

Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes «Pinar de Valsaín» y «Matas de Valsaín»

G. Montero¹, M. Muñoz^{1*}, J. Donés² y A. Rojo³

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

² Centro Montes de Valsaín. O. A. Parques Nacionales.

C/ Primera, 11. La Pradera de Navahorno. 40109 Valsaín (Segovia). España

³ Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Agroforestal.
Campus Universitario. 27002 Lugo. España

Resumen

Se ha realizado una estimación de la biomasa y del dióxido de carbono que hay acumulado en las masas de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* de los montes «Matas de Valsaín» y «Pinar de Valsaín» (Segovia). Para ello se han utilizado los datos de muestreos realizados por el CIFOR-INIA para ambas especies. Se eligen al menos tres pies por clase diamétrica, se apearon y se separaron en fracciones de biomasa (fuste, ramas de diámetro mayor de 7 cm, ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, ramas menores de 2 cm) que se pesaron en campo. Se extrajo el tocón de un pie por clase diamétrica y se pesó en verde. En laboratorio se determinó el peso seco de las muestras y se hallaron modelos para las distintas fracciones que relacionasen la biomasa seca y con el diámetro. Con estos modelos se calcularon unos valores modulares que se aplicaron a los datos del número de pies, obtenidos de los inventarios, para estimar la biomasa total de los montes. El CO₂ se estima mediante la relación entre el porcentaje de carbono en la biomasa seca y la cantidad de carbono en una molécula de CO₂. Se han realizado balances de fijación neta de CO₂ conociendo los crecimientos y las extracciones anuales.

Palabras clave: biomasa, carbono, pino silvestre, rebollo, Segovia.

Abstract

CO₂ fixation by *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pyrenaica* Willd. in «Pinar de Valsaín» and «Matas de Valsaín» stands.

Biomass and carbon dioxide accumulated amounts have been estimated in two *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica* forests («Matas de Valsaín» and «Pinar de Valsaín», Segovia). Data obtained in samplings made by CIFOR-INIA for both species have been utilized in this study. For each species, three trees per diameter class were selected, being then felled and separated into their biomass fractions (stems, branches with diameter over 7 cm, branches with diameter between 2 and 7 cm and branches thinner than 2 cm). Every tree fraction was weighed at field. The stump of one tree per diameter class was also extracted and weighed. Dry weights were determined at the laboratory through a sample of each fraction, and linear regression models to relate dry biomass with diameter for each biomass fraction were fitted. Using these models, a biomass table was constructed to be applied to inventory data (number of trees per diameter class) for determining total biomass within the stands. The CO₂ fixed per biomass unit was calculated through the ratio biomass/carbon. Balances of net CO₂ fixation have been determined knowing the annual increment and annual extractions.

Key words: biomass, carbon, Scots pine, oak, Segovia.

Introducción

El objetivo de este trabajo es hacer una estimación de la cantidad de carbono y el CO₂ atmosférico equi-

valente que hay acumulada en las masas de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* de los montes «Matas de Valsaín» y «Pinar de Valsaín» con una extensión de 2.161,5 Ha y 7.216,8 Ha respectivamente.

El carbono en la masa forestal se calcula a partir de una estimación de biomasa aérea y radical del *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica*. La estimación de la

* Autor para la correspondencia: martamm@inia.es
Recibido: 22-12-03; Aceptado: 05-02-04.

biomasa arbórea es importante para conocer la estructura, el funcionamiento y la dinámica de los sistemas forestales y, actualmente, está cobrando especial importancia para la determinación de la fijación de carbono en las masas forestales.

Para estimar la capacidad de fijación de carbono de las masas de *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* de los montes, se ha tomado la información de un estudio que está llevando a cabo el grupo de selvicultura del CIFOR-INIA en las principales especies forestales españolas (Montero, G. y Muñoz, M., 2003). La estimación de la biomasa de una especie forestal se consigue a partir de un muestreo destructivo realizado en una muestra de varios árboles de diferentes diámetros, pertenecientes a esas especies y a una misma calidad de estación. En estos muestreos se dividió cada árbol en sus distintas fracciones de biomasa (fuste, ramas, ramillas y raíces) para obtener información más minuciosa que pudiera utilizarse en estudios posteriores como, por ejemplo, el seguimiento del ciclo de carbono en los diferentes productos forestales. Conocida la biomasa de una muestra de árboles, se puede calcular la biomasa arbórea total de una zona mediante los datos de inventarios forestales, que aportan información del número de árboles por clase diamétrica para cada una de las principales especies forestales.

Material y Métodos

Descripción del método de muestreo

Biomasa aérea

Pinus sylvestris

En el estudio de biomasa forestal del pino silvestre se han tomado datos de tres puntos distintos, todos ellos en el Sistema Central: La Morcuera en la provincia de Madrid, El Raso y Valsaín en la provincia de Segovia. Los datos de peso de La Morcuera y de El Raso se tomaron dentro del seguimiento que hace el Departamento de Selvicultura del CIFOR-INIA de parcelas permanentes en estudios a diferentes intensidades de clara. El estudio en La Morcuera se realizó en febrero de 1992 y en él se apearon un total de 134 pies ejecutando claras de diferente intensidad. El estudio en El Raso se realizó en diciembre de 1988 y en él se tiraron 149 pies cubriéndose las clases diamétricas que van de 15 a 30 cm. La muestra de Valsaín se tomó du-

rante el mes de Diciembre del 2000 y en él se apearon 33 pies cubriéndose todas las clases diamétricas.

En los pies apeados en las tres muestras se midió el diámetro normal, la altura total y la altura del fuste hasta 7 cm. Una vez desramado, se procedió a la separación en fracciones de biomasa: ramas con diámetro > 7 cm, ramas con diámetro entre 2 y 7 cm y ramas con diámetro < 2 cm (chasca, donde también están incluidas las acículas). Se cubicaron los fustes y se pesaron en verde las distintas fracciones. Se tomó una muestra de chasca en la que se separó el leño de las acículas para calcular su porcentaje.

Las fracciones de biomasa aérea consideradas para los posteriores cálculos son: fuste, ramas > 7 cm, ramas 2-7 cm, ramillas < 2 cm y acículas.

Quercus pyrenaica

Para el estudio de biomasa del *Quercus pyrenaica* se han utilizado los datos de peso de 132 pies tomados en un muestreo realizado en Rascafría por el Departamento de Selvicultura del CIFOR-INIA, en 1995, y los datos de un estudio realizado en La Rioja, en los que se apearon y se pesaron en verde las distintas fracciones de biomasa de las muestras de árboles. Las fracciones de biomasa aérea consideradas son: leña gruesa (ramas > 7 cm incluido el fuste), leña fina (ramas de 2 a 7 cm) y chasca (ramas < 2 cm incluidas las hojas).

Biomasa radical

La toma de datos de biomasa radical se hizo en 14 pies de la muestra de pino silvestre de Valsaín y en 13 cepas de rebollo en Cáceres, cubriendo todas las clases diamétricas. Se limpió el tocón y raigón extraído y se separaron con motosierra las tres fracciones de biomasa radicular: tocón más raigón sin raíces, raíces mayores (con diámetro mayor de 7 cm) y raíces menores (con diámetro menor de 7 cm). Se pesaron en verde estas fracciones radicales.

