

## SECUESTRO DE C EN PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS SPP* ESTABLECIDAS EN TERRENOS AGRÍCOLAS EN EL NORTE DE ESPAÑA

Solla-Gullón, F\* ; Mansilla-Salineró, P; Pérez-Cruzado, C.; Álvarez-Álvarez, P.; Rodríguez-Soalleiro, R.; Merino, A

Unidad de Gestión Forestal, Escola Politécnica Superior, Campus Universitario s/n 27002 Lugo. España

\*Autores para la correspondencia: [amerino@lugo.usc.es](mailto:amerino@lugo.usc.es)

Boletín del CIDEU 4: 49-57 (2007)

ISSN 1885-5237

### Resumen

Una de las estrategias que se ha planteado para fijar gases con efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) es el aumento de la superficie forestal. España es uno de los países que más han contribuido a incrementar la superficie forestal en Europa, lo que se debe en buena parte al establecimiento de parcelas en tierras agrarias en situación de marginalidad. Durante el período de 11 años, transcurridos entre el segundo y el tercer inventarios forestales (1987 y 1998), el almacenamiento de C en biomasa arbórea en el norte de España ha aumentado en un 50 %. En este trabajo se realiza una primera estimación de las ganancias de C en biomasa y suelo en plantaciones de eucalipto establecidas en terrenos agrícolas.

Para ello se seleccionaron un total de 25 pares de parcelas. Se trata de parcelas agrarias en las cuales parte de la superficie se transformó a plantación de *Eucalyptus sp.* En estas parcelas se determinó la acumulación de C en biomasa arbórea, mantillo y suelo en tres profundidades 0-5, 5-15 y 15-30 cm.

Dado las mejores condiciones de fertilidad y mayor profundidad, que promueven el crecimiento arbóreo, la tasa de acumulación de C en biomasa es considerablemente superior a las plantaciones establecidas en suelos forestales. Los datos de este trabajo muestran acumulaciones superiores a  $17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . La acumulación de C en el mantillo también es superior a  $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En cuanto al suelo mineral, las pérdidas de C se reducen con los años desde el cambio de uso, fundamentalmente a partir de los 15 años del establecimiento y en plantaciones sobre esquistos y pizarras. Hasta ese momento se produjeron ligeras pérdidas.

**Palabras clave:** cambio de uso, eucalipto, secuestro de carbono, terrenos agrícolas abandonados

### Summary

#### Carbon sequestration in *Eucalyptus spp.* plantations established on agricultural land in northern Spain

One of the strategies proposed for fixing gases that contribute to the greenhouse effect ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$ ) is to increase the extension of land covered by forest. Spain is one of the countries that has contributed most to the increase in the forest area in Europe, largely due to the establishment of forest plots on marginal agricultural land. During the 11-year period between the second and third forest inventories (1987 and 1998), there has been a 50% increase in the storage of C in tree biomass in northern Spain. In the present study, a first estimate was made of the increase in C in biomass and soil in eucalyptus plantations established on agricultural land.

A total of 25 pairs of plots were selected for the study. The plots are on agricultural land, part of which has been transformed by plantation of *Eucalyptus sp.* The amount of C accumulated in the tree biomass, humus and three different depths of soil (0-5, 5-15 and 15-30 cm) was determined.

Given the more fertile conditions and the greater depth of the soil, which favour tree growth, the rate of accumulation of C in the biomass was considerably higher than in plantations established on forest soils. The data obtained in the present study revealed accumulations of C of more than  $17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . Accumulation of C in the humus was also higher than  $1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ . The losses of C in the mineral soil decreased since the change in land use, generally from 15 years after establishment onwards, and in plantations on schists and slates. Slight losses of C were observed up until this time.

**Keywords:** land use change, eucalypts, carbon sequestration, abandoned agricultural land

## INTRODUCCION

El importante papel de los bosques y de su gestión en el control de la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se pone de manifiesto en varios artículos del Protocolo de Kyoto. El secuestro de carbono por plantaciones forestales esta siendo propuesto como una medida positiva en el balance de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono (Kirschbaum, 1998; Schopfhauser, 1998).

