

# CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE *Betula alba* L. PARA EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO A MEDIO Y LARGO PLAZO EN GALICIA

M.A. Balboa Murias<sup>1</sup>; A. Rojo<sup>1</sup>; Cela M.A.<sup>1</sup>; G. Montero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Gestión Forestal Sostenible, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n, 27002 Lugo. [mibalboa@lugo.usc.es](mailto:mibalboa@lugo.usc.es)

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Forestales, CIFOR-INIA. Ministerio de Educación y Ciencia. Ctra. de La Coruña km 7, 28040 Madrid, España.

## Resumen

En el presente trabajo se ha estimado la biomasa aérea y radical, así como la acumulación de carbono, en las masas de *Betula alba* L. en Galicia. Se realizó un muestreo destructivo sobre un total de 11 pies de diferentes diámetros, que fueron separados en fracciones y pesados, y se ajustaron mediante regresión diferentes ecuaciones para estimar la biomasa de los diferentes componentes arbóreos en función del diámetro normal. Estas ecuaciones fueron usadas simultáneamente con los datos de distribución diamétrica de esta especie del II y III Inventario Forestal Nacional para calcular el incremento anual de biomasa por fracciones arbóreas para diferentes clases diamétricas, así como el CO<sub>2</sub> secuestrado por estas masas. Los sistemas forestales de *Betula alba* de Galicia fijaban en 1998 (año del III I.F.N.) alrededor de  $7,7 \cdot 10^6$  Mg de CO<sub>2</sub> en la biomasa arbórea (56,1 % de ellas en el tronco, 22,9 % en las fracciones de copa y 21,0 % en el sistema radical), mientras que los valores de fijación anual de CO<sub>2</sub> ascienden a  $222 \cdot 10^3$  Mg año<sup>-1</sup>.

**PALABRAS CLAVE:** biomasa, *Betula alba*, secuestro de carbono, I.F.N.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el incremento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está levantando un gran interés en la comunidad científica debido a su gran influencia sobre el cambio climático global (ALEXANDROV *et al.*, 1999). De esta forma, las políticas de gestión ambiental están centrando sus esfuerzos en buscar alternativas para mitigar los efectos de este incremento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero. El Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1997) presenta y desarrolla dos vías fundamentales para frenar y mitigar el cambio climático. La primera consiste en disminuir las emisiones por la quema de combustibles fósiles y por el cambio de uso forestal a agrícola. La segunda consiste en buscar políticas y actuaciones medioambientales encaminadas a incrementar los niveles de captura y fijación, a corto y medio plazo, de gases con efecto invernadero, fundamentalmente CO<sub>2</sub>, resaltando la importancia de los bosques como los ecosistemas terrestres que mayor cantidad de carbono acumulan. Se ha planteado como esencial, por tanto, cuantificar el grado de secuestro de carbono atmosférico por parte de la biomasa arbórea (DIXON *et al.*, 1994).

Las masas forestales fijan, acumulan y emiten carbono durante los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición, así como durante otro tipo de procesos de alteración que tienen lugar a lo largo de su vida. Determinar cómo evoluciona la acumulación de carbono en la biomasa forestal en una amplia región geográfica a medio o largo plazo está sujeto a una serie de limitaciones relacionadas con la ausencia de datos para todos los estados evolutivos de la masa, o con la ausencia de datos relativos a impactos o alteraciones que haya sufrido el sistema, como fuegos, sequías, plagas, etc. (BOLIN & SUKUMAR, 2000). Por este motivo, los inventarios forestales han sido ampliamente utilizados para la cuantificación a gran escala del carbono acumulado en la biomasa forestal, tanto a nivel global como nacional o regional (e.g. GRIGAL & OHMANN, 1992; BIRDSEY *et al.*, 1993; ISAEV *et al.*, 1995; COHEN *et al.*, 1996).

La mayoría de estos trabajos se fundamentan en muestreos destructivos para ajustar ecuaciones de biomasa arbórea y de predicción de carbono acumulado para árbol individual. Este tipo de muestreo también es útil para elaborar modelos de masa de incremento de biomasa y de secuestro de carbono. Considerando que los inventarios forestales generalmente aportan datos relativos a la distribución diamétrica de las masas (pies ha<sup>-1</sup>), se hace necesario combinar esta distribución diamétrica con las ecuaciones de biomasa y con el contenido de carbono en los componentes arbóreos para determinar finalmente los valores de carbono acumulado en la biomasa arbórea (Mg C ha<sup>-1</sup>) (SCHROEDER *et al.*,

1997; BROWN *et al.*, 1999; FANG *et al.*, 2001).

