

ESTIMACIÓN DE CARBONO FIJADO EN LOS PÁRAMOS ÁCIDOS DE CASTILLA Y LEÓN

Herrero¹, C., Bravo¹, F., Ordóñez¹, C.

¹) Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid, nº 44. 34004 PALENCIA.

Telf. 979 108424 FAX: 979 108440 correo electrónico:

chdeaza@pvs.uva.es, fbravo@pvs.uva.es, a_cristo@pvs.uva.es

Resumen

En la Conferencia Ministerial de Lisboa celebrada en el año 1998, se ratificaron seis criterios paneuropeos para evaluar la Gestión Forestal Sostenible. Uno de estos criterios, el C1, versa sobre el "Mantenimiento y aumento apropiado de los recursos de los bosques y su contribución en el ciclo global de carbono". En estos momentos, y desde la puesta en marcha del Protocolo de Kioto el 16 de febrero de 2005, todas las figuras legislativas y ambientales hablan del potencial de las especies vegetales como captadores de CO₂. Por este motivo, en la comarca palentina "Páramos y Valles" se ha estimado el stock de carbono en cuatro tipos de masas forestales, pinares de silvestre, (*Pinus sylvestris*), de pino laricio, (*Pinus nigra*), negral, (*Pinus pinaster*), y rebollares, (*Quercus pyrenaica*).

Los resultados obtenidos muestran que la biomasa arbórea de la comarca posee un stock total de 14.994.000 t de CO₂ en los años 1991-2001, que corresponden a un 52.97% en *Pinus sylvestris*, 10.43 % en *Pinus nigra*, 8.71 % en *Pinus pinaster* y 27.88% en *Quercus pyrenaica*.

Palabras clave: Captura de Carbono, Inventario Forestal Nacional, Protocolo de Kioto, biomasa, modelización, gestión forestal sostenible.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, estamos siendo protagonistas de un aumento en las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEIs). Desde la era industrial, se ha aumentado el uso frecuente de combustibles fósiles que lanzan a la atmósfera grandes cantidades de CO₂, N₂O, CH₄, HFC, PCF y SF₆. Esta realidad, junto la tala masiva de terrenos forestales en distintas partes del mundo, han hecho que la concentración de estos gases aumente desmesuradamente, dando lugar a un calentamiento generalizado de nuestro planeta.

Con este panorama, la comunidad científica se reunió en 1992 en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, propiciando un antes y un después en la conciencia mundial del problema del calentamiento global y cambio climático. Por ello, en las sucesivas Conferencias de las Partes (COP) se van dando pasos para mitigar este aumento de la temperatura y buscar soluciones. En 1997, en la ciudad japonesa de Kioto, se firmó el Protocolo de Kioto, convenio sobre cambio climático, auspiciado por la ONU dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y firmado en 2002 por la Unión Europea, que tiene como objetivo que los países industrializados reduzcan sus emisiones un 8% por debajo del volumen de 1990.

Los datos actuales confirman que en España estamos muy lejos de lograr el objetivo de no aumentar por encima del 15% respecto a los niveles de 1990. Por esta razón, se hace necesario el planteamiento de una estrategia consistente en comenzar la progresiva reducción en el periodo 2008-2012 hasta el 15%. Para reducir hasta este porcentaje, se cuenta con la reducción del 7% que aportará la compra de derechos de emisión a otros países y con la merma del 2% provocada por la "absorción de los bosques al ser sumideros de carbono", (NIETO y SANTAMARTA, 2003).

De todos los ecosistemas terrestres, los bosques son los que acumulan un mayor porcentaje de carbono, en trono al 89%. Mediante la fotosíntesis, las plantas absorben el dióxido de carbono existente en el aire o el agua. Una fracción de este carbono, compensa la respiración de la planta, mientras que el resto, constituye la fracción de la producción asignada al crecimiento, que es acumulado en los tejidos vegetales en forma de grasas, proteínas e hidratos de carbono, (GRACIA *et al.*, 2004). Por tanto, el CO₂ atmosférico pasa a configurar los tejidos vegetales.