Los efectos del cambio de uso en el secuestro total de carbono del ecosistema también son un tema de interés en las agendas internacionales sobre reducción de gases de efecto invernadero. El cambio de uso del suelo puede causar un cambio en la cobertura del terreno y, por lo tanto, un cambio en el almacenamiento de C (Bolin y Sukumar, 2000). En este caso el carbono tiende a acumularse en la biomasa siendo los cambios en el C del suelo no tan evidentes. Es preciso señalar que aunque la acumulación de C en suelos es mas gradual que en la biomasa vegetal, su tiempo de permanencia es mucho mayor debido a que este se incorpora en compuestos orgánicos de elevada estabilidad y resistentes a la degradación (Carballas *et al.*, 1980)

La acumulación de materia orgánica en las plantaciones forestales depende de las especies ya que algunas producen y acumulan más biomasa que otras (Merino *et al.*, 2005; Balboa *et al.*, 2006a; Balboa *et al.*, 2006b; Solla-Gullón *et al.*, 2006). Esas diferencias en la tasa de producción de materia orgánica influyen en el carbono orgánico del suelo (Lugo y Brown, 1993). Por otro lado, diferentes autores han mostrado que el cambio de uso del suelo de pastizal a plantaciones de coníferas (principalmente *Pinus radiata*) suponen una disminución del secuestro de C en el suelo (Guo y Gifford, 2002; Turner y Lambert, 2000). Las mayores acumulaciones de C en los suelos se encuentran en las

repoblaciones con especies caducifolias y con especies fijadoras de N (como especie principal o sotobosque) (Guo y Gifford, 2002).

En muchos países, los IFN proporcionan información directa sobre crecimientos, superficies forestales y muchas otras variables las cuales pueden ser utilizadas para calcular el secuestro de C en la biomasa arbórea. En cambio para el C almacenado en el suelo, los métodos para evaluar los cambios en su almacenamiento todavía están bajo discusión incluso en países con extensivos inventarios edáficos (Stahl *et al.*, 2004). De cualquier modo, en muchos ecosistemas los cambios en el almacenamiento de C en el suelo podrían ser medidos empleando un razonable tiempo e intensidad de muestreo (Conen *et al.*, 2003; Smith, 2004; Bellamy *et al.*, 2003),

En Galicia el programa de forestación de tierras agrarias comenzó en Noviembre de 1993 a través de los Reglamentos (CEE) nº 2080/1992, nº 1257/1999 y de las sucesivas órdenes de la Xunta de Galicia. Durante los años sucesivos fueron muchas las hectáreas de superficie de terrenos con un anterior uso agrícola las que se transformaron en plantaciones forestales de *Eucalyptus* spp y especies de *Pinus* (*Pinus pinaster* y *Pinus radiata*, principalmente). En concreto, desde 1993 hasta 2000 se han repoblado 62885 ha principalmente de estas tres especies forestales.

En la actualidad existe un creciente interés en conocer el almacenamiento de carbono en los diferentes ecosistemas. Desafortunadamente, en Galicia apenas existe información sobre los efectos del cambio de uso de terrenos agrícolas abandonados a plantaciones forestales desde el punto de vista de acumulación de carbono en suelo y biomasa. El objetivo de este trabajo es el de realizar una primera

evaluación de los efectos del cambio de uso (agrícola a forestal) en el secuestro total de carbono tanto en el suelo como en biomasa arbórea y mantillo.

## MATERIAL Y METODOS

### *Características de las parcelas*

Para estimar las ganancias o pérdidas de C en suelo y biomasa en plantaciones de eucalipto establecidas en antiguos terrenos agrícolas se seleccionaron 25 pares de parcelas (Figura 1). Estas parcelas se sitúan en áreas donde inicialmente toda la superficie se dedicaba a uso agrícola y que posteriormente una parte de ella fue reforestada con especies de eucalipto, principalmente, *Eucalyptus globulus*. Cada par de parcelas consta de una sub-parcela establecida sobre el uso forestal y otra del mismo tamaño sobre el terreno agrícola abandonado (Figura 1). Estas parcelas se

localizaron fundamentalmente en la zona centro de las provincias de Lugo y A Coruña y se asientan sobre granitos, esquistos y pizarras.

### *Estimación de la biomasa arbórea y mantillo*

En la sub-parcela forestal se midieron tanto el diámetro normal como la altura total de todos los pies. Con estos datos se calculó la cantidad de biomasa que se acumulaba en la vegetación arbórea, utilizando para ello las ecuaciones ajustadas para Galicia por Balboa (2005). El contenido de C se determinó a partir de los valores medios de la concentración dada por el mismo autor. En la Tabla siguiente se muestran las ecuaciones y concentraciones medias de C utilizadas.