El Tercer Inventario Forestal Nacional (D.G.C.N., 2000) establece unas 32.000 ha en Galicia ocupadas por abedul como especie principal, siendo la quinta especie con mayor superficie ocupada, por detrás de *Pinus pinaster*, *Eucalyptus globulus*, *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica*. El conocimiento de la rentabilidad económica que puede proporcionar esta especie en Galicia es una gran incógnita. Los trabajos realizados para conocer su capacidad productiva (VILLARINO, 1983; GORGOSO, 2003) han concluido la necesidad de elaborar criterios de gestión adecuados que eviten el abandono de estas masas. En este sentido, el reconocimiento de la importante labor que pueden jugar estos sistemas en la captura de carbono contribuirá a potenciar su papel productor y protector.

El objetivo del presente trabajo se centra en realizar una primera aproximación a la cantidad de carbono acumulado por las masas de *Betula alba* en Galicia, mediante el uso combinado de ecuaciones de biomasa, contenido de carbono en los componentes arbóreos y datos de distribución diamétrica procedentes del Inventario Forestal Nacional.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

Se seleccionaron dos masas de *Betula alba* en la provincial de Lugo para realizar un muestreo destructivo a partir del cual se ajustaron las ecuaciones de biomasa. En ambos casos se trataba de masas maduras procedentes de regeneración natural, sin problemas de tipo fitosanitario, y con una superficie mínima de 1 ha, donde no se había seguido ningún tipo de esquema selvícola.

### Proceso de muestreo de la biomasa arbórea

La toma de datos para el ajuste de las ecuaciones de biomasa arbórea se fundamentó en el apeo y posterior análisis de 16 pies de abedul en dos parcelas de muestreo, distribuidos de forma uniforme en seis clases diamétricas desde 10 a 35 cm. Los estadísticos descriptivos de estos árboles se recogen en la Tabla 1. La metodología de muestreo fue similar a la empleada en otros trabajos de biomasa arbórea (e.g. MONTERO *et al.*, 1999; MERINO *et al.*, 2003). Los árboles fueron apeados y fraccionados en monte, donde se determinó el peso verde total del tronco y de las fracciones de copa. Se llevaron a laboratorio 5 rodajas del tronco (de 8 a 15 cm de grosor) y una muestra representativa de los componentes arbóreos de copa para determinar su peso seco (hasta peso constante tras secado a 105 °C) y su distribución porcentual. Los pesos finalmente considerados fueron la biomasa de madera de tronco (hasta diámetro en punta delgada de 7 cm), biomasa de corteza del tronco, biomasa de ramas con diámetro ( $d$ ) en la inserción con otra rama o con el tronco mayor de 7 cm ( $d > 7$  cm), biomasa de ramas gruesas ( $2 < d < 7$  cm), biomasa de ramas finas ( $0,5 < d < 2$  cm), biomasa de ramillos ( $d < 0,5$  cm), biomasa de hojas y biomasa de raíces. El muestreo de la biomasa radical se realizó sobre 6 de los 16 árboles apeados, uno por cada clase diamétrica considerada. Se empleó una retroexcavadora para extraer las raíces que se distribuían hasta una profundidad de 2 m a lo largo de un círculo de 5 m de diámetro tomando como centro el tocón. Esta metodología de muestreo implicó que una importante cantidad de raíces finas no fuesen consideradas en los análisis, pero los resultados se pueden considerar adecuados para el nivel de detalle requerido. De forma similar a lo que sucedía con la biomasa aérea, se pesó el conjunto de raíces en monte y se tomaron muestras para la determinación en laboratorio del peso seco.