La comarca natural de páramos y valles palentinos, formada por la Vega de Saldaña, La

Valdavia, La Ojeda y Boedo, constituye el nexo de unión entre las altas cumbres de la Montaña Palentina y las extensas llanuras de la Tierra de Campos. Ubicada en la zona central de la provincia de Palencia, posee una altitud media entre los 800 y 1000 metros y constituye un sector de transición homogéneo con una serie de amplios y altos páramos y valles.

La vegetación natural de esta comarca se puede caracterizar por grandes masas de roble melojo, junto con alguna encina y quejigos en las zonas de mayor aridez. Se trata, principalmente, de masas abiertas de monte bajo, donde aparecen diseminados brezales y jarales con mosaicos de gamones. Este ecosistema típico de esta zona ha ido evolucionando con las extracciones de leña, incendios, pastoreo, roturaciones del monte para uso agrícola y sobre todo, por repoblaciones forestales de pino silvestre, negral y laricio, fruto de las políticas iniciadas en la década de los sesenta. Estos pinares, naturalizados desde un punto de vista social y medioambiental, ya han sido intervenidos mediante clareos y claras, lo que ha supuesto una mayor naturalización de las masas, (ORIA DE RUEDA, 1996).

El objetivo de este trabajo es determinar la cantidad de carbono fijado en estos cuatro ecosistemas típicos de la comarca palentina Páramos y Valles durante la década 1991-2001.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos utilizados proceden del Segundo Inventario Forestal Nacional. El Inventario forestal Nacional, (IFN2), constituye un magnífico soporte como base de datos, pues nos proporciona una basta cantidad de información que permite el desarrollo y cuantificación de numerosos parámetros forestales, (BRAVO *et al.*, 2002). Por otro lado, utilizamos BASIFOR, programa que permite manejar con flexibilidad las bases de datos existentes del IFN 2, (RÍO, *et al.*, 2002), con el que obtuvimos los demás parámetros necesarios para el cálculo del CO₂ capturado en la comarca.

Para calcular la fijación de CO₂ en las masas objeto de estudio se llevaron a cabo una serie de pasos.

Cálculo del CO₂ total capturado por los ecosistemas de la comarca.

En primer lugar, se utilizaron los modelos propuestos por Montero *et al.*, (sin publicar) para calcular la biomasa en las distintas *fracciones del árbol* (Biomasa del fuste, Biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm, Biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm, Biomasa de las ramas de diámetro menor de 2 cm, Biomasa de las hojas o acículas y Biomasa radical) y por otro lado, *la biomasa total* en las distintas especies.

Los modelos propuestos son de la forma:

$$Lg(Y) = a + bLg(x)$$

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

X = diámetro normal, en centímetros.

a, b = parámetros de la regresión.

Según los autores, MONTERO *et al.*, aunque las funciones obtenidas son bastante exactas, tienen un pequeño error por el que el valor obtenido para el modelo de la biomasa total, no se corresponde con el valor total de la biomasa resultante de sumar los modelos por fracciones, por lo que recomiendan calcular el porcentaje correspondiente de cada fracción respecto del total (suma de los valores modulares para cada clase diamétrica). De esta forma, multiplicando por este porcentaje los valores modulares de cada una de las fracciones de cada clase diamétrica, obtenemos la información de cómo se reparten las distintas fracciones de biomasa dentro del árbol y cómo varían estas proporciones en función del diámetro del árbol. Al aplicar a estos valores modulares los datos de existencias de cada especie por clase diamétrica, obtenemos la Biomasa Total Acumulada de materia seca por fracciones de biomasa y por clase diamétrica.

