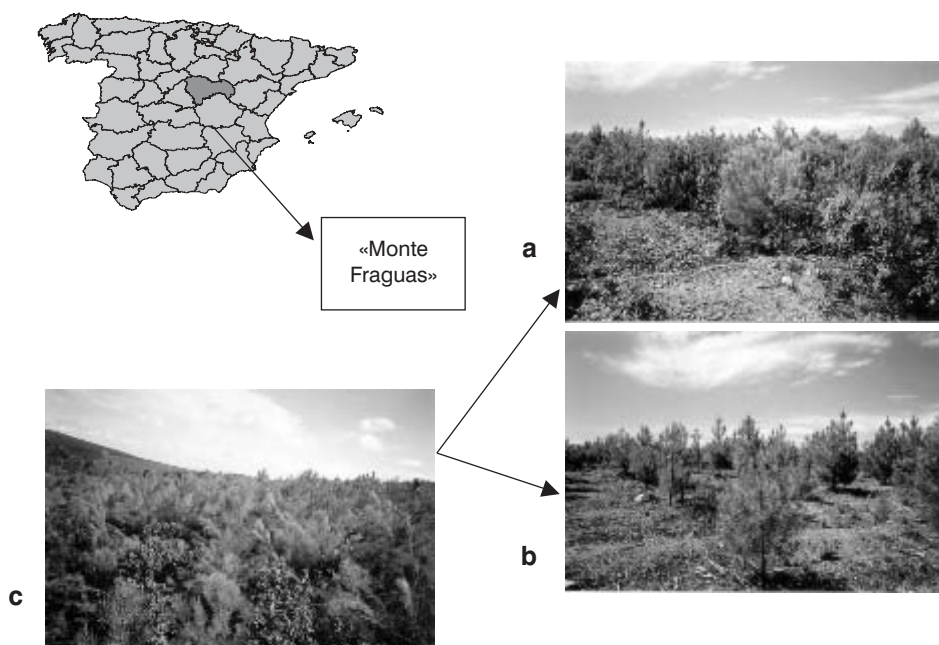


Figura 1. Situación del área de estudio y fotografías de las parcelas de ensayo. **(a) Tratamiento A:** Clareo y roza mecanizada por fajas de 2 m de ancho **(b) Tratamiento B:** Clareo y roza mecanizada por fajas, más clareo y desbroce manual en la entre-faja. El marco final aproximado fue de $3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. **(c) Tratamiento T:** Masa testigo con una densidad entre 9.000 y 12.000 pies/ha.

sultado final fue de un 66% de pies extraídos respecto a la masa antes del clareo en el tratamiento A (densidad final media de 4.275 ± 477 pies/ha) y un 81% en el tratamiento B, en el que además se eliminó toda la competencia de matorral (densidad final media de 1.675 ± 63 pies/ha).

La apertura de las fajas se realizó con un tractor de cadenas provisto de una trituradora de martillos. Se realizaron dos pasadas de tractor en todas las fajas, resultando un ancho final de 2 m en la faja y algo más de 1 m en la entre-faja. En el tratamiento B, el clareo y desbroce en la entre-faja se realizó de forma sistemática con motodesbrozadora y tijera manual de dos manos, de manera que el marco teórico final fue aproximadamente de $3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Los restos se sacaron manualmente de las parcelas.

Después de los tratamientos A y T, en cada una de las tres parcelas correspondientes a cada uno de ellos se etiquetaron sistemáticamente 56 pinos, lo cual supone una muestra de 168 individuos en cada tratamiento. En las tres parcelas de tratamiento B se etiquetaron todos los pinos que quedaron en pie obteniéndose una muestra total de 195.

Determinación de biomasa y Carbono fijado

De cada árbol etiquetado se han realizado mediciones una vez al año, tanto antes (2000) como después (2001, 2002, 2003 y 2004) del efecto del clareo. Las variables seleccionadas fueron: el diámetro de la base, la altura de inicio de la copa viva, la altura total, el diámetro de la copa (como media de dos mediciones perpendiculares entre sí) y el número de piñas por árbol en cada fecha de medición. En la Tabla 1 se presentan los valores de estas variables para cada tratamiento.

En los años 2000 (antes del efecto del clareo), 2002 y 2004 se procedió a la extracción de una muestra representativa de 10 árboles por tratamiento para obtener la biomasa en las distintas fracciones de cada árbol: acículas (separadas por su edad en acículas de 1, 2 y 3 años), ramas gruesas (> 2 cm de diámetro), ramas finas (< 2 cm de diámetro), fuste y raíz. Se extrajeron los pies enteros, incluyendo la raíz, que se arrancó mediante la realización de un hoyo manual de radio 3 veces el diámetro de la base del fuste (Serrada y Garrachón, 2000) y una profundidad de 0,5 m. Los ejemplares se transportaron a laboratorio donde se realizó la separación de cada una de las fracciones. La separación entre fuste y raigón se consideró en el cuello de la raíz (ausencia de corteza); por tanto la zona tradicionalmente considerada como «tocón», que en inventarios de árboles maduros se incorpora a la raíz, en esta experiencia se ha incorporado a la biomasa del fuste. La biomasa de la raíz incluye por tanto la raíz principal y la mayor parte de las raíces secundarias gruesas mayores de 2 cm de diámetro y una pequeña proporción de raíces finas (< 2 cm de diámetro), ya que se considera que la mayoría de éstas últimas exploran el suelo a una distancia mayor que el raigón extraído. Las distintas fracciones se pesaron en húmedo y se procedió a la obtención de su peso anhidro a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para obtener la biomasa seca.

Para el cálculo del C secuestrado se tomó el criterio de Kollmann (1959) que fija para el género *Pinus* un porcentaje del 50% en peso de C por cada fracción de biomasa seca. Otros autores (Ritson y Sochacki, 2003), aplican el 50% para las fracciones de biomasa aérea y el 48,1% para la de las raíces.

