

ESTIMACIÓN DEL CO₂ FIJADO EN SUELOS Y ÁRBOLES DE LOS REBOLLARES DE *QUERCUS PYRENAICA* EN LA PROVINCIA DE OURENSE

Ana Patricia Fernández-Getino¹, Ricardo Ruiz-Peinado², Gregorio Montero González y Otilio Sánchez-Palomares

Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Centro de Investigación Forestal (CIFOR). Ctra. de la Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: ¹fgetino@inia.es; ²ruizpein@inia.es

Resumen

Se han utilizado una serie de funciones para la estimación del CO₂ fijado por las masas de rebollo, que aplicadas a los datos del Tercer Inventario Forestal Nacional para la provincia de Ourense nos permite cuantificar el depósito de carbono existente en los rebollares. Para completar el estudio del carbono total existente en las masas de *Quercus pyrenaica*, se ha realizado la estimación de la cantidad de carbono existente en el suelo de los rebollares a partir de un muestreo, con apertura de calicatas y toma de muestras de los horizontes encontrados para la estimación en laboratorio de las características físico-químicas de ellos. Entre los parámetros que se determinaron al estudiar estos suelos se encuentran: el contenido en materia orgánica oxidable, el pH; y la textura, considerándose los fragmentos rocosos en campo y en laboratorio y determinando el volumen total ocupado por ellos, para la realización de los cálculos. A partir de los datos calculados de la vegetación (CO₂ fijado en la parte aérea y parte radical de los rebollares, CO₂ fijado en el suelo, características edáficas, topoclimáticas de la estación y selvícolas de las masas) se han construido unos modelos de estimación del CO₂ en el suelo.

Palabras clave: Fijación de CO₂, Suelo forestal, *Quercus pyrenaica*, Ourense

INTRODUCCIÓN

Los bosques son sumideros de CO₂ de la atmósfera y juegan un papel muy importante en el almacenamiento de carbono terrestre. De acuerdo con el IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático), los bosques contienen el 80% de todo el carbono almacenado sobre el nivel del suelo en ecosistemas terrestres y el 40% de todo el carbono del suelo. Capturar carbono en la biomasa y los suelos es la forma más efectiva económicamente para extraer dióxido

de carbono de la atmósfera. Cabe destacar el importante potencial para aumentar los sumideros de carbono de los bosques mediante la reforestación, la forestación y la gestión forestal.

La gestión forestal de los rebollares es una cuestión pendiente dado que existen numerosas masas que han cesado en su actividad desde el abandono de la extracción de leñas. Estas masas, generalmente, no tienen gran interés económico, aunque su potencial ecológico es muy grande: cumplen importantes funciones paisajísticas, protectoras contra la erosión, mantenimiento de la

biodiversidad, funciones pastorales, recreativas, y de fijación de carbono frente al cambio climático.

La materia orgánica del suelo y el árbol poseen en una gran parte de la información contenida en los ecosistemas, de los que forman parte. Ambos, el árbol y la materia orgánica del suelo acumulan un carbono orgánico que permanece durante mucho tiempo, por lo que el estudio de la materia orgánica interesa para definir el estado del ambiente y predecir la repercusión de impactos ambientales entre los que resalta el cambio climático (FERNÁNDEZ-GETINO, 2006). Los suelos cubiertos por bosque se caracterizan por agregación estable, drenaje rápido y resistencia a la erosión (SOLLINS *et al.*, 1988; RICHTER & BABBAR, 1991). La materia orgánica del suelo está constituida por una mezcla de varios componentes orgánicos a diferentes estados de descomposición, de plantas, animales y microbios. El clima y las propiedades del suelo son factores clave que determinan el contenido de carbono orgánico del suelo (HONTORIA *et al.*, 1999). La materia orgánica juega un importante papel en la disponibilidad de nutrientes y en la estabilidad de los agregados del suelo. La productividad del suelo disminuye cuando la materia orgánica del suelo desciende (BAUER & BLACK, 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

El CIFOR-INIA lleva varios años realizando estudios sobre la ecología y gestión forestal de los rebollares españoles (GANDULLO *et al.*, 2006; MONTERO *et al.*, 2006) para el mejor conocimiento de esta especie. De igual manera, se están realizando trabajos de investigación para cuantificar la fijación de CO₂ de las principales especies forestales españolas (MONTERO *et al.*, 2005). En este trabajo se realiza la cuantificación del carbono fijado en la biomasa viva (aérea y radical) y también en el suelo (a partir de las muestras de suelo realizadas en los estudios de *Q. pyrenaica*) en los rebollares de la provincia de Ourense, y se presenta un modelo preliminar para estimar la cantidad de carbono existente en el suelo en función de variables de estación, masa y parámetros edáficos.

