



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-138

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

Cuantificación de C en masas de eucalipto del norte de España

HERRERO, C.¹, ORDOÑEZ, C.¹, RUANO, I.¹, JUEZ, L.⁵, TEJEDOR, C.⁵, TURRIÓN, B.^{1,2}, PANDO, V.^{1,3}, BRAVO, F.^{1,4}.

¹Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible Universidad de Valladolid-INIA. Avda. Madrid 44, 34071, Palencia, España.

²Área de Edafología y Química Agrícola. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. Madrid 44, 34071, Palencia.

³Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Palencia. Universidad de Valladolid, Avda. Madrid 44, 34071, Palencia, España.

⁴Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. Madrid 44, 34071, Palencia.

⁵Green Source, S.A. Torrelavega, Cantabria. Grupo Sniace.

Resumen

En el presente trabajo se ha cuantificado el contenido de carbono (C) en la biomasa arbórea, hojarasca y suelo en eucaliptales del norte de España, para valorar su potencial como sumideros de C. Para ello se han recogido datos de la biomasa de la copa, fuste y raíz de los árboles, de la hojarasca inalterada y humificada y del suelo mineral en 12 parcelas caracterizadas por la forma fundamental (monte alto y monte bajo) y la edad.

Encontramos diferencias significativas en el C acumulado en la biomasa arbórea en función de la forma fundamental de masa analizada. Así, para una misma edad de plantación (9 años), en monte alto encontramos un valor significativamente menor (46,8 Mg C/ha) que en monte bajo (83,9 Mg C/ha). Sin embargo, no encontramos diferencias significativas en el C acumulado en la hojarasca, ni en el suelo ni en el total del ecosistema. Los resultados, además, muestran la importancia del suelo y del componente radical en este tipo de masas debido al método de aprovechamiento de recepes continuados. Este trabajo nos permite valorar la importancia de los eucaliptales en la captura de CO₂ para la mitigación del cambio climático.

Palabras clave

Eucalyptus globulus, biomasa, suelo, raíz, hojarasca

1. Introducción

En la naturaleza, el carbono (C) participa en el ciclo biogeoquímico del C donde, de forma cíclica, se producen una serie de reacciones químicas e intercambios entre la atmósfera, el suelo y los seres vivos. Del total de C fijado en ecosistemas terrestres, el 46% se encuentra en bosques. Mediante la fotosíntesis, las plantas absorben el dióxido de carbono (CO₂) existente en el aire. Una fracción de este carbono, compensa la respiración de la planta, mientras que el resto, constituye la fracción de la producción asignada al crecimiento, que es acumulado en los tejidos vegetales en forma de grasas, proteínas e hidratos de carbono (GRACIA et al., 2004). El ciclo biogeoquímico se completa en el ecosistema a lo largo del ciclo vegetativo ya que se produce un incremento de carbono en la biomasa forestal por crecimiento y una transferencia del mismo al suelo por el desfronde de la hojarasca y la creación de madera muerta. La fracción de hojarasca y madera muerta que no es parcialmente oxidada por acción microbiana y revertida a la atmósfera, es progresivamente acumulada en la materia orgánica del suelo a través de la humificación y la mineralización.

La presencia de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) en la Península Ibérica se debe a la importancia como materia prima para la industria de celulosa y papel, debido a la excelente calidad de su madera como material fibroso. La extensión de plantaciones de eucalipto supera el medio millón de hectáreas en España, lo que supone un 3% de la superficie forestal arbolada, produciendo más de 5 millones de m³ de madera.

Existe mucha información sobre eucaliptales debido a la amplia extensión de este tipo de plantaciones a nivel mundial (BINKLEY & RYAN, 1998; STAPE et al., 2006, 2008). Distintos autores han realizado estimaciones de C almacenado en distintos componentes del ecosistema (KEITH et al., 1997; GIARDINA & RYAN, 2002). En la Península Ibérica, existen varios trabajos provenientes de las plantaciones de España y Portugal (PEREIRA DE ALMEIDA & RIEKERK, 1990; DAVID et al., 1994; ZANCADA et al., 2003; PÉREZ-CRUZADO et al. 2011). Si bien, las diferencias que podemos encontrar en función de la forma fundamental de masa, ligado profundamente a la gestión forestal que se aplica, o de la evolución del contenido total de C con la edad, no están suficientemente estudiadas.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es cuantificar el contenido de C en los distintos componentes del ecosistema forestal (biomasa arbórea, hojarasca y suelo) en función de la forma fundamental de masa y de la edad. Los resultados obtenidos definirán los componentes de mayor potencialidad, nos servirán como indicadores para evaluar la sostenibilidad de los eucaliptales y analizarán su importancia como sumideros de Carbono.

3. Metodología

1. Área de estudio

El área de estudio se centra en 12 plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Cantabria, distribuidas a lo largo de la región más septentrional de esta comunidad. Las 12 parcelas están caracterizadas por la forma fundamental, monte alto y monte bajo, y la edad del brote.

En parcelas cuadrangulares de 30*30 m (900 m²) se han llevado a cabo mediciones en el estrato arbóreo, donde se recogieron datos dendrométricos, y muestras de hojarasca superficial. Alrededor de la parcela, en una zona tampón de 5 m de anchura, se ha procedido a apeaar árboles para obtener datos de biomasa y a la apertura de una calicata para el estudio del suelo.