### Ajuste de las ecuaciones de biomasa arbórea

Se ajustaron diferentes modelos para relacionar el peso seco de las correspondientes fracciones arbóreas con el diámetro normal. Se empleó únicamente como variable independiente el diámetro normal, para poder aplicar la distribución diamétrica de las masas de abedul recogida en el Inventario Forestal Nacional a estas ecuaciones de biomasa. Los modelos ajustados en este trabajo han sido ampliamente utilizados en la bibliografía forestal (SATO & MADGWICK, 1982; SNOWDON *et al.*, 2001):

$$P = \beta_0 \cdot d^{\beta_1} \quad [1]$$

$$P = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 \cdot d} \quad [2]$$

$$P = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 \quad [3]$$

donde  $P$  representa la biomasa (peso seco a 105 °C) de los diferentes componentes arbóreos (kg),  $d$  es

el diámetro normal (cm), y  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son los parámetros del modelo.

Las ecuaciones fueron ajustadas mediante regresión lineal y no lineal, empleando los procedimientos REG y NLIN del paquete estadístico SAS STAT (SAS Institute, 1999). La bondad del ajuste para la elección del mejor modelo se fundamentó en tres estadísticos de comparación: el coeficiente de determinación ajustado ( $R_{Adj}^2$ ), el error medio cuadrático (EMC) y el sesgo ( $\bar{E}$ ).

### Determinación de la cantidad de carbono acumulada en la biomasa arbórea

El uso combinado de las ecuaciones de biomasa arbórea, los valores de distribución diamétrica del Inventario Forestal y los valores de concentración de carbono en las fracciones arbóreas permitió determinar la cantidad de carbono acumulado en la biomasa de abedul.

El primer paso consistió en entrar en las ecuaciones de biomasa ajustadas con los valores de diámetro marca de clase de la distribución diamétrica (amplitud de 5 cm) de abedul recogida en el Tercer Inventario Forestal Nacional. De esta forma se obtuvieron los valores modulares o promedio de biomasa seca para cada fracción en el árbol marca de clase. Multiplicando estos valores modulares por el número de pies de cada clase diamétrica se obtuvo la biomasa seca total acumulada en las masas de abedul.

También se procedió al cálculo del incremento anual de biomasa en las masas de abedul en Galicia. Se emplearon para ello los valores de incremento en diámetro por clase diamétrica del Segundo y Tercer Inventario Forestal Nacional (D.G.C.N., 2000), que fueron divididos entre el número de años transcurridos entre inventarios (diez años), ponderando el resultado final en función del número de árboles medidos en cada una de las cuatro provincias gallegas en el Inventario. El incremento anual de biomasa para cada fracción arbórea en cada clase diamétrica se determinó finalmente empleando los valores de incremento diamétrico en las ecuaciones de biomasa, tal y como se refleja a continuación:

$$\Delta P = f(d + \Delta d) - f(d) \quad [4]$$

donde  $\Delta P$  representa el incremento anual de biomasa (kg),  $\Delta d$  es el incremento diamétrico anual (cm), y  $d$  el diámetro marca de clase (cm).

Para la determinación de la cantidad de  $\text{CO}_2$  acumulado en la biomasa arbórea se consideró un contenido promedio de C en los componentes arbóreos del 47,35 % (MONTERO *et al.*, 2002). Además, por cada kg de C acumulado en la biomasa se capturan 3,67 kg de  $\text{CO}_2$ . Multiplicando este valor por los valores modulares de biomasa y por el incremento anual de biomasa se obtuvo para cada clase diamétrica la cantidad de  $\text{CO}_2$  acumulado en la biomasa arbórea y el incremento anual de  $\text{CO}_2$  respectivamente.

El último paso en el proceso de cálculo consistió en multiplicar los valores modulares de acumulación e incremento de  $\text{CO}_2$  por el número de pies de cada clase diamétrica recogido en el Tercer Inventario Forestal Nacional

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ecuaciones de biomasa arbórea

Las ecuaciones de biomasa arbórea finalmente ajustadas se recogen a continuación:

$$\text{Madera de tronco} \quad P_t = 0,1488 \cdot d^{2,2230} \quad [5]$$

$$\text{Corteza de tronco} \quad P_c = 0,0301 \cdot d^{2,1860} \quad [6]$$

$$\text{Rama}>7 \quad P_{r7} = 1,515 \cdot e^{0,0904 \cdot d} \quad [7]$$

$$\text{Ramas gruesas (2<d<7 cm)} \quad P_{rg} = 0,1374 \cdot d^{1,7596} \quad [8]$$

$$\text{Ramas finas (2-7 cm)} \quad P_{rf} = 0,0500 \cdot d^{1,6184} \quad [9]$$

$$\text{Ramillos (0.5-2cm)} \quad P_r = 0,0372 \cdot d^{1,5811} \quad [10]$$

$$\text{Hojas (< 0.5 cm)} \quad P_h = 0,0346 \cdot d^{1,6454} \quad [11]$$

$$\text{Raíces} \quad P_{rz} = 1,0416 \cdot d^{1,2544} \quad [12]$$

donde todos los parámetros de las ecuaciones fueron significativos a un nivel de confianza del 95 %. Los estadísticos de comparación de los cuatro modelos probados para cada fracción arbórea figuran en la Tabla 2.