Tabla 1. Diámetro de la base del tronco, altura, altura de inicio de la copa viva (altura de autopoda), diámetro de la copa y número de piñas cada 100 pies: media y error estándar en los tres tratamientos A (clareo intenso), B (clareo muy intenso) y T (testigo) a lo largo del período de estudio

	Antes del efecto del clareo									Después del efecto del clareo								
	2000			2001			2002			2003			2004					
	A n=3	B n=3	T n=3	A n=3	B n=3	T n=3	A n=3	B n=3	T n=3	A n=3	B n=3	T n=3	A n=3	B n=3	T n=3			
Diámetro de la base (cm)	3,42 (0,14)	3,27 (0,13)	3,49 (0,14)	4,59 (0,24)	5,02 (0,23)	4,36 (0,24)	5,53 (0,34)	6,46 (0,33)	5,08 (0,34)	6,48 (0,73)	7,92 (0,94)	5,92 (0,38)	8,24 (1,22)	10,15 (0,84)	7,15 (0,57)			
Altura (cm)	122,05 (4,73)	118,73 (4,33)	121,61 (4,74)	137,89 (4,76)	135,95 (4,38)	147,61 (4,74)	170,18 (4,76)	168,83 (4,39)	171,54 (4,74)	198,75 (4,77)	200,69 (4,49)	196,38 (4,74)	240,72 (4,77)	253,63 (4,48)	231,50 (4,74)			
Altura de inicio de la copa viva (cm)	21,58 (1,05)	21,40 (0,96)	20,11 (1,05)	21,58 (1,05)	22,20 (0,96)	21,26 (1,05)	24,66 (1,06)	22,63 (0,97)	22,61 (1,05)	28,11 (1,06)	23,42 (1,00)	30,36 (1,05)	34,51 (1,06)	23,37 (0,99)	37,48 (1,05)			
Diámetro de copa (cm)	86,41 (2,83)	82,34 (2,60)	87,99 (2,84)	98,49 (2,85)	108,24 (2,63)	90,66 (2,84)	106,82 (2,85)	133,21 (2,63)	98,81 (2,84)	128,85 (2,86)	153,64 (2,69)	110,42 (2,84)	146,93 (2,86)	173,93 (2,68)	124,32 (2,84)			
N.º de piñas cada 100 pies	14,79 (7,46)	6,46 (1,84)	15,47 (7,48)	12,57 (7,50)	9,18 (2,90)	19,64 (7,48)	41,31 (7,50)	67,85 (6,92)	19,64 (7,48)	76,50 (7,52)	147,59 (7,09)	32,73 (7,48)	97,59 (7,53)	142,02 (7,07)	72,02 (7,48)			

Tratamiento estadístico

Obtención de modelos de regresión y diferencias en la distribución de biomasa

Mediante los tres inventarios destructivos se han obtenido modelos para estimar la biomasa de las diferentes fracciones del árbol a través de variables dasométricas. Se probaron numerosos modelos lineales y no lineales simples. Los parámetros de los modelos lineales se obtuvieron por mínimos cuadrados ordinarios y los no lineales mediante el algoritmo Marquardt. Se eligieron los modelos más sencillos, de mejores ajustes (R^2 ajustado) y menores errores (MSE y MAE). Los mejores ajustes se obtuvieron para modelos del tipo:

$$Y = a (X)^b$$

Que tomando logaritmos se puede transformar a una ecuación lineal del tipo:

$$\text{Log}(Y) = \text{Log}(a) + b \text{Log}(X)$$

Siendo Y la fracción de biomasa (g), X la variable dasométrica (cm), a y b los parámetros de la regresión, que en el caso de la forma logarítmica coincidirían con la ordenada en el origen y la pendiente respectivamente. Los modelos para el testigo (T) se ajustaron con 50 datos ($n = 50$), correspondientes a la muestra de 30 árboles extraídos en 2000 en los tres bloques (antes del efecto del clareo) más los árboles extraídos en 2002 ($n = 10$) y 2004 ($n = 10$) de las parcelas testigo. Sin embargo, los modelos para los tratamientos A y B se ajustaron con los 20 datos correspondientes a las mediciones de 2002 y 2004 (tras el efecto del clareo).

La posibilidad de transformar la función ajustada a una ecuación lineal permite comparar las rectas de regresión para cada tratamiento mediante ANOVA, obteniendo con ello las diferencias en la distribución de biomasa debidas a cada tratamiento. Las diferencias entre los coeficientes de la regresión aconsejarán el uso de un solo modelo para todo el experimento o, por el contrario, el uso de modelos diferentes para la estimación de la biomasa en cada uno de los tres tratamientos efectuados.

Diferencias de C fijado por árbol

Los crecimientos anuales de cada variable dasométrica se han obtenido por diferencia de inventarios entre

años sucesivos. La aplicación de los modelos de distribución de biomasa a cada uno de los inventarios anuales permitió obtener una estimación de la cantidad de C fijado en las diferentes fracciones de cada árbol.

Se ha realizado un ANOVA de medidas repetidas para obtener las diferencias entre tratamientos y entre años. Este análisis se corresponde con un diseño factorial *intra-sujeto* de dos factores: el **primer factor** corresponde a las **medidas repetidas** sobre los mismos sujetos (*intra-sujetos*), presentando 5 niveles para los valores absolutos (C fijado en 2000, 2001, 2002, 2003, 2004) y 4 niveles para los crecimientos (incremento de C fijado en 2001, 2002, 2003, 2004); el **segundo factor** corresponde a los **tratamientos de clareo** efectuados, presentando por tanto tres niveles, con tantas repeticiones como parcelas ejecutadas (*inter-sujetos*): A ($n = 3$), B ($n = 3$), T ($n = 3$).

Diferencias de C fijado en la masa

La obtención de valores modulares por árbol y la estimación de la densidad antes y después del clareo, permite la comparación mediante ANOVA de medidas repetidas entre los tres tratamientos y los cinco años de seguimiento: el C total extraído, el C total fijado (t/ha) y el incremento anual de C fijado (t/ha/año). No se ha considerado en ningún caso el C fijado y extraído correspondiente al matorral.

Se utilizaron los paquetes estadísticos STATGRAPHICS © y STATISTICS © para el análisis de resultados, así como la hoja de cálculo EXCEL © para mejorar la presentación de los datos.

Resultados y Discusión

Distribución de la biomasa

Las mediciones efectuadas tras los clareos han mostrado un aumento de los crecimientos en todas las variables del árbol medio (Tabla 1), tanto más cuanto más intenso fue el tratamiento, siendo las diferencias más acusadas en el diámetro de la base del tronco y el diámetro de copa. Asimismo, resultaron más acusadas al año siguiente de la intervención (2001) que en años posteriores, cuando los crecimientos se estabilizaron en los tres tratamientos (Madrigal *et al.*, 2004).

