

CUANTIFICACIÓN DEL CO₂ FIJADO POR LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES ARBÓREAS EN ANDALUCÍA

Autores: Gregorio Montero González¹; Marta Muñoz Martínez²; Rafael Agudo Romero²

¹ Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA)
Ctra La Coruña km 7.5 28040 Madrid.

² EGMASA
C/ Johan G. Gutenberg s/n Isla de la Cartuja 41092 Sevilla.
montero@inia.es

Mesa temática 1: Caracterización, dinámica y biodiversidad de los ecosistemas forestales

Resumen:

El creciente aumento de las emisiones de gases, en particular del dióxido de carbono (CO₂) que es el principal responsable del efecto invernadero, ha suscitado un gran interés por los sumideros de este gas. La vegetación actúa como sumidero ya que, a través de la fotosíntesis, absorbe el CO₂ y lo fija en forma de materia orgánica.

En este trabajo se ha cuantificado la cantidad de biomasa y CO₂ atmosférico que hay acumulada en las masas de las principales especies forestales arbóreas de Andalucía. La biomasa de cada especie forestal se ha estimado a partir de una muestra en la que se apearon, desramaron y se separaron en sus distintas fracciones, varios pies por clase diamétrica. Además se extrajo un tocón por clase diamétrica para estimar la biomasa radical. Cada fracción fue pesada en verde y, posteriormente, en laboratorio, se determinó el porcentaje de humedad y el peso seco. Los datos de pesos secos se han ajustado mediante funciones de regresión que relacionan la biomasa seca de cada fracción con el diámetro normal del árbol. Aplicando estos modelos a las clases diamétricas establecidas en el Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) se han obtenido los valores modulares de biomasa seca y de incrementos anuales debidos al crecimiento. Considerando el porcentaje de carbono contenido en la materia seca de cada especie se han calculado los valores modulares de carbono y CO₂. Los totales de biomasa y CO₂ se han calculado aplicando los valores modulares a los datos de existencias por clase diamétrica de cada especie obtenidos del IFN2 de las provincias de Andalucía.

Palabras clave: sumidero de carbono, ecuaciones de biomasa, Segundo Inventario Forestal Nacional, valores modulares.

INTRODUCCIÓN

El Protocolo de Kioto (1997) establece unos compromisos cuantificados de reducción de emisiones. Permite a los países firmantes que se beneficien de los llamados mecanismos flexibles para conseguir la reducción, así como contabilizar el carbono absorbido por los sumideros (bosques y tierras de cultivo). El Protocolo de Kioto expresa la posibilidad de utilizar los bosques como sumideros de carbono mediante varias acciones: incremento de la superficie forestal a través de reforestaciones y forestaciones, conservación y mejora de la capacidad de captación de CO₂ de los sistemas forestales a través de actuaciones selvícolas. Las dos vías para reducir las emisiones netas de CO₂, y así contribuir a frenar el cambio climático, son la disminución de emisiones y el aumento de la fijación de CO₂ a corto y medio plazo. En este sentido, los bosques juegan un papel fundamental por su capacidad de fijar el carbono del CO₂ atmosférico en biomasa viva: actúan de sumidero de carbono. La utilización de los bosques como sumideros para la mitigación del cambio climático es una manera de mantener fijado el carbono mientras se buscan medidas para reducir las emisiones, por ejemplo el desarrollo de las energías renovables, entre las que se encuentra la biomasa.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo, realizado por EGMASA y el INIA, es hacer una estimación de la cantidad de biomasa y CO₂ atmosférico que hay acumulados en las masas de las 21 especies forestales arbóreas más importantes de Andalucía. Para ello se ha desarrollado una metodología, con la que, a partir de un muestreo destructivo sobre una muestra de varios árboles de diferentes diámetros se puede determinar la biomasa y el CO₂ total de las masas arbóreas de Andalucía, utilizando los datos de número de pies del Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2). Se han dividido los árboles de las muestras en sus distintas fracciones de biomasa (fuste, ramas, ramillas y raíces) para obtener información más minuciosa que pueda utilizarse en estudios posteriores, por ejemplo, el seguimiento del ciclo de carbono a través de los diferentes productos forestales o la utilización de la biomasa de los residuos forestales para obtención de energía. Las especies sobre las que se ha realizado el estudio de biomasa son las siguientes:

1. *Pinus sylvestris* L.
2. *Pinus pinaster* Ait.
3. *Pinus nigra* Arn.
4. *Pinus pinea* L.
5. *Pinus halepensis* Mill.
6. *Quercus ilex* L.
7. *Quercus suber* L.
8. *Eucalyptus* spp.
9. *Quercus faginea* Lamk.
10. *Quercus pyrenaica* Willd.
11. *Quercus canariensis* Willd.
12. *Olea europaea* L.
13. *Pinus radiata* D. Don.
14. *Populus* spp
15. *Fraxinus* spp.
16. *Alnus glutinosa* L.
17. *Abies pinsapo* Boiss.
18. *Castanea sativa* Mill.
19. *Ceratonia siliqua* L.
20. *Juniperus oxycedrus* L.
21. *Juniperus phoenicea* L.
22. Otras frondosas

METODOLOGÍA

Descripción del Método de Muestreo

La estimación, para cada especie, se ha realizado a partir de una muestra de árboles pertenecientes a una masa de densidad media y con una calidad de estación característica de esa especie. Las muestras son de, al menos, tres pies por clase diamétrica para calcular la biomasa aérea, y de un pie por clase diamétrica para calcular la biomasa radical. Se midió el diámetro normal y la altura de los pies elegidos. Una vez apeados se desramaron y se separaron en sus fracciones de biomasa: fuste, ramas de diámetro mayor de 7 cm, ramas de diámetro comprendido entre 2 y 7 cm y ramillas de diámetro menor de 2 cm, incluyendo las hojas. La muestra de biomasa radical es menor debido a la dificultad y al elevado coste de extracción de las raíces. La extracción del tocón y el raigón de cada pie se realizó con retroexcavadora. Todas las fracciones de ramas y raíces se pesaron en campo. En la mayoría de las especies se pesó el fuste, aunque en otras fue necesario cubicarlos.

El porcentaje de humedad se determinó en laboratorio a partir de varias muestras de biomasa de cada fracción. Las muestras se secaron en estufa a una temperatura de $100\pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta peso constante. La determinación del peso seco de las muestras se realizó aplicando el porcentaje de humedad a los pesos en verde tomados en campo.

Tratamiento Estadístico de los Datos

Se desarrollaron funciones de regresión para cada fracción de biomasa que relacionan el peso seco con el diámetro normal. Se probaron varios modelos de regresión, eligiéndose el modelo logarítmico (1), que es el que da mejores resultados al aplicarlo a las clases diamétricas. Las funciones desarrolladas tienen un coeficiente de determinación muy alto, superior al 90%. Se han aplicado a los valores medios de las clases diamétricas que establece el Segundo Inventario Forestal Nacional, para obtener los valores modulares de biomasa. Estas clases van desde la clase 10 hasta la clase 70 cm, con una amplitud de 5 cm, y se incluyen los pies menores (con diámetro menor de 7.5 cm) en la clase diamétrica de 5 cm y los pies mayores (con diámetro mayor de 72.5 cm) en la clase 70. El incremento anual de biomasa se determina de acuerdo con la expresión (2) donde el incremento diametral corresponde al crecimiento corriente anual tomado del IFN2 de las provincias andaluzas. La diferencia de biomasa seca entre dos años consecutivos nos da el incremento de peso anual de cada fracción de biomasa, por especie y clase diamétrica.

$$\begin{aligned} \text{Lg } B &= a + b \text{ Lg } D & (1) \\ IB &= f(d + ID) - f(d) & (2) \end{aligned}$$

Siendo, B: biomasa en kilogramos de materia seca; d: diámetro normal en centímetros; IB: incremento de biomasa en kilogramos de materia seca; ID: incremento anual de diámetro en cm.