2. Toma de datos y procedimientos analíticos

a) Biomasa arbórea

En todos los pies de la parcela se midió el diámetro a 1,3 m de altura, en cm, así como la altura total, en m y la altura de la base de la copa, en m. El diámetro se midió con forcípula y las alturas con hipsómetro Vertex. Una vez obtenida la distribución diamétrica de la parcela, se seleccionaron 4 pies, representando a cada uno de los cuartiles de dicha distribución y se procedió al apeo de los mismos con motosierra en la zona tampón. Se apearon un total de 49 árboles alrededor de la parcela, debido a que en una de las parcelas se apeó un árbol a mayores. Una vez apeados, se separaron las siguientes fracciones de la copa: hojas, ramas de menos de 2 cm, ramas de 2-7 cm, ramas de más de 7 cm. Las distintas fracciones se pesaron en verde y se separó una muestra para poder obtener el peso en seco y la biomasa seca, siguiendo la metodología descrita por MONTERO et al (2005). Por último, se extrajo la parte

radical para obtener su peso en verde y en seco. Las concentraciones de C y N de hojas, ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm y raíz fueron analizadas mediante el analizador de C/N (CHN-2000 LECO). Este sistema automatizado de análisis realiza la combustión de las muestras a una temperatura de 900 °C, separando el dióxido de carbono, de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y del agua (H₂O) producidos. Por medio de infrarrojos se obtiene la concentración de CO₂ y por reducción la del NO_x. La concentración de N₂ se determina por termoconductividad. Para las ramas de diámetro inferior a 2 cm de diámetro se utilizó el valor de C y N obtenido en las hojas. En el fuste y ramas superiores a 7 cm se utilizó el valor estándar 500 g/kg asumido científicamente (KOLLMANN, 1959).

b) Hojarasca

En cada parcela, se recogieron muestras de las distintas fracciones de hojarasca superficial en 8 puntos, mediante un cuadrante de 30*30 cm, distinguiendo entre la fracción inalterada y humificada. Como fracción inalterada se consideró aquella fracción de hojarasca que está sin descomponer, en donde se puede distinguir perfectamente el contorno de la hoja. Como fracción humificada se consideró toda la hojarasca que ha comenzado el proceso de descomposición. Una vez se llevaron al laboratorio se secaron para conocer la biomasa seca de cada uno de los puntos. Las 8 muestras de cada fracción de hojarasca (inalterada y humificada) se unieron en una sola muestra por fracción para determinar la concentración total de C, N, mediante el analizador de C/N (CHN-2000 LECO).

c) Suelo

En la zona tampón de cada una de las parcelas se procedió a la apertura de una calicata hasta roca madre. Se estableció un límite de 2 m de profundidad en el caso de no poder acceder a la roca madre. Con los distintos horizontes de las calicatas se caracterizó el suelo y los principales parámetros edáficos. El C se calculó a través del valor de la Materia fácilmente oxidable (Mfox), obtenida por volumetría redox (Método de Walkley-Black) y el N a través del valor método Kjeldhal. La relación C/N fue determinada por las concentraciones de C y de N. Por otro lado, se extrajo una muestra inalterada del suelo para determinar la densidad aparente de cada horizonte.

3. Análisis de los datos

El C total acumulado en el eucaliptal (Mg C/ha) se calculó como suma del C acumulado en la biomasa arbórea, en la hojarasca y en el suelo de cada parcela. El C acumulado en la biomasa arbórea (Mg C/ha) se calculó como suma del C acumulado en los distintos compartimentos [copa (hojas, ramas de menos de 2 cm, ramas de 2-7 cm, ramas de más de 7 cm), fuste y raíz]. En cada compartimento se utilizaron los datos de biomasa seca y concentración de C específicos calculados para cada uno de ellos. En el caso del fuste, la biomasa seca se obtuvo multiplicando el volumen del árbol por la densidad básica de la madera (TEJEDOR, 2004). El C acumulado en la hojarasca (Mg C/ha) se calculó sumando el C acumulado en la hojarasca inalterada y en la humificada de cada parcela. Para ello, la materia seca de cada fracción de hojarasca se multiplicó por la concentración de C en la hojarasca inalterada y humificada. Por último, el contenido de carbono acumulado en el suelo (Mg C/ha) se calculó sumando el C acumulado en los distintos horizontes de la calicata. El C acumulado en cada horizonte se calculó con los datos de la densidad aparente, espesor, contenido de tierra fina y concentración de C correspondiente.

4. Análisis estadístico

El C acumulado en la biomasa arbórea, en la hojarasca, en el suelo y el C total acumulado en el eucaliptal de cada parcela fue analizado mediante un análisis de la varianza, para averiguar si existían diferencias en cada una de estas variables en función de la forma fundamental y de la edad. Para ello, se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS 9.1 (SAS INSTITUTE INC, 2012). El modelo ajustado se muestra en la Eq. 1.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad [\text{Eq. 1}]$$

donde:

Y_{ij} : Contenido de C del componente Z (donde Z: biomasa arbórea, hojarasca, suelo y total acumulado) en la parcela j de la forma fundamental i .

