

taminantes (hierro y hormigón).

Cuando se ratifique el Protocolo, los países firmantes deberán realizar estimaciones de la cantidad de carbono que tienen acumulado en estos sumideros. El INIA ha desarrollado una metodología para poder realizar la estimación del carbono en las principales especies forestales arbóreas españolas, que es la que vamos a aplicar en este estudio del pino silvestre.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es hacer una estimación de la cantidad de carbono y el CO₂ atmosférico equivalente que hay acumulada en las masas de *Pinus sylvestris* en el monte "Pinar de Valsaín", con una extensión de 7.217 ha.

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

Existen varios métodos de estimación de la biomasa (Pardé, 1980), por ejemplo, el método del árbol medio, el de corta, el del análisis adimensional y alométrico o el método múltiple de muestreo. Sin embargo, son muchas las combinaciones y procedimientos para obtener la biomasa de árboles in-

dividuales y masas forestales.

Para estimar la capacidad de fijación de carbono por *Pinus sylvestris*, se ha tomado la información de un estudio que está llevando a cabo el grupo de silvicultura 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 esta especie 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.

METODOLOGÍA DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO

Biomasa aérea: 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

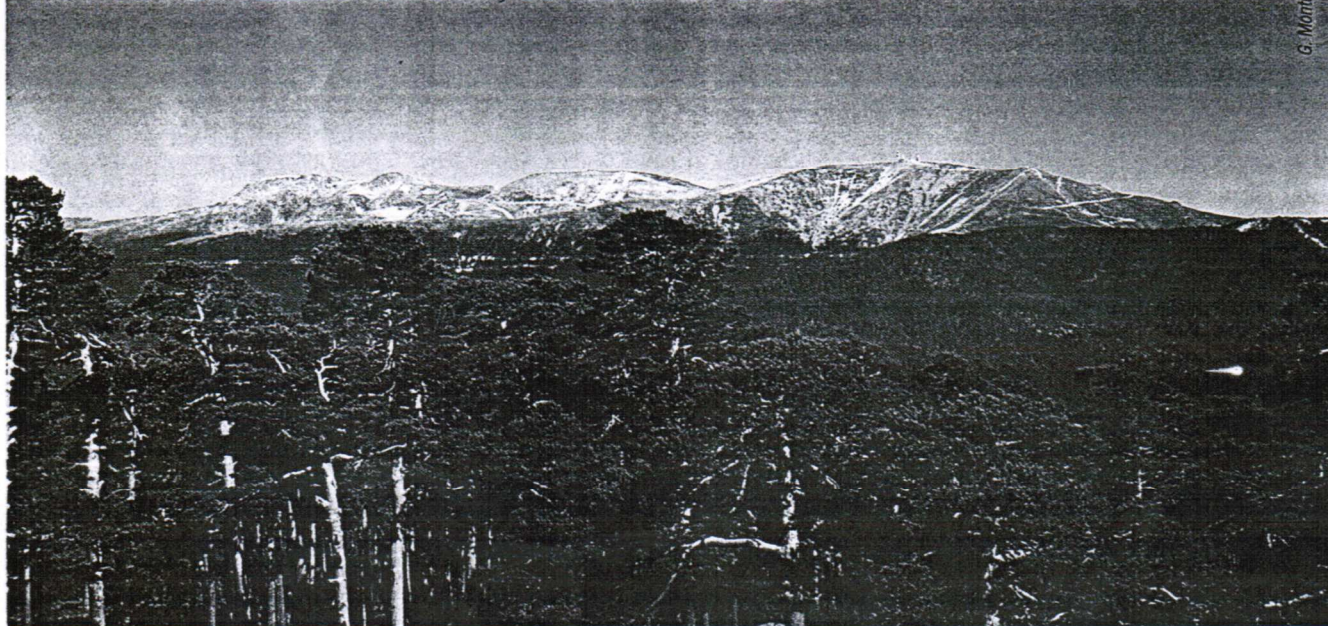
Madrid, El Raso y Valsaín, en la provincia de Segovia.

Los datos de peso de La Morcuera y de El Raso se tomaron dentro del seguimiento que hace el Departamento de Silvicultura 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 durante el mes de diciembre de 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 de diámetro mayor de 7 cm, ramas con diámetro comprendido entre 2 y 7 cm, ramillas de diámetro menor de 2 cm y acículas.

Panorámica de la Sierra de Guadarrama. Puertos de Cotos y Navacerrada vistos desde "La Camorra".



G. Montero

Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. en el monte "Pinar de Valsaín"

Gregorio Montero
Ingeniero de Montes
Dpto. Silvicultura-CIFOR-INIA

Marta Muñoz
Ingeniero de Montes
Dpto. Silvicultura-CIFOR-INIA

Javier Donés
Ingeniero Técnico Forestal
Director del Monte de Valsaín

El rápido aumento de la concentración de gases de efecto invernadero desde la Revolución Industrial del siglo XIX está provocando un calentamiento global del planeta, lo que muchos denominan Cambio Climático. El principal gas causante del efecto invernadero es el dióxido de carbono, CO₂, responsable del 74% del mismo.

En los últimos años se ha producido una alarma mundial que ha desembocado en multitud de reuniones y conferencias internacionales, siendo el acuerdo más relevante el Protocolo de Kyoto (1997), presentado a la firma en la 3ª sesión de la Conferencia de las Partes de la Comisión Marco sobre el Cambio Climático (CMCC). Este acuerdo establece unos compromisos cuantificados de reducción de emisiones, en total un 5% por debajo de los niveles de 1990, para el periodo 2008-2012, permite a los países firmantes que se benefician de los llamados mecanismos flexibles para conseguir la reducción (comercio de emisiones, mecanismos de desarrollo limpio y puesta en práctica conjunta), así como contabilizar el carbono absorbido por los sumideros (bosques y tierras de cultivo).

Las dos vías para reducir las emisiones netas de CO₂, y así 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 transformar el carbono del CO₂ atmosférico en biomasa viva: actúan de sumidero de carbono. Por ello, en el Protocolo de Kyoto se propone la incorporación de la fijación del CO₂ como un objetivo dentro de los criterios de gestión de los bosques. Las estrategias selvícolas de reducción (Montero et al., 2002) son:

- **Conservación:** evitando deforestaciones masivas, grandes incendios y otras catástro-

fes naturales o artificiales.

- **Gestión sostenible:** aplicando estrategias selvícolas capaces de optimizar la fijación de carbono y de influir en el tipo de productos extraídos a través de los aprovechamientos, favoreciendo la regeneración de la masa adelantándose a la acción de la naturaleza y fomentando la aplicación de programas de silvicultura preventiva contra incendios.

- **Reforestación:** Ejecutando programas de reforestación de áreas degradadas, protección de cuencas de embalses, plantaciones forestales capaces de obtener productos para la construcción de viviendas en sustitución, cuando sea posible, de otros más con-

Biomasa radical: La toma de datos de biomasa radical se hizo en 14 pies de la muestra de pino silvestre de Valsain, cubriendo todas las clases diamétricas. Se extrajo el tocón junto al raigón con una máquina retroexcavadora. Se limpiaron golpeándolos con la retroexcavadora hasta quitar la máxima cantidad posible de tierra, utilizándose también otras herramientas manuales para la limpieza. Se recogieron también los trozos de raíz que había en el hoyo abierto. Los tocones se pesaron en básculas de pueblos cercanos y el resto de raíces se pesaron con romana en campo.

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 se llevó al laboratorio para estimar el porcentaje de humedad. Se secaron en estufa, a $102^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$, 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 esta especie, 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.

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 funciones que relacionan los kilogramos de materia seca con el diámetro normal. Estas funciones presentan un coeficiente de determinación 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 mejores resultados daba. Este modelo es el siguiente:

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

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 modulares de biomasa. Estas clases van desde la clase 7.5 hasta la clase 72.5 cm, con una amplitud de 5 cm. Para estimar el peso de los pies incluidos en el inventario como "pies menores", correspondientes a los pies con diámetro <10 cm, se entró en las funciones de regresión desarrolladas con la marca de clase de 7.5. Incluimos en estas clases diamétricas todos los pies menores de la misma forma que se han incluido en la clase diamétrica 72.5 cm los pies mayores de 70 cm.

Se ha considerado 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. Además, las funciones aplicadas para calcular los valores modulares de las



Vista general de la parte media del Pinar de Valsain

fracciones de biomasa aérea, aunque son bastante exactas, tienen un pequeño error, y por ello la suma de los valores modulares para cada clase diamétrica de fuste, ramas y acículas difiere del resultado obtenido al aplicar la función para el árbol completo. Se ha solucionado esta diferencia calculando el porcentaje correspondiente de cada fracción respecto del total (suma de los valores modulares para cada clase diamétrica). Multiplicando estos porcentajes por el total de biomasa aérea obtenido a partir de la fórmula, obtenemos unos valores modulares nuevos que serán los definitivos.

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 ramas que salieron al sacar el tocón con la retroexcavadora y las que se recogieron en el hoyo abierto; sería imposible pesar la raíz entera. Los estudios de biomasa radicular 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 siguiente 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 igual forma.

Los datos de incremento anual de diámetro los tomamos del IFN II, donde se ofrecen por clase diamétrica para cada provincia. Se estimó una media del crecimiento diametral anual para toda España, representada en la **tabla 1**:

CD	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	47.5	52.5	57.5	62.5	67.5	72.5
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	1.72

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

CÁLCULO DEL CO₂ ACUMULADO

A partir de la cuantificación de biomasa seca de la masa de pino silvestre, calculamos la cantidad de dióxido de carbono que hay almacenado en esa masa. Para ello es necesario conocer el porcentaje de carbono de la materia seca. Para *P. sylvestris* el contenido de carbono es del 50% (Ibáñez, 2001). 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 aproximadamente un 50% de carbono. El IPCC recomien-

da, en el caso de no existir datos específicos, considerar también este porcentaje. 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 carbono a kg de CO₂ equivalente:

$$\text{Peso CO}_2 / \text{Peso C} = 44/12 = 3.67$$

Así, multiplicando los valores modulares de biomasa por el contenido en carbono y por 3.67 obtenemos los valores modulares de CO₂ acumulado, por clases diamétricas y fracciones de biomasa para la especie.



Apoyo de árboles para pesaje de biomasa y estimación de carbono fijado.

APLICACIÓN DE LOS VALORES ESTIMADOS AL INVENTARIO DEL MONTE "PINAR DE VALSAÍN"

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 del monte, multiplicando el número de pies por los valores modulares de cada fracción de biomasa y por sus incrementos.

Se estima así la biomasa total del monte "Pinar de Valsain", separada en fracciones de biomasa y según clases diamétricas. Del mismo modo se obtienen los incrementos anuales totales de biomasa, así como la cantidad de CO₂ fijado y el incremento anual, según clases diamétricas y por fracciones.

EXTRACCIONES

Consideraremos que se extrae la biomasa completa, es decir, la parte aérea y la radical. Esto no es cierto 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 desprendido, 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 de biomasa en el monte y de su contribución al balance de carbono se ha tomado la posibilidad de corta anual de pino silvestre, que es de 28.748 m³.

Obtenemos el peso seco del fuste extraído utilizando la densidad básica de la madera. Suponemos que las extracciones del resto de fracciones de biomasa son proporcionales a las extracciones de fuste según la relación:

$$\frac{\text{(Extracciones fuste / Existencias fuste)} \times \text{Existencias fracción}}{\text{Extracciones fracción}}$$

Obtenemos por tanto las extracciones correspondientes a ramas, raíces, parte aérea y biomasa total. **Tabla 2**

BALANCE DE CO₂

El objetivo de este estudio es, además de conocer el CO₂ fijado en la masa de pino silvestre del monte, de

Extracciones anuales de materia seca (t) por fracciones de <i>P. sylvestris</i> en "Pinar de Valsain"								
Biomasa aérea							Biomasa radical	Biomasa total
Monte	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
		R > 7	R 2 - 7	R < 2				
"Pinar de Valsain"	12.01	502	1.130	891	672	15.212	4.351	19.563

Tabla 2) Extracciones anuales de materia seca en el monte (toneladas).

Y	parámetros		R ²
	a	b	
BT	-2.50275	2.41194	0.951
BF	-3.80519	2.70808	0.947
BR7	-15.0469	4.80367	0.824
BR2-7	-4.07857	2.1408	0.722
BR2	-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			

Tabla 3) Parámetros de los modelos de regresión para estimar la biomasa de *Pinus sylvestris* L., y su coeficiente de determinación

terminar cuál es la fijación neta anual. Conociendo el incremento anual debido al crecimiento de las masas y las extracciones anuales de biomasa por cortas, podemos determinarlo. Además 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:

$$\text{Lg (Y)} = a + b \text{ Lg (X)}$$

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

X = diámetro normal, en centímetros.

a, b = parámetros de la regresión.

Para *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 tan 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.

**VALORES MODULARES
DE BIOMASA Y CO₂**

Tabla 4) Valores modulares de biomasa de las distintas fracciones por clases diamétricas (kg)

VALORES MODULARES DE BIOMASA SECA (kg)								
Biomasa aérea							Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
		R > 7	R 2 - 7	R < 2				
7.5	5.0	0.0	1.2	2.5	1.9	10.6	2.1	12.6
12.5	21.8	0.0	4.0	5.9	4.5	36.2	8.0	44.2
17.5	55.5	0.0	8.3	10.1	7.6	81.5	19.3	100.9
22.5	108.7	1.0	14.1	14.6	11.0	149.4	37.5	186.9
27.5	184.4	2.5	21.4	19.5	14.7	242.5	63.5	305.9
32.5	284.2	5.5	30.0	24.5	18.5	362.8	98.5	461.2
37.5	409.5	10.7	39.9	29.8	22.5	512.3	143.4	655.7
42.5	561.3	19.0	50.9	35.1	26.5	692.9	199.3	892.2
47.5	740.2	31.7	63.0	40.6	30.6	906.1	267.0	1173.0
52.5	946.6	50.0	76.1	46.0	34.7	1153.4	347.3	1500.7
57.5	1180.6	75.4	90.2	51.5	38.8	1436.4	441.1	1877.5
62.5	1441.9	109.7	105.1	56.9	42.9	1756.4	549.2	2305.6
67.5	1730.2	154.6	120.7	62.2	46.9	2114.7	672.3	2787.0
72.5	2044.7	212.3	137.0	67.5	50.9	2512.4	811.3	3323.7

Tabla 5) Valores modulares de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa por clases diamétricas (kg)

VALORES MODULARES DE CO ₂ (kg)								
Biomasa aérea							Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
		R > 7	R 2 - 7	R < 2				
7.5	9.1	0.0	2.2	4.6	3.4	19.4	3.8	23.2
12.5	40.1	0.0	7.3	10.9	8.2	66.4	14.7	81.1
17.5	101.9	0.0	15.3	18.5	13.9	149.6	35.5	185.1
22.5	199.5	1.8	26.0	26.8	20.2	274.2	68.7	342.9
27.5	338.4	4.6	39.3	35.7	26.9	444.9	116.5	561.4
32.5	521.5	10.1	55.1	45.0	34.0	665.7	180.7	846.4
37.5	751.4	19.6	73.2	54.7	41.2	940.1	263.2	1203.3
42.5	1029.9	34.9	93.4	64.5	48.6	1271.4	365.7	1637.1
47.5	1358.3	58.1	115.6	74.4	56.1	1662.6	489.9	2152.5
52.5	1737.0	91.7	139.7	84.4	63.7	2116.5	637.3	2753.8
57.5	2166.3	138.4	165.5	94.4	71.2	2635.8	809.5	3445.3
62.5	2645.8	201.3	192.8	104.4	78.7	3223.0	1007.8	4230.8
67.5	3174.8	283.8	221.4	114.2	86.1	3880.4	1233.7	5114.1
72.5	3752.1	389.6	251.3	123.9	93.5	4610.3	1488.7	6099.0

Tabla 6) Valores modulares de incremento de biomasa de las distintas fracciones por clases diamétricas (kg)