Los mejores ajustes y menores errores de las ecuaciones de predicción que se probaron se obtuvieron para modelos de tipo multiplicativo relacionando el diámetro de la base del fuste con las distintas fracciones de bioma-

sa (Figura 2). Por tanto esta variable dasométrica parece ser la que mejor predice la biomasa del árbol para esta especie, al menos a edades tempranas, tal y como ya han mostrado en experiencias similares Vega *et al.* (2002). El uso de ecuaciones multiplicativas para la predicción de biomasa aérea o su transformación logarítmica es frecuente en la bibliografía (Baskerville, 1972; Beauchamp y Olson, 1973; Sprugel, 1983), siendo el diámetro normal (dbh) la variable más utilizada en árboles adultos (Jenkins *et al.*, 2003) ya que es de fácil obtención y presenta la ventaja de poder extrapolar los datos a inventarios de mayor escala como el Inventario Forestal Nacional (Montero *et al.*, 2005b). La elevada conicidad del fuste a edades tempranas, tanto más en los tratamientos más intensos, debido a la ausencia de competencia y poda natural, hace que los diámetros a 50 y 100 cm no

sean tan buenos predictores de la biomasa como el diámetro en la base del tronco. Además, la biomasa radical está más asociada al diámetro del cuello de la raíz que a los del fuste a mayor altura, como han puesto de manifiesto las regresiones efectuadas, que muestran ajustes peores para el diámetro a 50 cm y a 100 cm (r^2 entre 0,75 y 0,84) que para la base del fuste (r^2 entre 0,94 y 0,96; Figura 2). La transformación lineal de cada una de las ecuaciones permite comparar las rectas de regresión (Biomasa (g) = $a + b \log[\text{diámetro de la base (cm)}]$) mediante ANOVA y en todos los casos se obtienen diferencias significativas al 99% ($p < 0,01$) en el punto de intercepción (parámetro a), por lo que se utilizaron los modelos aplicados a sus correspondientes tratamientos (A, B y T). Por el contrario, las pendientes de las rectas (parámetro b) no ofrecieron diferencias significativas lo

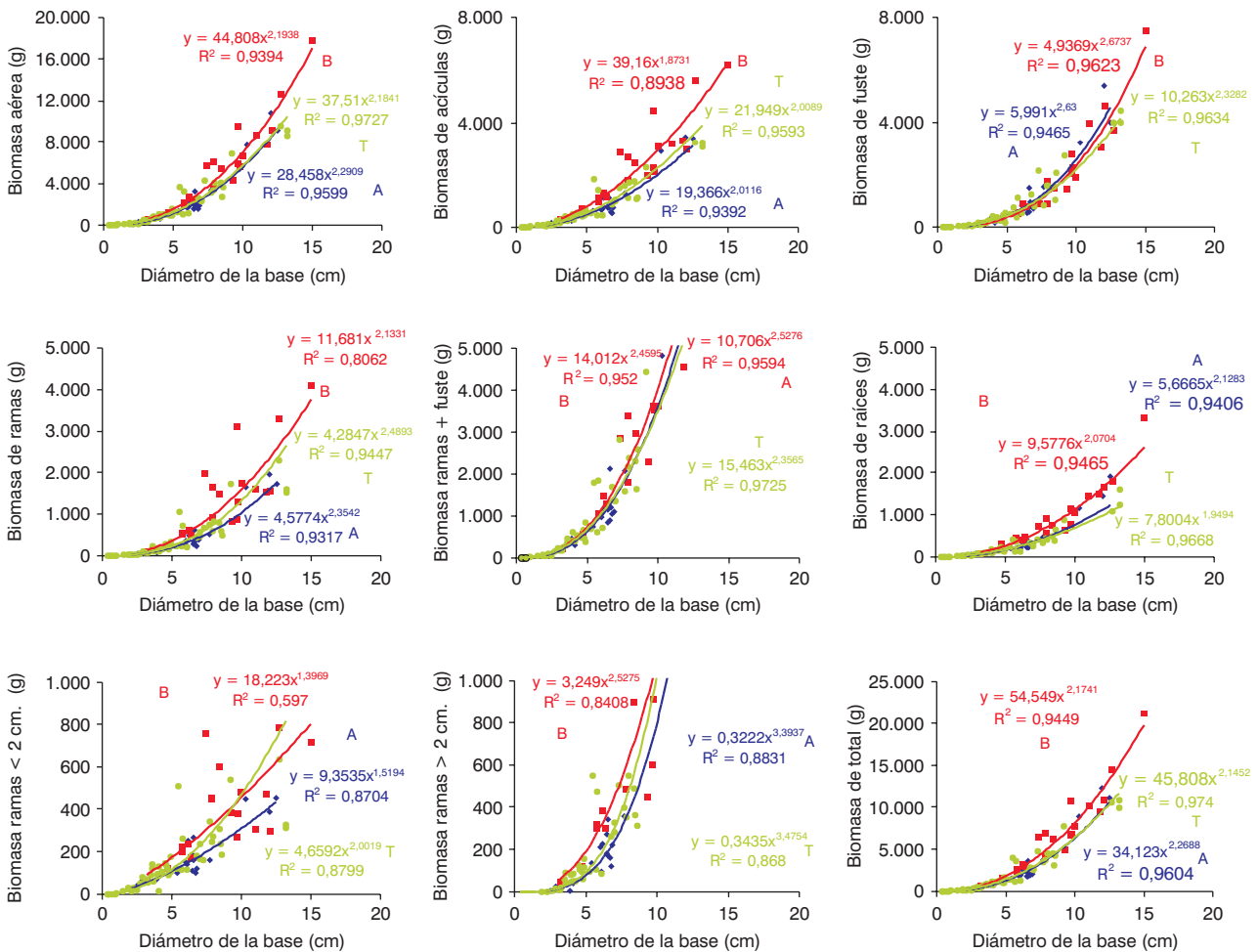


Figura 2. Modelos multiplicativos para la estimación de la biomasa por pie de las diferentes fracciones del regenerado en función del diámetro de la base del fuste para los tres tratamientos: A (n = 20), B (n = 20), T(n = 50).

que indicaría que la distribución de biomasa en los diferentes diámetros sigue la misma tendencia en los distintos tratamientos. Por tanto, estos tratamientos efectuados están provocando una acumulación de biomasa significativamente mayor en las distintas fracciones del árbol tanto más cuanto más intenso es el tratamiento. No obstante, la distribución de la biomasa permanece sin diferencias significativas entre tratamientos 4 años después de la intervención. Las mayores diferencias entre tratamientos se obtienen para la fracción de acículas y la de ramas, existiendo una tendencia del tratamiento A, a producir menor biomasa de acículas y de ramas que en el testigo. En las fracciones de fuste y fuste + ramas los tres tratamientos ofrecen ajustes muy similares lo que podría indicar una posible traslocación de biomasa en el tratamiento A desde las ramillas finales (< 2 cm) y las acículas hacia el fuste, respecto a lo observado en el tratamiento T, que parece acumular más biomasa en ramas finas. Las escasas diferencias obtenidas y los peores ajustes para estas fracciones debido a la mayor dispersión de los datos aconseja ser prudente en estas conclusiones, siendo quizás necesario realizar más observaciones a medio plazo. En la fracción de raíces, el tratamiento B (clareo muy intenso) es el que está produciendo las mayores diferencias de la distribución de biomasa, siendo el tratamiento A muy similar al testigo. En lo que se refiere a biomasa total y biomasa aérea las diferencias anteriores se diluyen y queda significativamente diferenciado el tratamiento B, siendo las regresiones del tratamiento A muy similares a las del testigo T.