Una vez calculados los valores modulares de la biomasa de las distintas especies, calculamos la cantidad de CO₂ que han almacenado esas masas. Para ello, es necesario calcular primeramente los pesos de carbono correspondientes a cada fracción de biomasa y clase diamétrica, multiplicando por

el porcentaje de biomasa seca que se convierte en carbono. 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. Una vez convertidos los datos de biomasa en carbono, multiplicamos por la relación existente entre el peso total de la molécula de CO₂ (44) y el átomo de carbono (12), para obtener los kilogramos de CO₂ capturados por cada kilogramo de carbono acumulado en la biomasa seca del árbol, (3.67). Esta transformación se resume con la siguiente expresión:

$$t \text{ CO}_2 \text{ fijado} = P_i * 0,5 * 3.67$$

donde, P = Peso seco de la fracción i del árbol.

De esta forma obtenemos los valores modulares de CO₂ por fracción de biomasa y por clase diamétrica. Aplicando a estos valores las existencias de la comarca en número de pies, obtenemos la cantidad total de CO₂ capturado por los distintos ecosistemas.

Cálculo del incremento total anual de CO₂.

Por otra parte, calculamos el incremento anual de CO₂ que se produce en estos ecosistemas como consecuencia del crecimiento. Para ello, debemos calcular en primer lugar el incremento anual de biomasa mediante la expresión que relaciona los incrementos diametrales con los incrementos de biomasa seca:

$$IB=f(d+ID)-f(d),$$

donde

IB= incremento de biomasa en kg de materia seca

ID= incremento diametral anual, obtenido del II IFN.

Con este valor obtenemos el incremento de peso anual de cada fracción de biomasa, por especie y por clase diamétrica, por diferencia de biomasa seca entre dos años consecutivos, con las ecuaciones citadas anteriormente. En este paso, al utilizar las mismas funciones de biomasa, se comete el mismo error comentado en párrafos anteriores, el cual solventamos de forma análoga. Al multiplicar los valores modulares del incremento anual de biomasa por el número de árboles existentes en cada clase diamétrica, obtenemos el incremento total de biomasa de las especies consideradas. Mediante la transformación de los incrementos de biomasa por clases diamétricas en CO₂ obtenemos los valores modulares de incremento de CO₂ fijado anualmente por las distintas fracciones de biomasa.

Cálculo de la extracción de CO₂

Para obtener un balance de la fijación neta de CO₂ para cada una de las especies en la zona, nos falta determinar la biomasa extraída a partir de los distintos aprovechamientos forestales realizados en la zona. Los datos de los aprovechamientos realizados en la comarca fueron obtenidos en el Servicio Territorial de Medio Ambiente de Palencia, Junta de Castilla y León. No hemos encontrado información sobre la cantidad de madera extraída de cada clase diamétrica, solamente sobre el total anual, sin diferenciación de tamaños. Tampoco hay una diferenciación de la cantidad extraída por especies en las repoblaciones forestales.

Por otra parte, para mitigar la variabilidad anual, en el caso de las repoblaciones de las coníferas, se ha tomado una media de los aprovechamientos realizados durante la década de 1990 - 2000, donde el aprovechamiento llevado a cabo en la zona ha ido progresivamente aumentando a medida que se desarrollaban las masas y mejoraban las características tecnológicas. Este valor es de 15.000 m³ madera extraída/año. En el caso del aprovechamiento del rebollo, leñas de hogares de uso vecinal, se ha mantenido más o menos constante la cantidad de estéreos extraídos de las distintas masas, siendo 2931 m³ /año.

Por último en este cálculo, se realizan dos suposiciones, por un lado, que en las cortas de

madera se extrae tanto la parte aérea como la parte radical y por el otro, que las extracciones del resto de las fracciones de biomasa son proporcionales a las extracciones de fuste según la siguiente relación:

$$(\text{Extracciones fuste} / \text{Existencias de fuste}) = (\text{Extracciones fracción} / \text{Existencias fracción}).$$

Para obtener el peso seco de fuste extraído utilizamos los datos de la densidad básica de la madera de las distintas especies.