VALORES MODULARES DE INCREMENTO DE BIOMASA SECA (kg)								
Biomasa aérea							Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
		R > 7	R 2 - 7	R < 2				
7.5	0.7	0.0	0.1	0.2	0.1	1.2	0.3	1.4
12.5	2.4	0.0	0.3	0.4	0.3	3.3	0.8	4.1
17.5	4.2	0.0	0.5	0.4	0.3	5.4	1.4	6.8
22.5	6.2	0.1	0.6	0.5	0.3	7.8	2.1	9.9
27.5	7.9	0.2	0.7	0.5	0.3	9.7	2.8	12.4
32.5	7.6	0.3	0.6	0.4	0.3	9.1	2.7	11.8
37.5	9.5	0.4	0.7	0.4	0.3	11.3	3.5	14.8
42.5	10.8	0.7	0.8	0.4	0.3	12.9	4.0	16.9
47.5	12.7	1.0	0.9	0.4	0.3	15.2	4.9	20.0
52.5	12.7	1.2	0.8	0.3	0.3	15.3	5.0	20.4
57.5	14.0	1.6	0.8	0.3	0.3	17.1	5.7	22.8
62.5	12.0	1.6	0.7	0.3	0.2	14.7	5.0	19.7
67.5	20.9	3.3	1.1	0.4	0.3	26.1	9.0	35.1
72.5	22.7	4.2	1.2	0.4	0.3	28.8	10.2	39.0

Tabla 7) Valores modulares de incremento de CO₂ de las distintas fracciones de biomasa por clases diamétricas (kg)

TOTALES DE BIOMASA, CO₂ E INCREMENTOS

A continuación, en las tablas, se exponen los resultados totales de biomasa, CO₂ y sus incrementos para la superficie total del monte "Pinar de Valsaín". En cada tabla se ofrecen las toneladas totales según clases diamétricas y fracciones de biomasa, así como el total sin distinción de diámetros.

Tabla 8) Biomasa total en el monte, por fracción de biomasa y por clases diamétricas

VALORES MODULARES DE INCREMENTO DE CO ₂ (kg)								
Biomasa aérea							Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
		R > 7	R 2 - 7	R < 2				
7.5	1.3	0.0	0.2	0.4	0.3	2.2	0.5	2.6
12.5	4.4	0.0	0.6	0.6	0.5	6.1	1.5	7.6
17.5	7.7	0.0	0.9	0.8	0.6	10.0	2.6	12.5
22.5	11.4	0.2	1.2	0.8	0.6	14.3	3.9	18.2
27.5	14.6	0.4	1.3	0.8	0.6	17.8	5.1	22.8
32.5	14.0	0.5	1.2	0.7	0.5	16.8	5.0	21.7
37.5	17.4	0.8	1.3	0.7	0.5	20.8	6.3	27.1
42.5	19.8	1.2	1.4	0.7	0.5	23.6	7.4	31.0
47.5	23.2	1.8	1.6	0.7	0.5	27.8	8.9	36.7
52.5	23.4	2.2	1.5	0.6	0.5	28.1	9.2	37.4
57.5	25.7	2.9	1.6	0.6	0.5	31.3	10.5	41.8
62.5	21.9	3.0	1.3	0.5	0.4	27.0	9.2	36.2
67.5	38.3	6.1	2.1	0.8	0.6	47.9	16.6	64.5
72.5	41.7	7.7	2.2	0.8	0.6	52.9	18.6	71.6

BIOMASA SECA TOTAL (toneladas)									
Biomasa aérea								Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Nº Total de pies	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
			R > 7	R 2 - 7	R < 2				
7.5	2 551295	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 9) Incremento total de biomasa en el monte, por fracción de biomasa y por clases diamétricas

INCREMENTO DE BIOMASA TOTAL (Toneladas)									
Biomasa aérea								Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Nº Total de pies	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
			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	1 330	0	189	197	148	1 864	450	2 314
17.5	454 372	1 908	0	225	190	143	2 466	640	3 106
22.5	370 007	2 304	37	236	170	128	2 876	787	3 663
27.5	286 075	2 274	56	208	132	100	2 769	791	3 561
32.5	266 518	2 027	70	169	97	73	2 436	721	3 157
37.5	246 527	2 335	109	179	94	71	2 788	851	3 639
42.5	244 795	2 639	160	189	92	69	3 148	988	4 136
47.5	195 721	2 477	189	166	75	57	2 965	953	3 918
52.5	146 502	1 864	176	118	50	38	2 247	738	2 984
57.5	79 024	1 108	126	67	27	20	1 349	452	1 800
62.5	44 744	535	72	31	12	9	659	225	883
67.5	14 867	310	49	17	6	5	388	134	522
72.5	16 310	370	69	20	7	5	471	166	636
Total (t)		23 285	1 114	2 154	1 639	1 236	29 429	8 546	37 974