Al comparar la distribución porcentual de biomasa por fracciones antes y después del efecto del clareo (Tabla 2) parece existir una tendencia a la traslocación de biomasa hacia las ramas finas (< 2 cm) en todos los tratamientos desde el año 2000 al 2004, tanto más en el tratamiento más intenso (B). En el testigo (T) aparentemente el aumento de la fracción de ramas finas se ha producido a costa de la disminución de la biomasa en acículas, que pasan de un 41% a un 36% ($F = 4,02$; $p = 0,023$), no ofreciendo el resto de las fracciones diferencias significativas. Para la masa intervenida (tratamientos A y B) este efecto no es tan patente puesto que también se ha producido una disminución significativa ($F = 3,96$; $p = 0,036$) de la biomasa de ramas gruesas (> 2 cm) que pasan del 11% al 6% desconociéndose, por tanto, qué porcentaje de biomasa procedente de acículas y ramas gruesas ha pasado a ramas finas, máxime al existir un incremento de biomasa del fuste del tratamiento A.

En la Tabla 2 también se puede apreciar el efecto ya comentado al analizar las regresiones obtenidas (Figura 2). Comparando los tres tratamientos para los porcentajes obtenidos en 2004, en el tratamiento A existe una tendencia hacia la acumulación de mayor biomasa en el fuste (38% en el tratamiento A frente a 30% en B y 32% en T) y menor en acículas que en los tratamientos B y T. En principio, este efecto podría explicarse porque los pies que crecen en las parcelas del tratamiento B presentan una copa más expuesta y una tendencia a producir más biomasa de acículas en detrimento de su parte leñosa. Sin embargo, la distribución porcentual entre el testigo T y el clareo muy intenso B es similar, si bien cabría esperar resultados más parecidos entre las parcelas testigo y las tratadas con el clareo menos intenso, al estar los pies correspondientes a este tratamiento A creciendo en una faja sin intervenir, en condiciones de iluminación más parecidas a la masa testigo. La ausencia de significación de estos porcentajes obliga a esperar a mediciones posteriores para confirmar estas tendencias y ratificar si realmente el comportamiento de los pies en la faja sin tratar (tratamiento A) está generando esta traslocación de biomasa hacia el fuste.

C fijado en las diferentes fracciones de biomasa por árbol

En la Tabla 3 se muestra la estimación del C fijado en las diferentes fracciones de biomasa a lo largo del período de estudio para el árbol promedio de cada trata-

Tabla 2. Distribución porcentual de la biomasa de las diferentes fracciones promedio por árbol medidas antes (año 2000; n=30) y 4 años después (2004) del efecto del clareo para los tres tratamientos: A (n = 10), B (n = 10), T (n = 10). Letras distintas muestran diferencias significativas al 95% entre las dos mediciones para cada fracción de biomasa entre el árbol medio antes y después del efecto del clareo

	Antes del efecto del clareo	Después del efecto del clareo		
	2000	2004		
	T n=30	A n=10	B n=10	T n=10
Acículas (%)	41a	33b	36b	36b
Ramas < 2cm (%)	5a	11b	14b	11b
Ramas > 2cm (%)	11a	6b	6b	9b
Fuste (%)	29a	38a	30a	32a
Raíz (%)	14a	12a	14a	12a

Tabla 3. C fijado en las diferentes fracciones de biomasa de los árboles sometidos a diferentes tratamientos: A clareo intenso (n=3), B clareo muy intenso (n=3) y T testigo (n=3), a lo largo del período de estudio desde el año 2000 (antes del efecto del clareo) hasta el año 2004 (media y error estándar). Se muestra el C total secuestrado anualmente (t/ha) por la masa sometida a los diferentes tratamientos. El ANOVA de medidas repetidas se muestra con letras latinas diferentes (a, b, c) para las diferencias significativas entre tratamientos (intersujetos) el mismo año de medición al 95% de significación. Se muestran * las diferencias significativas entre años consecutivos para un mismo tratamiento (intrasujetos) al 95% de significación