Después de este proceso, obtuvimos las extracciones correspondientes a las distintas fracciones, fuste, ramas, acículas, parte radical.

Con todos estos cálculos, podemos realizar un balance aproximado de la cantidad de CO₂ fijada en la comarca, durante la década 1991-2001, al conocer el CO₂ total fijado por cada especie en el año en que se realizó el II IFN, 1991, *F*, el CO₂ que se acumula cada año como consecuencia del crecimiento, *IA*, y el CO₂ extraído por las aprovechamientos madereros anualmente, *EA*. Con estos datos se puede calcular el balance de fijación para un año determinado o incluso para un conjunto de años. En este caso, hemos calculado el CO₂ total fijado para el año 2001, mediante la siguiente expresión $FT = F + 10 * IA - 10 * EA$. Este balance puede ser mucho más exacto puesto que no ha tenido en cuenta que parte del CO₂ extraído no vuelve inmediatamente a la atmósfera, sino que por la transformación de la madera, queda fijado en tableros u otros productos durante un determinado número de años. Esto ocurre precisamente en la comarca donde el destino de los aprovechamientos de claras que se están realizando van a postes (20%), a tableros MDF (55%) y a tablón para hacer palets.

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores modulares de biomasa de las distintas fracciones para los diámetros presentes en la zona de estudio. En las especies estudiadas, comprobamos, como cabía esperar, que prácticamente casi toda biomasa aérea, se encuentra en el fuste, entre el 70 %-80 %. Sin embargo, las ramas de diámetro mayor de 7 cm, suponen un porcentaje bajísimo, del orden de 2%, en comparación con el 21% que suponen las ramas de diámetro menor de 2 cm en *Pinus nigra*, por ejemplo o un 32 % en *Quercus pyrenaica*. Por último, la biomasa radical supone entorno al 20% del total de la biomasa, destacando un mayor valor en *Pinus pinaster*. Aplicando a estos valores la transformación indicada anteriormente, obtendríamos la cantidad de CO₂ fijada en las distintas fracciones, cuyos totales aparecen reflejados en el balance final, (tabla 4).

Se presenta en la tabla 2 los valores del incremento total de CO₂ por las distintas fracciones debido al crecimiento. La especie que presenta un mayor incremento es *Pinus sylvestris*, seguida de *Quercus pyrenaica*. En menor proporción se encuentran las otras dos coníferas. Cabe destacar el poco incremento de CO₂ experimentado por el fuste por *Pinus pinaster* en comparación con las otras especies. Por otra parte, la biomasa foliar incrementa la fijación entorno al 6% del total de la biomasa aérea. Sin embargo, el incremento producido por las ramas de diámetro mayor de 7 cm es prácticamente inexistente. Porcentajes algo mayores aportan las ramas más pequeñas, como el 16% de las ramas 2-7 cm en *Quercus pyrenaica*, o el 20% en *Pinus nigra* aportado por las ramillas de diámetro menor a 2 cm.

Por último, en la tabla 4 se presenta el balance de fijación de CO₂. En él aparecen, como entradas de CO₂, por una parte, los valores del total de carbono fijado por biomasa aérea, radical y total, calculados a partir de los valores modulares de biomasa expuestos en la tabla 1, y por otra, lo que se incrementa la fijación anualmente debido al crecimiento. Como salidas de CO₂, aparecen las extracciones por aprovechamientos forestales, presentados en la tabla 3. Según el balance, aproximadamente el 80 % de la fijación total es debido a la biomasa aérea en las cuatro especies. Por otra parte, la fijación debida al crecimiento es similar en las tres especies de coníferas, suponiendo un 8 % aproximadamente de la fijación total, valor claramente superior al obtenido en el rebollo, entorno al 3%. Por último, la representatividad de las especies, juega un papel fundamental en el total de carbono fijado, puesto que la especie que más CO₂ fija en la comarca es *Pinus sylvestris* con un 53 %, seguida de *Quercus pyrenaica* con un 27.8 %, *Pinus nigra* con un 10.4% y *Pinus pinaster* con un 8.71