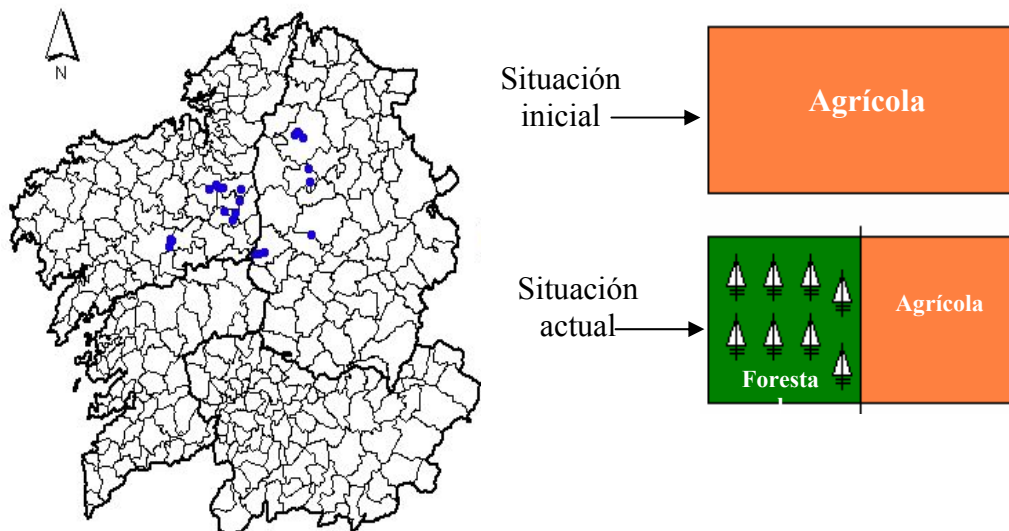


Figura 1. Localización de las parcelas de estudio y esquema de cambio de uso del suelo.

**Tabla 1. Ecuaciones de biomasa ajustadas y concentraciones de carbono (mg g<sup>-1</sup>) para los diferentes componentes de *Eucalyptus spp* (Balboa, 2005).**

Componentes	Ecuaciones de biomasa	R <sup>2</sup>	Concentración de C (mg g <sup>-1</sup> )
Madera	$W = -8.9995 + 0.036 \cdot d^2 \cdot h$	$R^2 = 0,972$	0.452
Corteza	$W = -1.7087 + 0.0059 \cdot d^2 \cdot h$	$R^2 = 0,851$	0.425
Ramas gruesas	$W = 44.2207 - 5.0722 \cdot d + 0.1981 \cdot d^2$	$R^2 = 0,704$	0.455
Ramas finas	$W = 0.0008 \cdot d^{2.8305}$	$R^2 = 0,782$	0.451
Ramillos	$W = 0.003 \cdot d^{2.8908}$	$R^2 = 0,786$	0.464
Hojas	$W = 0.0009 \cdot d^{2.8783}$	$R^2 = 0,674$	0.520

En esta misma parcela forestal, se cuantificó el carbono contenido en el mantillo. Para ello en cada parcela se recogió el mantillo equivalente a una superficie de 900 cm<sup>2</sup> usando como material una cubeta cuadrada de dimensiones 30 x 30 cm, realizando cuatro réplicas. Se estimó la superficie ocupada por el mantillo como referencia del total de la superficie de la parcela. Las muestras de mantillo fueron secadas a 65°C hasta peso constante y pesadas en el laboratorio. Para el cálculo de su contenido en carbono se consideró una concentración promedio del 46,94% de su peso seco (Balboa, 2005)

#### *Estimación de C en los suelos*

Las muestras de suelo fueron recogidas en ambas subparcelas agrícola/forestal de cada localización en 5 puntos y a tres profundidades 0-5 cm, 5-15 cm y 15-30 cm. Las muestras de suelo se secaron a 40 °C y, tras su tamizado por 2 mm, se determinó la pedregosidad del suelo. La densidad aparente del suelo en ambas subparcelas se determinó a partir de cilindros metálicos de 100 cm<sup>3</sup>, respetando la estructura original del suelo y fue calculada a partir de los valores de masa secada a 105°C y del

volumen correspondiente a la muestra inalterada.