μ : Es el efecto de la media general.

α_i : Efecto de la forma fundamental de masa i : 1 (monte alto), 2 (monte bajo).

X_{ij} : Edad de la parcela j de la forma fundamental i .

β : Efecto lineal de la edad (tasa de cambio en el contenido de carbono por año).

ε_{ij} : Error aleatorio para la parcela j de la forma fundamental i . $\varepsilon_{ij} \rightarrow N(0, \sigma^2)$.

4. Resultados

El C total acumulado medio del eucaliptal es 298,5 Mg C/ha ($\pm 84,6$), (entre paréntesis el valor de la desviación típica), resultado del C acumulado en la biomasa arbórea [63,9 Mg C/ha ($\pm 48,4$); que representa un 21,4%], en la hojarasca [3,4 ($\pm 2,2$); que representa un 1,1%] y en el suelo [231,2 ($\pm 103,7$), que representa un 77,5%].

a) Biomasa arbórea

El C acumulado en la biomasa arbórea varió entre 12,4 Mg C/ha, valor obtenido en la parcela más joven de monte alto y 188,7 Mg C/ha, valor obtenido en una de las parcelas más longevas de monte bajo. El valor medio de la biomasa arbórea en las parcelas de monte alto fue significativamente menor que en las parcelas de monte bajo, calculado para una plantación de 9 años de edad del brote (Tabla 1). Además, la variable edad también resultó significativa en la biomasa arbórea (Figura 1) y lógicamente encontramos mayor C almacenado en la biomasa arbórea a mayor edad de la masa.

Tabla 1. C en la biomasa arbórea, hojarasca, suelo y total en función de la forma fundamental de masa

Forma fundamental	C en la biomasa arbórea	C en la hojarasca	C en el suelo	C total en el eucaliptal
Monte alto	46,8a	4,0a	212,3a	263,1a
Monte bajo	83,9b	2,7a	250,8a	337,4a
p-valor del modelo	<0,0001	0,0761	0,5909	0,1330
Factor: <i>ff</i>	*	ns	ns	ns
Edad	**	*	ns	ns

Nota: Las medias están calculadas para una plantación de 9 años de edad del brote. Niveles de significación: ***: ($p < 0,01$); **: ($p < 0,05$); *: ($p < 0,1$); ns: no significativo. Letras diferentes indican diferencias significativas en función de la forma fundamental de masa.

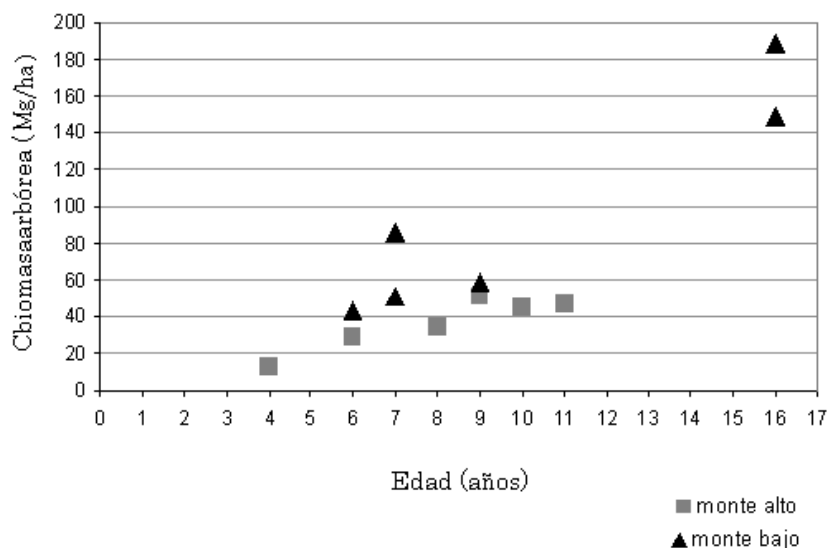


Figura 1. C acumulado en la biomasa arbórea.

La proporción media de cada uno de los compartimentos, hojas, ramas de menos de 2 cm, ramas de más de 7 cm, fuste y raíz, sobre el total de biomasa arbórea fue de 4,8%, 5,9%, 3,4%, 0,0%, 61,4%, 24,6% respectivamente. Si bien, este porcentaje varió en las distintas parcelas tal como muestra la Figura 2. Se puede ver cómo en las parcelas de monte alto existe un mayor peso específico de las hojas que en las parcelas de monte bajo, aunque las mayores diferencias se encuentran en la proporción del fuste y de la raíz. Mientras la proporción media de fuste respecto del total en monte alto es de 71,1%, en monte bajo es de 48,4%. En el caso de la raíz, en monte alto encontramos que la proporción media es de 14,0% y en monte bajo de 40,1%. En este sentido, se puede ver cómo, a igual edad del brote (i.e. 9 años) la proporción de biomasa radicular es mayor en monte bajo que en monte alto, destacando la importancia de este componente en las masas de recepes continuados (figura 3).