10	11,6	0,0	2,4	4,1	3,1	21,1	4,4	25,6
15	36,3	0,0	6,0	7,9	6,0	56,2	12,9	69,1
20	79,8	0,0	11,1	12,3	9,3	112,5	27,5	140,0
25	143,7	1,6	17,6	17,0	12,8	192,7	49,4	242,1

Pinus nigra

10	13,1	0,0	1,1	6,3	0,0	20,4	4,4	24,8
15	37,8	0,0	3,7	15,1	0,0	56,6	12,9	69,5
20	79,8	0,0	8,8	28,0	0,0	116,6	27,5	144,1
25	139,9	3,2	17,0	44,3	0,0	204,4	49,4	253,8
30	222,0	7,5	29,2	64,7	0,0	323,4	79,8	403,2

Pinus pinaster

10	12,6	0,0	0,6	2,4	0,0	15,6	4,4	20,0
15	34,9	0,0	1,7	6,2	0,0	42,8	12,9	55,7
20	72,1	0,0	3,6	12,1	0,0	87,8	27,5	115,3
25	126,4	0,1	6,4	20,3	0,0	153,3	49,4	202,7
30	199,9	0,4	10,2	31,1	0,0	241,6	79,8	321,4
35	294,2	1,2	15,2	44,5	0,0	355,0	119,6	474,6

Quercus pyrenaica

CD (cm)	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Leñas gruesas	Leñas finas	Chasca	Hojas				
10	14,5	8,9	2,1	0,0		25,5	4,4	30,0
15	47,7	18,1	5,4	0,0		71,3	12,9	84,2
20	108,2	29,2	10,4	0,0		147,8	27,5	175,3
25	201,5	41,7	17,0	0,0		260,2	49,4	309,6
30	332,3	55,5	25,3	0,0		413,1	79,8	492,8
35	505,1	70,2	35,2	0,0		610,5	119,6	730,1

Tabla 2. Incremento total de CO₂ en Páramos y Valles (toneladas)

Pinus sylvestris

CD (cm)	Nº de pies	Biomasa aérea				Acículas	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas						
			R>7 cm	R 2-7 cm	R<2 cm				
10	7493057,2	13681,3	0,0	2210,6	2657,9	2005,0	20554,9	4725,2	25280,1
15	14060006	104142,2	0,0	13331,8	12373,7	9333,8	139181,4	34967,8	174149,2
20	7261530,3	81419,0	0,0	8880,8	6898,2	5203,3	102401,3	27348,0	129749,3
25	1085136,9	17464,7	353,8	1680,8	1135,9	856,8	21492,0	6020,7	27512,7
PESO TOTAL (t)		216.707,3	353,8	26.103,9	23.065,7	17.398,9	283.629,6	73.061,6	356.691,2

Pinus nigra

CD (cm)	Nº de pies	Biomasa aérea				Acículas	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
		Fuste	Ramas						
			R>7 cm	R 2-7 cm	R<2 cm				

10	4093626,2	5041,3	0,0	487,0	1967,8	1275,2	8771,2	2314,1	11085,3
15	2950459,3	22543,1	0,0	2601,4	7291,6	1760,8	34196,9	8555,2	42752,1
20	947195,42	12473,4	0,0	1625,1	3548,8	675,2	18322,5	4420,6	22743,1
25	120970,02	1860,5	80,9	266,0	479,7	99,8	2787,0	654,0	3441,0
PESO TOTAL (t)		41.918,3	80,9	4.979,5	13.287,9	3.811,1	64.077,6	15.943,9	80.021,5