Con todos estos datos de campo de peso verde calcularemos la materia seca de las fracciones de biomasa utilizando el porcentaje de humedad.

Determinación de la materia seca

Se tomó una muestra de cada fracción de biomasa de pino silvestre y de rebollo, y se llevó al laboratorio pa-

Tabla 1. Incrementos diametrales para *Pinus sylvestris*, en 5 años, según el IFN II

CD	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	> 70
Id (cm)	1,68	2,33	2,37	2,39	2,25	1,69	1,71	1,63	1,64	1,44	1,41	1,08	1,72

Tabla 2. Incrementos diametrales para *Quercus pyrenaica*, en 5 años, según el IFN II

CD	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Id (cm)	0,65	1,42	1,54	1,57	1,47	1,55	1,54	1,50	1,55	1,51	1,37	1,03	1,40

ra estimar el porcentaje de humedad. Se secaron en estufa, a $102 \pm 2^\circ\text{C}$, hasta llegar a peso constante, momento en el cual se consideraba que el contenido de agua era nulo. Estos porcentajes de humedad se han aplicado a los pesos en verde de las especies, creando así una tabla de pesos en seco. Para pasar los volúmenes con corteza de los fustes de pino silvestre a peso seco utilizamos valores de densidad básica (Gutiérrez *et al.*, 1997) Estimados los pesos en seco creamos una tabla única de datos con los pesos de las tres muestras de pino. Esta muestra única tiene un total de 316 pies y cubre todas las clases diamétricas desde CD 10 a CD 70, y con ella trabajaremos en el desarrollo de funciones de regresión y su posterior aplicación. De la misma manera, aplicando el correspondiente porcentaje de humedad a los pesos en verde de rebollo obtenemos su tabla de pesos secos.

Tratamiento estadístico de los datos

Se ha realizado un ajuste estadístico de los valores de las muestras para cada fracción de biomasa de las dos especies mediante modelos que relacionan los kilogramos de materia seca con el diámetro normal. Estos modelos presentan un coeficiente de correlación alto por lo que se descartó la posibilidad de introducir la altura del árbol como variable independiente además del diámetro normal. Se han probado diferentes modelos, y se ha elegido el que daba mejores resultados. Este modelo es el siguiente:

$$Lg(Y) = a + b Lg(X) \quad (1)$$

siendo:

Y = biomasa de cada fracción, en kilogramos de materia seca.

X = diámetro normal, en centímetros.

a, b = parámetros de la regresión.

Las funciones desarrolladas se aplicarán a los valores medios de las clases diamétricas que establece el inventario del monte, para obtener los valores modu-

lares de biomasa. En el inventario del monte Matas de Valsaín, la primera clase diamétrica incluye los pies con diámetros desde 12,5 a 17,5, siendo la marca de clase 15; sin embargo en el inventario de Pinar de Valsaín esta primera clase comprende los diámetros de 10 a 15, siendo la marca de clase 12,5. Al ser las marcas de clase distintas en los dos inventarios, se han calculado valores modulares distintos para cada monte y así poder aplicarlos a los datos de cada uno. Para estimar el peso de los pies incluidos en los inventarios como «pies menores», correspondientes a los pies con $D_n < 12,5$ cm en Matas y $D_n < 10$ cm en Pinar de Valsaín, se entró en las funciones de regresión desarrolladas con la marca de clase de 10 cm en el primer caso y 7,5 en el segundo caso. Incluimos en estas clases diamétricas todos los pies menores de la misma forma que se han incluido en la clase diamétrica 75 cm todos los pies con D_n mayores a 72,5 cm en Matas, y en la clase diamétrica 72,5 cm los mayores de 70 cm en Valsaín.

Se ha considerado, en el caso del pino silvestre, que las clases diamétricas menores de 20 cm no tienen ramas gruesas cambiando por tanto los valores que se obtienen de las funciones para estos diámetros. Las funciones obtenidas, aunque son bastante exactas, tienen un pequeño error y por ello la suma de los valores modulares para cada clase diamétrica de fuste y ramas difiere del resultado obtenido al aplicar la función para el árbol completo. Se ha solucionado esta diferencia calculando el porcentaje correspondiente de cada

Tabla 3. Extracciones anuales de pino y rebollo de fuste (m³) y de leñas (t) respectivamente

Monte	Extracciones anuales (en verde)	
	<i>Pinus sylvestris</i> (m ³)	<i>Quercus pyrenaica</i> (t)
Matas de Valsaín	4.289	360
Pinar de Valsaín	28.748	—

Tabla 4. Extracciones anuales de *Pinus sylvestris* en los montes Pinar de Valsaín y Matas de Valsaín

Extracciones anuales de materia seca (t) por fracciones								
Monte	Biomasa aérea					Total	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas			Acículas			
		R > 7	R 2-7	R < 2				
Matas de Valsaín	1.793	80	162	117	89	2.240	650	2.891
Pinar de Valsaín	12.017	502	1.130	891	672	15.212	4.351	19.563

Tabla 5. Extracciones anuales de leña de *Quercus pyrenaica* por fracción de biomasa en los montes Matas de Valsaín y Pinar de Valsaín

Extracciones anuales de materia seca (t) por fracciones					
Monte	Biomasa aérea		Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	LG + LF	Chasca			
	R > 2 cm	R < 2 cm			
Matas de Valsaín	198	14	212	70	282
Pinar de Valsaín	0	0	0	0	0

LG: leña gruesa, diámetro > 7 cm. LF: leña fina, diámetro entre 2 y 7 cm.

fracción respecto del total (suma de los valores modulares para cada clase diamétrica). Multiplicando este porcentaje por el total de biomasa aérea obtenido a partir de la fórmula conseguimos los valores modulares finales de biomasa. Estos valores modulares se aplicarán a los datos de existencias de esa especie por clase diamétrica obtenidos de los inventarios de los montes.

También tenemos que mencionar que nombramos el peso total de raíz como raíz completa pero en realidad es el peso del tocón, el raigón y las principales raíces que salieron al sacar el tocón con la retroexcavadora y las que se recogieron en el hoyo abierto. Sería imposible extraer el sistema radical completo. Los estudios de biomasa radical suelen hacerse midiendo producción de biomasa por hectárea, no por pie.

Cálculo de incrementos anuales de biomasa

El incremento anual de biomasa se determina de acuerdo con la expresión (2) donde el incremento diametral corresponde al crecimiento corriente anual tomado del Segundo Inventario Forestal Nacional. 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.

$$IB = f(d + ID) - f(d) \quad (2)$$

siendo:

IB = incremento de biomasa en kilogramos de materia seca

d = diámetro normal en centímetros

ID = incremento anual de diámetro en cm

Al utilizar las mismas funciones que las empleadas para calcular los valores modulares de biomasa, se comete el mismo error mencionado en el apartado anterior. Se solventa de la misma manera.

Los datos de incremento anual de diámetro de una especie los tomamos del Segundo Inventario Forestal Nacional, donde se ofrecen por clase diamétrica para cada provincia. Se estimó la media del crecimiento diametral anual para toda España, representada en las Tablas 1 y 2.