	Antes del efecto del clareo						Después del efecto del clareo								
	2000			2001			2002			2003			2004		
	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T	A	B	T
Acículas	131,09 (27,47) a	119,94 (21,34) a	134,85 (12,04) a	208,63 (28,62) a	406,67 (42,66) b*	210,41 (21,84) a	304,86 (53,84) a	646,40 (55,32) b*	285,78 (30,42) a	418,05 (56,12) a	946,42 (123,32) b*	388,57 (45,46) a	681,42 (120,79) a	1.500,50 (132,38) b*	565,84 (66,88) c
Fuste	91,96 (21,74) a	82,74 (16,86) a	94,35 (9,71) a	167,73 (30,12) a	188,92 (27,42) a	158,17 (18,89) a	276,78 (63,86) a	364,91 (43,53) a	225,64 (27,56) a	416,16 (73,91) a	632,64 (115,42) b*	322,41 (43,21) a	792,73 (185,96) a*	1.214,77 (150,49) b*	498,62 (67,59) c
Ramas < 2 cm	13,30 (4,23) a	11,22 (3,16) a	13,34 (2,00) a	29,02 (6,62) a	97,48 (13,43) b*	28,98 (5,02) a	55,75 (16,49) a	181,53 (20,53) b*	49,34 (8,64) a	93,56 (21,64) a	304,82 (52,68) b*	84,33 (16,11) a	216,47 (66,01) a	564,79 (66,25) b*	161,94 (31,45) c
Fracciones de C fijado por árbol (g)	34,33 (7,67) a	31,24 (5,97) a	35,41 (3,36) a	54,08 (6,78) a	87,94 (8,49) a	55,93 (5,82) a	74,01 (10,31) a	132,35 (9,83) b*	75,01 (7,56) a	93,66 (7,93) a	180,51 (18,92) b*	98,10 (9,95) a	115,82 (3,37) a*	254,39 (15,64) b*	129,37 (10,69) c
Total parte aérea	281,41 (63,29) a	255,07 (48,95) a	286,10 (28,04) a	471,70 (74,18) a	784,31 (95,12) b*	469,67 (52,91) a	727,97 (146,42) a	1.347,33 (133,77) b*	655,77 (75,63) a	1.040,94 (160,05) a	2.109,78 (319,52) b*	916,86 (116,11) a	1.819,86 (369,60) a*	3.612,66 (370,84) b*	1.381,12 (176,81) c
Raíces	43,20 (8,82) a	39,64 (6,86) a	44,45 (3,85) a	72,23 (10,54) a	137,77 (15,86) b*	68,44 (6,90) a	107,84 (20,08) a	229,81 (21,64) b*	92,10 (9,53) a	150,34 (21,33) a	350,89 (50,37) b*	124,07 (14,11) a	251,87 (47,20) a*	583,78 (56,78) b*	178,64 (20,52) c
Total árbol	326,77 (72,40) a	296,80 (56,05) a	335,82 (32,00) a	540,17 (83,87) a	924,19 (111,15) b*	540,69 (59,86) a	828,75 (164,52) a	1.579,87 (155,52) b*	750,32 (85,06) a	1.179,78 (178,93) a	2.463,51 (369,86) b*	1.042,57 (129,81) a	2.047,12 (410,08) a*	4.198,18 (427,19) b*	1.558,71 (196,16) c
C total fijado en la masa (t/ha)	3,40 (0,75) a	3,09 (0,58) a	3,50 (0,33) a	2,31 (0,36) a	1,57 (0,19) a*	5,63 (0,62) b	3,54 (0,70) a	2,68 (0,26) a	7,82 (0,88) b	5,04 (0,76) a	4,19 (0,63) a	10,87 (1,35) b*	8,75 (1,75) a*	7,13 (0,72) a*	16,24 (2,04) b*

miento efectuado. Se puede comprobar que la dosificación de la competencia ha provocado un aumento significativo del C fijado en el regenerado, tanto en la biomasa aérea como en la radical, tanto más cuanto más intenso fue el clareo. En la Figura 3, se puede comprobar que el aumento significativo desde el primer año en el tratamiento B del C fijado en acículas, y el aumento significativo en el año 2004 del C fijado en las acículas jóvenes (1 año), podría ser la causa de la mayor fijación de C en los árboles de las parcelas intervenidas, al ser estas acículas las de mayor actividad fotosintética. La gráfica del cociente entre biomasa aérea y radical (Figura 3) pone de manifiesto que es, quizás, el efecto más evidente de la intervención desde el primer año para los tres tratamientos, mientras que el testigo tiende a aumentar este cociente acumulando más proporción de biomasa en la parte aérea, la mejor exploración de las raíces en las parcelas intervenidas está produciendo una disminución de este cociente, tanto más cuanto más intenso fue el clareo. Esta variable es la única que ha

mostrado una diferencia significativa desde el primer año para el tratamiento A respecto al testigo T. Por tanto, la mayor actividad radical del tratamiento A podría ser la causa fundamental de que se hayan obtenido mejores crecimientos dasométricos y mayor fijación de C que el testigo, ya que, en principio, las condiciones de iluminación y competencia en la faja sin intervenir del tratamiento A son similares a la masa testigo.

En la Figura 4 se muestran las gráficas del ANOVA de medidas repetidas para los incrementos anuales de C secuestrado de las diferentes fracciones de biomasa tras los clareos. El tratamiento B, de mayor intensidad, es el que está conformando pies con una capacidad significativamente mayor de fijar C atmosférico en todas las fracciones de biomasa desde el año siguiente a la intervención. Sin embargo con el tratamiento A, menos intenso, los árboles no empiezan a fijar más cantidad de C que los pertenecientes al tratamiento testigo (T) hasta el cuarto año (2004) tras la intervención (Tabla 3 y Figura 4).

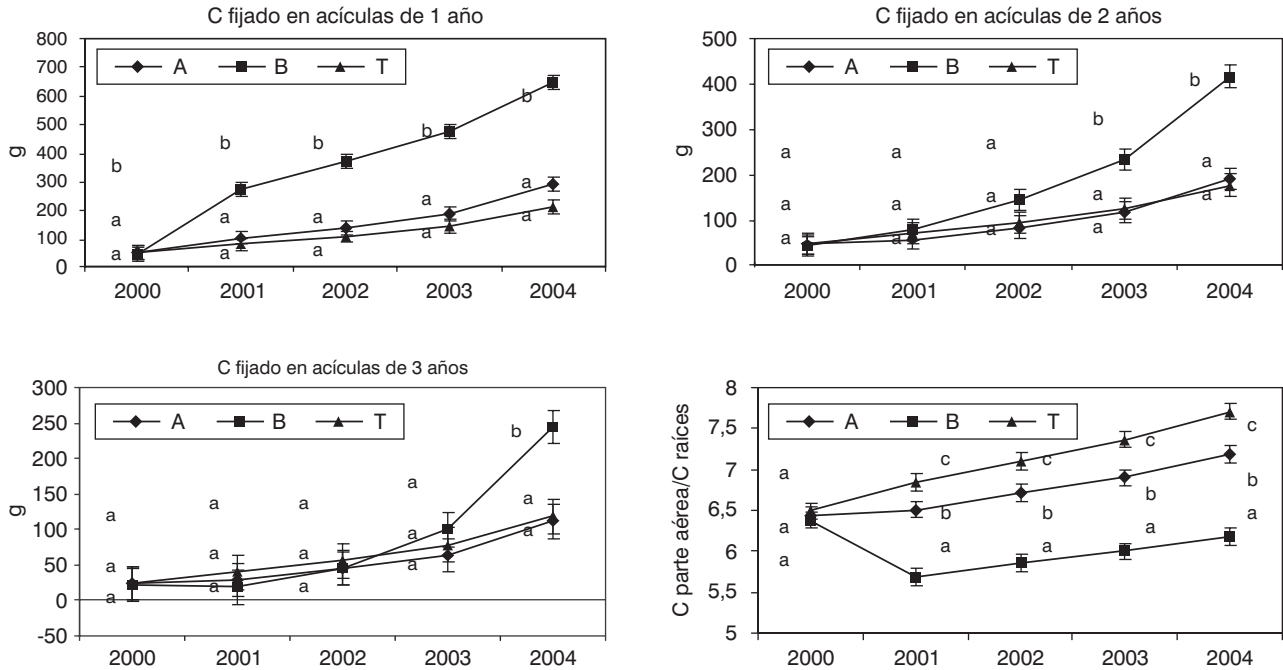


Figura 3. C fijado por árbol a lo largo del período de estudio para cada tratamiento en las acículas de 1, 2 y 3 años y relación C aéreo/C radical. Se muestran los valores medios para cada tratamiento y la barra de error estándar. Se muestra la significación entre tratamientos al 95% ($p < 0,05$) con letras distintas (a, b, c) en cada año de estimación.