Tabla 10) CO₂ total acumulado en el monte, por fracción de biomasa y por clases diamétricas

CO ₂ ACUMULADO TOTAL (Toneladas)									
Biomasa aérea								Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Nº Total de pies	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
			R > 7	R 2 - 7	R < 2				
7.5	2 551295	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 11) Incremento total de CO₂ en el monte, por fracción de biomasa y por clases diamétricas

INCREMENTO TOTAL DE CO ₂ (Toneladas)									
Biomasa aérea								Biomasa radical	Biomasa total
CD cm	Nº Total de pies	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
			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	2 440	0	347	361	272	3 420	826	4 246
17.5	454 372	3 502	0	412	348	263	4 525	1 174	5 699
22.5	370 007	4 228	69	432	312	236	5 277	1 445	6 722
27.5	286 075	4 172	103	381	243	183	5 082	1 452	6 534
32.5	266 518	3 720	129	310	178	134	4 470	1 324	5 794
37.5	246 527	4 284	200	329	173	130	5 116	1 562	6 678
42.5	244 795	4 842	294	346	168	127	5 777	1 812	7 589
47.5	195 721	4 546	348	305	138	104	5 441	1 748	7 190
52.5	146 502	3 421	322	217	92	70	4 123	1 354	5 477
57.5	79 024	2 034	232	123	49	37	2 475	829	3 303
62.5	44 744	981	133	56	22	16	1 209	412	1 621
67.5	14 867	570	91	31	11	9	712	247	958
72.5	16 310	680	126	36	12	9	863	304	1 167
Total (t)		42 728	2 045	3 952	3 008	2 269	54 002	15 681	69 683

Tabla 12) Resultados totales de biomasa y CO₂ en el monte

RESULTADOS TOTALES EN "PINAR DE VALSAÍN" (toneladas)				
	BIOMASA	INCREMENTO BIOMASA	CO ₂	INCREMENTO CO ₂
<i>Pinus sylvestris</i>	1 559 020	37 974	2 860 802	69 683

Tabla 13) Balance de fijación de CO₂ para el año 2003

INCREMENTO TOTAL DE CO ₂ (Toneladas)								
Biomasa aérea							Biomasa radical	Biomasa total
PERIODO 1989-2003	Fuste	Ramas			Acículas	Total aérea		
		R > 7	R 2 - 7	R < 2				
CO2 total fijado en 1989	1 757 263	73 367	165 272	130 295	98 285	2 224 483	636 319	2 860 802
CO2 fijado al año	42 728	2 045	3 952	3 008	2 269	54 002	15 681	69 683
CO2 extraído al año	22 051	921	2 074	1 635	1 233	27 913	7 985	35 898
CO2 neto fijado al año	20 678	1 124	1 878	1 373	1 036	26 089	7 697	33 785
CO2 total fijado en 2003	2 046 751	89 102	191 569	149 517	112 783	2 589 722	744 071	3 333 793

Gráfico 1) Valores modulares de biomasa para *Pinus sylvestris* (kg de materia seca)

VALORES MODULARES DE BIOMASA POR CD Y FRACCIÓN

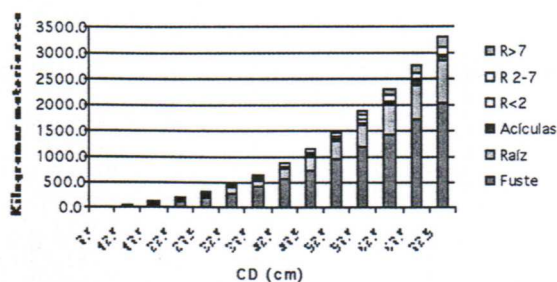
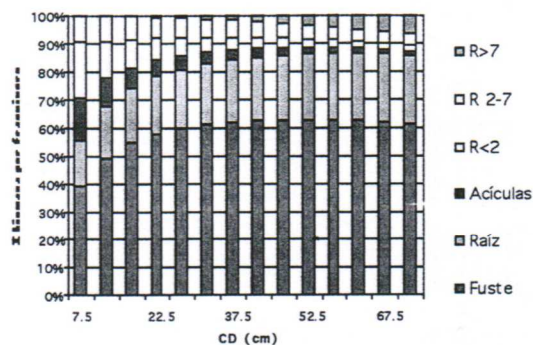