Cálculo de CO₂ acumulado

A partir de la cuantificación de biomasa seca de las masas de rebollo o de pino silvestre, calculamos la cantidad de dióxido de carbono que han almacenado esas masas. Para ello es necesario conocer el porcentaje de carbono de la materia seca. Según Kollmann (1959) la composición de la madera es idéntica en las distintas especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol, en sus diversas partes, tronco y ramas. Por esta razón se admite que todas las maderas contienen

Tabla 6. Parámetros de los modelos de regresión para estimar la biomasa de *Pinus sylvestris* L. y su coeficiente de determinación

Y	Parámetros		R ²
	a	b	
BT	-2,50275	2,41194	0,951
BF	-3,80519	2,70808	0,947
BR ₇	-15,0469	4,80367	0,824
BR ₂₋₇	-4,07857	2,1408	0,722
BR ₂	-2,08375	1,51001	0,627
BA	-2,36531	1,5099	0,626
Br	-4,56044	2,62841	0,972

BT, BF, BR₇, BR₂₋₇, BR₂, BA, Br: biomasa total aérea, biomasa del fuste, biomasa de las ramas mayores de 7 cm, biomasa de las ramas entre 2 y 7 cm, biomasa de las ramas menores de 2 cm, biomasa de las acículas y biomasa radical respectivamente.

aproximadamente un 50% de carbono. En el caso del *Q. pyrenaica*, el contenido de carbono de la materia seca es del 47,5%, mientras que para el *P. sylvestris* se considera el 50% (Ibáñez, 2001). Mediante la proporción entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de C que la compone obtenemos la relación que se utilizará para pasar de kg de C a kg de CO₂ equivalente ($44/12 = 3,67$). Así, multiplicando los valores modulares de biomasa por el contenido en carbono y por 3,67 obtenemos los valores modulares de CO₂

Tabla 7. Parámetros de los modelos de regresión para estimar la biomasa de *Quercus pyrenaica* y su coeficiente de determinación

Y	Parámetros		R ²
	a	b	
BT	-2,59695	2,53456	0,9784
LG	-4,2211	2,95974	0,8675
LF	-1,97519	1,77301	0,8461
CH	-4,85139	2,38766	0,8859
RZ	-2,4543	2,13346	0,9675

BT, LG, LF, CH, RZ: biomasa total aérea, biomasa de leñas gruesas (fuste y ramas mayores de 7 cm), biomasa de las leñas finas (ramas de diámetro entre 2 y 7 cm), biomasa de la chasca (ramas menores de 2 cm) y biomasa radical respectivamente.

acumulado, por clases diamétricas y fracciones de biomasa para cada especie.

Aplicación de los valores estimados a los inventarios de «Pinar de Valsain» y «Matas de Valsain»

Los valores modulares obtenidos a partir de las funciones desarrolladas, que cubren todas las clases diamétricas desde pies menores hasta pies mayores se aplicarán a los datos de existencias de cada monte, multiplicando el número de pies por los valores mo-

Tabla 8. Biomasa total en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

Biomasa total (toneladas de materia seca)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
10	64.282	743	0	153	263	199	1.359	286	1.644
15	56.760	2.063	0	338	450	339	3.190	732	3.922
20	41.414	3.303	0	459	510	385	4.658	1.138	5.796
25	27.062	3.888	43	476	460	347	5.214	1.337	6.551
30	26.802	6.197	101	685	589	444	8.016	2.138	10.155
35	29.591	10.168	229	1.029	803	606	12.836	3.540	16.376
40	31.298	15.087	450	1.416	1.016	766	18.735	5.319	24.054
45	30.779	19.924	761	1.749	1.165	879	24.478	7.129	31.607
50	24.230	20.352	970	1.683	1.049	791	24.845	7.402	32.247
55	15.844	16.796	977	1.316	772	582	20.444	6.218	26.663
60	8.257	10.798	754	805	447	337	13.142	4.073	17.216
65	4.215	6.671	551	475	251	189	8.138	2.566	10.704
70	1.405	2.647	255	181	91	69	3.243	1.039	4.283
> 75	1.318	2.916	325	192	92	70	3.595	1.169	4.764
Total (t)		121.553	5.419	10.958	7.960	6.004	151.894	44.088	195.982

Tabla 9. Incremento total de biomasa en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

Incremento de biomasa total (toneladas de materia seca)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
10	64.282	75	0	12	15	11	113	26	139
15	56.760	183	0	23	22	16	244	61	306
20	41.414	215	0	23	18	14	271	72	343
25	27.062	198	4	19	13	10	244	68	312
30	26.802	243	7	21	13	10	293	85	378
35	29.591	251	10	20	11	8	300	90	390
40	31.298	325	17	24	12	9	388	120	508
45	30.779	359	25	25	12	9	429	136	565
50	24.230	329	28	21	9	7	395	128	523
55	15.844	214	22	13	5	4	259	86	345
60	8.257	122	15	7	3	2	150	51	200
65	4.215	53	8	3	1	1	66	23	88
70	1.405	31	5	2	1	0	39	13	52
> 75	1.318	31	6	2	1	0	40	14	54
Total (t)		2.628	148	216	135	102	3.229	975	4.204

dulares de cada fracción de biomasa y por sus incrementos. Se estima así la biomasa total de los montes «Matas de Valsain» y «Pinar de Valsain», separada en fracciones de biomasa y según clases diamétricas. Del

mismo modo se obtienen los incrementos anuales totales de biomasa de ambos montes, así como la cantidad de CO₂ fijado y el incremento anual, según clases diamétricas y por fracciones.

Tabla 10. CO₂ total acumulado en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

CO ₂ acumulado total (toneladas)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
10	64.282	1.364	0	281	483	365	2.493	524	3.017
15	56.760	3.785	0	620	825	623	5.853	1.344	7.197
20	41.414	6.062	0	843	936	706	8.548	2.089	10.636
25	27.062	7.134	80	874	844	636	9.568	2.453	12.021
30	26.802	11.371	186	1.256	1.081	815	14.710	3.924	18.633
35	29.591	18.658	421	1.889	1.474	1.112	23.554	6.496	30.050
40	31.298	27.684	827	2.598	1.864	1.406	34.379	9.760	44.139
45	30.779	36.560	1.397	3.210	2.138	1.612	44.917	13.081	57.998
50	24.230	37.346	1.780	3.088	1.925	1.452	45.590	13.583	59.174
55	15.844	30.822	1.794	2.415	1.417	1.069	37.516	11.411	48.927
60	8.257	19.816	1.384	1.478	821	619	24.117	7.475	31.592
65	4.215	12.241	1.011	872	461	348	14.933	4.709	19.642
70	1.405	4.858	469	332	167	126	5.952	1.907	7.859
> 75	1.318	5.349	596	351	170	128	6.594	2.145	8.739
Total (t)		223.050	9.943	20.107	14.606	11.017	278.724	80.901	359.625

Tabla 11. Incremento total de CO₂ acumulado en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