Por tanto, el C fijado por el árbol en valores absolutos (Tabla 3 y Figura 3) y en incrementos relativos (Figura 4) mostrarían que es el tratamiento muy intenso (B) el que produce un aumento significativo anual de C fijado en todas las fracciones de biomasa. Sin embargo, el tratamiento A se comporta como el testigo hasta cuatro años después del tratamiento, excepto para el cociente parte aérea/parte radical que se diferencia desde el primer año después del tratamiento.

Balance de C en la masa

Los clareos extraen un alto porcentaje de C fijado como se puede comprobar en la Tabla 3 y la Figura 5 (año 2001), lo que produce la disminución del C total secuestrado en la masa (t/ha) en los dos tipos de intervención. Aunque estas diferencias son significativas a lo largo del período de estudio, se observa una tendencia a la recuperación muy rápida de la masa tratada a los dos años del tratamiento, que después se estabiliza, mostrando una evolución muy similar respecto a la testigo. Este efecto queda más patente si se expresan los valores en porcentaje de incremento de C respecto al año anterior en lugar de las diferencias de los valores absolutos (Figura 5).

Las diferencias en el balance de C en la masa para los dos clareos efectuados no son significativas a lo largo del período de estudio, lo que mostraría la conocida certeza experimental de Assmann mediante la cual las producciones se mantienen constantes en un rango amplio de densidades. En este caso habría que destacar que el cumplimiento de esta ley general para masas jóvenes de *P. pinaster* procedentes de regeneración post-incendio, al menos a corto plazo, haría aconsejable este tipo de clareos, siempre que sean posibles, debido a la buena respuesta del regenerado.

Por tanto, el C secuestrado por la masa testigo oscila entre las 3 t/ha a los 8 años de edad del regenerado (antes del efecto de la intervención) y las 16 t/ha a los 12 años de edad del regenerado (Tabla 3). El efecto del clareo provoca la extracción inicial de entre 1 y 1,5 t/ha de C, según la intensidad del tratamiento (sin contar la extracción de biomasa correspondiente al matorral desbrozado). Cuatro años tras el clareo, la masa intervenida fija entre 7 y 9 t/ha, algo más de la mitad que la masa testigo (16 t/ha). Por tanto la buena respuesta del regenerado está compensando las extracciones de C en un plazo relativamente corto, aunque quizás es necesario esperar a posteriores mediciones a medio plazo para poder ratificar estos resultados.

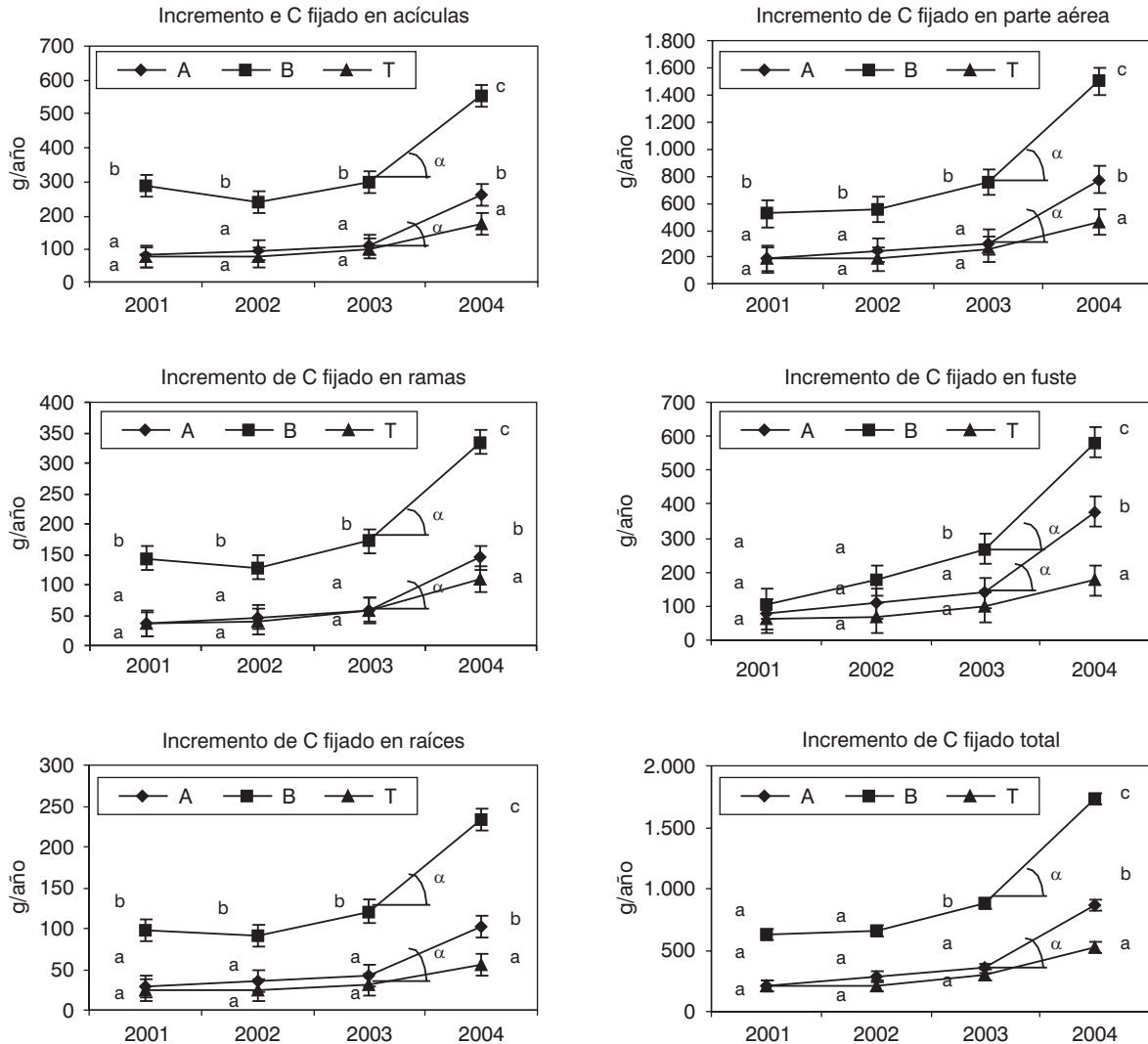


Figura 4. Incrementos anuales de C fijado por árbol para los tres tratamientos A clareo intenso, B clareo muy intenso y T testigo. Se muestra el valor medio de cada variable y la barra de error estándar. Se muestran las diferencias significativas entre tratamientos con letras distintas (a, b, c) el mismo año al 95% de significación y las diferencias entre años α para un mismo tratamiento al 95% de significación.