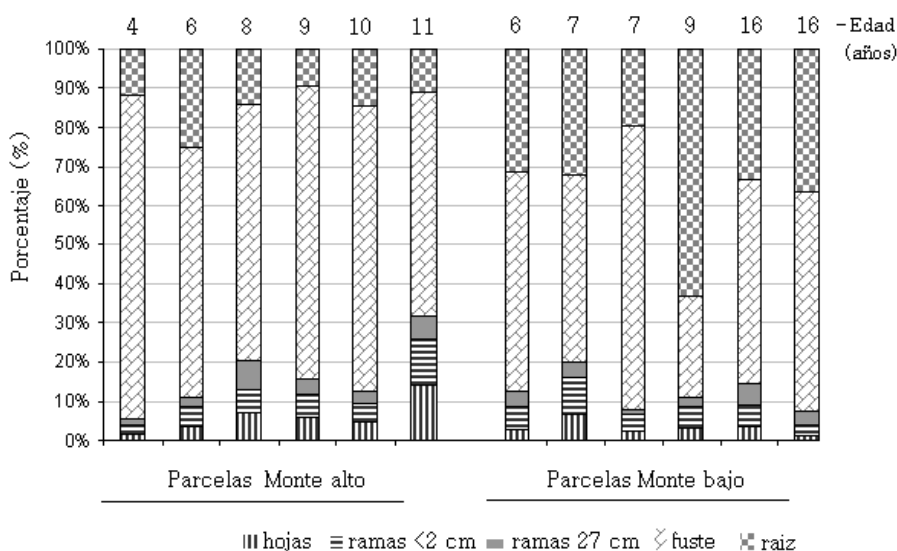


Figura 2. Porcentaje de cada uno de los compartimentos de la biomasa arbórea sobre el total en las parcelas de estudio. Nota: En la parte superior de la gráfica se muestra la edad (años) de cada una de las parcelas.

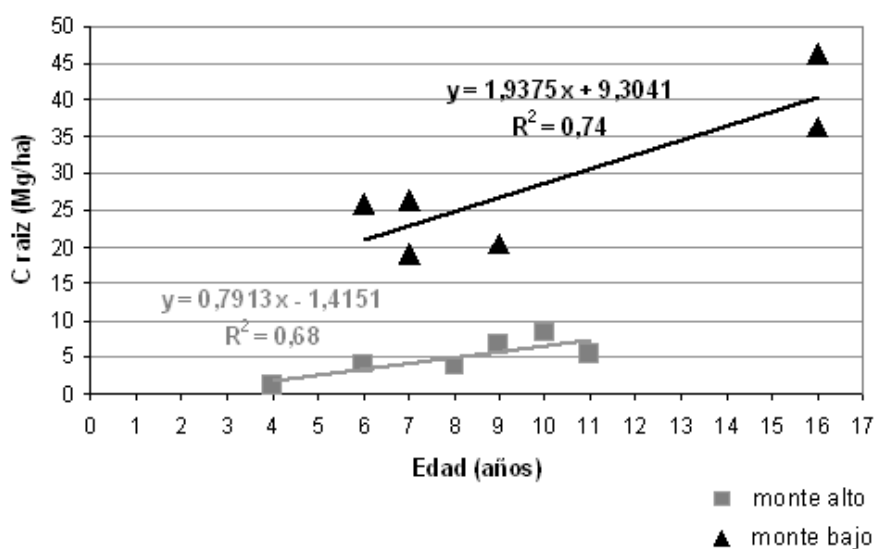


Figura 3. C en el sistema radical en función de la edad. Tengo que hacer esta fiura porque

Por su parte, la concentración de C obtenida en los distintos compartimentos se muestra en la Tabla 2. El valor más bajo lo encontramos en la raíz, muy parecido al valor obtenido en las ramas de 2 a 7 cm. Los valores más altos fueron encontrados en las hojas y ramas <2 cm.

Tabla 2. Concentración de C en los distintos compartimentos de la biomasa arbórea

	Compartimentos de la biomasa arbórea				
	Hojas y Ramas<2	Ramas27	Ramas>7	Fuste	Raíz
Concentración de C Media (g/kg)	501	447	500*	500*	440,6
Desviación típica (g/kg)	11	6	-	-	9

*Kollmann (1959)

b) Hojarasca

Encontramos mayor cantidad de C en la hojarasca en el monte alto que en monte bajo, aunque sin diferencias significativas (Tabla 1). El C acumulado en la hojarasca medio, 3,4 Mg C/ha, fue resultado de la suma del contenido de C medio en la hojarasca inalterada 0,9 Mg C/ha (rango: 0,2 – 2,1 Mg C/ha) y en la hojarasca humificada 2,5 Mg C/ha (rango: 0,01 - 5,8 Mg C/ha). Existe un contenido medio de C significativamente mayor en la hojarasca humificada que en la inalterada debido a que la cantidad media de hojarasca humificada fue superior [5,7 Mg de materia seca (ms)/ha] que la encontrada en la hojarasca inalterada (1,8 Mg ms/ha).