Incremento total de CO ₂ (toneladas)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
10	64.282	138	0	22	27	20	207	48	254
15	56.760	335	0	43	40	30	448	113	561
20	41.414	395	0	43	34	25	497	133	629
25	27.062	363	7	35	24	18	447	125	572
30	26.802	445	13	39	23	18	538	157	694
35	29.591	460	19	37	20	15	551	166	716
40	31.298	596	32	44	22	17	711	220	931
45	30.779	659	45	46	21	16	787	250	1.037
50	24.230	603	51	39	17	13	724	235	959
55	15.844	393	41	24	10	8	476	158	634
60	8.257	224	28	13	5	4	275	93	367
65	4.215	97	14	5	2	2	120	41	162
70	1.405	56	10	3	1	1	71	25	96
> 75	1.318	57	11	3	1	1	73	26	99
Total (t)		4.822	271	397	248	187	5.925	1.788	7.714

Extracciones

Consideraremos que se extrae la biomasa completa, es decir, la parte aérea y la radical. Esto no es cier-

to porque el tocón, raíces y parte de las ramas y las hojas se quedan en el monte pero estas fracciones, una vez cortado el árbol, dejan de producir biomasa. Además, el carbono contenido en estas partes será des-

Tabla 12. Biomasa total en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

Biomasa total (toneladas de materia seca)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG	LF	CH			
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm			
10	329.711	4.786	2.942	683	8.411	3.852	12.263
15	119.097	5.687	2.161	643	8.491	3.305	11.795
20	32.444	3.511	948	337	4.795	1.663	6.459
25	13.099	2.639	547	223	3.408	1.081	4.489
30	7.306	2.428	405	185	3.018	890	3.907
35	3.631	1.834	255	128	2.217	614	2.831
40	2.594	1.877	223	121	2.221	583	2.805
45	2.183	2.166	223	131	2.520	631	3.151
50	2.140	2.811	256	160	3.226	775	4.001
55	951	1.608	131	87	1.826	422	2.248
60	778	1.656	121	85	1.862	416	2.278
65	432	1.136	76	56	1.267	274	1.541
70	476	1.518	93	71	1.682	353	2.035
Total (t)		33.657	8.380	2.907	44.945	14.859	59.804

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

Tabla 13. Incremento total de biomasa total en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

Incremento total de biomasa (toneladas de materia seca)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG R > 7 cm	LF R 2-7 cm	CH R < 2 cm			
10	329.711	189	69	22	280	107	387
15	119.097	313	70	28	412	135	547
20	32.444	153	24	12	189	55	244
25	13.099	100	3	7	110	29	139
30	7.306	65	6	4	76	19	94
35	3.631	44	4	2	50	12	62
40	2.594	39	3	2	44	10	53
45	2.183	39	2	2	43	9	52
50	2.140	46	3	2	51	10	61
55	951	23	1	1	26	5	30
60	778	20	1	1	22	4	26
65	432	9	0	0	10	2	12
70	476	16	1	1	17	3	20
Total (t)		1.056	188	84	1.328	399	1.728

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

Tabla 14. CO₂ total acumulado en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

CO ₂ total acumulado (toneladas)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG R > 7 cm	LF R 2-7 cm	CH R < 2 cm			
10	329.711	8.344	5.129	1.190	14.663	6.715	21.378
15	119.097	9.914	3.766	1.121	14.801	5.761	20.562
20	32.444	6.120	1.653	587	8.360	2.899	11.259
25	13.099	4.600	953	388	5.942	1.884	7.826
30	7.306	4.232	706	322	5.261	1.551	6.811
35	3.631	3.198	444	223	3.865	1.071	4.936
40	2.594	3.273	388	211	3.872	1.017	4.889
45	2.183	3.776	389	228	4.393	1.101	5.493
50	2.140	4.900	446	278	5.624	1.351	6.975
55	951	2.804	228	151	3.183	736	3.918
60	778	2.887	212	148	3.246	725	3.971
65	432	1.980	132	97	2.209	478	2.687
70	476	2.647	162	124	2.932	615	3.548
Total (t)		58.673	14.609	5.068	78.350	25.903	104.253

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

Tabla 15. Incremento total de CO₂ acumulado en Matas de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

Incremento total de CO ₂ (toneladas)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG R > 7 cm	LF R 2-7 cm	CH R < 2 cm			
10	329.711	329	120	38	487	187	675
15	119.097	546	123	50	718	234	953
20	32.444	266	43	21	330	96	426
25	13.099	174	6	12	191	51	242
30	7.306	113	11	7	132	33	164
35	3.631	77	6	4	87	20	108
40	2.594	68	5	4	76	17	93
45	2.183	67	4	3	75	16	91
50	2.140	81	4	4	89	18	107
55	951	41	2	2	44	9	53
60	778	35	2	1	38	7	45
65	432	16	1	1	18	3	21
70	476	28	1	1	30	5	35
Total (t)		1.841	328	146	2.315	696	3.012

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

prendido, por descomposición, a la atmósfera en forma de CO₂ transcurrido un tiempo. Por lo tanto este carbono no lo podemos considerar como fijado permanentemente.

Para hacer una estimación de las extracciones en los montes y de su contribución al balance de carbono se han tomado las posibilidades de corta anuales de ambos para las dos especies, representadas

Tabla 16. Biomasa total en Pinar de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

Biomasa total (toneladas de materia seca)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R>7	R 2-7	R<2				
7,5	2.551.295	12.706	0	3.082	6.357	4.796	26.942	5.324	32.265
12,5	557.789	12.183	0	2.212	3.305	2.493	20.194	4.457	24.651
17,5	454.372	25.227	0	3.784	4.573	3.450	37.035	8.791	45.826
22,5	370.007	40.231	360	5.233	5.397	4.071	55.292	13.859	69.151
27,5	286.075	52.758	718	6.124	5.565	4.198	69.364	18.158	87.522
32,5	266.518	75.750	1.464	7.998	6.541	4.934	96.687	26.242	122.929
37,5	246.527	100.955	2.633	9.828	7.344	5.540	126.300	35.358	161.658
42,5	244.795	137.398	4.658	12.460	8.603	6.489	169.609	48.787	218.396
47,5	195.721	144.871	6.201	12.334	7.940	5.989	177.333	52.252	229.585
52,5	146.502	138.678	7.321	11.155	6.741	5.085	168.979	50.881	219.860
57,5	79.024	93.292	5.959	7.127	4.067	3.067	113.512	34.859	148.371
62,5	44.744	64.516	4.908	4.701	2.545	1.920	78.589	24.574	103.163
67,5	14.867	25.722	2.299	1.794	925	698	31.438	9.995	41.433
72,5	16.310	33.350	3.462	2.234	1.101	831	40.978	13.232	54.209
Total (t)		957.637	39.982	90.067	71.006	53.561	1.212.252	346.768	1.559.020

Tabla 17. Incremento total de biomasa en Pinar de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