Salvo para el caso de las ramas de más de 7 cm ( $P_{r7}$ ), el modelo alométrico de la forma  $y = \beta_0 \cdot d^{\beta_1}$  fue el que proporcionó un mejor ajuste, de forma similar a lo registrado en otros trabajos de modelización de biomasa del género *Betula* (JOKELA *et al.*, 1981; SCHMITT & GRIGAL, 1981; YARIE & MEAD, 1988; TER-MIKAELIAN & KORZUKHIN, 1997) y de otras especies forestales (e.g.; MADGWICK, 1983; SNOWDON *et al.*, 2001). Las peores bondades de ajuste se obtuvieron para las fracciones de copa, aspecto ampliamente contrastado en el ámbito forestal, especialmente en el caso de las frondosas (e.g. SATOO & MADGWICK, 1982).

### **Distribución y acumulación de la biomasa arbórea en los sistemas de *Betula alba***

Los valores modulares de acumulación de biomasa en las fracciones arbóreas para los árboles marca de clase se recogen en la Tabla 3. En la Tabla 4 figuran los valores modulares de incremento anual de biomasa en los distintos componentes arbóreos.

La madera y la corteza de tronco representan un promedio del 53 y del 10 % de la biomasa total arbórea, respectivamente. En el caso del total de las fracciones de copa este valor asciende al 19 %. El sistema radical representa el 18 % de la biomasa arbórea, circunstancia que revela la importancia de esta fracción en la acumulación de carbono (SATOO & MADGWICK, 1982). Esta distribución de la biomasa arbórea fue acorde con la observada por otros autores para especies del mismo género en España (GRACIA *et al.*, 2002) y Norte-América (JOKELA *et al.*, 1981; SCHMITT & GRIGAL, 1981; MALIONDO *et al.*, 1990; JIAN *et al.*, 1998).

Los porcentajes de acumulación de biomasa en los diferentes componentes arbóreos fueron bastante constantes, independientemente del estado de desarrollo del árbol. Otros autores han concluido que esta distribución varía con la edad del arbolado y con la calidad de estación (ALEXEYEV *et al.*, 1995), aunque el tipo de muestreo empleado en el presente trabajo impide el establecer una conclusión clara a este respecto.

### **Cantidad e incremento anual de CO<sub>2</sub> almacenado en las masas de *Betula alba* en Galicia**

En la Tabla 5 se recogen los valores de fijación de CO<sub>2</sub> existentes en el año 1998 (fecha del III I.F.N. en Galicia) en la biomasa arbórea de *Betula alba* en Galicia. Los valores de fijación anual de CO<sub>2</sub> en la biomasa arbórea figuran en la Tabla 6. Hay que considerar que en este trabajo se han subestimado ligeramente los valores de secuestro de CO<sub>2</sub>, puesto que no se han considerado en los análisis los árboles pertenecientes a clases diamétricas superiores a 35 cm.

Los 30 millones de pies de *Betula alba* presentes en Galicia habían fijado en 1999 alrededor de 7.700.000 Mg de CO<sub>2</sub>, gracias fundamentalmente a la madera (47,5 % del total). Las raíces fijan casi un 21 % de esta cantidad total, circunstancia que revela la importancia de incluir la biomasa radical en los estudios relativos al secuestro de C en los sistemas forestales (DIXON *et al.*, 1994; ALEXEYEV *et al.*, 1995).

El valor de secuestro anual de CO<sub>2</sub> (Tabla 6) en la biomasa arbórea de abedul en Galicia alcanza los 222 000 Mg año<sup>-1</sup>.

Como conclusión, se puede afirmar las estimaciones obtenidas en este trabajo revelan el importante papel que pueden desempeñar las masas naturales de abedul en Galicia en relación a la fijación de C, circunstancia que ha de contribuir a ensalzar su ya fundamental función protectora.