Las concentraciones de C totales en suelos y material vegetal se determinaron por combustión en un autoanalizador CNS-2000 (LECO, St Joseph, Michigan, EE.UU).

Para el cálculo del contenido de C en el suelo se tuvo en cuenta la concentración de carbono (Cc) expresada en %, la densidad aparente en g cm<sup>-3</sup> (DA) y la pedregosidad (P) en tanto por uno

$$C_t = CC(\%) \times DA \times D \times (1 - P) \times 10000$$

Los análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando los procedimientos GLM y CORR del paquete estadístico SAS System v.8.02 (SAS INSTITUTE, 1999).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

La acumulación media anual de C en biomasa aérea estimada en plantaciones de eucalipto sobre terrenos agrícolas abandonados fue de 17 Mg ha año<sup>-1</sup> (Figura 2), superior a los valores observados por otros autores con diferentes especies del género *Eucalyptus* llevados a cabo en Australia, Portugal y España donde se

registraron valores de acumulación de biomasa arbórea anual que oscilaron entre los 6,5 (Birk y Turner, 1992; Cortez y Madeira, 1998; Balboa, 2005; Alvarez-González et al., 2005) y los 8,5 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Spangenberg *et al.*, 1996; Brañas et al., 2000). La tasa de acumulación de C en biomasa fue considerablemente superior a las plantaciones establecidas en suelos forestales posiblemente debido a las mejores condiciones de fertilidad y mayor

profundidad del suelo, que promueven el crecimiento arbóreo.

De una manera similar al anterior, el C contenido en el mantillo aumenta con la edad aunque tiende a estabilizarse a partir de los 10 años en valores medios entre 18 y 36 Mg ha<sup>-1</sup> de C (Figura 3). Estos valores son similares a los observados por Balboa (2005) en suelos forestales (33,2 Mg ha<sup>-1</sup>).

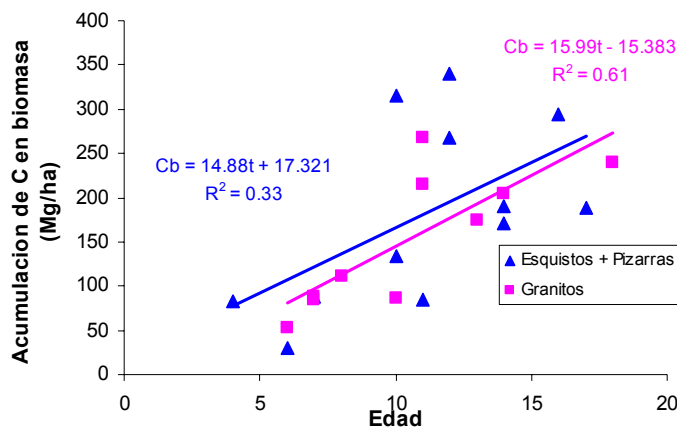


Figura 2. Secuestro de C en biomasa arbórea en plantaciones de eucalipto sobre terrenos agrícolas abandonados en función de la edad del arbolado y del material geológico de partida.

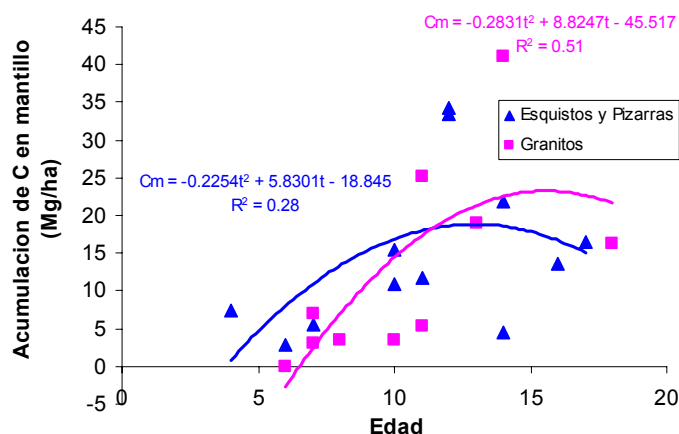
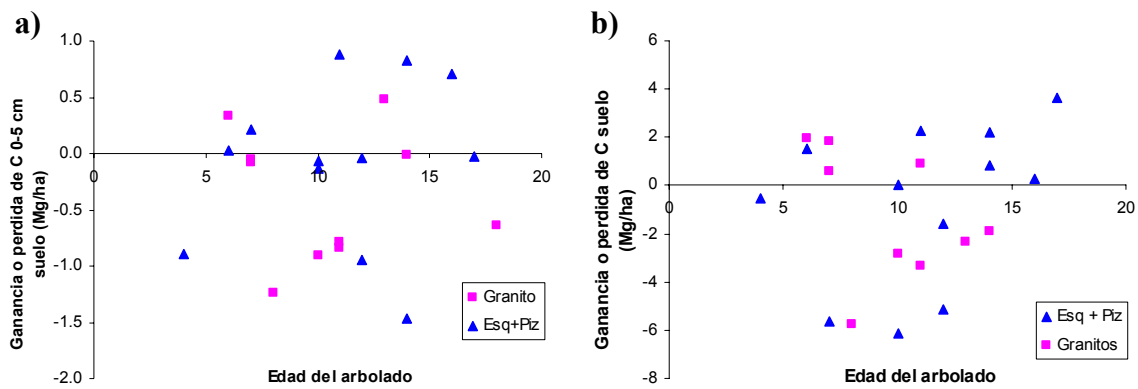