Conclusiones

La experiencia realizada muestra una respuesta positiva del regenerado post-incendio de *P. pinaster* a los tratamientos de clareo mecanizado intenso que provocan diferencias en la cantidad de biomasa y de C fijado en el árbol según la intensidad del tratamiento pero no así en la distribución porcentual de las diferentes fracciones de biomasa, que permanece sin diferencias significativas entre tratamientos. Teniendo en cuenta que el estado y el vigor de los pies del tratamiento más intenso (B) son significativamente mayores y que, en cambio, el C secues-

trado en la masa es similar al menos intenso (A), se podría concluir que el tratamiento B sería el más adecuado desde este punto de vista, al menos a corto plazo. Además la estructura de masa obtenida con el tratamiento muy intenso disminuye la continuidad horizontal, con la consiguiente disminución del peligro de incendios. La apertura de la copa está propiciando también un aumento de la fructificación precoz, por lo que mejoraría la respuesta de la masa ante una nueva perturbación al poseer mayor cantidad de banco aéreo disponible.

Compatibilizar la prevención de incendios y los nuevos modelos propuestos de gestión forestal sostenible,

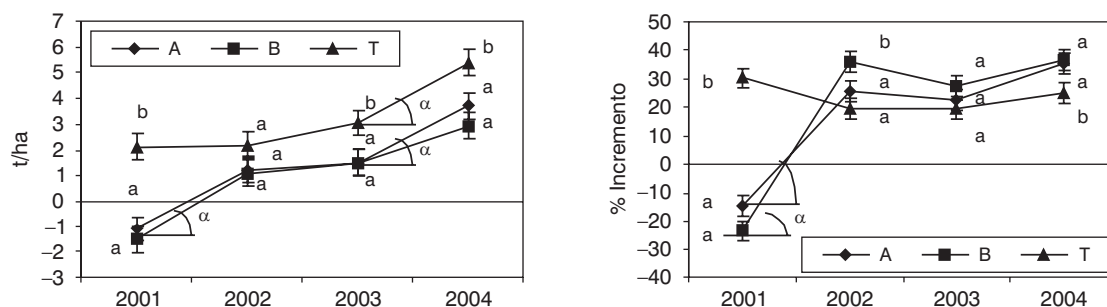


Figura 5. Incrementos anuales de C fijado en la masa e incremento porcentual del C fijado para los tres tratamientos A clareo intenso, B clareo muy intenso y T testigo. Se muestra el valor medio de cada variable y la barra de error estándar. Se muestran las diferencias significativas entre tratamientos con letras distintas (a, b, c) el mismo año al 95% de significación y las diferencias entre años α para un mismo tratamiento al 95% de significación.

que deben tener en cuenta el secuestro de C, es una labor prioritaria en la actualidad. En función de esto, el gestor deberá valorar la conveniencia de la realización de estos tratamientos según las prioridades y objetivos fijados.

Agradecimientos

El presente Trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y cofinanciado con fondos FEDER a través de los proyectos SC99-0018 y RTA 03-205-C2-1, dentro de la acción «Recursos y Tecnologías Agrarias» enmarcada en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e innovación Tecnológica (I+D+i). Dichos proyectos han sido llevados a cabo de manera coordinada entre el Departamento de Protección Forestal del CIFOR-INIA (Ministerio de Educación y Ciencia) y el Departamento de Protección Ambiental del CIIA-Lourizán (Xunta de Galicia).

Agradecemos a los técnicos y agentes de la Delegación Provincial de Medio Ambiente de Guadalajara la ayuda prestada para la realización del trabajo.

Referencias Bibliográficas

- ALÍA R., MARTÍN S., DE MIGUEL J., GALERA R., AGÚNDEZ D., GORDO J., SALVADOR L., CATALÁN G., GIL A., 1996. Regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton. Servicio de Material Genético. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. ISBN: 84-8014-156-5.
- ALLUÉ ANDRADE, J.L., 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. INIA. Ministerio de Agricultura, Madrid. 221 pp. + 8 planos.

- ALONSO E., ASÍN J., PASCUAL J., 2005. Biomasa residual forestal: Regresiones para las especies del género *Pinus* existentes en la provincia de Teruel. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 de septiembre de 2005. Mesa temática 5.
- BARRIO-ANTA M., BALBOA-MURIAS M.A., CASTEDO-DORADO F., DIEGUEZ-ARANDA U., ÁLVAREZ GONZÁLEZ J.G., 2006. An ecoregional model for estimating volume, biomass and carbon pools in maritime pine stands in Galicia. *Forest Ecology and Management* 223 (1/3), 24-34.
- BASKERVILLE G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forestry* 2, 49-53.
- BEAUCHAMP J.J., OLSON J.S., 1973. Corrections for bias in regression estimates after logarithmic transformation. *Ecology* 54(6), 1403-1407.
- CABAL A., KIDELMAN A., ORTEGA U., DUNABEITIA M., MAJADA J., 2005. Influencia de la poda química en la biomasa y desarrollo radical de *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus radiata* D. Don. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14 (1), 52-63.
- DÍAZ BALTEIRO L., ROMERO C., 2004. La captura del carbono y la gestión forestal. Monografía INIA: Serie Forestal. INIA, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid, 79 pp.
- GONZÁLEZ OCHOA A.I., DE LAS HERAS J., LÓPEZ F., 2001. Efectos del clareo, poda y desbroce en regenerado post-incendio de *Pinus halepensis* Mill. en estaciones de ombroclima semiárido y seco. Resultados preliminares. III Congreso Forestal Español, Granada, 25-28 de septiembre de 2001. Tomo III, pp. 647-653.
- HERRERO C., BRAVO F., ORDÓÑEZ C., 2005. Estimación de Carbono fijado en los páramos ácidos de Castilla y León. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 de septiembre de 2005. Mesa temática 5.
- JENKINS J.C., CHOJNACKY D.C., HEATH L.S., BIRDSEY R.A., 2003. Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for north American tree species. General Technical Report NE-319, USDA Forest Service, Northeastern Research Station, 48 pp.