### **Agradecimientos**

Este trabajo se ha desarrollado en estrecha colaboración con el Departamento de Selvicultura del CIFOR-INIA. Los autores quieren agradecer el apoyo logístico de la empresa forestal CERNA y el trabajo de Miguel A. Barreiro y Hector Ferreiro Abelairas.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ALEXANDROV, G.A.; YAMAGATA, Y. & OIKAWA, T.; 1999. Towards a model for projecting net ecosystem production of the world's forests. *Ecol. Model.* 123: 183-191.
- ALEXEYEV, V.; BIRDSEY, R.; STAKANOV, V. & KOROTKOV, I.; 1995. Carbon in vegetation of Russian forests: methods to estimate storage and geographical distribution. *Water Air Soil Pollut.* 82: 271-282.
- BIRDSEY, R.A.; PLANTINGA, A.J. & HEATH, L.S.; 1993. Past and prospective carbon storage in United States forest. *For. Ecol. Manage.* 58: 33-40.
- BOLIN, B. & SUKUMAR, R.; 2000. Global perspective. En: R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo, D.J. Dokken (eds.), *Land Use, Land-Use Change, and Forestry: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 23-51.
- BROWN, S.L.; SCHROEDER, P. & KERN, J.S.; 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *For. Ecol. Manage.* 123: 81-90.
- COHEN, W.B.; HARMON, M.E.; WALLIN, D.O. & FIORELLA, M.; 1996. Two decades of carbon flux from forests of the Pacific northwest. *Bio. Science* 46: 836-844.
- DIXON, R.K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; SOLOMON, A.M.; TREXLER, M.C. & WISNIEWSKI, J.; 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- D.G.C.N. (Dirección general de Conservación de la Naturaleza); 2000. *Tercer Inventario Forestal Nacional 1997-2006: Galicia*. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- FANG, J.Y.; CHEN, A.P.; PENG, C.H.; ZHAO, S.Q. & CI, L.J.; 2001. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science* 292: 2320-2322.
- GRACIA, C.; SABATÉ, S.; VAYREDA, J. & IBÁÑEZ, J.; 2002. *Aboveground Biomass Expansion Factors and biomass equations of forest in Catalonia*, Cost E21 BEF meeting Besalú 4-5 July.
- GRIGAL, D.F. & OHMANN, L.F.; 1992. Carbon storage in upland forest of the lake states. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 935-943.
- GORGOSO, J.; 2003. *Caracterización de las distribuciones diamétricas de Betula alba L. en Galicia*. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Tesis doctoral, 177 pp.
- ISAEV, A.; KOROVIN, G.; ZAMOLODCHIKOV, D.; UTKIN, A. & PRYAZNIKOV, A.; 1995. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests. *Water Air Soil Pollut.* 82: 247-256.
- JIAN, R.; WANG, C.; HAWKINS, B. & LETCHFORD, T.; 1998. Relative growth rate and biomass allocation of paper birch (*Betula papyrifera*) populations under different soil moisture and nutrient regimes. *Can. J. For. Res.* 28: 44-55.
- JOKELA, E.J.; SHANNON, C.A. & WHITE, E.H.; 1981. Biomass and nutrient equations for mature *Betula papyrifera* Marsh. *Can. J. For. Res.* 11: 298-304.
- MADWICK, H.A.I.; 1983. Estimation of the oven-dry weight of items, leadles, and branches of individual *Pinus radiata* trees. *N Z J For. Sci.* 13: 108-109.
- MALIONDO, S.M.; MAHENDRAPP, M.K. & VAN RAALTE, G.D.; 1990. *Distribution of biomass and nutrients in some new brunswick forest stands: possible implications of whole-tree harvesting*. Information Report M-X.170E/F. Hull, Quebec, Canada.
- MERINO, A.; REY, C.; BRAÑAS, J. Y RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12 (2): 85-98.
- MONTERO, G.; ALONSO, A. Y RUIZ-PEINADO, R.; 2002. Cuantificación del potencial de las principales especies forestales españolas para el almacenamiento de carbono a medio y largo plazo. En: *Bosques, sociedad y cambio climático*. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Santander. 23 pp.
- MONTERO, G.; ORTEGA, C.; CAÑELLAS, I. Y BACHILLER, A.; 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Fuera de Serie n° 1*.
- SAS INSTITUTE; 1999. *SAS STAT User's guide, Version 8.4*. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
- SATOO, T. & MADGWICK, H.A.I.; 1982. *Forest Biomass*. Forestry Sciences. Kluwer Academic Publishers Group, Holanda.
- SCHMITT, M.D.C. & GRIGAL, D.F.; 1981. Generalized biomass equations for *Betula papyrifera* Marsh. *Can. J. For. Res.* 11: 837-840.