Incremento de biomasa total (toneladas de materia seca)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
7,5	2.551.295	1.803	0	341	490	369	3.004	650	3.654
12,5	557.789	1.139	0	162	169	128	1.598	450	2.048
17,5	454.372	1.892	0	223	188	142	2.445	640	3.084
22,5	370.007	2.295	37	235	169	128	2.864	787	3.651
27,5	286.075	2.345	58	214	137	103	2.857	791	3.648
32,5	266.518	2.370	82	197	113	85	2.848	721	3.569
37,5	246.527	2.321	108	178	94	71	2.772	851	3.623
42,5	244.795	2.703	164	193	94	71	3.225	988	4.212
47,5	195.721	2.468	189	166	75	57	2.954	953	3.907
52,5	146.502	1.992	188	126	54	41	2.401	738	3.139
57,5	79.024	1.120	128	68	27	20	1.363	452	1.815
62,5	44.744	616	83	35	14	10	759	225	983
67,5	14.867	253	40	14	5	4	316	134	450
72,5	16.310	370	69	20	7	5	471	166	636
Total (t)		23.687	1.146	2.172	1.635	1.234	29.874	8.546	38.420

en la tabla 3. Para el pino silvestre utilizaremos la densidad básica de la madera para obtener el peso seco de fuste extraído. Suponemos que las extracciones del resto de fracciones de biomasa son pro-

porcionales a las extracciones de fuste según la relación:

$$(Extracciones\ fuste/Existencias\ fuste) \times \\ \times Existencias\ fracción = Extracciones\ fracción$$

Tabla 18. CO₂ total acumulado en Pinar de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

CO ₂ acumulado total (toneladas)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
7,5	2.551.295	23.316	0	5.656	11.665	8.801	49.438	9.769	59.207
12,5	557.789	22.356	0	4.059	6.065	4.575	37.056	8.178	45.234
17,5	454.372	46.292	0	6.944	8.392	6.331	67.959	16.132	84.091
22,5	370.007	73.823	660	9.603	9.904	7.471	101.461	25.431	126.892
27,5	286.075	96.811	1.318	11.238	10.212	7.703	127.283	33.320	160.602
32,5	266.518	139.001	2.686	14.677	12.003	9.054	177.420	48.155	225.575
37,5	246.527	185.252	4.831	18.035	13.476	10.165	231.760	64.882	296.643
42,5	244.795	252.126	8.548	22.863	15.787	11.908	311.232	89.524	400.756
47,5	195.721	265.838	11.378	22.633	14.569	10.989	325.407	95.882	421.288
52,5	146.502	254.473	13.433	20.469	12.370	9.331	310.077	93.366	403.443
57,5	79.024	171.191	10.935	13.078	7.463	5.629	208.295	63.966	272.262
62,5	44.744	118.387	9.006	8.626	4.670	3.522	144.211	45.093	189.304
67,5	14.867	47.199	4.219	3.292	1.698	1.281	57.689	18.342	76.030
72,5	16.310	61.197	6.354	4.099	2.021	1.524	75.194	24.280	99.474
Total (t)		1.757.263	73.367	165.272	130.295	98.285	2.224.483	636.319	2.860.802

Tabla 19. Incremento total de CO₂ acumulado en Pinar de Valsaín, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Pinus sylvestris* (t)

Incremento total de CO ₂ (toneladas)									
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas			Acículas			
			R > 7	R 2-7	R < 2				
7,5	2.551.295	3.309	0	627	899	678	5.512	1.193	6.705
12,5	557.789	2.091	0	297	310	234	2.932	826	3.758
17,5	454.372	3.472	0	409	345	261	4.486	1.174	5.660
22,5	370.007	4.210	68	430	311	235	5.255	1.445	6.699
27,5	286.075	4.303	106	393	251	189	5.242	1.452	6.694
32,5	266.518	4.348	151	362	208	157	5.226	1.324	6.549
37,5	246.527	4.259	199	327	172	130	5.086	1.562	6.648
42,5	244.795	4.959	301	355	172	130	5.917	1.812	7.730
47,5	195.721	4.529	346	304	138	104	5.421	1.748	7.170
52,5	146.502	3.656	344	232	99	74	4.406	1.354	5.760
57,5	79.024	2.056	234	124	50	38	2.501	829	3.330
62,5	44.744	1.130	153	65	25	19	1.392	412	1.804
67,5	14.867	464	74	26	9	7	580	247	826
72,5	16.310	680	126	36	12	9	863	304	1.167
Total (t)		43.466	2.102	3.986	3.001	2.264	54.820	15.681	70.501

Obtenemos por tanto las extracciones correspondientes a ramas, raíces, parte aérea y biomasa total. En el caso del rebollo nos dan las extracciones, en toneladas, de leñas gruesas y las leñas finas; haremos la proporción extraída del resto de fracciones de biomasa de la misma manera que para el pino. Las extracciones de pino silvestre y de rebollo para los dos montes según las distintas fracciones de biomasa se presentan en las tablas 4 y 5 respectivamente.

Balance de CO₂

Los valores calculados nos sirven para calcular un balance aproximado de CO₂ en los montes de Matas y Pinar de Valsaín en el año 2003. Conocemos el CO₂ total fijado por cada especie en el año que se hicieron los inventarios, el CO₂ que se acumula cada año como consecuencia del crecimiento y, finalmente, conocemos el CO₂ extraído por las cortas anualmente. Ade-

Tabla 20. Biomasa total en Pinar de Valsaín, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

Biomasa total (toneladas de materia seca)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG	LF	CH			
		R > 7 cm	R 2-7 cm	R < 2 cm			
7,5	109.335	662	572	111	1.345	691	2.037
12,5	21.867	615	290	77	982	411	1.393
17,5	6.423	477	151	49	677	248	924
22,5	1.227	185	43	17	244	81	325
27,5	1.155	302	56	24	383	117	499
32,5	361	149	23	11	183	52	235
37,5	144	88	11	6	105	28	133
Total (t)		2.477	1.146	295	3.919	1.628	5.547

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

Tabla 21. Incremento total de biomasa en Pinar de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

Incremento de biomasa total (toneladas de materia seca)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG R > 7 cm	LF R 2-7 cm	CH R < 2 cm			
7,5	109.335	36	19	5	60	26	86
12,5	21.867	30	8	3	42	15	56
17,5	6.423	23	4	2	29	9	38
22,5	1.227	8	1	1	9	2	11
27,5	1.155	9	1	1	11	3	14
32,5	361	4	0	0	4	1	5
37,5	144	2	0	0	2	0	3
Total (t)		112	33	11	157	56	213

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

Tabla 22. CO₂ total acumulado en Pinar de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

CO ₂ total acumulado (toneladas)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG R > 7 cm	LF R 2-7 cm	CH R < 2 cm			
7,5	109.335	1.154	998	194	2.345	1.205	3.551
12,5	21.867	1.072	506	135	1.712	717	2.429
17,5	6.423	831	263	86	1.180	432	1.612
22,5	1.227	322	76	29	426	141	567
27,5	1.155	527	98	42	667	204	871
32,5	361	260	39	19	318	91	409
37,5	144	153	20	10	183	49	232
Total (t)		4.318	1.998	515	6.831	2.839	9.670

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

más con esta información podemos hacer una estimación de la fijación en cualquier año, presente y futuro en este monte.

Resultados

Modelos de regresión

Los modelos obtenidos para estimar la biomasa seca de las distintas fracciones de biomasa del pino silvestre son de la forma: $Lg(Y) = a + b Lg(X)$, siendo, Y = biomasa de cada fracción (kilogramos de materia

seca), X = diámetro normal (centímetros) y a, b = parámetros de la regresión.