Cálculo de los valores modulares de CO_2

El porcentaje de carbono en la materia seca es del 50%, cantidad propuesta por el IPCC y por KOLLMAN (1959). Mediante la proporción entre el peso de la molécula de CO_2 y el peso del átomo de C que la compone obtenemos que la relación para transformar el carbono de la biomasa seca en CO_2 es $44/12=3.67$. De este modo se han obtenido los valores modulares de carbono y CO_2 por clases diamétricas y fracciones de biomasa para cada especie.

Aplicación de los valores modulares a los datos del Segundo Inventario Forestal Nacional de Andalucía

Los valores modulares obtenidos a partir de las funciones desarrolladas para cada especie, que cubren todas las clases diamétricas desde pies menores hasta pies mayores, se aplicarán a los datos de existencias de Andalucía publicados en el IFN2 multiplicando el número de pies por clase diamétrica por los valores modulares de cada fracción de biomasa. Se estima así la biomasa arbórea total de cada especie en Andalucía separada en fracciones de biomasa y según clases diamétricas.

RESULTADOS

En el trabajo realizado se han obtenido los valores modulares de biomasa, carbono y CO_2 de las 21 especies objeto de estudio, separados por clases diamétricas y fracciones de biomasa. La Tabla 1 muestra, como ejemplo, los valores modulares de CO_2 obtenidos para el pino piñonero, especie muy representativa del territorio andaluz. En el Gráfico 1 se muestran los pesos de biomasa aérea, en kilogramos de materia seca, para cada clase diamétrica (valores modulares) de varias especies estudiadas (*Q. ilex*, *Q. suber*, *P. nigra*, *P. pinea*, *P. pinaster*, *P. halepensis*, *Olea europaea*). La Tabla 2 es una tabla resumen de los resultados obtenidos de fijación de CO_2 diferenciando biomasa aérea, radical y total, por especie y ofrece también el total para Andalucía, sin incluir biomasa radical de *Abies pinsapo* (debido a que no fue posible la extracción de raíces debido a la protección a la que está sometida la especie) ni la de *Eucalyptus spp*, debido a que la muestra se obtuvo de varias cepas. En el Gráfico 2 se presentan los porcentajes de CO_2 fijado por la biomasa aérea de cada especie estudiada

respecto del total fijado por la biomasa aérea estimado para toda Andalucía. En este gráfico se observa que la mayor parte del carbono está fijado en los pies de encina (36%), seguido por el pino piñonero (11.6%) y el alcornoque (10.7%). En la Tabla 3 se muestran los valores modulares de biomasa aérea obtenidos para la clase diamétrica 30 de varias especies estudiadas representativas en Andalucía. Se ha tomado esta clase diamétrica como clase de referencia para poder comparar la diferencia entre especies. La biomasa aérea de la encina (en la clase diamétrica 30) es el doble de la biomasa aérea del pino carrasco.

Las masas forestales arbóreas andaluzas mantienen fijadas 151 millones de toneladas de dióxido de carbono, de las cuales el 74% está fijado en la biomasa aérea y el 26% en la biomasa radical. A estas cifras hay que añadir la biomasa radical del eucalipto y del pinsapo, con lo que en realidad las cantidades son mayores. La mayor cantidad del carbono está fijado en la biomasa aérea de la encina (36%), seguido por el pino piñonero (11.6%) y el alcornoque (10.7%).

CONCLUSIONES

La estimación realizada en este trabajo determina el carbono almacenado en la biomasa arbórea de los ecosistemas forestales andaluces. La biomasa aérea arbórea representa el mayor porcentaje de carbono de la biomasa de un ecosistema forestal, aunque es necesario considerar que el carbono contenido en el suelo representa un porcentaje mayor que el contenido en la vegetación.

La cantidad de biomasa total depende de las existencias de cada especie, el factor “número de pies” tiene un gran peso en los resultados finales. La encina es la especie que mayor número de pies tiene en Andalucía. Por otro lado, la biomasa individual para cada clase diamétrica varía mucho según la especie.

Las estimaciones realizadas en este estudio corresponden al año que hemos considerado como año de referencia del IFN2. Cada año estas cifras sufren variaciones, por un lado aumentan debido al crecimiento de los árboles y, por otro lado, hay una disminución debida a las extracciones por cortas. Conociendo estos dos factores es posible realizar unos balances de fijación de CO₂. Para dar una estimación completa del carbono en los ecosistemas forestales habría que incluir la cuantificación de la biomasa de las especies arbustivas, herbáceas, biomasa muerta y el carbono contenido en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- CLAESSON, S., SAHLEN, K. & LUNDMARK, T.; 2001. Functions for biomass estimation of young *Pinus silvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from stands in Northern Sweden with high stand densities, *Can. J. For. Res.*, 16: 138-146.
- DIEGUEZ, U; BARRIO, M; CASTEDO, F; RUÍZ, A; ÁLVAREZ, M F; ÁLVAREZ, J G. y ROJO, A.; 2003. Biomasa forestal. En Diéguez, U *et al.*, *Dendrometría*: 253-260. Mundi- Prensa.
- GUTIERREZ OLIVA, A. F. G., JI.; 1997. Cálculo de la densidad y de las variaciones dimensionales de la madera. Equivalencias numéricas entre valores. *Montes* 49: 28-33.
- GUTIERREZ, A., BAONZA, M.V. y FERNÁNDEZ-GOLFÍN, J.; 1997. Variaciones de la densidad de la madera de pino silvestre de los Sistemas Central e Ibérico, *Proceedings of the I Congreso Forestal hispano-luso*, Pamplona, mesa 7, PA 229-234.
- ICONA; 1995; *Segundo Inventario Forestal Nacional*. Instituto Nacional de Conservación de la Naturaleza. MAPA. Madrid.
- JOHANSON, T. ; 1999. Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescens birches growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass and bioenergy*. 16: 223-238.
- KOLLMANN; 1959. *Tecnología de la Madera y sus aplicaciones*. Tomo Primero. IFIE, Madrid.
- NAUTIYAL, J.C. & BELLI, K.L.; 1989. Study of production functions for modelling forest biomass: an area for research. *Forest Science*, 35(3): 843-849.
- MONTERO, G. *et al*, 2003.; El pino piñonero y la fijación de carbono. En Montero, G *et al.* *El pino piñonero (Pinus pinea L.) en Andalucía*: 240-252. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

- MONTERO, G; MUÑOZ, M; y DONÉS, J. 2003. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. en el monte "Pinar de Valsaín". *Foresta*, 24 (4º trimestre 2003): 40-49.
- MUÑOZ, M.; 2002. Fijación de CO₂ por *Pinus nigra Arn subsp salzmannii* en el monte "Rocha de la Carcoma" nº 148 del CUP, Lebrancón (Guadalajara). Proyecto Fin de Carrera. ETSI Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- PARDÉ, J.; 1980. Forest biomass, *Forestry abstract* (Review article), 41(8): 343-362.
- PARRESOL, B.; 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science*, 45 (4): 573-593.
- YOUNG, H.E.; 1978. Forest biomass inventory: the basis for complete-tree utilization. *Forest Products Journal*, 28 (5).