SCHROEDER, P.; BROWN, S.; MO, J.; BIRDSEY, R.; CIESZEWSKI, C.; 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *For. Sci.* 43: 424-434.

SNOWDON, P.; EAMUS, D.; GIBBONS, P.; KHANNA, P.K.; KEITH, H.; RAISON, R.J. & KIRSCHBAUM, M.U.F.; 2001. *Synthesis of allometrics, review of root biomass, and design of future woody biomass sampling strategies*. National Carbon Accounting System, Technical Report N°. 31, Australian Greenhouse Office, Canberra, 114 pp.

TER-MIKAELIAN, M.T. & KORZUKHIN, M.; 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *For. Ecol. Manage.* 97: 1-24.

U.N.F.C.C.C. (United Nations Framework Convention on Climate Change); 1997. *The Kyoto Protocol. United Nations Framework Convention on Climate Change*.

VILLARINO, J.J.; 1983. *El abedul en Galicia*. Tesis doctoral. E.T.S.I. Montes. U.P.M.

YARIE, J. & MEAD, B.R.; 1988. Twig and foliar biomass estimation equations for mayor plant species in the Tanana River Basin of interior Alaska.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del conjunto de datos empleados para el ajuste de las ecuaciones de biomasa arbórea.

|                | d    | Madera tronco | Corteza tronco | Ramas d>7cm | Ramas gruesas (2<d<7cm) | Ramas finas (0,5<d<2cm) | Ramillos (d<0,5cm) | Hojas | Raíces |
|----------------|------|---------------|----------------|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-------|--------|
|                | cm   | kg            |                |             |                         |                         |                    |       |        |
| Promedio       | 21,0 | 149,4         | 26,6           | 11,7        | 31,1                    | 7,3                     | 4,8                | 5,5   | 20,0   |
| Máximo         | 34,0 | 363,9         | 64,9           | 49,4        | 65,7                    | 15,2                    | 14,0               | 12,2  | 80,2   |
| Mínimo         | 9,9  | 17,7          | 2,7            | 0,0         | 7,0                     | 1,3                     | 1,0                | 1,4   | 0,0    |
| Desv.típic.*   | 7,5  | 114,0         | 20,5           | 14,0        | 20,4                    | 4,8                     | 3,8                | 3,8   | 31,0   |
| Coef.variac.** | 35,9 | 76,3          | 77,1           | 119,7       | 65,5                    | 65,3                    | 79,3               | 69,8  | 154,9  |

\* Desviación típica; \*\* Coeficiente de variación (%); d: diámetro normal.

Tabla 2. Estadísticos de comparación del ajuste de los modelos de biomasa arbórea de *Betula alba*.

|               | $P = \beta_0 \cdot d^{\beta_1}$ |         |           | $P = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 \cdot d}$ |         |           | $P = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2$ |         |           |
|---------------|---------------------------------|---------|-----------|---|---------|-----------|-----------------------------------|---------|-----------|
|               | $R^2_{Adj}$                     | EMC     | $\bar{E}$ | $R^2_{Adj}$                             | EMC     | $\bar{E}$ | $R^2_{Adj}$                       | EMC     | $\bar{E}$ |
| Madera        | 0,908                           | 1278,81 | -1,147    | 0,873                                   | 1766,41 | -3,932    | 0,897                             | 1265,95 | -4,948    |
| Corteza       | 0,900                           | 44,88   | -0,369    | 0,867                                   | 60,07   | -0,369    | 0,897                             | 43,53   | -0,940    |
| Rama>7        | 0,501                           | 105,61  | -0,717    | 0,544                                   | 114,91  | -0,763    | 0,495                             | 99,37   | -1,069    |
| Ramas gruesas | 0,877                           | 54,79   | -0,356    | 0,825                                   | 78,15   | -0,674    | 0,868                             | 55,15   | 0,556     |
| Ramas finas   | 0,726                           | 6,63    | -0,027    | 0,692                                   | 7,45    | -0,106    | 0,703                             | 6,70    | 0,313     |
| Ramillos      | 0,492                           | 7,86    | -0,038    | 0,455                                   | 8,44    | -0,094    | 0,472                             | 7,63    | 0,211     |
| Hojas         | 0,664                           | 5,26    | 0,031     | 0,621                                   | 5,93    | -0,102    | 0,646                             | 5,38    | 0,207     |
| Raíces        | 0,823                           | 165,02  | -0,574    | 0,748                                   | 234,61  | -0,577    | 0,656                             | 256,35  | 4,180     |