Por su parte, la concentración de C en la hojarasca inalterada varió entre 489 y 529 g de C/kg teniendo un valor promedio de 512 g de C/kg. En el caso de la hojarasca humificada, el rango de valores estuvo comprendido entre 183 g de C/kg y 507 g de C/kg teniendo un valor medio de 409 g de C/kg. Además se comprueba que mientras en las masas de monte alto los dos tipos de hojarasca están repartidos homogéneamente, en el monte bajo, casi toda la

hojarasca está humificada. Además, a un nivel de significatividad $<0,1$, encontramos que a mayor edad de la masa, existe mayor contenido de C almacenado en la hojarasca (Tabla 1).

c) Suelo

El contenido de C en el suelo varió entre los 142,4 Mg C/ha y los 353,4 Mg C/ha (Figura 3) y no resultó significativo en función de la forma fundamental de masa ni en función de la edad. Sin embargo, mientras en las parcelas de monte bajo el contenido de C se distribuye de una forma homogénea a lo largo de la edad, en las parcelas de monte alto, se puede intuir un descenso en el contenido de C al aumentar la edad de la plantación (Figura 3).

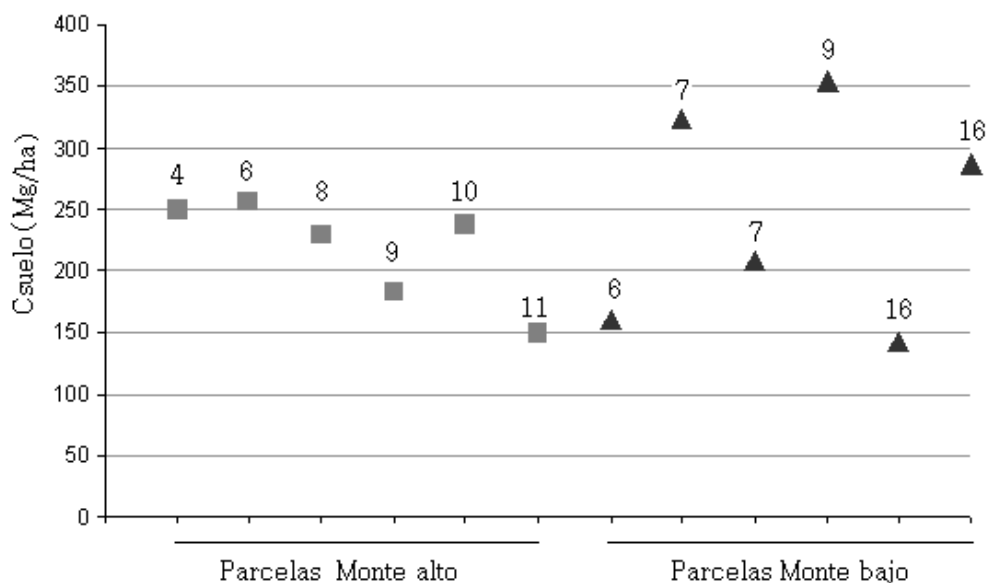


Figura 3. Contenido de C en el suelo en cada una de las parcelas estudiadas.

Nota: En la parte superior de cada punto de la gráfica se muestra la edad (años) de cada una de las parcelas.

En el contenido de C en el suelo, los factores que mayor variación presentaron fueron la concentración de C en cada horizonte, el espesor encontrado en cada uno y el valor de densidad aparente. Eso es lógico puesto que se trata de una secuencia de horizontes naturales de mayor a menor profundidad, con mayores y menores contenidos de materia orgánica. Sin embargo, el porcentaje de tierra fina fue el factor que menos variabilidad presentó, con un rango de valores desde 76,7% hasta 100%.

Si representamos (Figura 4) el porcentaje relativo de los distintos componentes (biomasa arbórea total, hojarasca y suelo) vemos que destacan tres parcelas de monte alto por un mayor peso relativo de la hojarasca, las de edad 6, 10 y 11 años. Podemos ver también que en las parcelas de monte bajo, la hojarasca presenta un porcentaje inferior (promedio 0,9%) que en las parcelas de monte alto (promedio 1,3%) denotando la menor importancia relativa de la hojarasca en este tipo de parcelas. Además, en las parcelas de monte bajo, la importancia relativa de la biomasa arbórea sobre el total es superior a la de las parcelas de monte alto.

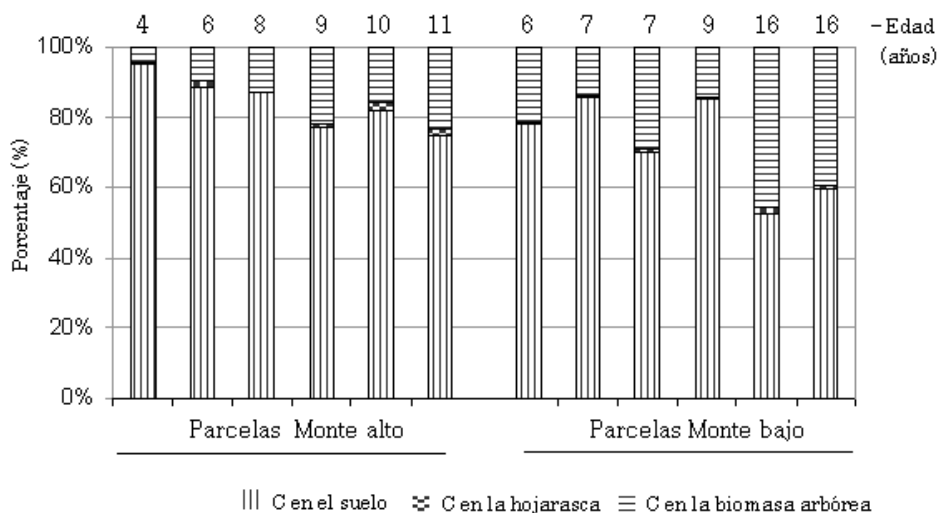


Figura 4. Porcentaje relativo de C en el suelo, en la hojarasca y en la biomasa arbórea en las distintas parcelas.
Nota: En la parte superior de la gráfica se muestra la edad (años) de cada una de las parcelas.