Figura 3. Secuestro de C en el mantillo en función de la edad del arbolado y el material geológico de partida.



**Figura 4.** Ganancia o pérdida de carbono en los primeros 5 cm del suelo (A) y de 0-30 cm (B) en función de la edad del arbolado y el material original de partida.

La comparación de los contenidos de C entre el suelo agrícola y el forestal nos permite conocer la ganancia o pérdida de este elemento que se produce con el cambio de uso. En base a los resultados obtenidos en este trabajo, se producen ligeras pérdidas de carbono en el suelo durante los primeros 15 años después del cambio de uso, fundamentalmente en los 5 primeros cm del suelo (Figura 4A). Estas pérdidas de C tienden a ser más acusadas en plantaciones desarrolladas sobre granitos que sobre esquistos y pizarras. A partir de esa edad parece observarse una ligera ganancia de carbono en el suelo que resulta más importante cuanto más adulta sea la plantación (Figura 4B).

A pesar de que estas plantaciones forestales fueron fertilizadas durante el cambio de uso no se observaron efectos significativos sobre el secuestro de C en el suelo, tal y como mostraron otros autores (Guo y Gifford, 2002). Esto puede ser debido a que, aunque la fertilización incrementa la

producción de biomasa en las plantaciones forestales y potencialmente la entrada de C al suelo, también lo hace la descomposición de esa materia orgánica.

En general, hubo una ligera disminución del C orgánico en los 30 primeros cm del suelo (entre 0,03 y 1,10 Mg ha<sup>-1</sup>), sin embargo, la acumulación del C orgánico del mantillo bajo el eucaliptal compensa claramente estas pérdidas (2,8-41,1 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabla 2) al igual que observaron otros autores en otras especies (Parfitt *et al.*, 1997).

Finalmente y si tenemos en cuenta no solo el carbono del suelo sino también el acumulado en el mantillo y en la biomasa arbórea se observa un incremento del C (incluso a edades muy tempranas) (Tabla 2). Teniendo en cuenta estos tres componentes, las plantaciones sobre granitos pueden acumular del orden de 15 Mg ha año<sup>-1</sup>, siendo este valor ligeramente superior cuando se desarrollan sobre esquistos o pizarras.

**Tabla 2. Ganancia o pérdida de carbono en los diferentes componentes (suelo-mantillo-biomasa arbórea) tras el cambio de uso de agrícola a forestal en función de la edad del arbolado.**

	Edad del arbolado		
	0 – 10 años	10 - 15 años	> 15 años
C en biomasa arbórea	75,0	191,9	254,7
C en mantillo	5,4	18,4	17,9
C en suelo	-1,1	-1,2	-0,03

## CONCLUSIONES

La reforestación de terrenos agrícolas abandonados con plantaciones de eucalipto supone una importante acumulación de C, principalmente en biomasa arbórea y mantillo. En el suelo se observa una ligera pérdida de C que se reduce a medida que transcurren los años desde el cambio de uso