Pinus pinaster

CD		Biomasa aérea				Acículas	Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
(cm)	Nº de pies	Fuste	Ramas						
			R>7 cm	R 2-7 cm	R<2 cm				
10	1659670,9								
15	1552977,8	9207,5	0,0	460,4	1506,3	877,8	12052,1	3554,0	15606,0
20	1197334	11680,7	0,0	596,3	1812,6	784,8	14874,4	4240,9	19115,3
25	832469,88	12049,8	33,6	625,2	1794,5	640,2	15143,4	4205,8	19349,2
PESO TOTAL (t)		32.938,1	33,6	1.681,9	5.113,4	2.302,8	42.069,9	12.000,6	54.070,5

Quercus pyrenaica

CD		Biomasa aérea				Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
(cm)	Nº de pies	Leñas gruesas	Leñas finas	Chasca	Hojas			
10	22257924		3283,6	1027,6	0,0	13254,9	5104,8	18359,7
15	5723466,4	8943,8	6283,4	2533,8	0,0	36740,2	11991,9	48732,1
20	2066807,3	27923,1	2451,3	1177,5	0,0	18901,6	5503,6	24405,2
25	706600,79	15272,7	1176,9	648,5	0,0	11381,4	3030,2	14411,6
PESO TOTAL (TON)		61.695,6	13.195,3	5.387,3	0,0	80.278,2	25.630,4	105.908,6

Tabla 3: CO₂ extraído anualmente (t/año materia seca) mediante las cortas de aprovechamiento por especie y fracción.

Especie	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Fuste	Ramas			Acículas			
		R>7 cm	R 2-7 cm	R<2 cm				
<i>Pinus sylvestris</i>	5752,7	7,5	868,3	1079,3	814,2	8522,1	2019,6	10541,7
<i>Pinus nigra</i>	5683,9	8,5	566,8	2249,4	0	8508,7	1948,2	10456,9
<i>Pinus pinaster</i>	1068,8	0,4	52,9	180,4	0	1302,5	406,5	1709,0
Especie	Biomasa aérea					Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	Leñas gruesas		Leñas finas	Chasca	Hojas			
<i>Quercus pyrenaica</i>	2958,2		1205,9	339,5	0	4503,7	813	5316,6

Tabla 4. Balance de fijación neta de CO₂ de las distintas especies en la comarca "Páramos y Valles".

Pinus sylvestris

	Biomasa Aérea	Biomasa Radical	TOTAL
TOTAL CO ₂ Fijado (t)	3.622.994,0	858.590,5	4.481.584,4
CO ₂ fijado anualmente (t)	283.629,6	73.061,6	356.691,2
CO ₂ extraído por cortas (t)	8.522,1	2.019,6	10.541,7
Fijación de CO ₂ TOTAL en 2001 (t*10 ³)	6.374,1	1.569,0	7.943,1

Pinus nigra

TOTAL CO ₂ Fijado (t)	707.439,1	161.978,7	869.417,8
CO ₂ fijado anualmente (t)	64.077,6	15.943,9	80.021,5
CO ₂ extraído por cortas (t)	8.508,7	1.948,2	10.456,9
Fijación de CO ₂ TOTAL en 2001 (t*10 ³)	1.263,1	301,9	1.565,1

Pinus pinaster

TOTAL CO ₂ Fijado (t)	596.443,5	186.160,9	782.604,4
CO ₂ fijado anualmente (t)	42.069,9	12.000,6	54.070,5
CO ₂ extraído por cortas (t)	1.302,5	406,5	1.709,0
Fijación de CO ₂ TOTAL en 2001 (t*10 ³)	1.004,1	302,1	1.306,2

Quercus pyrenaica

TOTAL CO ₂ Fijado (t)	2.688.632,1	485.337,1	3.173.969,2
CO ₂ fijado anualmente (t)	80.278,2	25.630,4	105.908,6
CO ₂ extraído por cortas (t)	4.503,7	813,0	5.316,6
Fijación de CO ₂ TOTAL en 2001 (t*10 ³)	3.446,4	733,5	4.179,9