En todas las parcelas de monte alto y en algunas de las parcelas de monte bajo, destaca el valor que supone el suelo con respecto al C total acumulado en el eucaliptal. En estos casos es superior al 50% y en algunos casos, junto con la hojarasca, aportan más del 90% del C total acumulado, como en la parcela de 6 años de edad en monte alto. Por el contrario, en las parcelas de 16 años de monte bajo, este porcentaje está comprendido entre un 50 y un 60% del total.

d) C total

No se obtuvieron diferencias significativas en el C total acumulado en el eucaliptal, como suma del C acumulado en la biomasa arbórea, hojarasca y suelo, por lo que los valores obtenidos fueron similares en el monte alto [256,8 Mg C/ha] y en el monte bajo [340,1 Mg C/ha] (Tabla 1). Estos resultados fueron debidos al peso que el suelo supone en el total del C acumulado.

5. Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo ponen de manifiesto el potencial de los eucaliptales de Cantabria como sumideros de Carbono para la mitigación del Cambio Climático.

Los resultados obtenidos en el C acumulado en la biomasa arbórea están dentro del rango de otros estudios realizados en eucaliptales de la Península Ibérica. Así, BRAÑAS et al. (2000) encontró un valor medio de C acumulado en la biomasa aérea en plantaciones jóvenes (<9 años) de 35,5 Mg C/ha y en plantaciones adultas (entre 14 y 18 años), de 159,7 Mg C/ha. FABIÃO et al. (1995) [citado en SOARES & TOMÉ (2012)] en Portugal estimaron en masas de 6 años de edad una acumulación de 93,7 Mg C/ha. Por su parte, PÉREZ-CRUZADO et al., (2011) en *E. globulus* en Galicia estimó el C acumulado en la biomasa aérea en una cronosecuencia de edad y apuntó acumulaciones, superiores a las nuestras, de 77,3 Mg C/ha en masas de 10 años, 148,0 Mg C/ha en masas de 15 años y 218,6 Mg C/ha en masas de 20 años.

Los resultados de este trabajo destacan el valor de la biomasa radical asociada al monte bajo, que debido a la aplicación de tres recepes consecutivos realizados previamente, ha permitido ir aumentando la biomasa de la parte radical en los últimos ciclos. Estos resultados ponen de manifiesto que en estudios de cuantificación de C donde no se considera el sistema radical debido a los costes asociados, se cometen infraestimaciones de C almacenado. Esto es especialmente importante en masas forestales en régimen de monte bajo, donde puede ocurrir que la parte radicular sea más importante que la biomasa aérea que se encuentra por encima del suelo. En la lucha contra el cambio climático y en la puesta en valor de los ecosistemas como sumideros de C, este componente puede ser de vital importancia en cultivos forestales como el que aquí analizamos o también en ecosistemas frágiles, no productivos (RISIO et al., 2012) pero que sin embargo son una herramienta eficaz de secuestro de CO₂.

Los valores de acumulación de hojarasca oscilaron entre los 1,2 Mg ms/ha y los 16,6 Mg ms/ha, resultados acordes con los obtenidos en otros estudios (PÉREZ-CRUZADO et al., 2011). En este estudio este componente supone del 3-11% del total del C acumulado en el ecosistema, porcentaje muy pequeño. Valores superiores se han obtenido en otros estudios como el de NUNES et al. (2010) o MARTINS et al. (2009). La acumulación de hojarasca total (inalterada+humificada) obtenida en el eucaliptal presenta un valor promedio de 7,5 Mg ms/ha. Esta acumulación da lugar a una oscilación en el parámetro Hojarasca/Csuelo que va desde 0,3% hasta 3,6%. Los menores valores se hallaron en las parcelas de monte bajo, indicando menor cantidad de hojarasca respecto al suelo en esta forma fundamental de masa.