Para el *P. sylvestris* se observa muy buena correlación para el fuste, ya que su peso es muy dependiente del diámetro normal, y la correlación con el peso del árbol completo es la más alta, mejor que cada una de las fracciones aéreas por separado. Es importante destacar que las ramas gruesas también tienen una correlación muy alta lo cual no suele ser habitual en los estudios de biomasa realizados con otras especies. En general las correlaciones son muy buenas si tenemos en cuenta que son pies provenientes de tres muestras distintas.

Tabla 23. Incremento total de CO₂ en Pinar de Valsain, por fracción de biomasa y por clases diamétricas, para *Quercus pyrenaica* (t)

Incremento total de CO ₂ (toneladas)							
CD (cm)	N.º total pies	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		LG R > 7 cm	LF R 2-7 cm	CH R < 2 cm			
7,5	109.335	63	32	9	104	45	149
12,5	21.867	53	15	5	73	26	98
17,5	6.423	40	8	3	51	16	67
22,5	1.227	13	1	1	15	4	19
27,5	1.155	16	2	1	19	5	24
32,5	361	7	1	0	8	2	9
37,5	144	3	0	0	4	1	5
Total (t)		195	58	20	273	98	371

LG: leñas gruesas, incluyen los fustes y las ramas de diámetro mayor de 7 cm. LF: leñas finas, incluyen las leñas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm. CH: chasca, incluye las ramillas menores de 2 cm.

Tabla 24. Biomasa total, incremento anual de biomasa, CO₂ total fijado y fijación anual de CO₂ (t) para ambos montes

Toneladas totales para Matas y Pinar de Valsain				
	Biomasa total	Incremento biomasa anual	CO ₂ total fijado	Fijación anual de CO ₂
<i>Pinus sylvestris</i>	195.982	4.204	359.625	7.714
<i>Quercus pyrenaica</i>	59.804	1.728	104.253	3.012
Total Matas (t)	255.786	5.932	463.878	10.726
<i>Pinus sylvestris</i>	1.559.020	38.420	2.860.802	70.501
<i>Quercus pyrenaica</i>	5.547	213	9.670	371
Total Pinar (t)	1.564.567	40.633	2.870.472	70.872

Tabla 25. Balance de fijación neta de CO₂ por *Pinus sylvestris* en Pinar de Valsain, en toneladas (t)

Período 1993-2003	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas			Acículas			
		R > 7	R 2-7	R < 2				
CO ₂ total fijado en 1993	223.051	9.943	20.108	14.606	11.017	278.725	80.901	359.626
CO ₂ fijado al año	4.822	271	397	248	187	5.925	1.788	7.714
CO ₂ extraído al año	3.290	147	297	215	162	4.111	1.193	5.304
CO ₂ neto fijado al año	1.533	125	100	32	24	1.814	595	2.409
CO ₂ total fijado en 2003	238.377	11.190	21.111	14.929	11.261	296.867	86.854	383.721

Respecto al rebollo, los mejores coeficientes son para la leña fina y la chasca y el peor para la leña gruesa, siendo esto último bastante habitual en los estudios de biomasa realizados como ya se ha mencionado. La fracción que presenta mayor variabilidad es la leña gruesa (que en este caso incluye el fuste).

Totales de biomasa y CO₂

Monte «Matas de Valsain» (Tablas 8 a 24)

Balances de fijación CO₂

Balances de CO₂ por especies (Tablas 25 a 30 y Figs. 1 a 12)

Tabla 26. Balance de fijación neta de CO₂ por *Pinus sylvestris* en Matas de Valsáin, en toneladas (t)

Período 1989-2003	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas			Acículas			
		R > 7	R 2-7	R < 2				
CO ₂ total fijado en 1989	1.757.263	73.367	165.272	130.295	98.285	2.224.483	636.319	2.860.802
CO ₂ fijado al año	43.466	2.102	3.986	3.001	2.264	54.820	15.681	70.501
CO ₂ extraído al año	22.051	921	2.074	1.635	1.233	27.913	7.985	35.898
CO ₂ neto fijado al año	21.416	1.182	1.912	1.366	1.030	26.906	7.697	34.603
CO ₂ total fijado en 2003	2.057.086	89.912	192.043	149.419	112.709	2.601.169	744.071	3.345.240

Tabla 27. Balance de fijación neta de CO₂ por *Quercus pyrenaica* en Matas de Valsáin, en toneladas (t)

Período 1993-2003	Biomasa aérea		Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	LG + LF R > 2 cm	Chasca R < 2 cm			
CO ₂ total fijado en 1993	73.282	5.068	78.350	25.903	104.253
CO ₂ fijado al año	2.169	146	2.315	696	3.012
CO ₂ extraído al año	345	24	369	122	491
CO ₂ neto fijado al año	1.824	122	1.946	574	2.521
CO ₂ total fijado en 2003	91.521	6.291	97.812	31.647	129.459

Tabla 28. Balance de fijación neta de CO₂ por *Quercus pyrenaica* en Pinar de Valsáin, en toneladas (t)

Período 1989-2003	Biomasa aérea		Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	LG + LF R > 2 cm	Chasca R < 2 cm			
CO ₂ total fijado en 1989	6.316	515	6.831	2.839	9.670
CO ₂ fijado al año	254	20	273	98	371
CO ₂ extraído al año	0	0	0	0	0
CO ₂ neto fijado al año	254	20	273	98	371
CO ₂ total fijado en 2003	9.867	791	10.657	4.209	14.866

Tabla 29. Balance de fijación neta de CO₂ por *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* en Matas de Valsáin, en toneladas (t)

	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
CO ₂ total fijado en 1993 (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	357.075	106.804	463.879
CO ₂ fijado al año (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	8.240	2.485	10.725
CO ₂ extraído al año (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	4.480	1.315	5.795
CO ₂ neto fijado al año (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	3.760	1.170	4.930
CO ₂ total fijado en 2003 (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	394.679	118.501	513.180

Tabla 30. Balance de fijación neta de CO₂ por *Pinus sylvestris* y *Quercus pyrenaica* en Pinar de Valsáin, en toneladas (t)

	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
CO ₂ total fijado en 1989 (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	2.231.314	639.158	2.870.471
CO ₂ fijado al año (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	55.093	15.779	70.872
CO ₂ extraído al año (<i>P. sylvestris</i>)	27.913	7.985	35.898
CO ₂ neto fijado al año (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	27.179	7.794	34.974
CO ₂ total fijado en 2003 (<i>P. sylvestris</i> + <i>Q. pyrenaica</i>)	2.611.826	748.280	3.360.106

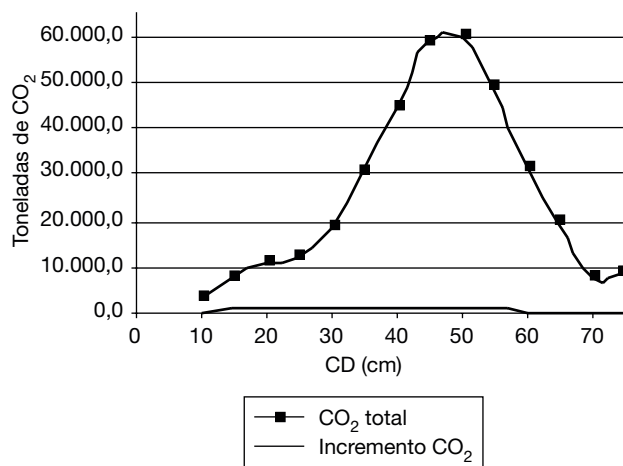


Figura 1. CO₂ e incrementos totales en Matas fijados por *Pinus sylvestris*.