- KOLLMANN F., 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo primero. IFIE, Madrid, 675 pp.
- LAPESA F., 2000. Clareo mecanizado en un regenerado natural de *Pinus halepensis* en el monte de utilidad pública n.º 1 «Rodanas» en Épila, Zaragoza. *Foresta* 10, 107-118.
- LITTON C.M., RYAN M.G., KINGHT D.H., 2004. Effects of tree density and stand age on carbon allocation patterns in postfire lodgepole pine. *Ecological applications* 14 (2), 460-475.
- MADRIGAL J., 2005. Regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. tras grandes incendios forestales: Factores influyentes. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 396 pp.
- MADRIGAL J., MARTÍNEZ E., HERNANDO C., GUIJARRO M., DÍEZ C., VEGA J.A., PÉREZ-GOROSTIAGA P., FONTURBEL M.T., CUIÑAS P., ALONSO M., BELOSO M.C., 2004. Respuesta a corto plazo del regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. a clareos mecanizados intensos. *Silva Lusitana* 12(1), 1-14.
- MONTERO G., MUÑOZ M., AGUDO R., 2005a. Cuantificación del CO₂ fijado por las principales especies forestales arbóreas en Andalucía. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 de septiembre de 2005. Mesa temática 1.
- MONTERO G., RUIZ PEINADO R., MUÑOZ M., 2005b. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal n.º 13, 270 pp.
- MONTERO G., MUÑOZ M., DONÉS J., ROJO A., 2004. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes «Pinar de Valsain» y «Matas de Valsain». *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 13(2), 399-415.
- OROZCO E., JORDÁN E., MARTÍNEZ SÁNCHEZ J.J., 2005. Análisis de la influencia de las podas y los clareos en pinares de *Pinus halepensis* Mill. sobre la cantidad de fructificación. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 de septiembre de 2005. Mesa temática 3.
- OSORIO L.F., BRAVO F., PANDO V., 2006. Carbon sequestration in mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) forest in central Spain under traditional management method. *Proceedings of the IUFRO Div. 4 2006 International Meeting: Managing forest ecosystems: the challenges of climate change*. 3-7 abril, Universidad de Valladolid, Palencia.
- RITSON P., SOCHACKI S., 2003. Measurement and prediction of biomass and carbon content of *Pinus pinaster* trees in farm forestry plantations, south-western Australia. *Forest Ecology and Management* 17, 103-117.
- RODRÍGUEZ R., ÁLVAREZ J.G., CELA M., MANSILLA P., VEGA P., GONZÁLEZ M., RUIZ P., VEGA G., CASTELLÓN P., ÁLVAREZ P.O., RIGUEIRO A., 1997. Manual de silvicultura de *Pinus pinaster*. Proxecto Columeila. Escola Politécnica de Lugo.
- SÁEZ J.J., OROZCO E., LÓPEZ J.A., MARTÍNEZ J.J., DEL POZO E., 2000. Diferencias epidémicas y fisiológicas en una masa de repoblación de *Pinus halepensis* Mill. al ser sometidos a tres tratamientos distintos de poda. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 10, 127-132.
- SÁNCHEZ PALOMARES O., SÁNCHEZ SERRANO F., 2000. Mapa de productividad potencial forestal de España. Cartografía digital. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente, Serie Cartográfica: Madrid, 317 pp.+ planos.
- SERRADA R., GARRACHÓN S., 2000. Distribución de biomasa en algunas repoblaciones de pino carrasco de la provincia de Guadalajara. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 10, 139-146.
- SPRUGEL D.G., 1983. Correcting for bias in long-transformed allometric equations. *Ecology* 64(1), 209-210.
- TAPIAS R., GIL L., 2000. Adaptación reproductiva de las especies forestales ante el fuego. En: *La Defensa contra los incendios forestales: Fundamentos y experiencia*. Vélez (ed.). McGraw Hill, Madrid, pp. 4.36-4.66.
- TAPIAS R., PARDOS J.A., 1998. Los pinares (*Pinus pinaster* Ait.) de las estribaciones de Sierra de Teleno (León). La influencia del incendio en su ordenación. *Montes* 52, 115-120.
- TAPIAS R., BERTOMEU M., GIL L., PARDOS J.A., 1997a. El papel evolutivo del fuego como factor de selección natural en masas de pinos mediterráneos. Estudio de los conos seróticos y la floración precoz. II Congreso Forestal Español. Pamplona, 23-27 de junio de 1997. Tomo V 455-459.
- TAPIAS R., GIL L., PARDOS J.A., 1997b. Influencia de tratamientos selvícolas y la calidad de la estación en la floración a edades tempranas de regenerados de incendio de *Pinus pinaster* Ait. de la Sierra del Teleno (León). II Congreso Forestal Español. Pamplona, 23-27 de junio de 1997. Tomo V 461-466.
- VALERO E., PICOS J., 2004. Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir con el Protocolo de Kyoto. *Montes* 77, 44-77.
- VEGA J.A., HERNANDO C., MADRIGAL J., PÉREZ-GOROSTIAGA P., FONTURBEL M.T., CUIÑAS P., GUIJARRO M., MARTÍNEZ E., DÍAZ C., 2005. Tratamientos selvícolas de apoyo a la regeneración de *Pinus pinaster* tras incendios: respuesta a corto plazo del regenerado. Seminario de restauración de áreas afectadas por grandes incendios. El caso particular del Teleno. Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente, 234-246.
- VEGA J.A., PÉREZ-GOROSTIAGA P., FONTURBEL M.T., CUIÑAS P., ALONSO M., BELOSO M.C., HERNANDO C., GUIJARRO M., MARTÍNEZ E., MADRIGAL J., 2002. Post-fire regeneration in *Pinus pinaster* Ait. forest: effects of very early heavy thinning of seedlings and brush clearing. En: *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*. Viegas (ed.). Millpress, Rotterdam, 9 pp.
- VERKAIK I., ESPELTA J.M., 2005. Efecto del aclareo sobre las características reproductivas de *Pinus halepensis* Mill. en masas con diferente edad de regeneración post-incendio. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 25-28 de septiembre de 2005. Mesa temática 6.