Por su parte, el suelo de los ecosistemas forestales es uno de los mayores depósitos de C del planeta. Algunos estudios han determinado el papel que juega este componente en el total del ecosistema. Así, PÉREZ-CRUZADO et al. (2011) determinaron que la contribución del suelo (hojarasca+suelo mineral) al contenido de C total en masas de eucalipto variaba entre el 8-18%, valores muy inferiores a los nuestros. La razón puede ser debida a que este estudio se efectuó en plantaciones establecidas sobre antiguos terrenos agrícolas, donde además, debido al clima y la textura del suelo, durante los primeros años se produjeron grandes pérdidas de C en el suelo. Otros estudios han obtenido porcentajes diferentes en función del tipo de formación arbórea y edáfica, e.g., porcentajes de 30% en plantaciones de *Pinus radiata* en el País Vasco (LATORRE, 2003), 70-74% en plantaciones de *Pinus pinaster* en Portugal (NUNES et al., 2010), 68% en robledales del Sistema Central (GALLARDO y GONZÁLEZ, 2004) ó 75% en pinares y robledales mejicanos (COVALEDA, 2008). En masas de eucalipto, KEITH et al. (1997) obtuvo porcentajes del 70%. En nuestro caso, el contenido total de carbono en el suelo no fue significativamente diferente en función de la edad de la masa ni en función de la forma fundamental de masa. Obtuvimos valores homogéneos independientemente del vuelo que existía. Otros trabajos, como el de PÉREZ-CRUZADO et al. (2011), al evaluar diferentes parámetros en masas de distintas edades, tampoco encontraron diferencias significativas en el C acumulado en profundidad.

A nivel Europeo, el ratio medio entre el suelo y la biomasa arbórea presenta un valor de 64/25 (RAVINDRANATH & OSTWALD, 2008). En nuestro caso, el valor medio de este ratio fue, para una parcela de 9 años de edad del brote, de 90/25, siendo muy superior en monte alto 115/25 y más similar en monte bajo 73/25.

Otros autores han encontrado resultados mayores en eucaliptales de otras regiones del mundo. Así, por ejemplo, KEITH et al. (1997) encontró un valor medio de 138 Mg C/ha acumulado en la biomasa arbórea en masas de *E. paniciflora* en Australia, 8,5 Mg C/ha en la

hojarasca y 369 Mg C/ha en el suelo. En este mismo artículo se citan rangos de los valores encontrados en otros eucaliptales maduros con máximos de 300 Mg C/ha para la biomasa arbórea y un rango para el suelo desde 45 hasta 650 Mg C/ha, aunque en este rango se incluyen otros ecosistemas arbóreos. Valores más altos han sido encontrados por BINKLEY & RYAN (1998) en *E. saligna* en Australia, con un valor de 323 Mg C/ha (20,2 Mg C/ha y año) y un contenido en la hojarasca de 10,3 Mg C/ha. Analizando valores en distintas edades, TURNER & LAMBER (2008) encontraron valores de C acumulado en la biomasa arbórea desde 18,3 Mg C/ha en masas de 2 años de *E. grandis* hasta 391,0 Mg C/ha en masas de 30 años.

Finalmente, los valores de la concentración de C aplicados en cada uno de los compartimentos y componentes difieren del 500 g/kg utilizado comúnmente a nivel científicamente. Otros autores, como NUNES et al. (2010), HERRERO et al. (2011) o CASTAÑO-SANTAMARIA & BRAVO (2012) también han encontrado coeficientes diferentes para pasar de biomasa seca a carbono por componentes, especies y tejidos anatómicos. Afinar este tipo de coeficientes permite calcular con mayor exactitud el contenido de C en un ecosistema, determinando de forma más correcta qué magnitud tienen las reservas de Carbono. Esto es importante para determinar en un rodal cuál es su potencial tecnológico (usos industriales) y ecológico (partes extraídas y dejadas en el ecosistema tras un aprovechamiento forestal, capacidad de retorno del C a la atmósfera...etc.), pero también el valor que la acumulación de C tiene a nivel nacional e internacional.

6. Conclusiones

Los eucaliptales del Norte de España son auténticos sumideros de Carbono, acumulando un promedio de 298,5 Mg C/ha. Este Carbono total, repartido en la biomasa arbórea (63,9 Mg C/ha), hojarasca (3,4 Mg C/ha) y suelo (231,2 Mg C/ha), no presentó diferencias significativas en función del tipo de masa [monte alto (256,8 Mg C/ha), monte bajo (340,1 Mg C/ha)]. Destacan las diferencias significativas encontradas en la biomasa arbórea, donde encontramos un acúmulo significativamente mayor en la biomasa arbórea del monte bajo que en la del monte alto. También destaca la evolución de la biomasa arbórea a lo largo del Turno. Los valores obtenidos en el componente radical muestran que el cultivo continuado de este tipo de masas juega un papel muy importante en la absorción de CO₂ atmosférico y en la mitigación del cambio climático.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto EUCAFUEL y CENIT BIOSOS (Subvencionado por el CDTI) financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad «Fondo de inversión local para el empleo-Gobierno de España». Los autores del trabajo quieren agradecer a Lucía Risio, Cristina Recio, Marco Otarola, Jorge Olivar y, de forma especial, a Jaime Gutiérrez Prellezo, por la ayuda aportada en la recogida de datos en campo.

8. Bibliografía

BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; 1998. Net primary production and nutrient cycling in replicated stands of *Eucalyptus saligna* and *Albizia facaltaria*. *Forest Ecol. Manage.*, 112, 79-85.

BRAÑAS, J.; GONZÁLEZ-RÍO, F.; MERINO, A.; 2000. Contenido y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la Península Ibérica. *Invest. Agrar. Sist. Rec. For.* 9: 318-335.

CASTAÑO-SANTAMARÍA, J.; BRAVO, F.; 2012. Variation in carbon concentration and basic density along stems of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) in the cantabrian Range (NW Spain). *Ann. Forest Sci.*, 69 (6): 633- 672.