Gráfico 2) Proporción de biomasa para *Pinus sylvestris* por clases diamétricas (kg de materia seca)

PROPORCIÓN DE BIOMASA POR CD Y FRACCIONES



CONCLUSIONES

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

* El monte "Pinar de Valsaín" mantiene fijadas en la biomasa arbórea de *Pinus sylvestris* 3.333.793 t de CO₂ en el año 2003.

* El monte "Pinar de Valsaín", como consecuencia de su crecimiento, fija anualmente 69.683 t de CO₂ que se acumulan a la cantidad expresada en el punto anterior.

* Por otra parte, debido a los aprovechamientos de madera y leñas de pino silvestre se extraen del monte cada año 19.563 t de biomasa, que equivalen a 35.898 t de CO₂.

* La fijación neta anual de CO₂ es la diferencia entre el CO₂ acumulado cada año debido al crecimiento de la masa de pino y el CO₂ extraído debido a los aprovechamientos. En "Pinar de Valsaín" la fijación neta debida al pino silvestre es de 33.785 t al año.

Podemos hacer algunas consideraciones finales:

La Oficina Española de Cambio Climático estima que cada hogar español emite 5 toneladas anuales de CO₂. A la vista de estas cifras podemos establecer algunas comparaciones. La masa de pino silvestre del monte "Pinar de Valsaín" tiene acumuladas 3.333.793 t de CO₂, cantidad que equivale al CO₂ emitido por 666.759 hogares españoles en un año. El monte fija anualmente 33.783 t, que es la cantidad de dióxido de carbono que emiten 6.757 hogares españoles al año.

Podemos establecer otra correspondencia conociendo que la emisión media de un coche son 180 gr de CO₂ por kilómetro recorrido. La cantidad fijada en el monte supone la emisión de CO₂ por 1.000 coches al recorrer 18.521.072 km, y anualmente fija la cantidad emitida por 1.000 coches al recorrer 187.683 km. Por último, sabiendo que un litro de gasolina emite 2.8 kg de CO₂, entre otros contaminantes, la cantidad fijada anualmente equivale al CO₂ emitido por la combustión de 12.066.071 litros de gasolina. [E]

Gráfico 3) Proporción de CO₂ total fijado por cada fracción de biomasa en el monte

CO₂ total fijado por *P. sylvestris* en el monte "Pinar de Valsaín"

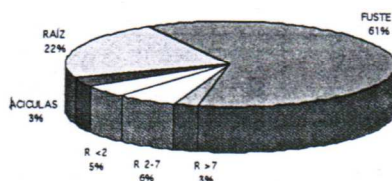
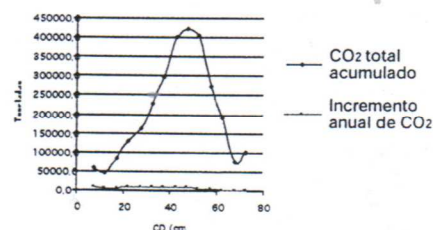


Gráfico 4) CO₂ total acumulado en el monte e incremento anual total de CO₂

Pinar de Valsaín *P. sylvestris*



BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- 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, número 6: 725-736.
- CANADELL, J. (1988) "Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, northeastern Spain". *Forestry*. Vol 61, nº 2.
- CLAESSEON, S., SAHLEN, K. AND LUND-MARK, 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. Y FERNÁNDEZ-GOLFIN, 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.
- HICHCOCK, HC., MCDONNELL, JP., (1979). "Biomass measurement: a synthesis of the literature". *Proc. For. Inventory Workshop, SAF-IUFRO*. Fort Collins, Colorado: 544-595.
- IBÁÑEZ, J.J., VAYREDA, J., GRACIA, C. (2001). "Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Cataluña". *Centre de Recerca Ecològica 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*. Vol 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.