

FIJACIÓN DE CO₂ POR LAS ESPECIES DEL GENERO *Juniperus* EN CASTILLA Y LEÓN (ESPAÑA)

Ruiz-Peinado, R. & Montero, G.

CIFOR-INIA. Dpto. Sistemas y Recursos Forestales. Ctra. A Coruña km 7,5 28040 Madrid (España). e-mail: ruizpein@inia.es

Resumen Uno de los objetivos más importantes de la gestión forestal sostenible es la fijación de CO₂ en forma de biomasa viva por las masas forestales. Conscientes de la importancia de las masas del género *Juniperus* en Castilla y León, se presenta la estimación del CO₂ fijado por las especies de dicho género para el año 2005, a partir de los datos del IFN3 y de modelos de estimación de biomasa. Además, para una mejor utilización de los datos en la gestión y conservación de sus masas, se ha realizado una separación en fracciones (fuste, ramas mayores de 7 cm de diámetro, ramas de diámetro entre 7 y 2 cm, ramas menores de 2 cm de diámetro, acículas y biomasa radical) para el caso de *Juniperus thurifera*, especie más representativa en la región. Según los resultados obtenidos, el género *Juniperus* tiene fijados en 2005 una cantidad de 7.794.621 toneladas de CO₂, teniendo una capacidad neta anual de fijación de CO₂ de 232.636 toneladas.

Palabras clave: Fijación de CO₂, Protocolo de Kyoto, biomasa, *Juniperus*, Inventario Forestal Nacional, Castilla y León.

CO₂ FIXATION BY THE SPECIES OF THE GENUS *Juniperus* IN CASTILLA Y LEÓN

Abstract One of the most important objectives for sustainable forest management is the CO₂ fixation by forest species. Due to the importance of Juniper woodlands in Castilla y Leon, the CO₂ fixed by such genus has been estimated for 2005 with data from IFN3 and biomass production models. For *Juniperus thurifera*, the most representative specie of the genus in the region, a fractioning in tree components has also been made for a better use of data in forest management and conservation: stem, branches with a diameter over 7 cm, branches with diameter between 7 and 2 cm, branches under 2 cm of diameter, needles and root biomass. According to the results, Juniper woodlands have fixed 7.794.621 tons of CO₂ in Castilla y Leon for 2005 with a CO₂ annual net fixation of 232.636 tons.

Key words: CO₂ fixation, Kyoto Protocol, biomass, *Juniperus*, National Forest Inventory; Castilla y León.

FIXATION DE CO₂ POUR LES ESPECES DU GENRE JUNIPERUS EN CASTILLA Y LEON

Résumé L'un des buts les plus importants dans la gestion forestière durable est la fixation de CO₂ en forme de biomasse vivante pour les peuplements forestiers. Nous sommes conscients de l'importance des peuplements de *Juniperus* en Castilla y León. Donc, nous présentons l'estimation du CO₂ fixé par les espèces de ce genre pour l'année 2004, à partir des données du IFN3 et les équations de biomasse des auteurs. En outre, une séparation en fractions (fût, branches plus grandes de 7 c de diamètre, branches d'entre 7 et 2 cm, branches de moins de 2 cm de diamètre, acicules et biomasse radical) a été faite pour le *Juniperus thurifera*, l'espèce la plus représentative de la région, pour une meilleure utilisation des données dans la gestion et la conservation de leurs peuplements. Selon les données obtenues, le genre *Juniperus* a fixé en 2004 une quantité de 8.700.828 tonnes de CO₂, avec une capacité nette annuelle de fixation de CO₂ établie en 337.951 tonnes.

Mots clés : fixation de CO₂, *Juniperus*, Castilla y León

INTRODUCCIÓN

El género *Juniperus* tiene una gran importancia en Castilla y León, representando algo más del 5% de los bosques de la región, contando con 81.000 ha de sabinas y 9.000 ha de sabino-enebrales de montaña (Plan Forestal de Castilla y León, 2000). Además, estas formaciones de sabina y enebro se extienden por territorios que, por diferentes motivos, resultan adversos para la vegetación arbórea, contando con una estructura peculiar, por lo general clara y abierta (Blanco *et al.*, 1997).

Los bosques desempeñan una función muy importante en el ciclo del carbono, particularmente en la mitigación de las emisiones de CO₂, ya que almacenan carbono en forma de biomasa viva.

Según el manejo que se haga de ellos, pueden comportarse como sumideros de CO₂ aplicando una gestión forestal sostenible, con la mejora de masas, repoblaciones... no obstante, también pueden comportarse como fuentes de CO₂ (ya sea por acción natural o humana) por sobreexplotación, degradación, o perturbaciones como fuegos, plagas o enfermedades, o por conversión en terreno agrícola o pastizal (Brown, 2002).

Es necesario conocer la cantidad de CO₂ fijado en los ecosistemas forestales para cuantificar los sumideros de carbono en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Houghton *et al.*, 1997). Aunque la cuantificación de las cantidades fijadas y el cálculo del potencial de fijación para el futuro también es importante para conocer y entender el funcionamiento de los ecosistemas y su gestión posterior.

El objetivo de este trabajo es cuantificar el CO₂ fijado por las especies del género *Juniperus* en Castilla y León a partir de los datos del IFN3 y conocer su potencial de fijación anual futuro mediante la comparación de inventarios (IFN3 vs. IFN2).

En la figura 1 se muestra la presencia en Castilla y León de *J. thurifera* y en la figura 2 se muestra la presencia de *J. oxycedrus* y *J. communis* según los datos del IFN3 (el IFN no distingue entre *Juniperus oxycedrus* y *J. communis* tratando ambas especies conjuntamente, aunque se refiere al conjunto como *Juniperus oxycedrus*).

MATERIAL Y MÉTODOS

El cálculo de la cantidad de CO₂ fijado se ha realizado a partir de los datos procedentes del Inventario Forestal Nacional y de los modelos alométricos de estimación de biomasa, siguiendo la metodología descrita por Montero *et al.* (2005). Estos modelos fueron construidos tras el apeo, separación de fracciones y pesaje de la biomasa aérea de 21 pies de *Juniperus thurifera* y de 19 pies de *J. oxycedrus*. Asimismo, se realizó un muestreo de la biomasa radical para su cuantificación mediante la excavación con retroexcavadora y extracción del tocón, raigón y raíces principales. Tras la obtención del peso de biomasa en campo, una muestra en verde fue secada en cámara a 102 °C hasta peso constante, para la cuantificación del peso seco.

Los modelos relacionan la biomasa seca total del árbol con su diámetro normal. Además, para *Juniperus thurifera* se encontraron relaciones con el diámetro normal para todos los compartimentos del árbol (fuste, ramas mayores de 7 cm de diámetro, ramas de diámetro entre 7 y 2 cm, ramas menores de 2 cm de diámetro, acículas y biomasa radical).

Estos modelos son de forma potencial (alométrica), según la siguiente expresión:

$$B = a \cdot D^b$$

donde B es la biomasa seca total o del compartimento (kg materia seca), D es el diámetro normal (cm) y a y b son coeficientes del modelo. Se realizó una transformación logarítmica para eliminar la heterocedasticidad:

$$\ln B = \ln a + b \cdot \ln D$$

Para expresar los valores estimados de biomasa en unidades aritméticas es necesario realizar la re-transformación. Con este proceso se introduce un sesgo en los datos (hay una subestimación de los valores). Para eliminar el sesgo se aplica un término de corrección (CF) en el modelo (Baskerville, 1972; Sprugel, 1983; Ter-Mikaelian & Korzukhin, 1997) resultando la ecuación final:

$$\ln B = \ln a + b \cdot \ln D + CF$$

donde $CF = SEE^2/2$ es el factor de corrección y SEE es el error estándar de la estimación. En la tabla 1 se presentan los coeficientes de la regresión lineal para las especies *Juniperus thurifera* y *J. oxycedrus*.

Los modelos desarrollados se aplican a las marcas de clase de las diferentes clases diamétricas que establece el Inventario Forestal Nacional (desde la CD 5 hasta la 70, cada 5 cm) y se obtienen los valores modulares de biomasa. Se ha considerado que las clases diamétricas menores de 15 cm no tienen ramas gruesas, cambiando los valores que se obtienen de las funciones para estos diámetros. Además, aunque las funciones obtenidas se ajustan bastante bien, existe 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. Para solucionar esta diferencia se calcula el porcentaje correspondiente de cada fracción respecto al total (suma de los valores modulares para cada diamétrica) en cada CD (Montero *et al.*, 2004). Multiplicando este porcentaje por el total de biomasa aérea obtenido a partir del modelo conseguimos los valores modulares finales de biomasa.

Para el cálculo de la cantidad de CO₂ fijado por estas especies, en primer lugar se ha de cuantificar los pesos de carbono almacenados. Kollmann (1959) considera que, aproximadamente, un 50% de la madera es carbono e indica que la composición de la madera es idéntica en las diferentes especies leñosas, así como también dentro de un mismo árbol en sus diferentes partes (tronco y ramas). Esta cifra también es la que el IPCC (Houghton *et al.*, 1997) adopta como valor para el cálculo del carbono fijado, en el caso que no existan valores concretos para las especies. La relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso del átomo de C (12) que la compone, se utiliza para pasar de kg de carbono fijado a kg de CO₂ fijado ($44/12=3,67$).

Los valores modulares de fijación de CO₂ obtenidos se aplicarán a las existencias (número de pies) proporcionadas por el IFN3 de cada especie en cada provincia de Castilla y León (DGB, no publicado) y se obtendrá el CO₂ fijado en cada fracción de biomasa y el total fijado.

El cálculo del potencial de fijación anual de CO₂ de las especies se puede realizar de dos maneras diferentes:

1. *Calculando los crecimientos anuales de biomasa*, mediante incrementos diametrales y utilizando los modelos anteriores según la siguiente expresión:

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

siendo IB el incremento de biomasa en kg de materia seca, d el diámetro normal en cm e ID el incremento anual de diámetro en cm correspondiente al crecimiento corriente anual tomado del 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. Para las especies que se presentan en este trabajo el IFN no presenta datos de incremento diametral y por ello se realizaron mediciones experimentales de crecimientos en los árboles apeados para el desarrollo de los modelos de estimación de biomasa (Montero *et al.*, 2005)

2. *Realizando una comparación de inventarios*, entre el Segundo Inventario Forestal Nacional y el Tercer Inventario Forestal Nacional. A partir de las cantidades de CO₂ fijadas en los años de realización del inventario y del tiempo transcurrido entre inventarios, es posible obtener el incremento anual neto de CO₂ fijado para cada especie.

En este trabajo, al estar disponibles los datos del Tercer Inventario Forestal Nacional para las provincias de Castilla y León, se ha realizado una comparación de inventarios por provincias para ambas especies.

RESULTADOS

A partir de los modelos propuestos y con los datos del Tercer Inventario Forestal Nacional se ha calculado la cantidad de CO₂ fijado a la fecha de realización de los inventarios provinciales, cuyos valores se presentan en las tablas 2 y 3.

El cálculo del potencial de fijación de CO₂ se ha realizado por provincia y especie mediante la comparación de Inventarios, mostrándose los resultados en las tablas 4 y 5.

Con los datos de CO₂ fijado en el año de realización del Inventario Forestal y los potenciales de fijación (incremento anual de CO₂), podemos realizar una estimación del CO₂ fijado en el año 2005. Estos resultados se presentan en las tablas 6 y 7.

CONCLUSIONES

En el año 2005 las especies del género *Juniperus* en Castilla y León mantenían fijadas en su biomasa arbórea (aérea y subterránea) 7.794.621 toneladas de CO₂, de las cuales 6.655.179 (85,4%) estaban fijadas por *Juniperus thurifera* y 1.139.442 (14,6%) toneladas de CO₂ por *J. oxycedrus* y *J. communis*.

El 72,3% del CO₂ fijado por las masas de *Juniperus thurifera* de Castilla y León se encuentra acumulado en la biomasa aérea mientras que el 27,7% restante se encuentra en la biomasa radical. El CO₂ fijado en los diferentes compartimentos de la biomasa aérea se reparte así: el 51,7% se acumula en fustes; el 2,2% en las ramas mayores de 7 cm de diámetro; el 16,1% en ramas de diámetro entre 7 y 2 cm; el 15,6% en ramas menores de 2 cm de diámetro; el 14,4% en las hojas.

El 37,6% del CO₂ fijado por las masas de *Juniperus oxycedrus* y *J. communis* de Castilla y León se encuentra acumulado en la biomasa aérea, correspondiendo el 62,4% del CO₂ fijado en la biomasa radical.

El potencial de fijación anual del género *Juniperus* en Castilla y León es de 232.636 toneladas de CO₂. De ellas 170.827 toneladas de CO₂ corresponden al incremento anual de fijación de *J. thurifera* y 61.809 toneladas de CO₂ al incremento anual de *J. oxycedrus* y *J. communis*.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Marta Muñoz y Enrique Garriga su trabajo en campo y laboratorio, así como a Helga Peláez sus comentarios y revisión del texto.

BIBLIOGRAFÍA

- BASKERVILLE G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Canadian Journal of Forestry 2: 49-53.
- BLANCO E.; CASADO M.A.; COSTA M.; ESCRIBANO R.; GARCÍA M.; GÈNOVA M.; GÓMEZ A.; GÓMEZ F.; MORENO J.C.; MORLA C.; REGATO P.; SAINZ H. Los bosques ibéricos. Ed. Planeta. Barcelona. 572 pp.
- BROWN S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environmental Pollution 116:363-372.

- HOUGHTON J.T.; MEIRA FILHO L.G.; LIM B.; TREANTON K.; MAMATY I.; BONDUKI Y.; GRIGGS D.J.; CALLANDER B.A. (Eds.) 1997. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC/OECD/IEA.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. 2000. Plan Forestal de Castilla y León. Documento para el debate público. Consejería de Medio Ambiente. 248 pp.
- KOLLMANN F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo Primero. IFIE, Madrid.
- MONTERO G.; MUÑOZ M.; DONÉS J.; ROJO A. 2004. Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes “Pinar de Valsain” y “Matas de Valsain”. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 13 (2): 399-415.
- MONTERO G.; RUIZ-PEINADO R.; MUÑOZ M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías INIA: Serie Forestal nº13. 270 pp.
- SPRUGEL D.G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. Ecology, 64(1): 209-210.
- TER-MIKAELIAN M.T.; KORZUKHIM M.D. 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. Forest Ecology and Management 97: 1-24.

FIGURAS Y TABLAS

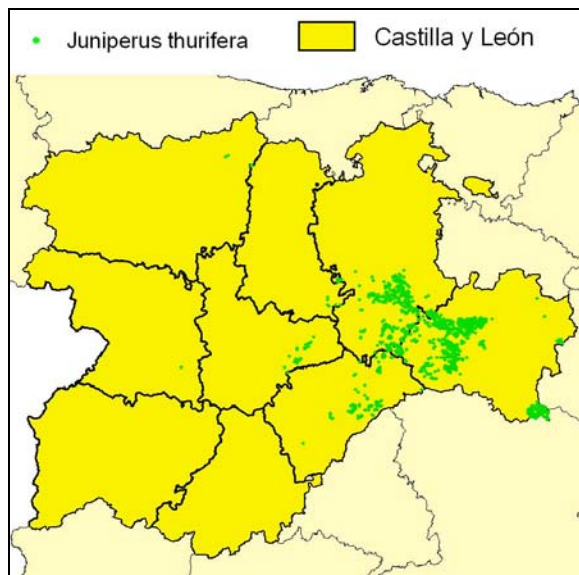


Figura 1. Presencia de *Juniperus thurifera* L. en Castilla y León (IFN3).

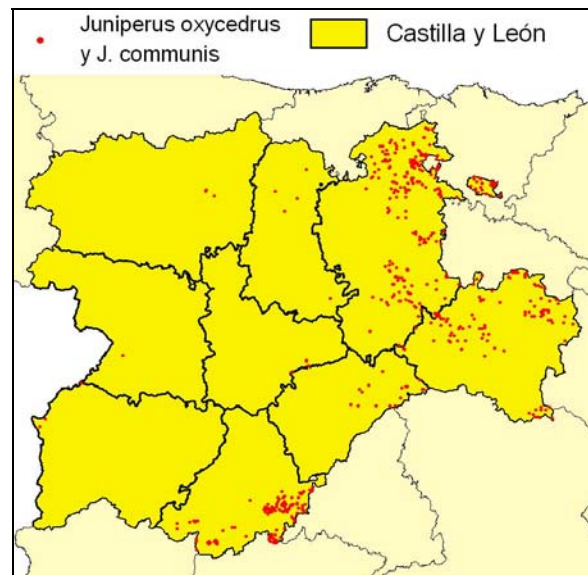


Figura 2. Presencia de *Juniperus oxycedrus* L. y *J. communis* L. en Castilla y León (IFN3)

Tabla 1. Modelos de regresión de la forma $Y = \ln a + b \cdot X$. R^2_{adj} , SEE, CF son, respectivamente, el coeficiente de determinación ajustado, el error estandar de la estimación y el coeficiente de corrección.

<i>Juniperus thurifera</i>						
Y	X	ln a	b	R^2_{adj}	SEE	CF
ln B _T	ln D	-1,48238	2,03163	0,96	0,2010	1,0204
ln B _F	ln D	-1,89714	1,95148	0,96	0,2005	1,0203
ln B _{R7}	ln D	-13,4535	4,60020	0,82	0,4641	1,1137
ln B _{R2-7}	ln D	-4,31675	2,38243	0,93	0,3348	1,0576
ln B _{R2}	ln D	-2,40530	1,68286	0,87	0,3156	1,0511
ln B _A	ln D	-2,48528	1,68286	0,87	0,3156	1,0511
ln B _r	ln D	-1,68253*	1,73984	0,88	0,3016	1,0465
<i>Juniperus oxycedrus y J. communis</i>						
Y	X	ln a	b	R^2_{adj}	SEE	CF
ln B _T	ln D	0,52033	1,29201	0,84	0,3105	1,0494
ln B _r	ln D	-2,27990	2,70033	0,92	0,4131	1,0891

B_T: Biomasa total (aérea), B_F: Biomasa del fuste; B_{R7}: Biomasa de las ramas de diámetro mayor de 7 cm; B_{R2-7}: Biomasa de las ramas de diámetro entre 2 y 7 cm; B_{R2}: Biomasa de las ramas de diámetro menor de 2 cm; B_A: Biomasa de acículas; B_r: Biomasa radical. Biomasa expresada en kg de materia seca, diámetro expresado en cm.

Tabla 2. CO₂ total acumulado (toneladas) por fracción de biomasa por *Juniperus thurifera* en las provincias de Castilla y León, según el año de realización del inventario (IFN3).

CO ₂ TOTAL	BURGOS (2003)	PALENCIA (2003)	SEGOVIA (2004)	SORIA (2004)
<i>Fuste</i>	756.756	29.746	218.421	1.396.378
<i>Ramas > 7 cm</i>	23.471	879	14.061	65.812
<i>Ramas 7-2 cm</i>	223.032	8.884	71.803	444.913
<i>Ramas < 2 cm</i>	236.662	9.214	63.966	413.937
<i>Hojas</i>	218.468	8.506	59.048	382.113
<i>Biomasa aérea</i>	1.458.388	57.228	427.299	2.703.152
<i>Biomasa radical</i>	582.849	22.642	158.264	1.016.566
<i>Biomasa total</i>	2.041.237	79.870	585.563	3.719.718

Tabla 3. CO₂ total acumulado (toneladas) por fracción de biomasa por *Juniperus oxycedrus* y *J. communis* en las provincias de Castilla y León, según el año de realización del inventario (IFN3).

CO ₂ TOTAL	AVILA (2002)
<i>Biomasa aérea</i>	359.907
<i>Biomasa radical</i>	594.108
<i>Biomasa total</i>	954.015

Tabla 4. Incremento anual neto de CO₂ fijado (toneladas/año) por fracción de biomasa por *Juniperus thurifera* en Castilla y León.

INC. ANUAL CO₂ FIJADO	BURGOS	PALENCIA	SEGOVIA	SORIA	CASTILLA Y LEÓN
<i>Fuste</i>	20.164	887	8.398	33.954	63.402
<i>Ramas > 7 cm</i>	713	29	630	1.589	2.960
<i>Ramas 7-2 cm</i>	5.663	265	2.841	10.888	19.657
<i>Ramas < 2 cm</i>	6.577	276	2.410	10.036	19.299
<i>Hojas</i>	6.071	254	2.225	9.265	17.815
<i>Biomasa aérea</i>	39.188	1.713	16.503	65.732	123.135
<i>Biomasa radical</i>	16.383	680	5.969	24.660	47.691
<i>Biomasa total</i>	55.571	2.393	22.471	90.392	170.827

Tabla 5. Incremento anual neto de CO₂ fijado (toneladas/año) por fracción de biomasa por *Juniperus oxycedrus* en Castilla y León.

INC. ANUAL CO₂ FIJADO	AVILA	CASTILLA Y LEÓN
<i>Biomasa aérea</i>	22.751	22.751
<i>Biomasa radical</i>	39.058	39.058
<i>Biomasa total</i>	61.809	61.809

Tabla 6. CO₂ total acumulado (toneladas) por fracción de biomasa por *Juniperus thurifera* en Castilla y León (datos IFN3) para el año 2005.

CO₂ TOTAL FIJADO 2005	BURGOS	PALENCIA	SEGOVIA	SORIA	CASTILLA Y LEÓN
<i>Fuste</i>	797.083	31.519	226.819	1.430.331	2.485.752
<i>Ramas > 7 cm</i>	24.896	937	14.691	67.401	107.925
<i>Ramas 7-2 cm</i>	234.357	9.414	74.644	455.801	774.216
<i>Ramas < 2 cm</i>	249.817	9.765	66.375	423.973	749.930
<i>Hojas</i>	230.610	9.014	61.272	391.378	692.275
<i>Biomasa aérea</i>	1.536.763	60.655	443.802	2.768.884	4.810.103
<i>Biomasa radical</i>	615.615	24.002	164.233	1.041.226	1.845.075
<i>Biomasa total</i>	2.152.378	84.657	608.034	3.810.110	6.655.179

Tabla 7. CO₂ total acumulado (toneladas) por fracción de biomasa por *Juniperus oxycedrus* y *J. communis* en Castilla y León (datos IFN3) para el año 2005.

CO₂ TOTAL FIJADO EN 2005	AVILA	CASTILLA Y LEÓN
<i>Biomasa aérea</i>	428.161	428.161
<i>Biomasa radical</i>	711.281	711.281
<i>Biomasa total</i>	1.139.442	1.139.442