Las muestras de suelo se tomaron de los diferentes horizontes de 16 suelos bajo *Quercus pyrenaica*, situados en la provincia de Ourense (Figura 1). Estas muestras fueron secadas al aire y pasadas a través de un tamiz de 2 mm. Los contenidos en arena y arcilla se determinaron teniendo en cuenta la clasificación de la USDA. Se estimó la densidad aparente y el volumen de

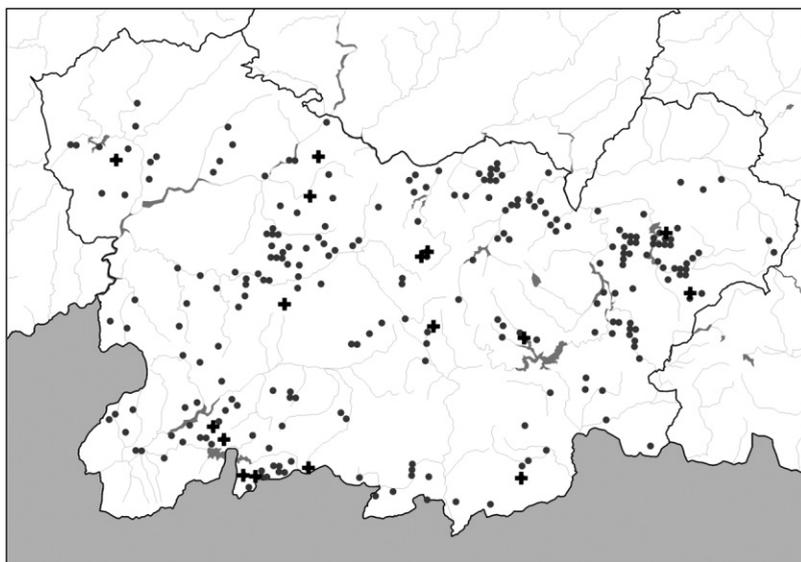


Figura 1. Localización de las parcelas del IFN3 sobre masas de rebollo de la provincia de Ourense (puntos grises, fuente IFN3) y situación de los puntos donde se ha realizado el muestreo de suelos (cruces)

fragmentos rocosos en campo y en laboratorio, con lo que se determinó el volumen de fragmentos rocosos total. La textura del suelo se refiere a la distribución de tamaño relativa a las partículas primarias de un suelo. El tamaño de partícula, utilizando el esquema de clasificación USDA, se divide en tres clasificaciones de tamaño mayor: arena (2,0-0,05 mm), limo (0,05-0,002 mm), y arcilla (< 0,002 mm) (GEE & BAUDER, 1986). La composición textural del suelo (% de arena, limo, y arcilla) afecta a las características de retención de agua en el suelo, el potencial de lixiviación y de erosión, el almacenamiento de nutrientes por las plantas, la dinámica de la materia orgánica y la capacidad de secuestro de carbono. El pH fue determinado en el extracto suelo/agua 1:2,5. El contenido de carbono orgánico oxidable se determinó por combustión en húmedo de la materia orgánica con una mezcla de dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$ 1N) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) de acuerdo con el método de Walkley-Black, descrito por NELSON & SOMMERS, 1996. El extracto oxidante se valoró con sulfato ferroso amónico 0.5 N (Sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calculó a partir de la cantidad de dicromato reducido.

La estimación de la cantidad de CO_2 fijado por las masas de *Quercus pyrenaica* de la provincia de Ourense, se ha realizado a partir de los datos de existencias del Tercer Inventario Forestal Nacional para la provincia de Ourense, realizado en 1998 (DGCN, 2002), aplicando las funciones de estimación de biomasa de MONTERO *et al.* (2005), que relacionan el peso de biomasa seca con el diámetro normal. La diferencia de biomasa seca entre dos años consecutivos nos da el incremento de peso anual de cada fracción de biomasa (aplicando el incremento

diametral). A partir de la cuantificación de biomasa seca de una especie arbórea, se calcula la cantidad de CO_2 que almacena. Según KOLLMANN (1959) la composición de la madera es similar en las distintas especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol, en sus diversas partes, tronco y ramas, presentando el valor del 50% para el carbono de la madera. El balance de CO_2 en el ciclo del C global se ha determinado teniendo en cuenta la fórmula $C+O_2 \rightarrow CO_2$, expresando el balance global en Mg. Mediante la proporción entre el peso de la molécula de CO_2 y el peso del átomo de C que la compone se halla la relación que se utilizará para obtener los kg de CO_2 equivalente a partir de la cantidad de carbono presente en la biomasa ($44/12 = 3,67$). Así, multiplicando los valores modulares de biomasa por el contenido en carbono y por la relación: molécula de CO_2 – peso átomo de carbono, se obtienen los valores modulares de CO_2 acumulado, por las clases diamétricas y fracciones de biomasa para cada especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con las ecuaciones consideradas para determinar el contenido en CO_2 fijado por los rebollares de la provincia de Ourense, se estima que el incremento anual de CO_2 fijado es aproximadamente 381.258 Mg, alcanzándose por tanto para el año 2007 un cantidad aproximada de CO_2 fijado de 13.004.029 Mg (Tabla 1).

Entre los 16 suelos muestreados en los rebollares de Ourense existen diferencias topoclimáticas (Tabla 2). Las variaciones en la altitud son marcadas, lo que influye en las características edáficas de estos suelos. Encontramos dos *Cambisols*, siete *Luvisols*, seis *Umbrisols* y un

	Biomasa aérea			Total aérea	Biomasa radical	Biomasa total
	LG	LF	CH			
	F>R>7	R2-7 cm	R<2 cm			
BIOMASA TOTAL(1998)	3.029.869	793.242	265.794	4.088.905	1.402.394	5.491.299
INC. ANUALBIOMASA	127.480	27.656	10.577	165.713	52.992	218.705
CO_2 FIJADO TOTAL(1998)	5.281.819	1.382.818	463.346	7.127.984	2.444.724	9.572.708
INC. CO_2 FIJADO ANUAL	222.229	48.211	18.439	288.879	92.379	381.258
CO_2 FIJADO EN 2007	7.281.880	1.816.719	629.297	9.727.895	3.276.133	13.004.029

Tabla 1. Balance global (Mg) para *Quercus pyrenaica* en Ourense

Regosol, clasificados según la FAO (1998). Domina una textura media Franco-arenosa, con un pH ácido que va de 4,5 a 5 (Tabla 3).

De acuerdo con HONTORIA *et al.* (1999) y GANUZA Y ALMENDROS (2003) es posible rela-

cionar el carbono orgánico del suelo con otros parámetros edáficos, climáticos y topográficos. Utilizando diversos parámetros, incluyendo variables dasométricas, se ajustó un modelo mediante regresión múltiple, para describir la

Ref.	Municipio	ALT (m)	pt (mm)	tm (°C)	ETP (mm)	ih
1	Leiro	426	1423	12,5	695	116
2	Nogueira de Ramuin	547	1316	11,9	681	105
3	O Pereiro de Aguiar	410	1276	12,6	701	94
4	Montederramo	1099	1573	9,3	611	167
5	Montederramo	1111	1579	9,3	609	169
6	A Veiga	1262	1588	8,6	591	178
7	Allariz	863	1495	10,5	644	143
8	Laza	776	1699	11,4	678	163
9	Vilariño de Conso	910	1387	10,4	640	128
10	Muiños	891	1562	10,6	644	153
11	Muiños	899	1559	10,6	643	153
12	Calvos de Randin	977	1597	10,2	634	162
13	Baltar	1084	1630	9,7	620	173
14	Calvos de Randin	1212	1768	9,1	602	202
15	Vilardevos	887	1558	10,9	662	149
16	A Veiga	995	1385	9,8	626	132

Tabla 2. Características topoclimáticas de los municipios considerados (Rebollares, Ourense)

Nº Parcela	% Arena	% Limo	% Arcilla	pH	% M.O.	Horizontes Perfil	Grupo Suelo	Textura Media
1	74,44	18,62	6,94	5,10	2,25	A;Bw;C	Cambisol	Franco-arenosa
2	69,74	18,60	11,66	4,79	3,42	Au1;Au2;A/Bt;Bts/C	Luvisol	Franco-arenosa
3	63,74	19,14	17,12	4,69	2,50	A;Bt;Bt/C	Luvisol	Franco-arenosa
4	60,20	29,74	10,06	4,55	3,85	Au1;Au2;Bw;Bw/C	Umbrisol	Franco-arenosa
5	57,75	26,19	16,06	4,47	6,32	A;Bt;Bt/C	Luvisol	Franco-arenosa
6	72,07	20,74	7,19	4,91	5,35	Au1;Au2;Bw;Bw/C	Umbrisol	Franco-arenosa
7	75,93	19,62	4,45	4,60	7,37	Ah;Bw;Bw/C	Umbrisol	Arenoso-franca
8	34,40	55,55	10,05	4,73	6,44	A;Bt;Bs/C	Luvisol	Franco- limosa
9	42,04	47,22	10,74	4,92	12,80	Ah;Bt;Bt/C	Luvisol	Franca
10	64,60	29,10	6,30	4,71	8,16	Ah;A;Bw/C	Umbrisol	Franco-arenosa
11	74,37	18,93	6,70	5,13	3,55	A;Bw;C	Umbrisol	Franco-arenosa
12	66,64	21,90	11,46	4,98	5,29	Ae;Bt;C1;C2	Luvisol	Franco-arenosa
13	68,99	20,82	10,19	4,66	6,38	A;Bt;2A	Luvisol	Franco-arenosa
14	65,54	22,66	11,80	4,50	5,36	A;Bs;Bs/C	Cambisol	Franco-arenosa
15	44,10	46,95	8,95	4,84	5,63	Ae;Bw;C1;C2	Umbrisol	Franca
16	72,70	19,20	8,10	4,94	5,89	A;A/C;R	Regosol	Franco-arenosa

Tabla 3. Características edáficas medias por horizonte, de los 16 suelos estudiados (*Quercus pyrenaica* en Ourense)

Parcela	N	DG	HM	AB	C aéreo g/ha	C radical g/ha	C total g/ha
1	881	17,4	11,7	21,0	49.198	17.039	66.237
2	184	18,0	9,0	4,7	12.680	3.861	16.541
3	1584	13,1	10,5	21,5	41.906	16.395	58.301
4	1623	11,2	7,2	16,0	27.709	11.892	39.601
5	301	18,9	9,7	8,4	19.006	6.668	25.673
6	208	32,4	15,9	17,1	55.322	14.689	70.011
7	1388	12,2	7,8	16,3	35.036	13.116	48.152
8	124	20,9	10,7	4,2	10.315	4.171	14.486
9	67	33,2	14,8	5,8	18.882	5.025	23.908
10	580	14,1	5,7	9,1	15.002	5.355	20.356
11	174	31,5	15,9	13,6	41.947	11.494	53.441
12	255	8,3	6,2	1,4	1.991	981	2.972
13	689	18,3	8,4	18,1	42.437	14.465	56.902
14	2355	11,6	8,9	25,0	44208	18675	62883
15	687	17,4	9,9	16,4	39824	13545	53369
16	254	7,8	4,2	1,2	1724	869	2593

Tabla 4. Características de los rebollares de los 16 municipios considerados en Ourense (N: número de pies, DG: diámetro cuadrático medio, HM: altura media y AB: área basimétrica)

relación ente el Ln del carbono del suelo (para los rebollares de la provincia de Ourense) en kg.m² y tres variables independientes; altitud, área basimétrica de la masa y contenido de arcilla del suelo (Tablas 2, 3 y 4). La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Ln (C suelo kg/m}^2\text{)} = 1,4511 - 0,0292 * \text{AB} + 0,0012 * \text{ALT} - 0,0468 * \text{ARC}$$

siendo C suelo el carbono existente en el suelo, AB el área basimétrica, ALT la altitud y ARC el contenido en arcilla del suelo; con R² = 60,20. Al realizar el ANOVA se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

Para estimar el carbono del suelo utilizando un modelo, sin usar ninguna variable edáfica solamente variables selvícolas y/o de estación, se ajustó otro modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación ente el Ln del carbono del suelo en kg.m² y dos variables independientes; la altitud y el área basimétrica. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Ln (C suelo kg/m}^2\text{)} = 0,9165 - 0,0289 * \text{AB} + 0,0012 * \text{ALT}$$

siendo C suelo el carbono existente en el suelo, AB el área basimétrica y ALT la altitud; con R² = 51,57. Al realizar el ANOVA se obtuvo una

relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

Los resultados preliminares obtenidos muestran la influencia en la relación con el carbono del suelo del área basimétrica, que nos da información acerca de la cantidad y calidad de los despojos a partir del tamaño y el número de árboles, y la altitud, que manifiesta la influencia de las características climáticas en la descomposición de la materia orgánica.

BIBLIOGRAFIA

- BAUER, A. & BLACK, A.L.; 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 185-193.
- DGCN.; 2002. *Tercer Inventario Forestal Nacional 1997-2006. Galicia: Ourense.* Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- FAO, ISRIC, ISSS.;1998. *World reference base for soils resources.* World soil resources reports 84. FAO. Rome.
- FERNÁNDEZ-GETINO, A.P.; 2006. *Estudio de la materia orgánica de suelos de la Sierra de Guadarrama, el Páramo y la Alcarria.* Tesis

- doctoral. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.
- GANDULLO, J.M.; SÁNCHEZ-PALOMARES, O.; ROIG, S., RÍO, M. DEL. Y RUIZ-PEINADO, R.; 2006. *Informe final del Convenio entre el INIA y la Dirección General de Biodiversidad (DGB) para la realización de trabajos en materia de investigación de tipificaciones ecológico-selvícolas: Quercus pyrenaica Willd.* INIA. Madrid.
- GANUZA, A. & ALMENDROS, G.; 2003. Organic carbon storage in soils of the Basque Country (Spain): the effect of climate, vegetation type and edaphic variables. *Biol. Fertil. Soils.* 37: 154-162.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W.; 1986. Particle-size analysis. p. 383-411. In: A. Klute (ed.), *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA. Madison. WI.
- HONTORIA, C.; RODRÍGUEZ-MURILLO, J.C. & SAA, A.; 1999. Relationship between soil organic carbon and site characteristics in Peninsular Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:614-621.
- KOLLMANN, F.; 1959. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. IFIE. Madrid.
- MONTERO, G.; MUÑOZ, M.; DONÉS, J. Y ROJO, A.; 2004. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes “Pinar de Valsain” y “Matas de Valsain”. *Inv. Agrar.; Sist. Rec. For.* 13(2): 399-415.
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R. Y MUÑOZ, M.; 2005. *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid.
- MONTERO, G.; SÁNCHEZ-PALOMARES, O.; RÍO, M.DEL; ROIG, S.; CAÑELLAS, I. Y CALAMA, R.; 2006. *Informe final del convenio entre el INIA y la Junta de Castilla y León: Estudio autoecológico y modelos de gestión de los rebollares (Quercus pyrenaica Willd.) y de normas selvícolas para Pinus pinea L., P. sylvestris L., P. pinaster Ait. y P. nigra Arn. en Castilla y León*. INIA. Madrid.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E.; 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter methods of soil analysis, part 3, Chemical Methods. In: D.L. Sparks (ed.), *Soil Science Society of America Book Series* 5: 961-1010.
- RICHTER, D.D. & BABBAR, L.I.; 1991. Soil diversity in the tropics. *Adv. Ecol. Res.* 21: 315-389.
- SOLLINS, P.; ROBERTSON, G.P. & UEHARA, G.; 1988. Nutrient mobility in variable- and permanent-charge soils. *Biogeochemistry* 6: 181-199.