FIGURAS Y TABLAS

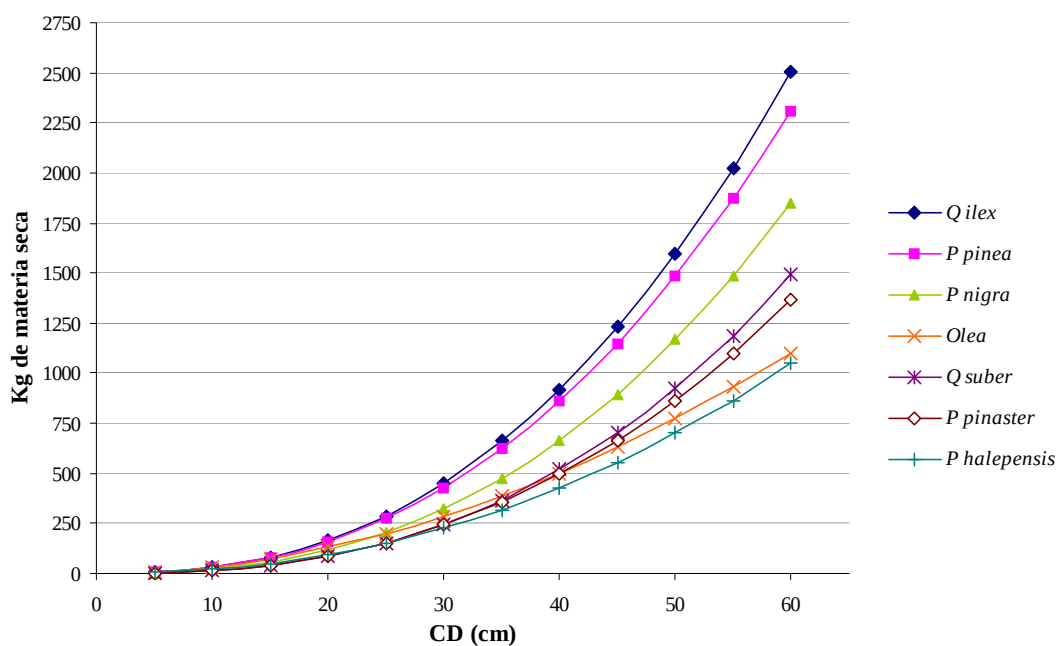


Gráfico 1. Valores modulares de biomasa aérea total por clases diamétricas, en kg de materia seca.

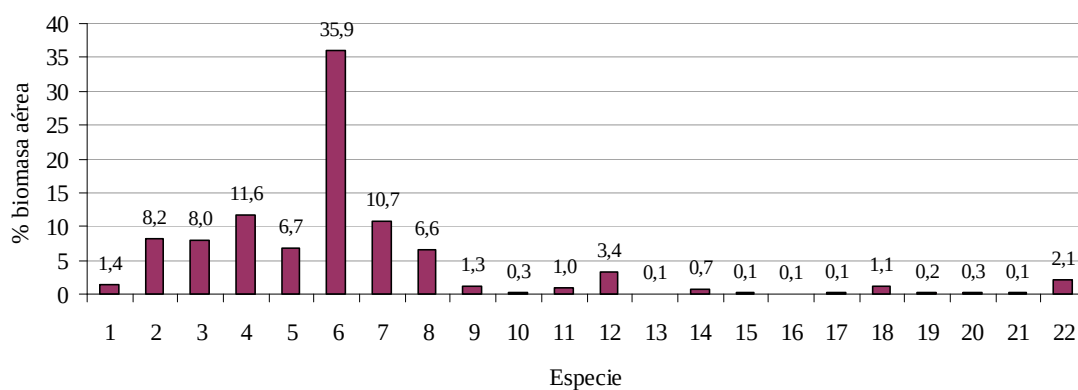


Gráfico 2. Porcentajes de fijación de CO_2 por la biomasa aérea de cada especie respecto del total estimado que se fija en Andalucía.

Tabla 1. Valores modulares de CO_2 para *Pinus pinea* L., pesos en kilogramos.

CD (cm)	Biomasa aérea						Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste		Ramas		Acículas	Total aérea		
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm				
5	4,1	0	1,5	3,6	1,2	10,3	1,8	12,0
10	25,8	0	8,5	15,1	5,7	55,0	9,8	64,8

15	60,6	28,1	18,9	28,0	11,5	147,0	26,5	173,6
20	126,5	59,9	38,0	49,3	21,5	295,3	54,0	349,3
25	223,2	107,5	65,1	76,4	35,0	507,2	93,8	601,0
30	354,3	173,0	100,9	108,9	51,9	789,1	147,1	936,2
35	522,9	258,3	146,0	146,9	72,5	1.146,6	215,3	1.361,9
40	732,0	365,2	200,9	190,1	96,6	1.584,8	299,4	1.884,3
45	984,1	495,4	266,1	238,6	124,4	2.108,6	400,5	2.509,1
50	1.281,8	650,3	341,9	292,2	155,8	2.722,1	519,6	3.241,7
55	1.627,4	831,6	428,8	350,8	191,1	3.429,6	657,6	4.087,2
60	2.022,9	1.040,4	527,2	414,4	230,1	4.235,0	815,2	5.050,2
65	2.470,5	1.278,3	637,3	482,9	272,8	5.141,9	993,5	6.135,3
70	2.972,2	1.546,4	759,4	556,3	319,5	6.153,8	1.193,0	7.346,8

Tabla 2. Comparación entre valores modulares de biomasa de la clase diamétrica 30 y el número de pies de siete especies estudiadas.

Valores para la clase diamétrica 30 (desde 27.5 a 32.5 cm de diámetro)			
	Nº pies	Valor modular de biomasa aérea (kg)	Toneladas totales biomasa aérea
<i>Quercus ilex</i> L.	4.634.957	450,5	2.088.048
<i>Quercus suber</i> L.	2.908.783	244,7	711.779
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	2.615.950	241,6	632.014
<i>Pinus pinea</i> L.	2.496.508	430,0	1.073.498
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	2.379.422	226,4	538.701
<i>Pinus nigra</i> Arn.	1.672.753	323,4	540.968
<i>Olea europaea</i> L.	554.490	286,8	159.028

Tabla 3. CO₂ total fijado por las principales especies forestales arbóreas de Andalucía, en toneladas (t) diferenciando biomasa aérea, radical y total.

ESPECIE	BIOMASA AEREA	BIOMASA RADICAL	BIOMASA TOTAL
1. <i>Pinus sylvestris</i> L.	1.522.340	356.242	1.878.582
2. <i>Pinus pinaster</i> Ait.	9.164.423	2.643.323	11.807.746
3. <i>Pinus nigra</i> Arn.	8.989.755	2.193.729	11.183.484
4. <i>Pinus pinea</i> L.	13.013.597	2.399.646	15.413.242
5. <i>Pinus halepensis</i> Mill.	7.519.611	2.022.407	9.542.018
6. <i>Quercus ilex</i> L.	40.285.611	20.454.854	60.740.464
7. <i>Quercus suber</i> L.	12.018.377	3.019.044	15.037.421
8. <i>Eucalyptus</i> sp.	7.383.625	-	7.383.625
9. <i>Quercus faginea</i> Lamk.	1.436.272	610.451	2.046.723
10. <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	290.821	92.746	383.566
11. <i>Quercus canariensis</i> Willd.	1.137.478	448.565	1.586.044
12. <i>Olea europaea</i> L.	3.780.036	846.972	4.627.007

13. <i>Pinus radiata</i> D. Don.	93.458	24.433	117.891
14. <i>Populus</i> sp	817.514	226.726	1.044.240
15. <i>Fraxinus</i> sp.	157.576	116.570	274.146
16. <i>Alnus glutinosa</i> L.	79.488	80.458	159.946
17. <i>Abies pinsapo</i> Boiss.	164.821	-	164.821
18. <i>Castanea sativa</i> Mill.	1.226.184	1.522.901	2.749.085
19. <i>Ceratonía siliqua</i> L.	191.926	181.363	373.289
20. <i>Juniperus oxycedrus</i> L.	306.247	313.249	619.496
21. <i>Juniperus phoenicea</i> L.	162.893	83.525	246.419
22. Otras frondosas	2.390.137	1.428.840	3.818.977
CO ₂ TOTAL FIJADO EN ANDALUCIA	112.132.190	39.066.044	151.198.232