



6CFE01-140

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Ecuaciones para la estimación de la biomasa en matorrales y arbustedos mediterráneos

MONTERO, G.^{1,2}, PASALODOS-TATO, M.¹, LÓPEZ-SENEPLEDA, E.^{1,2}, ONRUBIA, R.¹ y MADRIGAL, G.^{1,2}

¹Centro de Investigación Forestal, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

²Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible (UVa-INIA)

Ctra. A Coruña km. 7,5

28.040 MADRID

montero@inia.es

Resumen

Sobre un total de 62 montes se levantaron 901 parcelas de 5x4 m (20 m²), en las cuales, se procedió a la roza del matorral y a su peso en verde. Se estimó la fracción de cabida cubierta del matorral y su altura media. De cada una de las parcelas se tomó una muestra del matorral de 1,5 a 2,5 Kg. se etiquetó y se envió al laboratorio para determinación de peso en materia seca en estufa a 102 ± 2°C, hasta peso constante. De cada parcela, se tomó una muestra de tres troncos o tallos para estimar la edad en el laboratorio de dendrometría del CIFOR-INIA. El crecimiento medio anual en cada parcela se calcula como el cociente entre la biomasa expresada en materia seca (MS kg.Ha⁻¹) y la edad media de la parcela. Con el peso de biomasa seca acumulada en cada parcela se ajustan modelos predictivos de esta variable en función de la fracción de cabida cubierta y de la altura media del matorral. De manera similar, se procede con el ajuste de los crecimientos medios anuales a las mismas variables. Los resultados muestran que esta metodología permite estimar con cierta precisión la biomasa acumulada y el crecimiento anual para grandes extensiones de territorio a partir de las variables Fcc y Hm del matorral que figuran en las parcelas del 3^{er} y 4^o Inventario Forestal Nacional (IFN-3 y IFN-4).

Palabras clave

Fijación de CO₂, Inventario Forestal Nacional, formaciones de matorral.

1. Introducción

Los bosques constituyen grandes almacenes de carbono y en ellos se producen gran parte de los flujos de carbono, entre la tierra y la atmósfera, como resultado de los equilibrios y desequilibrios entre el carbono fijado por la fotosíntesis y el emitido por la respiración. Las plantas, árboles, arbustos y matorrales tienen la capacidad de asimilar carbono e incorporarlo a sus estructuras foliares y leñosas durante tiempos variados en función de la longevidad de sus especies arbóreas y de la dinámica de la vegetación que constituye la biomasa total del bosque. Por esta razón, los bosques pueden pasar por fases en las cuales actúan como sumideros netos de carbono y otras en las que se comportan como fuentes de emisión, esto sucede cuando el carbono emitido por la respiración de la materia vegetal en descomposición y del carbono almacenado en el suelo, superan a la cantidad de carbono que puede fijar por fotosíntesis.

A efecto de la gestión forestal puede admitirse que los principales reservorios de carbono del bosque se pueden gestionar como carbono de la parte aérea y carbono contenido en el suelo mineral junto con los sistemas radicales de toda la vegetación. En la parte aérea, y

a efectos de la gestión forestal, deben separarse tres reservorios: el carbono fijado en las especies arbóreas, el fijado en el matorral o sotobosque y el depositado sobre la superficie del suelo, procedente del desfronde, plantas muertas por competencia, etc., y que se va descomponiendo lentamente e incorporando al suelo mineral, pero que todavía no se ha incorporado al mismo, es lo que se conoce como capa orgánica u horizonte orgánico superficial. El mantenimiento de esta capa orgánica junto con el conocimiento del carbono y nutrientes tales como N, P, K, Ca y Mg que contiene y la velocidad de descomposición, mineralización e incorporación al suelo de los mismos, es fundamental para garantizar el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la productividad de la estación. El conocimiento del carbono orgánico contenido en el suelo mineral tiene importancia a efecto de valorar la función de los bosques en la mitigación del cambio climático y para conocer los efectos de los métodos y la intensidad de los aprovechamientos forestales sobre el carbono del suelo y la fertilidad del mismo.

Una correcta gestión forestal exige conocer las cantidades de carbono y otros elementos almacenados en cada una de las estructuras del bosque y estimar las cantidades que puedan ser fijadas o liberadas a la atmósfera como consecuencia de determinadas intervenciones selvícolas.

En España se han hecho estudios de alcance general para estimar la biomasa y la fijación de carbono por las principales especies forestales arbóreas (MONTERO et al, 2005; RUIZ-PEINADO et al, 2011 y 2012) y otros para especies individuales referidos a regiones geográficas más reducidas (PASTOR-LÓPEZ Y MARTÍN, 1995; BALBOA-MURIAS et al., 2006; PÉREZ-CRUZADO et al., 2011). Los matorrales han sido objeto de estudio y estimación de su biomasa a través de ecuaciones alométricas que estima la biomasa de una planta en función del diámetro en la base, la altura y el diámetro de la copa. Estos modelos basados en el fitovolumen de los individuos y complementados con información acerca de del tipo de matorral y un estimador de la densidad en número de pies por hectárea o en función de la fracción de cabida cubierta permite estimar biomasa por hectárea, en zonas concretas en las cuáles se cuenta de antemano, con la información antes indicada (BLANCO Y NAVARRO, 2003; CASTRO et al, 1996; NAVARRO, 2004; NAVARRO Y BLANCO, 2006; MENDOZA-PONCE Y GALICIA, 2010; ORDÓÑEZ et al, 2008; PATÓN et al, 1997; RUIZ-PEINADO et al, 2013).

La estimación de biomasa de los matorrales españoles, de manera general y para grandes áreas geográficas, necesita contar con ecuaciones de estimación basadas en datos generales obtenidos del Inventario Forestal Nacional, cartografía temática u otras bases de datos que cubran todo el territorio nacional o grandes regiones del mismo.

La importancia de los matorrales en los países mediterráneos y especialmente en España, es muy alta, como lo demuestra el hecho de que en nuestro país existen más de 18,02 millones de hectáreas (SAN MIGUEL et al, 2008) y de ellas 3,24 millones se encuentran cubriendo rasos, calveros o el sotobosque más o menos denso dentro de la superficie que se considera como montes arbolados; 7,8 millones de hectáreas de matorral mezclado con arbolado ralo en las cuáles el matorral es predominante y 6,96 millones de hectáreas de formaciones de matorral desarbolado pobladas por diferentes especies y en diferentes estadios de evolución.

Es evidente que la gestión integral y sostenible de los territorios forestales en España exige conocer la cantidad de biomasa fijada por las formaciones de matorral y el papel que ésta juega en el equilibrio biológico de los sistemas forestales. El matorral aporta alimento y refugio a la fauna silvestre y doméstica, protege al suelo de la erosión, contribuye de manera muy significativa al fomento y conservación de la diversidad florística, es un eslabón clave en el mantenimiento del ciclo de nutrientes y en la fijación de carbono atmosférico, contribuyendo así a la mitigación de los efectos del cambio climático. En los últimos años han ganado importancia e interés su capacidad como fijador de carbono atmosférico y la posibilidad de su aprovechamiento energético en aquellas áreas o zonas que se considere admisible en términos ecológicos, y viable desde el punto de vista económico. Esta última aplicación ha de ser valorada, además, en relación con la influencia que el aprovechamiento del matorral, en determinadas áreas, pudiese tener sobre la disminución del riesgo de incendios forestales.

En este trabajo se presenta una metodología para estimar la biomasa de los matorrales a partir de la altura media y la fracción de cabida cubierta del matorral. Estos datos los ofrece el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN-3) y son aplicables a escala regional o nacional.

El conocimiento cuantitativo de la biomasa y del carbono acumulado por los matorrales, así como una estimación del crecimiento medio anual en esas dos variables, permitirá conocer con mayor precisión, no solo sus posibilidades como aprovechamiento energético y fijador de carbono, sino también todas las demás funciones ecológicas a que antes se ha hecho referencia, que podrán contar con información cuantitativa para su valoración.

2. Objetivos

El objetivo del trabajo es presentar un método general para cuantificar la biomasa de los matorrales españoles y su crecimiento anual a través de ecuaciones que estiman la biomasa por hectárea en función de variables fácilmente medibles en inventarios normales o que se pueden obtener del IFN, cartografía temática, etc.

3. Metodología

Sobre un total de 62 fincas distribuidas por toda la región andaluza, se levantaron 834 parcelas rectangulares de 5x4 metros, de las cuales 165 se situaron en montes adhesados, 112 en masas de *P. pinea*, 204 en masas de *P. pinaster*, *P. halepensis*, *P. nigra*, castaño, etc y 353 sobre formaciones específicas de matorral con arbolado disperso o sin arbolado.

La estimación de biomasa de matorral se puede llevar a cabo siguiendo dos tipos diferentes de métodos: muestreo indirecto y muestreo directo. Los métodos de muestreo indirecto (BLANCO Y NAVARRO, 2003) se basan en la medición de variables morfológicas de la vegetación. Lo más frecuente es medir diámetro en la base del tallo, altura total y diámetro de copa de las principales especies que componen la formación de matorral que se desea estudiar. Conocidas estas variables y una estimación del número de individuos por hectárea a través de muestreos mediante transectos, se puede estimar el volumen para individuos de diferentes tamaños y de diferentes especies y su biomasa mediante corte y pesaje de cada uno de ellos mediante un muestreo. Este resultado se puede extender a peso de biomasa por hectárea multiplicando por el número de individuos por hectárea para cada especie (BLANCO Y NAVARRO, 2003; CASTRO et al, 1996; ETIENNE, 1989; IBÁÑEZ et

al, 1999; USÓ et al, 1997). Los métodos de muestreo directos se basan en el replanteo de parcelas de una superficie determinada en las cuales se corta y pesa el matorral verde, que después se refiere a materia seca mediante el secado y pesado de una muestra representativa. Esta metodología es costosa pero se obtienen estimaciones muy precisas de la biomasa (BLANCO Y NAVARRO, 2003 y 2006; OJEA et al, 1992). En el presente trabajo se aplica esta última metodología. De esta manera, en cada parcela de forma rectangular de 4x5 metros se estimó la fracción de cabida cubierta del matorral y la altura media del mismo. A continuación se rozó todo el matorral con desbrozadora manual a ras del suelo y se pesó la biomasa total de la parcela recién cortada. Una vez pesada la biomasa, se recogió una muestra representativa de la misma de entre 1,5 y 2,5 kg, que fue etiquetada con los datos de la parcela y se envió a laboratorio para su desecación en estufa a $102\pm 2^{\circ}\text{C}$ y determinación de su peso en materia seca (MS). Una vez conocidos los coeficientes de transformación de materia verde a materia seca para cada parcela, se determinó el peso de materia seca por hectárea en cada una de ellas. Asimismo, de cada parcela se recogieron un mínimo de tres troncos de las especies arbustivas más representativas de matorral para la determinación de su edad mediante el conteo de anillos de crecimiento en la base de los mismos. Mediante el conteo de anillos en la base de las tres plantas seleccionadas se calcula la edad media de la parcela.

Una vez procesados los datos, se obtuvieron 834 parcelas con información referente a biomasa seca, de las que 694 presentaban también información relativa a la edad media de la parcela.

3.1 Ajustes de modelos de estimación de biomasa seca por hectárea

Estos modelos se basan en el tratamiento estadístico de las variables que mejor caracterizan a las formaciones de matorral como productoras y acumuladoras de biomasa. El objetivo de estos modelos es proporcionar el peso de biomasa a partir de una o varias variables medidas previamente sobre el terreno. Estas variables han de ser sencillas y económicas de medir o figurar en una base de datos que incluya su valor a diferentes niveles territoriales: nacional, comunidad autónoma, provincia, municipio, etc. como es en nuestro caso el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN-3). A partir del IFN-3, las parcelas de inventario incluyen la toma de datos relativa a especies arbustivas y de matorral, incluyendo la altura media del matorral y su fracción de cabida cubierta, así como la identificación de las principales especies arbustivas presentes en la misma. Además, el Mapa Forestal Español a escala 1:25.000 (MFE25), que se encuentra completado para las principales provincias de la cornisa cantábrica y en proceso de ejecución en otras comunidades autónomas, incluye también información de las diferentes formaciones de matorral existentes en el territorio. Por lo que próximamente se contará con una importante base de datos a nivel nacional que permitirá conocer la carga de biomasa o el carbono capturado por dichas formaciones a lo largo del territorio.

Es evidente que existen en nuestro país diferentes formaciones de matorral que se diferencian por el grado de espesura o densidad, medida en este caso por la fracción de cabida cubierta (FCC) y la altura media (H_m). Naturalmente, y a efectos prácticos, en dos parcelas de diferentes especies pero con una densidad (expresada por medio de la FCC) y una altura media de matorral (H_m) iguales, es esperable que ambas contengan unas cantidades de biomasa similares. Esta hipótesis nos lleva, en una primera aproximación, a presentar una ecuación única para todo el territorio andaluz, con independencia de que existan diferentes formaciones (jarales, brezales, retamares, espartizales, etc). Otra forma de afrontar la realidad para estimar la biomasa de los matorrales, es la de proceder a la estimación por formaciones

de matorral. En este caso es lógico pensar que se podrían obtener mejores ajustes de los modelos para formaciones más homogéneas (jarales, brezales) aunque lógicamente, el número de parcelas por formaciones sea menor que considerando todas las parcelas conjuntamente. Dado que las formaciones de matorral están representadas en el MFE25 y que se puede identificar la formación a la que pertenece un punto a través de sus coordenadas, se considera esta segunda vía como una eficiente metodología, al menos en los casos en los que se cuenta con suficiente número de parcelas experimentales. En las formaciones descritas para las que no se cuenta con suficientes parcelas, se aplica la ecuación obtenida en el modelo general.

En este trabajo se ha optado por elegir la FCC (%) y la H_m (dm) del matorral como variables independientes por contar con esta información en la base de datos del IFN-3 e IFN-4 para toda España, lo que facilitará la aplicación de los resultados de este trabajo a otros territorios de características y tipologías de matorral similares.

Elección de modelos

Por lo dicho en los párrafos anteriores, los modelos deben contener las dos variables indicadas (FCC y H_m), por lo cual restaba elegir los modelos lineales y no lineales y decidir si las variables debían de intervenir de manera aditiva o multiplicativa. Después de una serie de pruebas, se decidió probar y comparar los cinco modelos que a continuación se presentan para la estimación de la biomasa acumulada por hectárea.

$$\ln(W) = a + b \cdot \ln(H_m) + c \cdot \ln(FCC_m) \quad (I)$$

$$W = a \cdot H_m^b \quad (II)$$

$$W = a \cdot FCC_m^c \quad (III)$$

$$W = a \cdot H_m^b \cdot FCC_m^d \quad (IV)$$

$$W = a \cdot (H_m \cdot FCC_m)^d \quad (V)$$

siendo W la cantidad de biomasa expresada en toneladas de materia seca por hectárea (Tn MS.ha⁻¹), H_m la altura media del matorral expresada en decímetros (dm) y FCC_m la fracción de cabida cubierta del matorral expresada en %.

Para la gestión y aprovechamiento de un recurso, tan importante como conocer los stocks acumulados es cuantificar el crecimiento o tasa de acumulación anual. Conocido el crecimiento medio anual en Tn. ha⁻¹.año⁻¹ en 694 de las 834 parcelas de biomasa, se han ajustado los datos mediante diferentes modelos matemáticos, resultando como más indicado el siguiente:

$$\ln(Y) = a + b \cdot \ln(H_m) + c \cdot \ln(FCC_m) \quad (VI)$$

siendo Y el crecimiento medio de biomasa expresada en toneladas de materia seca por hectárea y año (Tn MS.ha⁻¹.año⁻¹), H_m la altura media del matorral expresada en decímetros (dm) y FCC_m la fracción de cabida cubierta del matorral expresada en %.

A continuación se presenta un resumen con la caracterización de las variables W , Y , H_m y FCC de las parcelas que se han utilizado de cada formación según el MFE25 (Tabla 1):

Tabla 1. Caracterización de las variables W, Y, H_m y FCC a través de sus valores mínimo, máximo y medio.

Formación	Variable	N	Min	Max	Media	Stdev
Todas	W	834	0,05	135,40	16,73	19,85
	Y	694	0,003	7,82	1,14	1,21
	H _m	834	1	60	12,21	6,63
	FCC _m	834	1	100	43,50	30,69
110	W	29	0,14	34,8	3,42	7,04
	Y	16	0,02	1,53	0,29	0,44
	H _m	29	4	20	12,31	4,43
	FCC _m	29	5	30	10	6,55
140-150-160	W	57	0,76	96,12	12,74	16,24
	Y	13	0,04	7,07	0,99	1,21
	H _m	57	1	32	12,44	5,93
	FCC _m	57	5	100	42,89	28,20
170-180	W	97	0,06	135,4	23,47	29,42
	Y	76	0,02	6,77	1,16	1,26
	H _m	97	2	50	13,96	8,65
	FCC _m	97	5	100	39,14	29,51
210	W	73	0,05	91,41	26,19	20,6
	Y	69	0,01	5,08	1,14	1,35
	H _m	73	2	60	14,71	9,29
	FCC _m	73	1	100	56,86	33,81
220	W	219	0,12	132,5	22,31	21,46
	Y	182	0,02	7,82	1,46	1,33
	H _m	219	2	40	13,44	5,14
	FCC _m	219	5	95	51,37	29,89
230	W	57	0,07	64,92	11,42	13,16
	Y	52	0,04	6,09	1,16	1,27
	H _m	57	2	28	12,91	5,70
	FCC _m	57	2	80	29,72	23,59
240	W	70	0,3	81,9	17,5	17,20
	Y	64	0,03	5,84	1,5	1,42
	H _m	70	1	29	13,01	6,47
	FCC _m	70	5	100	48,29	31,17
250	W	188	0,06	65,21	9,23	11,62
	Y	157	0,01	4,66	0,69	0,84
	H _m	188	2	22	8,60	5,31
	FCC _m	188	1	95	38,65	30,16
34	W	28	2,05	21,14	7,81	3,42
	Y	12	0,26	1,63	0,78	0,42
	H _m	28	6	18	9,25	1,80
	FCC _m	28	5	90	54,46	26,61

Fuente: proyecto RECAMAN (en elaboración).

4. Resultados

Estimación de biomasa acumulada en arbustados y matorrales

Para el conjunto de todas las parcelas, sin diferenciación de formaciones, el modelo que mejor se ajusta, ofreciendo todos los parámetros un nivel de significación superior al 95%, dentro de los probados es el siguiente:

$$\ln(W) = -2,560 + 1,006 \cdot \ln(H_m) + 0,672 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2 \text{ aj} = 63,5\% \quad SEE = 0,74162 \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la existencia de diferentes formaciones de matorrales, con aspecto y características tan diferentes como pueden ser un retamar, un brezal, un jaral o un tomillar, se decidió ajustar el modelo de manera específica con los datos de las parcelas pertenecientes a

cada una de las formaciones, siempre y cuando se contase con datos suficientes. Cuando el número de parcelas no era suficiente, se han agrupado formaciones próximas para mejorar el resultado.

A continuación se presentan los modelos ajustados para cada una de las formaciones, identificada por el número y el nombre con el que figuran en el MFE 1:25.000 y con indicación del número de parcelas con que se cuenta en cada una de ellas. En todos los casos el modelo (I) fue el que presentó los mejores ajustes, al igual que en el caso del modelo general. Los modelos ajustados fueron los siguientes:

1.- Arbustados y agrupaciones afines

Formación 110. Setos, orlas, bardas, salcedas, galerías arbustivas, etc. (29 parcelas)

$$\ln(W) = 0,494 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 94,9\% \quad SEE = 0,44194 \quad (2)$$

Es importante hacer notar el hecho de que aunque este modelo presente un valor de R^2 muy elevado, el efecto de este estadístico en este modelo que carece de término independiente, no es el mismo que el de un modelo con término independiente. Esto se debe a que los valores de R^2 son siempre mayores en los modelos que no tienen ordenada en el origen por eso los R^2 de los modelos no son comparables directamente, ya que están estimando magnitudes diferentes en cada caso.

Formaciones 140, 150 y 160. Manchas, cornicabrales, garrigas (57 parcelas).

$$\ln(W) = -3,853 + 1,311 \cdot \ln(H_m) + 0,726 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 66,0\% \quad SEE = 0,66222 \quad (3)$$

En este caso se ha procedido a agrupar dos formaciones diferentes debido a las similitudes que ambos grupos presentaban.

Formaciones 170 y 180. Coscojares más puros y lentiscales/charnecales (97 parcelas)

$$\ln(W) = -2,892 + 1,505 \cdot \ln(H_m) + 0,462 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 73,4\% \quad SEE = 0,71467 \quad (4)$$

Al igual que ocurría en el caso anterior, se ha realizado nuevamente una agrupación de dos formaciones que presentaban características similares con el fin de conseguir un modelo más robusto.

2.- Matorrales y cubiertas mixtas de leñosas y herbáceas

Formación 210. Brezales, matorrales de *Erinaceae* y agrupaciones afines (73 parcelas)

$$\ln(W) = -2,921 + 0,984 \cdot \ln(H_m) + 0,863 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 81,9\% \quad SEE = 0,46137 \quad (5)$$

Formación 220. Jarales y matorrales de Cistaceae (219 parcelas)

$$\ln(W) = -2,596 + 0,957 \cdot \ln(H_m) + 0,747 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 63,7\% \quad SEE = 0,68681 \quad (6)$$

Formación 230. Mezcla de matorrales de leguminosas retamoideas (57 parcelas)

$$\ln(W) = -1,833 + 0,965 \cdot \ln(H_m) + 0,453 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 46,4\% \quad SEE = 0,72748 \quad (7)$$

Formación 240. Matorrales de leguminosas aulagoideas y afines (70 parcelas)

$$\ln(W) = -2,464 + 0,808 \cdot \ln(H_m) + 0,761 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 57,3\% \quad SEE = 0,80498 \quad (8)$$

Formación 250. Mezcla de matorrales de labiadas y tomillares (188 parcelas)

$$\ln(W) = -1,877 + 0,643 \cdot \ln(H_m) + 0,661 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 64,2\% \quad SEE = 0,69326 \quad (9)$$

3.- Comunidades herbáceas y pastizales

Formación 34. Espartizales (28 parcelas)

$$\ln(W) = 0,494 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 94,9\% \quad SEE = 0,44194 \quad (10)$$

En el caso de esta formación, el modelo que presentó un mejor ajuste fue una variación del modelo (I), siendo la *FCC* la única variable que entraba en el modelo para predecir la biomasa. Dadas las características de esta formación parecía claro que la altura media del matorral sería una variable poco determinante a la hora de predecir la cantidad de materia seca en estas formaciones, dada la poca variabilidad que presenta el esparto en términos de altura.

En todos los modelos anteriormente expuestos, los predictores mostraban un nivel de significación superior al 95% y un comportamiento biológico de acuerdo a lo esperado.

Estimación del crecimiento en biomasa

El modelo obtenido para el conjunto de todas las parcelas de matorral fue:

$$\ln(Y) = -4,771 + 0,814 \cdot \ln(H_m) + 0,676 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 60,1\% \quad SEE = 0,72657 \quad (11)$$

Al igual que en el caso de los modelos ajustados para la estimación de la biomasa acumulada por distintas formaciones arbustivas, en este caso se procedió a desarrollar diferentes modelos para diferentes formaciones. Existen en este punto dos excepciones, las formaciones 34 y 110, en las que no fue posible ajustar una modelo debido a la escasez de datos de crecimiento.

Formación 1.- Arbustados y agrupaciones afines

Formación 110. Setos, orlas, bardas, salcedas, galerías arbustivas, etc. (16 parcelas)

Los datos de crecimiento existentes para estas parcelas resultaron no ser suficientes para realizar el ajuste de un modelo específico. Es por esto que se utilizará el modelo general (Ec. 11) a la hora de computar el crecimiento anual en biomasa.

Formaciones 140, 150 y 160. Manchas, cornicabrales, garrigas (53 parcelas).

$$\ln(Y) = -5,922 + 0,735 \cdot \ln(H_m) + 0,979 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 54,0\% \quad SEE = 0,74896 \quad (12)$$

Formaciones 170 y 180. Coscojares más puros y lentiscales/charnecales (76 parcelas)

$$\ln(Y) = -4,955 + 1,150 \cdot \ln(H_m) + 0,463 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 65,7\% \quad SEE = 0,70738 \quad (13)$$

Formación 2.- Matorrales y cubiertas mixtas de leñosas y herbáceas

Formación 210. Brezales, matorrales de Erinaceae y agrupaciones afines (69 parcelas)

$$\ln(Y) = -5,545 + 0,824 \cdot \ln(H_m) + 0,881 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 78,2\% \quad SEE = 0,51177 \quad (14)$$

Formación 220. Jarales y matorrales de Cistaceae (182 parcelas)

$$\ln(Y) = -4,505 + 0,588 \cdot \ln(H_m) + 0,793 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 61,8\% \quad SEE = 0,64360 \quad (15)$$

Formación 230. Mezcla de matorrales de leguminosas retamoideas (38 parcelas)

$$\ln(Y) = -3,809 + 0,672 \cdot \ln(H_m) + 0,577 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 45,5\% \quad SEE = 0,73368 \quad (16)$$

Formación 240. Matorrales de leguminosas aulagoideas y afines (64 parcelas)

$$\ln(Y) = -4,479 + 0,715 \cdot \ln(H_m) + 0,701 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 50,1\% \quad SEE = 0,82444 \quad (17)$$

Formación 250. Mezcla de matorrales de labiadas y tomillares (157 parcelas)

$$\ln(Y) = -4,446 + 0,753 \cdot \ln(H_m) + 0,573 \cdot \ln(FCC_m) \quad R^2_{aj} = 63,8\% \quad SEE = 0,69679 \quad (18)$$

3.- Comunidades herbáceas y pastizales

Formación 34. Espartizales (12 parcelas)

Al igual que ocurre en el caso de la formación 110, los datos de crecimiento existentes para estas parcelas resultaron no ser suficientes para realizar el ajuste de un modelo específico. Es por esto que se utilizará el modelo general (Ec. 11) a la hora de computar el crecimiento anual en biomasa.

De igual modo que ocurre en el caso de los modelos para el cálculo de la biomasa acumulada por el matorral, en todos los modelos anteriormente expuestos, los predictores mostraban un nivel de significación superior al 95% y un comportamiento biológico de acuerdo a lo esperado.

5. Discusión

Diferentes estudios antes que este, han realizado estimaciones de la biomasa existente en diferentes formaciones de matorral. Así, MERINO et al (1990) obtienen 4,9 T.Ha⁻¹ para matorral de jara en Doñana y 21,9 T.Ha⁻¹ para brezales en esa misma zona, resultado este último, similar a los obtenidos en el presente estudio, y que arrojan una media de 26,3 T.Ha⁻¹ en brezales del territorio andaluz. BASANTA (1982) obtiene, para matorral, sin especificar especies dominantes, en la Sierra de Huelva, valores medios de 28,9 T.Ha⁻¹, de 12,5 para formaciones de brezo y 28,9 T.Ha⁻¹ para zonas de madroño. Estos resultados difieren a los obtenidos en este estudio, ya que la cantidad media de biomasa encontrada en el territorio andaluz sin discriminar diferentes formaciones (16,7 T.Ha⁻¹) fue menor que la encontrada por BASANTA (1982), mientras que la biomasa inventariada en brezales fue superior. MARQUEZ et al (1989) en formaciones de jarales de Badajoz, presenta resultados que oscilan entre 5,0 y 37,7 T.Ha⁻¹ en función de la edad, con un valor medio de 23,2 T.Ha⁻¹, valor medio muy similar al encontrado en las formaciones andaluzas de jarales por los autores del presente estudio (22,3 T.Ha⁻¹). Algo más alejadas se encuentran los resultados obtenidos por FERNANDEZ et al (1995) que presentan estimaciones de biomasa para la Sierra Norte de Sevilla para jarales y matorrales mixtos que oscilan entre 8,1 y 15,2 T.Ha⁻¹ y de 41,1 y 66,8 T.Ha⁻¹ respectivamente, para jarales y brezales de los montes de alcornocal de Cádiz y Málaga y especifica un valor de 30,3 T.Ha⁻¹ para jarales de *Cistus ladanifer* en la provincia de Cádiz. Siguiendo con estimaciones por métodos directos o destructivos, el trabajo NAVARRO (2004), presenta datos de 15,3 T.Ha⁻¹ como valor medio para formaciones de brezales en la comarca de la Selva –Girona.

En cuanto al desarrollo de modelos para la estimación de biomasa, diferentes enfoques pueden ser encontrados en la literatura, BLANCO Y NAVARRO (2003), realizaron el ajuste de modelos que relacionaban la producción de biomasa con el fitovolumen de 31 especies arbustivas andaluzas, obteniendo valores con un grado de ajuste muy elevado (R^2 entre 0,8 y 0,9). Enfoque parecido al utilizado por ORDÓÑEZ et al (2008), PEREIRA et al (1995) y MENDOZA-PONCE Y GALICIA (2010), que aunque no utilizaron el fitovolumen, sí emplearon variables similares a las utilizadas para calcular dicho fitovolumen, como son el diámetro basal o el diámetro de copa. Otros autores que han seguido esta misma línea son USÓ et al (1997), RIBEIRO et al (2011). Asimismo se desarrollaron modelos que describían la producción de biomasa tomando la edad como única variable predictora (NAVARRO Y BLANCO, 2006; ROSA et al, 2011).

Todos estos modelos, si bien presentan un alto grado de precisión desde el punto de vista explicativo, tienen menos valor desde el punto de vista predictivo para el gestor forestal, ya que incluyen variables difícilmente obtenibles fuera de los límites de un inventario arbustivo exhaustivo. En el presente estudio se ha priorizado la utilización de los modelos por el gestor forestal, con lo que se ha preferido utilizar aquellas que están al alcance de cualquier gestor o propietario forestal.

6. Conclusiones

Se han obtenido ecuaciones de estimación de biomasa para las principales formaciones de matorral, que a través de variables incluidas en la base de datos del 3^{er} y 4^o Inventario Forestal Nacional, permiten obtener la biomasa de matorral acumulada. La sencillez, economía y generalidad de estas ecuaciones, debido a la alta variabilidad de las variables independientes, altura media y fracción de cabida cubierta del matorral (*Hm* y *FCC*) hace que los ajustes presenten diferencias en la estima de los valores extremos. Esta falta de ajuste de los datos al modelo predictivo puede mejorarse a través de estratificaciones del territorio y el aumento del número de parcelas.

El método de muestreo destructivo (replanteo de parcelas, desbroce y pesado de biomasa) resulta más costoso pero más eficiente que la estimación de biomasa por métodos indirectos, tales como el ajuste del peso de ejemplares individuales en función de su diámetro en la base, la altura total, la proyección de la copa o el producto de las dos últimas variables (fitovolumen). Al conocimiento de estas variables hay que unir el conocimiento de la composición específica expresada en número de ejemplares de cada especie en la formación de matorral o territorio a estudiar.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo el paraguas del proyecto RECAMAN (Renta y Capital de los Montes de Andalucía), financiado por la Junta de Andalucía, a través de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía, y cuyo responsable científico ha sido el Profesor del CSIC D. Pablo Campos Palacín. Los autores agradecen el apoyo incondicional de todos los integrantes de RECAMAN, muy especialmente a las personas que nos han proporcionado diversas informaciones necesarias para la realización de este trabajo. Así, se quisiera resaltar la colaboración prestada por los Ingenieros de Montes D. Luis Guzmán y Dña. Isabel Martín, de EGMASA y Dña. Francisca de la Hoz, de la Junta de Andalucía. Por otro lado, los autores también agradecen tanto los comentarios proporcionados en distintas

fases del trabajo, como el apoyo técnico prestado, de D. Roberto Vallejo Bombín (Dirección General de Desarrollo Rural y Política Forestal, MAGRAMA).

8. Bibliografía

BALBOA-MURIAS, M.A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; 2006. Temporal variations and distribution of carbon stocks in aboveground biomass of radiata pine and maritime pine pure stands under different silvicultural alternatives. *For. Ecol. Manage.* 237: 29-38.

BASANTA, A.; 1982. Matorral serial en Sierra Morena, Estudio ecológico de las respuestas del matorral a distintas intervenciones humanas en el coto Nacional “La pata del caballo”, Huelva, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.

BLANCO, P.; NAVARRO, R.M.; 2003. Aboveground phytomass models for main species in shrub ecosystems of western Andalucía. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(3): 47-55.

CASTRO, I.; CASADO, M.A.; RAMIREZ-SANZ, L.; DE MIGUEL, J.M.; COSTA, M.; DIAZ, F.; 1996. Funciones de estimación de fitomasa aérea en varias especies de matorral mediterráneo del centro de la Península Ibérica. *Orsis* 11: 107-116.

ETIENNE, M.; 1989, Non-destructive methods for evaluating shrub biomass: a review. *Acta Oecologica* 10: 115-128.

FERNANDEZ, R.; RODRIGUEZ, M.; MARTIN, A.; GARCIA, J.L.; INFANTE, J.M.; LEIVA, M.J.; RODRIGUEZ, J.J.; GALLARDO, A.; 1995. Mediterranean oak forests: basis for appropriate protection strategy, Final Report EV5V-CT92-0210, CEC, Unpub, 165 pp.

IBAÑEZ J.J.; VAYREDA, J.; GRACIA, C.; 2002. Metodología complementaria al Inventario Forestal Nacional en Catalunya. En: Bravo, F.; del Río M.; del Peso, C. (eds.) El inventario Forestal Nacional, Elemento clave para la gestión forestal sostenible: 67-77. Fundación General de la Universidad de Valladolid.

MARQUEZ, M.; NÚÑEZ, E.; ESCUDERO, J.C.; 1989. Dinámica del nitrógeno en un gradiente de edad de *Cistus ladanifer* L. *Options Méditerranéennes- Série Sémin.* 3: 151-155.

MENDOZA-PONCE, A.; GALICIA, L.; 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in Highland temperate forest landscape in Central Mexico. *Forestry* 83: 497-506

MERINO, O.; MARTIN, M. P.; MARTIN, A.; MERINO, J.; 1990. Sucesional and temporal changes in primary productivity in two Mediterranean scrub ecosystems. *Acta Oecologica* 11(1): 103-112.

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO² por los bosques españoles, Monografías INIA, Serie forestal nº 13, 270 p, Madrid,

NAVARRO, R.M.; BLANCO, P.; 2006. Estimation of above-ground biomass in shrubland ecosystems of southern Spain. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 15 (2): 197-207.

NAVARRO, R.; 2004. Fitomasa aérea en los ecosistemas de matorral en el monte Can Vilallonga (T.M. de Cassà de la Selva-Girona). *Ecología* 8: 99-112.

OJEA, I.; PUENTES, A.; GONZALEZ-PEREIRO, L.; BASANTA, M.; 1992. Caracterización de la estructura vertical de *Ulex europaeus* L, mediante datos de frecuencia y fitomasa. *Studia Oecologica* 9: 67-76.

ORDÓÑEZ, J.A.B.; JONG, B.H.J.; GARCÍA-OLIVA, F.; AVIÑA, F.L.; PEREZ, J.V.; GUERRERO, G.; MARTINEZ, R.; MASERA, O.; 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *For. Eco. Manag.* 255: 2074-2084,

PASTOR-LOPEZ, A.; MARTIN, J.; 1995. Ecuaciones de fitomasa para *Pinus halepensis* en repoblaciones de la provincia de Alicante. *Studia Oecologica* 12: 79-88.

PATON, D.; OSORIO, R.; AZCONA, P.; BOTE, D.; ROJO, H.; MATAS, A.; TOVAR, J.; 1997. Estimación de fitomasa forrajera de especies arbustivas típicas del clima mediterráneo árido chileno mediante análisis multicriterio. *Arch. Zootec.* 46: 225-237.

PEREIRA, J.C.; SEQUEIRA, N.M.; CARREIRAS, J.M.; 1995. Structural properties and dimensional relations of some Mediterranean shrub fuels. *Int. J. Wildland Fire* 5: 35-42.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MERINO, A.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2011. A management tool for estimating bioenergy production and carbon sequestration in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* grown as short rotation woody crops in north-west Spain. *Biomass Bioenergy* 35: 2839-2851.

RIBEIRO, S.C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C.P.B.; JACOVINE, L.A.G.; KLEINN, C.; GASPAR, R.O.; 2011. Above-and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. *For. Eco. Manag.* 262:491-499.

ROSA, M.D.; PEREIRA, J.M.C.; TARANTOLA, S.; 2011. Atmospheric emissions from vegetation fires in Portugal (1990–2008): estimates, uncertainty analysis, and sensitivity analysis. *Atmos. Chem. Phys.* 11: 2625–2640

RUIZ-PEINADO, R.; RIO, M.; MONTERO, G.; 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spain softwood species. *Forest Systems* 20 (1): 176-188.

RUIZ-PEINADO, R.; MONTERO, G.; DEL RIO, M.; 2012. Biomass models to estimate carbon stock for hardwood tree species. *Forest Systems* 21(1): 42-52.

RUIZ-PEINADO, R.; MORENO, G.; JUAREZ, E.; MONTERO, G.; ROIG, S.; 2013. The contribution of two common shrub species to above ground and below ground carbon stock in Iberian Dehesa. *Journal of Arid Environments* 91: 22-30.

SAN MIGUEL, A.; ROIG, S.; CAÑELLAS, I. 2008. Fruticicultura, Gestión de arbustados y matorrales en Serrada R., Montero G., Reque J. (Eds.): Compendio de Silvicultura aplicada en España. INIA y FUCOVASA- Madrid 877-907.

USÓ, J.L.; MATEU J.; KARJALAINENT, T.; SALVADOR, P. 1997. Allometric regression equations to determine above-ground biomass of mediterranean shrub. *Plant Ecol.* 132:59-69.