Tabla 3. Valores modulares de acumulación de biomasa (kg) para el árbol marca de clase.

| CD (cm) | Biomasa aérea |         |              |               |             |          |        |         | Biomasa aérea total | Biomasa radical | Biomasa total |
|---------|---------------|---------|--------------|---------------|-------------|----------|--------|---------|---------------------|-----------------|---------------|
|         | Tronco        |         | Copa         |               |             | Ramillos | Hojas  |         |                     |                 |               |
|         | Madera        | Corteza | Ramas > 7 cm | Ramas gruesas | Ramas finas |          |        |         |                     |                 |               |
| 10      | 24,866        | 4,619   | 3,741        | 7,899         | 2,077       | 1,418    | 1,529  | 46,149  | 18,711              | 64,861          |               |
| 15      | 61,243        | 11,207  | 5,879        | 16,123        | 4,003       | 2,692    | 2,980  | 104,126 | 31,116              | 135,243         |               |
| 20      | 116,089       | 21,019  | 9,239        | 26,747        | 6,376       | 4,242    | 4,784  | 188,497 | 44,639              | 233,136         |               |
| 25      | 190,644       | 34,234  | 14,519       | 39,610        | 9,149       | 6,037    | 6,906  | 301,100 | 59,058              | 360,158         |               |
| 30      | 285,919       | 50,998  | 22,815       | 54,592        | 12,290      | 8,054    | 9,322  | 443,991 | 74,234              | 518,225         |               |
| 35      | 402,778       | 71,433  | 35,853       | 71,603        | 15,772      | 10,277   | 12,014 | 619,731 | 90,070              | 709,800         |               |

Tabla 4. Valores modulares de incremento anual de biomasa (kg) para el árbol marca de clase.

| CD<br>(cm) | Biomasa aérea |         |                 |                  |                |          |       |        | Biomasa<br>aérea<br>total | Biomasa<br>radical | Biomasa<br>total |
|------------|---------------|---------|-----------------|------------------|----------------|----------|-------|--------|---------------------------|--------------------|------------------|
|            | Tronco        |         | Copa            |                  |                |          |       |        |                           |                    |                  |
|            | Madera        | Corteza | Ramas<br>> 7 cm | Ramas<br>gruesas | Ramas<br>finas | Ramillos | Hojas |        |                           |                    |                  |
| 10         | 1,383         | 0,253   | 0,084           | 0,346            | 0,083          | 0,056    | 0,063 | 2,268  | 0,580                     | 2,848              |                  |
| 15         | 2,345         | 0,422   | 0,137           | 0,487            | 0,111          | 0,073    | 0,084 | 3,659  | 0,667                     | 4,325              |                  |
| 20         | 3,484         | 0,620   | 0,226           | 0,633            | 0,139          | 0,090    | 0,106 | 5,298  | 0,751                     | 6,049              |                  |
| 25         | 4,376         | 0,773   | 0,341           | 0,718            | 0,152          | 0,098    | 0,117 | 6,575  | 0,761                     | 7,336              |                  |
| 30         | 4,805         | 0,843   | 0,470           | 0,725            | 0,150          | 0,096    | 0,116 | 7,205  | 0,701                     | 7,907              |                  |
| 35         | 7,383         | 1,287   | 0,943           | 1,037            | 0,210          | 0,134    | 0,163 | 11,156 | 0,928                     | 12,084             |                  |

Tabla 5. CO<sub>2</sub> fijado (miles de toneladas) en la biomasa arbórea de las masas de *Betula alba* en Galicia en 1998 de acuerdo con el III I.F.N.

| CD<br>(cm) | Número<br>de pies | Biomasa aérea |         |                 |                  |                |          |         |           | Biomasa<br>aérea<br>total | Biomasa<br>radical | Biomasa<br>total |
|------------|-------------------|---------------|---------|-----------------|------------------|----------------|----------|---------|-----------|---------------------------|--------------------|------------------|
|            |                   | Tronco        |         | Copa            |                  |                |          |         |           |                           |                    |                  |
|            |                   | Madera        | Corteza | Ramas<br>> 7 cm | Ramas<br>gruesas | Ramas<br>finas | Ramillos | Hojas   |           |                           |                    |                  |
| 10         | 14.451.833        | 624,470       | 116,005 | 93,956          | 198,379          | 52,153         | 35,608   | 38,405  | 1.158,977 | 469,905                   | 1.628,882          |                  |
| 15         | 8.152.169         | 867,587       | 158,767 | 83,287          | 228,400          | 56,704         | 38,135   | 42,216  | 1.475,096 | 440,808                   | 1.915,904          |                  |
| 20         | 4.569.338         | 921,790       | 166,900 | 73,360          | 212,382          | 50,629         | 33,685   | 37,987  | 1.496,734 | 354,448                   | 1.851,181          |                  |
| 25         | 2.002.517         | 663,416       | 119,131 | 50,523          | 137,836          | 31,839         | 21,008   | 24,033  | 1.047,786 | 205,513                   | 1.253,299          |                  |
| 30         | 739.190           | 367,270       | 65,508  | 29,307          | 70,125           | 15,786         | 10,346   | 11,975  | 570,317   | 95,355                    | 665,672            |                  |
| 35         | 283.483           | 198,417       | 35,189  | 17,662          | 35,273           | 7,770          | 5,063    | 5,918   | 305,292   | 44,370                    | 349,663            |                  |
| Total      | 30.198.530        | 3.642,950     | 661,501 | 348,096         | 882,396          | 214,881        | 143,845  | 160,534 | 6.054,203 | 1.610,399                 | 7.664,601          |                  |
|            | %                 | 47,5          | 8,6     | 4,5             | 11,5             | 2,8            | 1,9      | 2,1     | 79,0      | 21,0                      | 100                |                  |

Tabla 6. Incremento anual de secuestro de CO<sub>2</sub> (miles de toneladas) por la biomasa de *Betula alba* en Galicia.

| CD<br>(cm) | Número<br>de pies | Biomasa aérea |         |                |                  |                |          |       |         | Biomasa<br>aérea<br>total | Biomasa<br>radical | Biomasa<br>total |
|------------|-------------------|---------------|---------|----------------|------------------|----------------|----------|-------|---------|---------------------------|--------------------|------------------|
|            |                   | Tronco        |         | Copa           |                  |                |          |       |         |                           |                    |                  |
|            |                   | Madera        | Corteza | Ramas<br>> 7cm | Ramas<br>gruesas | Ramas<br>finas | Ramillos | Hojas |         |                           |                    |                  |
| 10         | 14.451.833        | 34,742        | 6,344   | 2,118          | 8,687            | 2,097          | 1,398    | 1,570 | 56,955  | 14,578                    | 71,533             |                  |
| 15         | 8.152.169         | 33,217        | 5,976   | 1,947          | 6,895            | 1,572          | 1,033    | 1,190 | 51,831  | 9,446                     | 61,277             |                  |
| 20         | 4.569.338         | 27,662        | 4,924   | 1,798          | 5,029            | 1,102          | 0,716    | 0,841 | 42,071  | 5,963                     | 48,035             |                  |
| 25         | 2.002.517         | 15,229        | 2,689   | 1,185          | 2,499            | 0,530          | 0,342    | 0,407 | 22,881  | 2,649                     | 25,529             |                  |
| 30         | 739.190           | 6,172         | 1,082   | 0,604          | 0,931            | 0,193          | 0,123    | 0,149 | 9,255   | 0,901                     | 10,156             |                  |
| 35         | 283.483           | 3,637         | 0,634   | 0,464          | 0,511            | 0,103          | 0,066    | 0,080 | 5,496   | 0,457                     | 5,953              |                  |
| Total      | 30.198.530        | 120,660       | 21,649  | 8,117          | 24,551           | 5,597          | 3,678    | 4,237 | 188,489 | 33,994                    | 222,483            |                  |