COVALEDA, S.; 2008. Influencia de los distintos impactos antrópicos en la dinámica del C y la fertilidad de suelos volcánicos mexicanos, implicaciones sobre el secuestro de C. Tesis doctoral. E.T.S.I.I.A.A. Universidad de Valladolid. (Inédito). 367 pp. Palencia.

DAVID, J.S.; HENRIQUES, M.O.; DAVID, T.S.; TOMÉ, J.; LEDGER, D.C.; 1994. Clearcutting effects on streamflow in coppiced *Eucalyptus globulus* stands in Portugal. *Journal of Hydrology*, 162: 143-154.

FABIÃO A.; MADEIRA M.; STEEN E.; KÄTTERER T.; ARAÚJO C.; 1995. Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and Soil* 168-169: 215-223.

GALLARDO, J.F.; GONZÁLEZ, M.I.; 2004. Sequestration of C in a Spanish chestnut coppice. *Invest Agrar: Sis Recur For.* Fuera de serie: 108-113.

GIARDINA, C.P.; RYAN, M.G.; 2002. Total Belowground Carbon Allocation in a Fast-growing *Eucalyptus* Plantation Estimated Using a Carbon Balance Approach. *Ecosystems*, 5: 487-499.

GRACIA, C.A.; PLA, E.; SÁNCHEZ, A.; SABATÉ, S.; 2004. GOTILWA+: Un modelo de crecimiento forestal basado en procesos ecofisiológicos. Actas de la I Reunión de modelización forestal. Palencia.

HERRERO, C.; TURRIÓN, M.B.; PANDO, V.; BRAVO, F.; 2011. Carbon in heartwood, sapwood and bark along the stem profile in three Mediterranean *Pinus* species. *Ann. Forest Sci.* 68 (6): 1067-1076.

KEITH, H.; RAISON, R.J.; JACOBSEN, K.L.; 1997. Allocation of carbon in a mature eucalypt forest and some effects of soil phosphorus availability. *Plant and Soil*, 196: 81-99.

KOLLMANN, F.; 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo primero. IFIE. 375 pp. Madrid.

LATORRE, I. 2003. Caracterización de los diferentes reservorios de carbono orgánico (biomasa aérea y radicular, mantillo y suelo) de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de la Comunidad autónoma del País Vasco. TFC. ETSIIAA. Universidad de Valladolid. (Inédito). 147 pp. Palencia.

MARTINS, A.; RAIMUNDO, F.; DUARTE, J.; FARROPAS L., MANO, R.; SOUSA, V.; LOURENÇO, M.; ARANHA, J.; MADEIRA, M.; 2009. O carbono nos solos florestais de

Portugal continental e relações com factores ambientais. En: Proceedings of 6° National Forest Congress. pp. 91-99. Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. Ponta Delgada, Azores.

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie forestal nº 13. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 270 pp. Madrid.

NUNES, L.; PATRICIO, M.; TOMÉ J.; TOMÉ, M.; 2010. Carbon and nutrient stocks in even-aged maritime pine stands from Portugal. *Forest systems* 19 (3): 434-448.

PEREIRA DE ALMEIDA, A.; RIEKERK, H.; 1990. Water balance of *Eucalyptus globulus* and *Quercus suber* forest stands in south Portugal. *Forest Ecol. Manage.*, 38: 55-64.

PÉREZ-CUADRADO, C.; MANSILLA, P.; RODRÍGUEZ, R.; MERINO, A.; 2011. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. *Plant Soil*, 353 (1-2): 333-353.

RAVINDRANATH, N.H.; OSTWALD, M.; 2008. Carbon inventory methods handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects. Advances in Global Change Research Series, Vol. 29. Martin Beniston Ed, Springer. 304 pp. Netherlands.

RISIO, L.; HERRERO, C.; BOGINO, S.M.; BRAVO, F. 2012. Above and below-ground biomass allocation in native woodlands of *Prosopis Caldenia* in the Argentinean semiarid pampas. In press.

SAS INSTITUTE INC.; 2012. SAS/Statm User's Guide, Release 9.1, Cary, N.C, USA.

SOARES, P.; TOME, M. 2012. Biomass expansion factors for *Eucalyptus globulus* stands in Portugal. *Forest Systems* 21(1): 141-152.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; JACOB, W.S.; TAKAHASHI, E.N.; 2006. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in *Eucalyptus* plantations at landscape scales in Brazil. *Forest Ecol. Manage.*, 223: 358–362.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; 2008. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. *Forest Ecol. Manage.*, 255: 920–930.

TEJEDOR, C. 2004. Basic density selection for *Eucalyptus globulus* spp. in northern Spain. Within-tree and between-tree variation. IUFRO conferences. Aveiro.

TURNER, J.; LAMBERT, M.J.; 2008. Nutrient cycling in age sequences of two *Eucalyptus* plantation species. *Forest Ecol. Manage.* 255: 1701–1712.

ZANCADA, M.C.; ALMENDROS, G.; JIMÉNEZ BALLESTA, R.; 2003. Humus quality after eucalypt reforestations in Asturias (Northern Spain). *The Science of the Total Environment*, 313: 245–258.