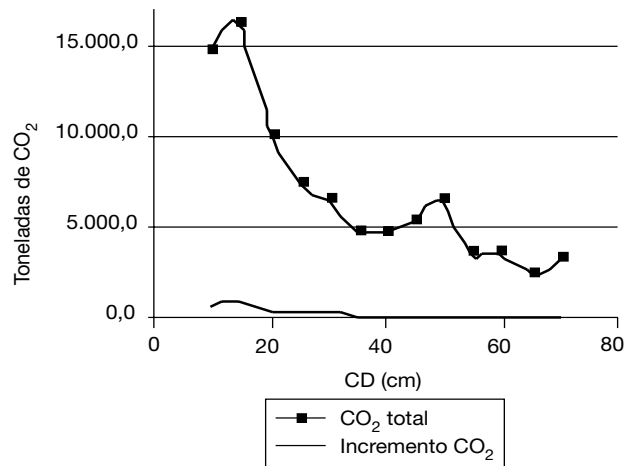


Figura 2. CO₂ e incrementos totales en Matas fijados por *Quercus pyrenaica*.

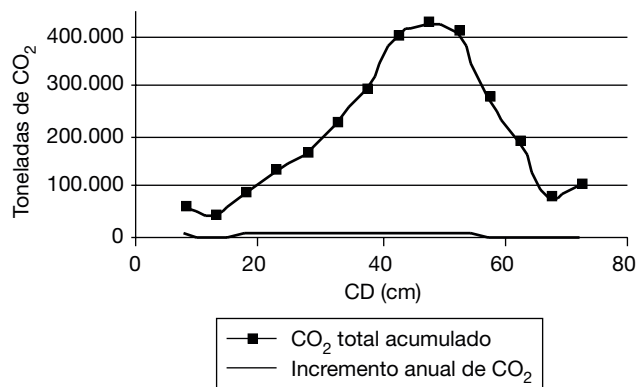


Figura 3. CO₂ e incrementos totales en Pinar fijados por *Pinus sylvestris*.

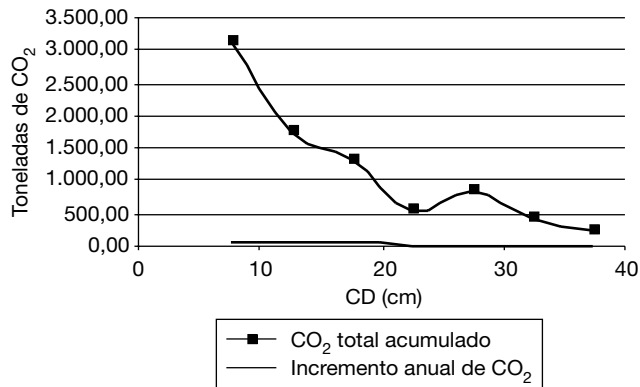


Figura 4. CO₂ e incrementos totales en Pinar fijados por *Quercus pyrenaica*.

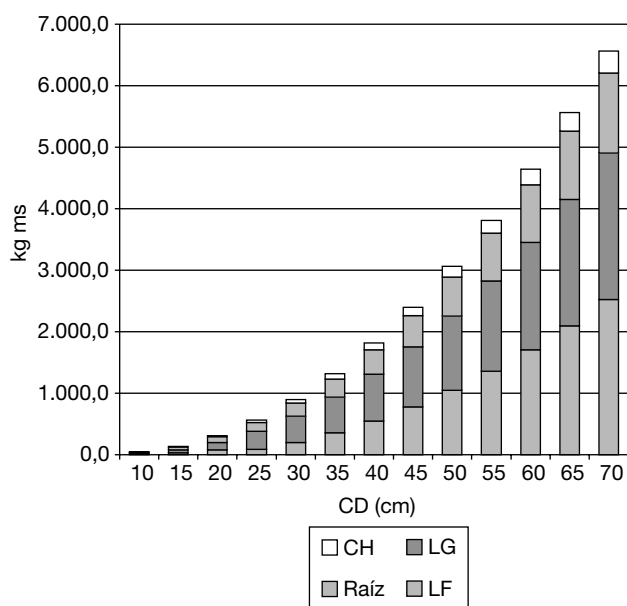


Figura 5. Valores modulares de CO₂ para *Quercus pyrenaica* (kg).

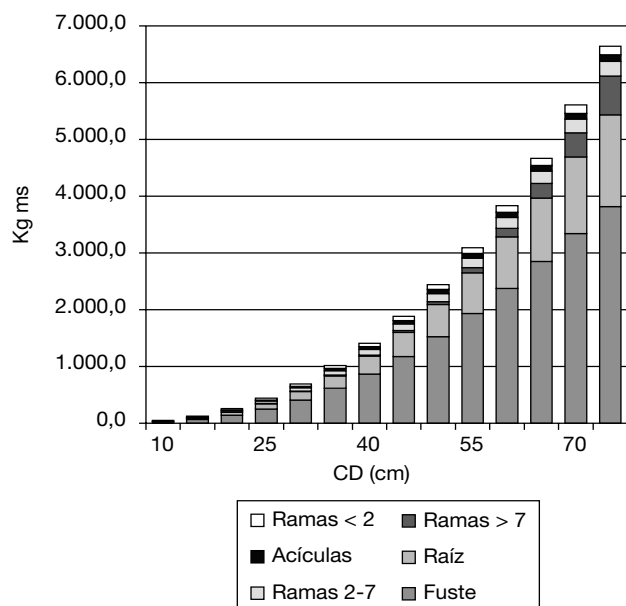


Figura 6. Valores modulares de CO₂ para *Pinus sylvestris* (kg).

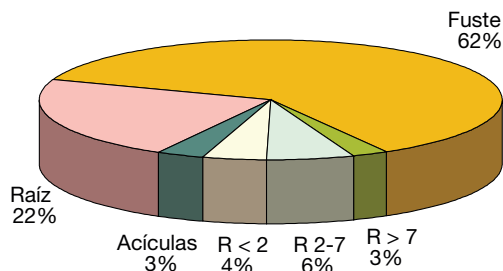


Figura 7. Distribución por fracciones del CO₂ acumulados en Matas por *Pinus sylvestris*.

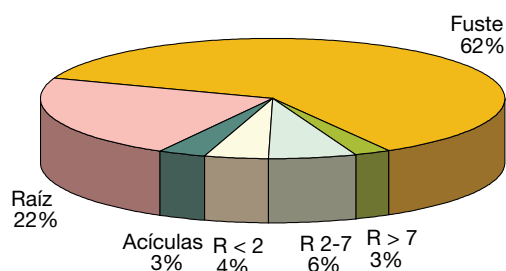


Figura 8. Distribución por fracciones del CO₂ acumulados en Pinar por *Pinus sylvestris*.