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado bajo el marco del proyecto FORSEE “Sustainable forest management: a network of pilot zones for operational implementation” y financiado con ayuda de la Unión Europea, FEDER - Interreg IIIB Espacio Atlántico. Los socios de Galicia son la Dirección Xeral de Montes (Xunta de Galicia) y la Asociación Forestal de Galicia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez-González J. G., Balboa M., Merino A., Rodríguez-Soalleiro R., 2005. Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. *Recursos Rurais*, 1, 21-29.
- Balboa M., Álvarez González J. G., Rodríguez-Soalleiro R., Merino A., 2006a. Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural regimes. *For. Ecol. Manage.* (en prensa).
- Balboa M., Rojo A., Álvarez J.G., Merino A., 2006b. Carbon and nutrient stocks in mature *Quercus robur* L. stands in NW Spain. *Annals of For. Sci.* 63, 557-565.
- Balboa M.A., 2005. Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. 244 pp.
- Bellamy P.H., Loveland P.J., Bradley R.I., Lark R.M., Kirk G.J.D., 1978-2003. Carbon losses from all soils across England and Wales. *Nature* 437, 245-248.
- Birk E.M., Turner J., 1992. Response of flooded gum (*Eucalyptus grandis*) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantations and native forest. *For. Ecol. Manage.* 47, 1-28.
- Bolin B., Sukumar R., 2000. Global perspective En: *Land use, Land-use change, and Forestry* (eds Watson R.T., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath N.H, Verardo D.J., Dokken D.J.) 23-51 PP. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brañas J., González Río F., Rodríguez Soalleiro R., Merino A., 2000. Biomasa maderable y no maderable en plantaciones de eucalipto. Cuantificación y estimación. *CIS Madera* 4, 72-75.
- Carballas M., Carballas T., Guitián F., Cabaneiro A., 1980. Organic-metallic complexes in Atlantic humiferous soils. *Anales de Edafología y Agrobiología* 39, 1033-1043.
- Conen F., Yakutin M.V., Sambuu A.D., 2005. Potential for detecting changes in soil organic carbon concentrations resulting from climate change. *Global Change Biol.* 9, 1515-1520.
- Cortez N., Madeira M., 1998. The effect of *Eucalyptus globulus* plantations on soil nutrient status. XVI Congreso Mundial de la Ciencia del suelo. Montpellier, Francia.
- Guo L.B., Gifford R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biol.* 8, 345-360.
- Kirschbaum, M.U.F., 1998. The role of forests in the global carbon cycle. International Conference on Indicators for Sustainable Management. IUFRO, Melbourne, Agosto 1998.
- Lugo A.E., Brown S., 1993. Management of tropical soils as links or sources of atmospheric carbon. *Plant and soil* 149, 27-41.
- Merino A., Balboa M., Rodríguez-Soalleiro R., Álvarez González J.G., 2005. Nutrients exports under different harvesting regimes in southern Europe. *For. Ecol. Manage.* 207, 325-339.
- Parfitt R.L., Percival H.J., Dahlgren R.A., Hill L.F., 1997. Soil and solution chemistry under pasture and radiata pine in New Zealand. *Plant and soil* 191, 279-290.
- Sas Institute, 1999. User's guide, Version 8, 4th edition, SAS Institute, Inc. Cary, NC.
- Schopfhauser W., 1998. World forests: the area for afforestation and their potential for fossil carbon sequestration and substitution. En: Kohlmaier G.H., Weber M., Houghton R.A



- (eds.). Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry. Springer, Berlin 185-203 p.
- Smith P., 2004. How long before a change in soil organic carbon can be detected?. *Global Change Biol.* 10, 1878-1883.
- Solla-Gullón F., Álvarez P., Balboa M., Rodríguez Soalleiro R., Merino A., 2006. Growing stock based assessment of the carbon stock in a pilot zone of northern Spain: comparison of biomass equations and biomass expansion factors. *Managing Forest Ecosystems: The challenges of climate change*. Abril, Palencia.
- Spangenberg A., Grimm U., Sepeda Da Sila J.R., Fölster H., 1996. Nutrient store export rates of *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari). *For. Ecol. Manage.* 80, 225-234.
- Ståhl G., Boström B., Lindqvist H., Lindroth A., Nilsson J., Olsson M., 2004. Methodological options for quantifying changes in carbon pools in Swedish forests. *Stud. For. Suec.* 214, 1-46.
- Turner J., Lambert M.J., 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. *For. Ecol. Manage.* 133, 231-247.