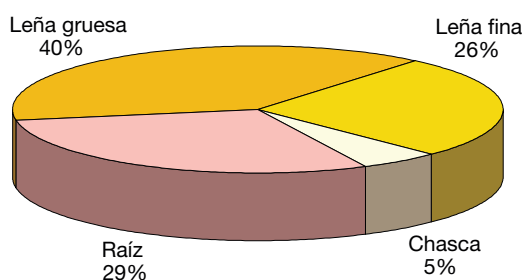


Figura 9. Distribución por fracciones del CO₂ acumulados en Matas por *Quercus pyrenaica*.

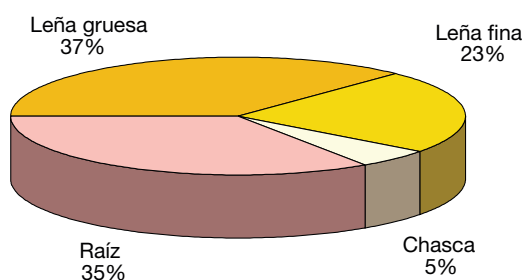


Figura 10. Distribución por fracciones del CO₂ acumulados en Pinar por *Quercus pyrenaica*.

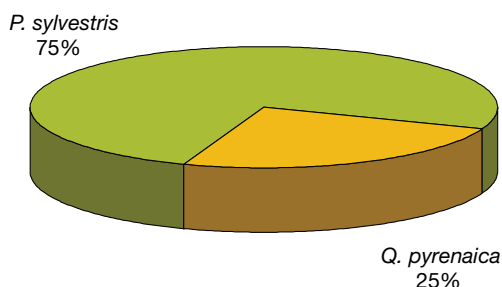


Figura 11. Distribución del CO₂ acumulado en Matas en el año 2003.

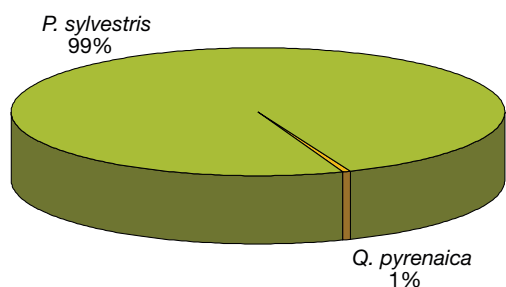


Figura 12. Distribución del CO₂ acumulado en Pinar en el año 2003.

Conclusiones

De la observación de las tablas y los gráficos se desprende:

— En el año que se realizó el inventario, el monte «Pinar de Valsain» mantenía fijadas en su biomasa arbórea 2.870.471 t de CO₂, de las cuales 2.860.802 t estaban fijadas por *Pinus sylvestris* y 9.670 t por *Quercus pyrenaica*. A su vez «Matas de Valsain» tenía acumuladas 463.879 t en el año que se realizó el inventario, de las que 359.626 t correspondían al pino y 104.253 t al rebollo.

— El monte «Pinar de Valsain», como consecuencia de su crecimiento, fija anualmente 70.872 t de CO₂ que se acumulan a la cantidad expresada en

el punto anterior. En «Matas de Valsain» se fijan 10.725 t al año.

— Por otra parte, del «Pinar de Valsain» se extraen cada año 35.898 t de CO₂ debido a los aprovechamientos de madera de pino silvestre (no se extrae rebollo); en el monte «Matas de Valsain» se extraen 5.795 t de madera y leñas, entre pino y rebollo.

— La fijación neta anual de CO₂ es la diferencia entre el CO₂ acumulado cada año debido al crecimiento de las especies y el CO₂ extraído debido a los aprovechamientos en los montes. En «Pinar de Valsain» la fijación neta debida al pino silvestre y al rebollo es de 34.974 t, mientras que en «Matas de Valsain» es de 4.930 t al año.

— En el año 2003 las masas de pino silvestre y de rebollo del monte «Pinar de Valsain» mantienen fija-

das 3.360.106 t y las de «Matas de Valsaín» mantienen 513.180 t.

— En el año 2003 en ambos montes habrá acumulado mucho más CO₂ en la masa de pino que en la de rebollo; en Pinar el 99% del carbono fijado está en los pinos y en Matas esta cifra es menor, 75%.

Referencias bibliográficas

- ACOSTA-MIRELES M., VARGAS-HERNÁNDEZ J., VELÁZQUEZ-MARTÍNEZ A., ETCHEVERS-BARRA J., 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* Vol. 36, 6, 725-736.
- CANADELL J., 1988. Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, northeastern Spain. *Forestry*. Vol. 61, nº 2.
- CLAESSON S., SAHLÉN K., LUNDMARK T., 2001. Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. from stands in Northern Sweden with high stand densities. *Can J For Res* 16, 138-146.
- FURNIVAL G.M., 1984. A new procedure for estimation of tree biomass and nutrient content. SO: Les Colloques de l'INRA, nº 19.
- FUWAPE J.A., ONYENKWELU J.C., ADELKUNLE V.A.J., 2001. Biomass equations and estimation for *Gmelina arborea*. *Biomass and bioenergy* 21, 401-405.
- GUTIÉRREZ A., BAONZA M.V., 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. pp. 229-234.
- HICHCOCK H.C., MCDONNELL J.P., 1979. Biomass measurement: a synthesis of the literature. *Proc For Inventory Workshop*, SAF-IUFRO. Fort Collins, Colorado. pp. 544-595.
- IBÁÑEZ J.J., VAYREDA J., GRACIA C., 2001. Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Cataluña. *Centre de Recerca Ecológica y Aplicacions Forestals (CREAF)*.
- ICONA, 1995. Segundo Inventario Forestal Nacional. Provincias: Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga y Sevilla. 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.
- JOHNSON W.C., SHARPE D. 1983. The ratio of merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research*. 13, 372-383.
- KOLLMANN, 1959. *Tecnología de la Madera y sus aplicaciones*. Tomo Primero. IFIE, Madrid.
- MONTERO G., 2002. Cuantificación del potencial de las principales especies forestales españolas para el almacenamiento de carbono a medio y largo plazo. En UIMP. Curso de verano Bosques, sociedad y cambio climático. Santander, 12-16 Agosto.
- MONTERO G., RUIZ-PEINADO R., CAÑELLAS I., CANDELA J.A., PAVÓN J., 2002. La fijación de CO₂ por las masas de Pino Piñonero en Andalucía. *Forestalia*, Nº7.
- 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. E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- MONTERO G., MUÑOZ M., ALONSO A. Producción de biomasa y fijación de carbono por *Pinus nigra* Arnold en España». En: *Gestión sostenible de los pinares de Pinus nigra*. García Abril coord. (En prensa).
- PARDÉ J, 1980. Forest biomass. *Forestry abstract* (Review article), 41(8), 343-362.
- YOUNG H.E., 1978. Forest biomass inventory: the basis for complete-tree utilization». *Forests Products Journal* 28(Nº 5), 38-42.
- SCHELEGEL B., GAYOSO J., GUERRA J., 2001. Manual de procedimientos de muestreo de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en los bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile.