

FITOMASA AÉREA EN LOS ECOSISTEMAS DE MATORRAL EN EL MONTE CAN VILALLONGA (T.M. DE CASSÀ DE LA SELVA-GIRONA)

RAFAEL M. NAVARRO¹

RESUMEN

En este trabajo presentamos los resultados de la fitomasa aérea en ecosistemas de matorral en el Monte *Can Vilallonga* (T.M. de Cassà de la Selva-Girona). Se ha calculado el *fitovolumen* y la *fitomasa aérea seca* acumulada por tipo de vegetación mediante métodos indirectos a partir de datos sobre distintas variables biométricas –altura, diámetros máximos y mínimos– en 6 parcelas características de los dos tipos de vegetación presentes, brezales de *Erica arborea* L., y brezales mixtos de *Erica scoparia* L. y *Cistus pompeliensis* L. Los valores de fitomasa obtenidos para las formaciones de *Erica scoparia* varían entre 415,30 g m⁻² y 3.984,50 g m⁻², y para los matorrales de *Erica arborea* entre 70,36 g m⁻² y 2.675 g m⁻². La relación fitomasa fotosintética/fitomasa total ha sido en ambos casos próxima a 0,20.

La evolución temporal de la fitomasa se ha analizado mediante análisis de regresión, obteniéndose modelos de tipo potencial. Los modelos específicos obtenidos para cada tipo de matorral presentan unos ajustes (R^2) superiores a 0,97. La bondad de los ajustes y la solidez estadística confirman su aptitud para llevar a cabo estimaciones de carácter local.

Palabras clave: matorrales mediterráneos, fitomasa aérea total, fitomasa fotosintética, productividad primaria neta.

SUMMARY

This paper reports the aerial phytomass estimates obtained for the heath shrub ecosystems in North Catalonia. The *phytovolume* and cumulative *dry aerial phytomass* for each type of plant were calculated by applying direct and indirect methods to data for various biometric variables including height and maximum and minimum diameters obtained from 6 plots containing the principal types of plants present in the site. The mean phytomass values thus obtained were 1,537.87 g m⁻² for heath, 1,527.76 g m⁻² for *Cistus*-heath. The mean value of photosynthetic-to-total phytomass ratio was of 0,20 for the studied ecosystems as a whole.

Temporal changes in phytomass were examined using regression analysis to construct polynomial and potential models. The specific models obtained for each type of ecosystem exhibited R^2 values

¹ Departamento Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior Ingenieros Agrónomos y Montes (Universidad de Córdoba). Avda Menéndez Pidal, s/n. 14080 Córdoba. e-mail: ir1nacer@uco.es

Recibido: 26/09/2003.

Aceptado: 09/03/2004.

of 1–0.992. Their goodness of fit and statistical robustness confirm their suitability for estimating phytomass on a local basis.

Key words: Mediterranean shrub, aerial phytomass, photosynthetic phytomass, productivity.

INTRODUCCIÓN

La importancia de los ecosistemas forestales leñosas no arbóreas en los procesos biofísicos y de cambio que experimentan los ecosistemas mediterráneos es enorme (DI CASTRI *et al.*, 1981), tanto por su significación en la dinámica y funcionalidad de éstos, como por la gran extensión de territorio que cubren, acrecentada en las últimas décadas por el abandono de tierras agrícolas y por la incidencia de los incendios forestales.

Como ocurre en el resto de agrupaciones vegetales, la fitomasa es una variable estructural clave para investigaciones sobre la dinámica de estos ecosistemas, sobre la biodiversidad que aportan al medio, su papel en el ciclo del carbono y su sostenibilidad. Así, muchos trabajos de ecología funcional, en particular los relacionados con los ciclos de nutrientes, productividad y procesos espacio-temporales requieren estimaciones de fitomasa (FERRES *et al.*, 1984; TERRADAS, 1991; RAPP *et al.*, 1999; MARY *et al.*, 2001).

Sin duda, el valor de la fitomasa como parámetro fundamental en el estudio de ecosistemas, ha propiciado que desde principios de los setenta se hayan dedicado notables esfuerzos encaminados a la mejora del diseño experimental y al análisis de este tipo de información. Hasta hoy día, estos esfuerzos se han dirigido principalmente a trabajos de evaluación de fitomasa en comunidades o especies arbóreas, por lo que aquellos centrados en comunidades arbustivas y subarbustivas han tenido escaso protagonismo (TERRADAS, 1991). Tradicionalmente, las estimaciones de fitomasa en ecosistemas forestales referidas a especies concretas o a comunidades vegetales, se han llevado a cabo mediante *métodos directos* (destructivos o

extractivos) o *indirectos* (análisis dimensional). Los primeros se basan en la cosecha y el pesado de todo el material vegetal de interés que se encuentra dentro de los límites de las parcelas de muestreo. Estos métodos ofrecen estimaciones muy precisas que, sin embargo, suponen la extracción de gran número de muestras (OJEA *et al.*, 1992), por lo que resultan métodos tremendamente laboriosos y de un elevado coste, haciéndolos a menudo no viables (URESK *et al.*, 1977). Los métodos indirectos, por contra, se basan en la medición de distintas variables morfológicas de la vegetación que utilizadas como entradas en modelos matemáticos permiten relacionarlas con la fitomasa vegetal. Estos métodos ofrecen estimaciones que pueden alcanzar el nivel de precisión de los anteriores a la vez que posibilitan muestreos más operativos, que pueden abarcar un gran número de observaciones con un coste relativamente bajo (GUILLÉN *et al.*, 1994; USÓ *et al.*, 1997; IBAÑEZ *et al.*, 1999; HIERRO *et al.*, 2000; PASSERA *et al.*, 2001); con la ventaja adicional de poder abordar estudios multitemporales en los que sea imprescindible conservar el material de trabajo.

WHITTAKER y WOODWELL (1968) proponen un método mixto en el que la fitomasa en peso seco de una especie se estima a partir de un proceso destructivo sobre un número relativamente reducido de muestras, con las que se establece una función de predicción que relaciona un parámetro característico de la estructura del vegetal, o un conjunto de variables biométricas, con la producción de fitomasa por planta, facilitando posteriores análisis. En matorrales, son abundantes los trabajos que proponen utilizar el fitovolumen aparente como variable explicativa en los modelos, frente a otras –cobertura, altura, diámetros de copa, etc.– que han ofrecido resultados des-

iguales, (CASTRO *et al.*, 1996; MONTES *et al.*, 2000; MARTÍ-DALMAU y BADÍA-VILLAS, 1999-2000, PASSERA *et al.*, 2001).

Sin embargo, la importancia de la fitomasa, en particular de su fracción aérea (entendida como producción de materia vegetal seca por unidad de superficie), y el lógico interés por disponer de valores de fitomasa para ecosistemas concretos, no se ha traducido en un desarrollo suficiente de modelos de predicción en el caso de especies o comunidades de matorral mediterráneas. El interés por contar con información territorial sobre esta variable estructural en este tipo de formaciones forestales, ha impulsado un trabajo para la determinación de modelos de evaluación de fitomasa-fitovolumen en Andalucía (BLANCO y NAVARRO, 2003), que se han aplicado al estudio de fitomasa en ecosistemas de matorral asociados a monte alcornocal en Cádiz (NAVARRO y BLANCO, 2003). El trabajo anterior se ha ampliado con un trabajo específico cuyo objetivo es estimar los recursos de fitomasa aérea en formaciones de matorral en monte alcornocal en Cataluña (Cassà de la Selva, Girona).

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del área de trabajo

El monte Can Vilallonga está situado en la provincia de Girona, en el extremo SO de la comarca de la Sierra de las Gavarres (latitud 42° 01' 40" N; 40° 48' 20" S; longitud 03° 09' 04" E; 02° 49' 24"). La cabida total del monte es de 240 ha, de las cuales están cubiertas por masas arboladas 226,24 ha, fundamentalmente una masa mixta de pinares de repoblación con presencia de alcornoque en 146,16 ha y otra masa de alcornoque puro en 54,38 ha.

La finca presenta un relieve accidentado, con pendientes entre el 10 y el 30%. Las altitudes varían desde 132 m hasta los 281 m en el extremo norte de la finca, muy cerca de los Solells d'en Mascorta. El monte se encuentra enclava-

dos climáticamente en la transición del mediterráneo seco al mediterráneo húmedo, con precipitación media total de 849 mm, y media estival de 207,7 mm. De acuerdo a la clasificación de ALLUE (1990), la zona de estudio se encuentra comprendida en los subtipos climáticos (VI) IV₄ Mediterráneo genuino fresco y (IV) IV₂ Mediterráneo genuino subtropical.

La litología dominante en la zona son sedimentos paleozoicos y la intrusión de un batolito granítico, lo que hace que el macizo de las Gavarres sea de carácter dominante silicio. Sobre esta litología se desarrollan suelos aluviales y coluviales, con presencia del orden inceptisoles (suelos pardos no cálcicos y suelos de tierra parda húmeda sobre materiales silicios). En la mayoría de la finca dominan los suelos fersialíticos pardos, los cuales han podido evolucionar localmente a suelos fersialíticos ácidos. Existen zonas de ranker de pendientes, en la parte superior de la finca, que localmente son litosuelos y regosuelos debido a la fuerte erosión.

La vegetación natural dominante en la actualidad son los alcornocales sobre suelos evolucionados y lixivados por las lluvias frecuentes, prosperan brezales altos dominados por *Erica scoparia* L. con *Erica arborea* L. y *Calluna vulgaris* (L.) Hull que aumentan su presencia en las pendientes más acusadas y erosionadas sobre suelos escasos. En la mitad inferior de la finca, en laderas húmedas predomina *Erica arborea* L., con presencia de ejemplares de *Erica scoparia* L., que domina en toda la finca enriqueciendo el brezal. Cuando el pastoreo lo permite, aparecen frecuentes *Viburnum tinus* L., *Phyllirea angustifolia* L.; *Cistus salvifolius* L., *C. monspeliensis* L., *Ulex parviflorus* Boiss. y *Calycotome spinosa* (L.) Link.. Los dos tipos de brezales se entremezclan y prosperan abundantemente a lo largo de la variación altitudinal de la finca. Enclavado en el dominio del alcornocal, mezclándose con él y con la vegetación ripícola inmediata, aparecen etapas preclimáticas del bosque esclerófilo y subesclerófilo con densos madroñales arbóreos (*Arbutus unedo* L.) intercalados con otras especies (*Phillyrea latifolia* L., *Laurus nobilis* L., *Ilex aquif-*

folium L., *Viburnum tinus* L., *Crataegus monogina* Jacq., *Rubus ulmifolius* Schott, *Hedera helix* L., *Smilax aspera* L).

Evaluación de la fitomasa de los tipos principales de matorral

El área de estudio ha sido cartografiada a partir de la ortofoto del Instituto Cartográfico de Cataluña, y estratificada en función de las comunidades de matorral dominantes en dos tipos principales de matorral. A partir de esa cartografía se ha calculado la superficie de cada uno de ellos, y se ha establecido un número mínimo de parcelas (tabla 1).

Determinación de la fitomasa por métodos destructivos

La determinación de la fitomasa se ha realizado mediante parcelas cuadradas de 5 x 5 metros, que permiten el cálculo de la *densidad*, la *cobertura*, el *fitovolumen* y la *fitomasa* mediante un método relativamente rápido (ROBLES *et al.*, 1991; 1995; USÓ, *et al.*, 1997; PASSERA *et al.*, 2001). El procedimiento operativo seguido ha sido el siguiente:

1. Elección y replanteo de una parcela cuadrada en una zona considerada representativa del tipo de matorral que se pretende estudiar, y procurando que corresponda a zonas homogéneas de cada área muestreada. Los centros de las parcelas se han localizado en campo con GPS. El criterio de representatividad se basa en trabajos previos donde se ha observado que en parcelas a partir de 8 m² se recoge suficiente información sobre composición específica, distribución verti-

cal y horizontal de la cobertura en matorrales mediterráneos (GARCÍA PLÉ *et al.*, 1989), optándose no obstante por parcelas de tamaño muy superior.

2. Medición de 3 variables morfológicas en todos los ejemplares de especies leñosas presentes en la parcela: altura de la planta «h» (cm), diámetro mayor de copa «Ø^m» (cm), diámetro menor «Ø_m» (cm), y diámetro en la base «Ø_b» (cm), con cinta métrica (rango de lectura entre 0 y 5 m, unidad: 1 cm, y error de apreciación 6 0,1 cm).
3. En el conjunto de las parcelas, y una vez realizadas las medidas, se procedió a cortar a ras del suelo todos los individuos de especies leñosas. Los ejemplares fueron pesados *in situ*, sin diferenciar entre leño y hojas, mediante una balanza eléctrica PHILLIPS ESSENCE HR2388-0 (peso máximo 5.000 g, peso mínimo 0 g, unidad de lectura 1 g, y error de apreciación 6 0,5 g). Un número variable (superior a 4) de plantas de cada especie leñosa presente por parcela se trasladaron al laboratorio para su secado en estufa de aire forzado P SELECTA durante 72 horas, a una temperatura de 70°C hasta peso constante. El material seco se pesó con la misma balanza para determinar peso seco de cada una de las fracciones: fitomasa leñosa y fitomasa fotosintética
4. El cálculo de la densidad de plantas por unidad de superficie se hizo directamente a partir del número de individuos presentes en la parcela. La densidad de cada especie se expresa por especie según la fórmula:

$$D_{(sp\ i)} = (n^{\circ} \text{ plantas } sp\ i / n^{\circ} \text{ total plantas}) \cdot D$$

Tipo de vegetación	Especie dominante	Altura media del estrato dominante (m)	Número de parcelas
Brezal	<i>Erica arborea</i> L.	104,63	3
Brezal-jaral	<i>Erica scoparia</i> L.	133,40	3

Tabla 1 - Tipos de matorrales estudiados y número de parcelas por tipo.

Table 1 - Types of shrub studied and number of plots used per type.

A partir del diámetro medio « \varnothing_M » se obtiene el grado de cobertura « C » de cada planta asociada a la superficie del círculo ideal:

$$C_{sp\ i} = p (\varnothing_M / 2)^2$$

Siendo el grado de cobertura total de la especie i :

$$C_i = D_i C_{sp\ i}$$

5. El cálculo de fitomasa/ha para cada especie viene dado por los datos de densidad obtenidos en los muestreos:

$$\text{Fitomasa/ha} = D_{(sp\ i)} * \text{Peso medio}_{sp\ i}$$

siendo la fitomasa total (B_T) para cada tipo de matorral o arbustedo:

$$B_T/\text{ha} = S (D_{(sp\ i)} * \text{Peso medio}_{sp\ i})$$

6. En cada tipo de matorral se determino la fracción fitomasa fotosintética/fitomasa total, a partir de las relaciones establecidas para cada especie en la determinación de peso seco.

Determinación de la fitomasa mediante el fitovolumen

En los dos tipos de vegetación estudiados se ha realizado una validación del cálculo de la fitomasa por métodos alométricos, con la medida directa obtenida a partir de los pesos frescos de todos los individuos presentes en la parcela de 5 x 5 m. El procedimiento operativo ha sido el siguiente:

1. Cálculo del fitovolumen a partir de las variables morfológicas medidas en todos ejemplares de especies leñosas: altura de la planta « h » (cm), diámetro mayor de copa « \varnothing^m » (cm), diámetro menor « \varnothing_m » (cm), y diámetro en la base « \varnothing_b » (cm) (ÉTIENNE, 1989; BLANCO y NAVARRO, 2003).
2. Determinación de ecuaciones alométricas fitovolumen-fitomasa para las especies principales: *Erica scoparia* L. *Erica arborea* L., *Phyllirea angustifolia* L.; *Cistus salvifolius* L..

Para el resto de las especies se utilizan las ecuaciones propuestas por BLANCO y NAVARRO (2003).

3. El cálculo de fitomasa/ha para cada especie viene dado por los datos de densidad obtenidos en los muestreos:

$$\text{Fitomasa/ha} = D_{(sp\ i)} * \text{fitomasa estimada}_{sp\ i}$$

siendo la fitomasa total (B_T) para cada tipo de matorral o arbustedo:

$$B_T/\text{ha} = S (D_{(sp\ i)} * \text{fitomasa estimada}_{sp\ i})$$

Estimación de la evolución temporal de la fitomasa

El estudio de la evolución temporal de la fitomasa para cada tipo de matorral seleccionado se ha realizado mediante un análisis de regresión simple entre la *fitomasa* de cada parcela y la *edad*. La determinación de la edad de cada parcela se hizo mediante la información suministrada por el técnico responsable del monte, que indico en cada caso la última fecha de desbroce, ya que no se dispone de registros documentales de estas labores.

El análisis consistió en el cálculo e interpretación de modelos lineales, potenciales, exponenciales, logarítmicos, cuadráticos y cúbicos. El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS 8.0. Durante el proceso de selección del mejor modelo de predicción para la evolución temporal de la fitomasa aérea para los distintos tipos de matorral se realizaron los análisis a priori y a posteriori de la muestra poblacional para la especificación de modelos explicativos válidos (FERRÁN, 1997):

- Medidas relativas de la bondad del ajuste, utilizando el coeficiente de correlación R , de determinación R^2 , y el error estándar de estimación SE .
- Pruebas de la bondad del ajuste: analizando la varianza para contrastar la significación

del estadístico R^2 mediante el cálculo del estadístico F y su nivel de significación p .

Determinación de la producción de cada tipo de matorral

La producción para cada tipo de matorral la definimos como el aumento de biomasa por unidad de tiempo, y se ha expresado en $g\ m^{-2}\ año^{-1}$. En algunos trabajos se ha estimado la producción primaria, entendida como el incremento de biomasa de la vegetación, y más específicamente de la producción primaria neta de un ecosistema definida como la tasa de asimilación de CO_2 . En un intento de estimar la producción de los matorrales estudiados en este trabajo se ha procedido de la siguiente manera:

- Estimación de la fitomasa aérea total acumulada a los 30 años a partir de las ecuaciones de evolución temporal de la fitomasa calculadas previamente.
- Calculo de la producción de cada tipo de matorral mediante el cociente de la fitomasa aérea estimada por 30 años.

En segundo lugar se ha procedido al cálculo de la productividad primaria neta a partir de la fitomasa y la tasa de crecimiento relativo (LAMBERS *et al.*, 1998, TERRADAS, 2001). El valor de productividad se ha obtenido considerando la tasa de crecimiento relativo como el aumento de fitomasa experimentado por unidad de tiempo para $t=30$ años, y considerando la fitomasa inicial igual a cero.

RESULTADOS

Biomasa total

Los matorrales estudiados en el área de trabajo presentan valores de fitomasa total elevados, alcanzándose los valores máximos en formaciones de brezal de *Erica arborea* ($1.572,62\ g\ m^{-2}$) y el mínimo en las formaciones de matorral de *Erica scoparia* con un valor de $1.537,87$ (tabla 2; tabla 3).

En el matorral de brezal las especies dominantes son *Erica arborea* (87%) y *Calycotome spinosa* (17,7%) (figura 1; tabla 2). La cobertura de especies leñosas es variable y esta comprendida entre el 16,62% y el 156,96%, dando lugar a matorrales

Número de parcela	Altura del estrato dominante (m)	Densidad (pies/ha)	Cobertura (%/ha)	Fitovolumen total (m3)	Biomasa total (kg)
Parcela 1	80,50	8.800	16,62	7.124	70,36
Parcela 2	241,27	14.800	156,96	201.708	1.837,50
Parcela 3	209,75	19.600	139,57	192.020	2.675,00
Total	177,17±49,18	14.400,00±3.124,09	104,38±44,16	133.617,33±63.308,46	1.527,62±767,69

Tabla 2 - Variables descriptivas de las parcelas del matorral tipo brezal (*Erica arborea*). Valor medio de cada parcela y valor medio total (± error estándar de la media).

Table 2 - Descriptive variables for the heath plots (*Erica arborea*). Mean value for each plot and global mean (± standard error of the mean).

Número de parcela	Altura del estrato dominante (m)	Densidad (pies/ha)	Cobertura (%/ha)	Fitovolumen total (m3)	Biomasa total (kg)
Parcela 4	63,15	18.000	18,93	4.604	415,30
Parcela 5	51,42	15.200	25,26	10.580	213,82
Parcela 6	180,89	18.400	139,71	195.232	3.984,50
Total	98,48±41,34	17.200,00±1.006,64	61,30±39,23	70.138,66±62.570,45	1.537,87±1.224,69

Tabla 3 - Variables descriptivas de las parcelas del matorral tipo jaral-brezal (*Erica scoparia*). Valor medio de cada parcela y valor medio total (±error estándar de la media).

Table 3 - Descriptive variables for the rock rose thicket-heath plots (*Erica scoparia*).. Mean value for each plot and global mean (± standard error of the mean).

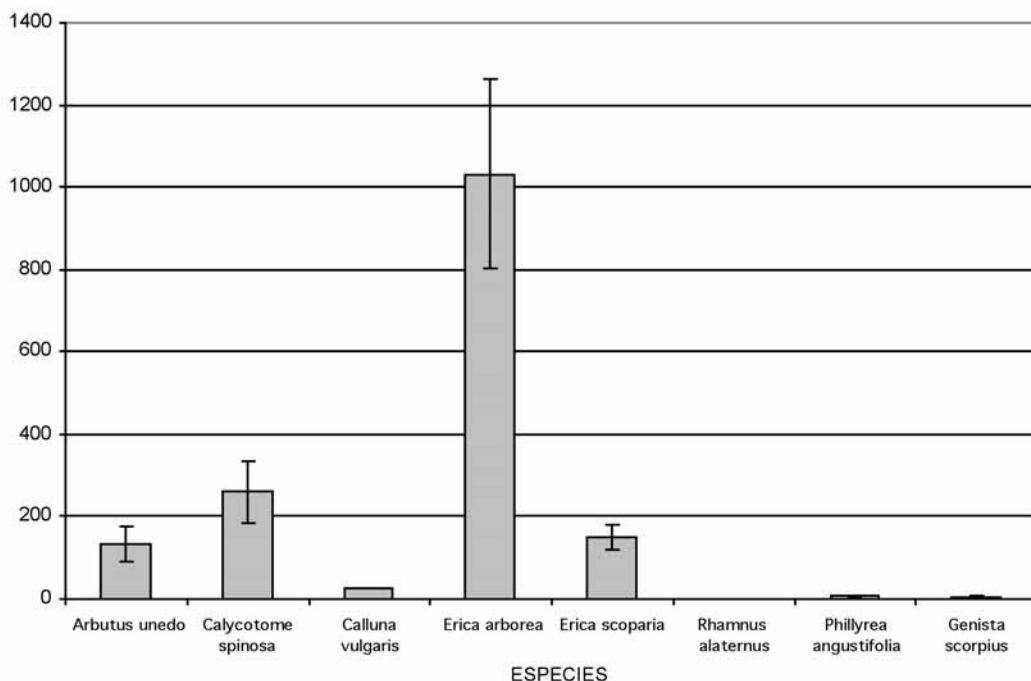


Figura 1 - Valores de fitomasa total (expresados en gramos de peso seco por m²) para las especies presentes en las parcelas de matorral tipo brezal

Figure 1 - Total phytomass (g dry weight m⁻²) for the species present in the heath plots.

con densidad media de 14.400 plantas ha⁻¹. En el matorral de brezal-jaral las especies dominantes son *Erica scoparia* (54,66%) (figura 2; tabla 3). La cobertura de especies leñosas está comprendida entre un 18,93% y un 139,71%, si bien la cobertura media es ligeramente superior al 60%, con una densidad de 17.200 plantas ha⁻¹.

niéndose valores de fitomasa fotosintética de 284 g m⁻² para brezales de *Erica arborea*, y de 241 g m⁻² para el brezal-jaral. Estas cifras se han calculado considerando sólo las especies arbustivas de forma proporcional a la frecuencia de cada especie, con el fin de evitar variaciones debidas a la diferente importancia de cada una en los tipos de matorral estudiados.

Fitomasa fotosintética/fitomasa total

Los valores de la relación fitomasa fotosintética/fitomasa total son muy próximos a 0,20 para ambos tipos de brezales (tabla 4), obteniéndose

En la figura 3 se han representado los valores de la relación biomasa fotosintética/ biomasa total para las especies comunes en todas las parcelas, obteniéndose una gran variedad de resultados. Entre las especies de matorral

Tipo de vegetación	Biomasa g m ⁻²	B _f /B _t	Biomasa fotosintética g m ⁻²
Matorral de <i>Erica arborea</i> .	1.471,52 ± 668,58	0,193	284,00 ± 129,03
Matorral de <i>Erica scoparia</i> .	1.207,66 ± 1.008,24	0,200	241,53 ± 201,64

Tabla 4 - Fitomasa aérea total, relación fitomasa fotosintética-fitomasa total, y fitomasa fotosintética total para los diferentes tipos de matorral estudiados.

Table 4 - Total aerial phytomass, photosynthetic-to-total aerial phytomass ratio (B_f/B_t) and total photosynthetic biomass for the different types of shrubs studied.

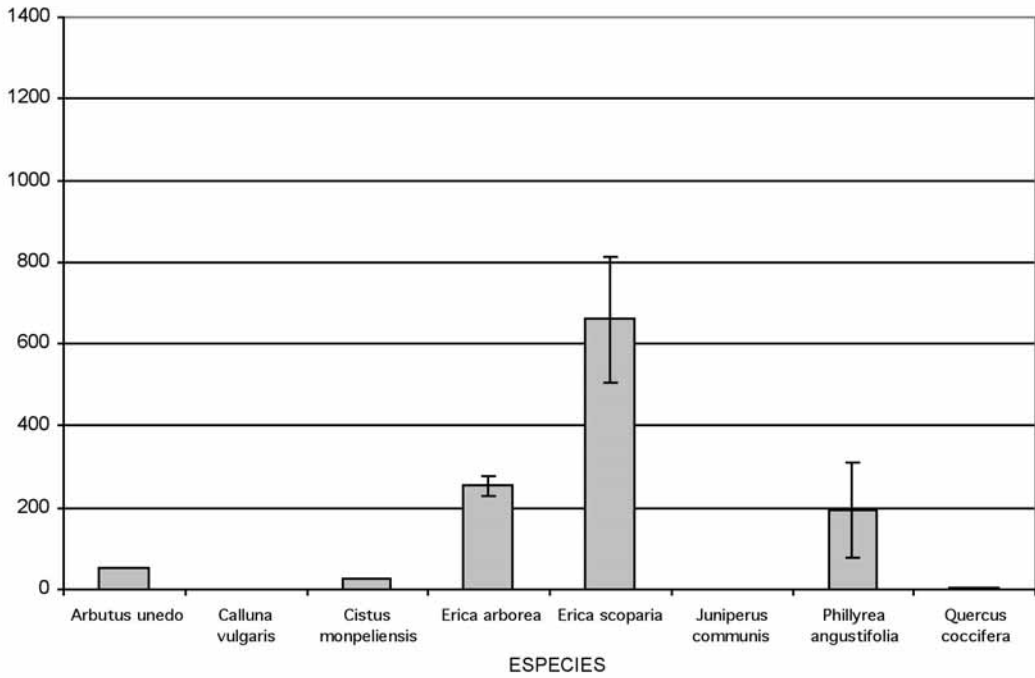


Figura 2 - Valores de fitomasa total (expresados en gramos de peso seco por m²) para las especies presentes en las parcelas de matorral tipo brezal-jaral.

Figure 2 - Total phytomass (g dry weight m⁻²) for the species present in the rock rose thicket-heath plots.

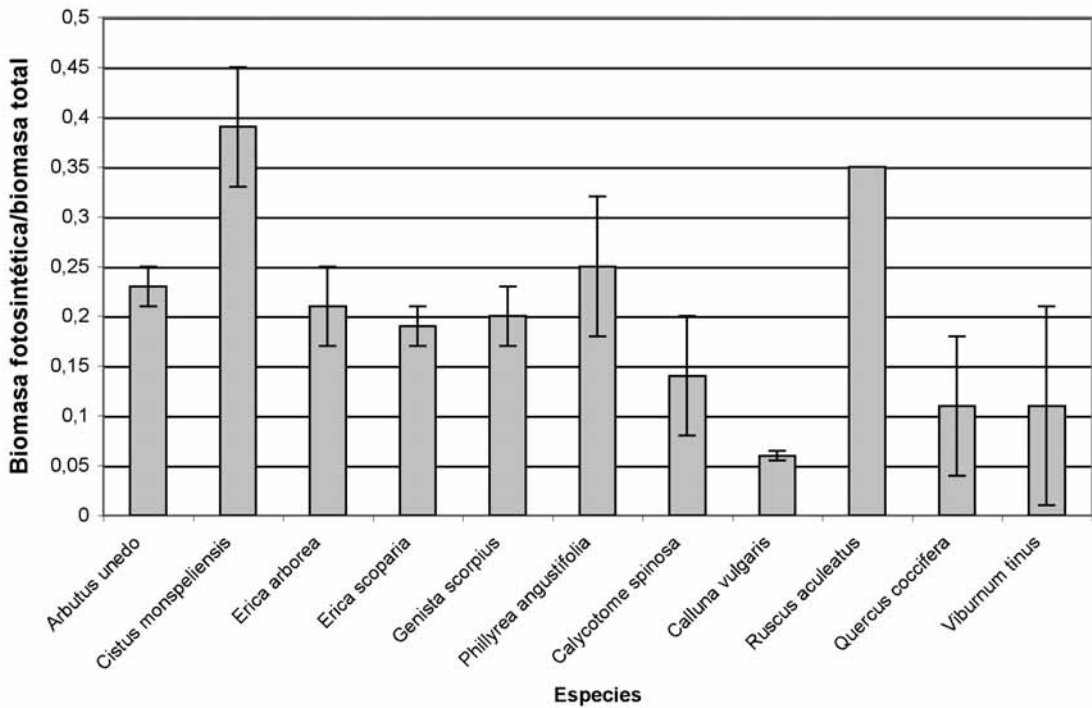


Figura 3 - Valores de la relación fitomasa fotosintética/fitomasa total para las especies comunes en los tipos de matorral estudiados.

Figure 3 - Photosynthetic-to-total aerial phytomass ratio (B_p/B_t) for the species present in the different types of shrubs studied.

encontramos relaciones B_f/B_v , muy elevada, como *Cistus monpeleensis* (0,39), *Ruscus aculeatus* (0,35) o *Phyllirea angustifolia* (0,25). Un segundo grupo de especies presenta valores comprendidos entre 0,15 y 0,25, como *Arbutus unedo* (0,23), *Erica arborea* (0,21), *E. scoparia* (0,19) y *Genista scorpius* (0,20). Un conjunto reducido de especies presenta valores por debajo de 0,15 como *Quercus coccifera* (0,11), *Calycotome villosa* (0,14) o *Calluna vulgaris* (0,06) y *Viburnum tinus* (0,11).

Validación

Las ecuaciones alométricas utilizadas para la relación fitovolumen-fitomasa se recogen en la tabla 5.

La tabla 6 refleja el error según el tipo de muestreo obtenido en el cálculo de fitomasa mediante métodos directos y mediante el fitovolumen (ecuaciones específicas para el monte en tabla 5). Se han encontrado diferencias importantes para los matorrales de *Erica arborea* (subestima en un 36% el valor real) y para el conjunto de las parcelas (subestima un 16% el valor real).

Evolución temporal

La evolución temporal de la fitomasa aérea por tipo de vegetación se ha ajustado, en todos los casos, a ecuaciones de tipo polinomio. La tabla 7 refleja que las ecuaciones propuestas para cada tipo de matorral cumplen de modo satisfactorio los requisitos de bondad de ajust-

Tipo de vegetación	Ecuaciones	N	R ²	SE	Sig. F
<i>Erica arborea</i> .	$1218,25 + 0,7923 x^2$	11	0,73	1,11	0,0007
<i>Erica scoparia</i> .	$95,19 + 1338,54 x + 1969,21 x^2$	7	0,96	158,23	0,0014
<i>Phyllirea angustifolia</i>	$1,042 x^2 + 878,46$	4	0,89	0,22	0,0560
<i>Cistus monpeleensis</i>	$97,44 - 19866,83 x + 1170944,55 x^2$	4	0,85	5,87	0,2660

Tabla 5 - Ecuaciones de regresión para el cálculo de fitomasa a partir del fitovolumen (N= número de plantas; R² = coeficiente de correlación; SE = error cuadrático, sig F = significación).

Tabla 5 - Regression equation for the relation between phytovolumen and above ground phytomass (N= number of plants; R² = coefficient of correlation; SE = quadratic error, sig F = signification).

Tipo de vegetación	Fitomasa Método destructivo g m ⁻²	Biomasa Método alométrico g m ⁻²
Matorral de <i>Erica arborea</i> .	$1.527,62 \pm 767,69$	$987,34 \pm 862,19$
Matorral de <i>Erica scoparia</i>	$1.537,87 \pm 1.224,69$	$1.596,79 \pm 760,13$
Matorral de <i>Erica</i> sp.	$1.532,74 \pm 646,41$	$1.292,06 \pm 531,79$

Tabla 6 - Valores de la estimación de la biomasa según el método destructivo y el método indirecto del individuo más próximo. Se indican los porcentajes estimados con respecto al total.

Table 6 - Phytomass values estimated using the destructive method and the indirect method. The estimated percentages with respect to the overall figure are given.

Tipo de vegetación	Ecuaciones	N	R ²	SE	Sig. F
Matorral de <i>Erica arborea</i> .	$35,731 x^{1,2032}$	3	0,99	38,18	0,0980
Matorral de <i>Erica scoparia</i> .	$51,983 x^{1,2134}$	3	0,99	31,81	0,0014
Matorral de <i>Erica</i> sp.	$48,966 x^{1,1507}$	6	0,97	0,24	0,0051

Tabla 7 - Ecuaciones de regresión para el cálculo de fitomasa en función de la edad para los tipos de matorral estudiados (N= número de parcelas; R² = coeficiente de correlación; SE = error cuadrático, sig F = significación).

Tabla 7 - Regression equation for the variation of biomass with age (N= number of plants; R² = coefficient of correlation; SE = quadratic error, sig F = signification).

te; en este sentido, los análisis gráficos efectuados para detectar problemas de distribución no normal, auto correlación o heterocedasticidad en la distribución de los residuos han resultado negativos (datos no presentados). Los valores de R^2 fueron altos en todos los casos, y superiores a 0,97. El análisis ANOVA indica que existen diferencias significativas entre la variabilidad explicada por el modelo y la determinada por la regresión (p-valores < 0,001 en todos los casos), por lo que la mayor fuente de variación corresponde al propio modelo y no a errores de estimación.

Determinación de la producción primaria neta de cada tipo de matorral

La relación producción media para todos los tipos de matorral estudiados es superior a 70 g m⁻² año⁻¹; estando comprendidos entre el valor mínimo de 71,31 g m⁻² año⁻¹ para el matorral de *Erica arborea*; y 107,41 g m⁻² año⁻¹ para el matorral de *Erica scoparia*. La producción primaria neta mantiene, en concordancia, una misma relación, alcanzando el valor máximo en el matorral de *Erica scoparia* con un valor de 867,55 g m⁻² año⁻¹ (tabla 8).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo han permitido la estimación de fitomasa aérea seca en ecosistemas característicos de los diferentes tipos de matorral del área de estudio mediante métodos directos y métodos alométricos. El número de parcelas utilizadas en este trabajo es similar al utilizado en algunos trabajos dirigidos a la estimación de fitomasa en especies de matorral por

métodos destructivos; GARCÍA-PLÉ *et al.*, (1989) utilizan 2 parcelas para calcular la fitomasa de varias formaciones de *Quercus ilex*, *Astragalus albus*, y *Genista lucida*; o equivalente al utilizado por MERINO *et al.*, (1990); GUILLÉN *et al.* (1994) o PASTOR-LÓPEZ y MARTÍN (1995) en los estudios de estimación de fitomasa en repoblaciones de pino carrasco y matorral mediterráneo.

En cuanto a los datos de fitomasa aérea total, una revisión de los estudios publicados en formaciones de matorral mediterráneos muestra que la fitomasa aérea en formaciones de matorral mediterráneo varía bastante (tabla 9). La fitomasa aérea del matorral de *Erica* se encuentra en el intervalo propuesto por TERRADAS (2001) comprendido entre 1.000 y 6.000 g m⁻², y se aproxima a los 1.143 g m⁻² encontrados por BASANTA (1982) en jaral acidófilo con presencia de *Erica umbellata* con alturas entre 0,5 y 1,5 metros, intervalo muy próximo a la altura media del área de estudio de 1 metro. Por otro lado, FERNÁNDEZ *et al.*, (1995), en la Sierra de Cádiz indican valores para brezales no intervenidos tipo *canuto* de 6.680 g m⁻² con una edad superior a los 40 años, siendo estos tipos de matorral de mayor altura y difícilmente comparables con formaciones de brezo asociados al subpiso de alcornocales. Si se toma como valores de referencia los matorrales de brezal-jaral, más difíciles de separar por su composición específica, los valores obtenidos en este trabajo, se encuentran en el rango de <2500 g m⁻² propuesto por (TERRADAS, 2001), o los valores encontrados por FERNÁNDEZ *et al.*, (1995) entre 1.730-3.030 g m⁻² en la Sierra de Cádiz. Sin embargo, difieren de los obtenidos en otros trabajos con valores de 2.726 g m⁻² encontrados por BASANTA (1982) en Sierra Morena, si bien hay que decir que corresponde a una talla del matorral mucho más elevada, comprendida

Tipo de vegetación	Fitomasa aérea total a los 30 años	Producción (g m ⁻²)	Producción primaria neta g m ⁻² año ⁻¹
Matorral de <i>Erica arborea</i> .	2.139,46	71,31	546,73
Matorral de <i>Erica scoparia</i>	3.222,36	107,41	867,55
Matorral de <i>Erica</i>	2.452,25	81,74	637,90

Table 8 - Fitomasa aérea total (t=30), producción bruta y producción primaria neta para cada tipo de matorral estudiado.
Table 8 - Above-groun phytomass, production and net primary photosynthetic biomass produced by each type of shrub.

Tipo de matorral y localización	Especies	A (m)	B _t (g m ⁻²)	B _f /B _t	Referencias
Brezal Sierra Morena	<i>Erica umbellata</i> <i>Halimium ocymoides</i> <i>Chamaespartium tridentatum</i>	0,5-1,5	1.248	0,26	BASANTA, 1982
Jaral acidófilo Sierra Morena	<i>Erica australis</i> <i>Cistus ladanifer</i> <i>Phyllirea angustifolia</i> <i>Genista hirsuta</i> <i>Lavandula stoechas</i> <i>Helychrisum stoechas</i>	1,5-2,5	2.482		BASANTA, 1982
Matorral noble Sierra Morena	<i>Arbutus unedo</i> <i>Viburnum tinus</i> <i>Pistacia lentiscus</i> <i>Erica arborea</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Cistus salvifolius</i> <i>Phyllirea latifolia</i> <i>Lavandula viridis</i>	2-4,5	2.895	0,12	BASANTA, 1982
Matorral noble Sierra Morena	<i>Erica scoparia</i> <i>Arbutus unedo</i>		1.520		FERNÁNDEZ <i>et al.</i> , 1995
Matorral noble Sierra Cádiz	<i>Erica arborea</i> <i>Viburnum tinus</i>		6.680		FERNÁNDEZ <i>et al.</i> , 1995
Jaral Sierra de Cádiz	<i>Cistus ladanifer</i>		3.030		FERNÁNDEZ <i>et al.</i> , 1995
Maquia de madroño y brezo			1.000-6.000		TERRADAS, 2001
Matorrales y jarales			<2.500		TERRADAS, 2001

Tabla 9 - Valores de altura (A), fitomasa total (B), relación fitomasa fotosintética/fitomasa total (B_f/B_t) aportados por otros autores para varios tipos de matorral mediterráneo.

Table 9 - Height (H), total phytomass (B) and photosynthetic-to-total phytomass ratio (B_p/B_t) values reported by other authors for various types of Mediterranean shrubs.

entre 1,5 y 2,5, frente a valores próximos a 1 m en nuestro caso;. La causa de esta diferencia puede estar en la edad del matorral, mal representada por la altura media del estrato dominante, ya que las estimaciones obtenidas a partir de los modelos elaborados en este trabajo estiman una fitomasa a los 30 años para este tipo de matorrales de 3.222 g m⁻², más próxima a los valores indicados.

Los valores de fitovolumen obtenidos para los matorrales estudiados son elevados, aunque no existen muchos datos bibliográficos que permitan realizar comparaciones. El tipo de matorral brezal presenta valores de fitovolumen muy elevados, pero análogos a los brezales estudiados en Cádiz (NAVARRO y BLANCO, 2003). En conjunto los métodos alométricos parecen presentar algunas limitaciones para la estimación de la fitomasa aérea, y los errores

pueden ser importantes en matorrales de gran densidad, y diversidad específica, existiendo pocos trabajos de validación de los métodos indirectos empleados (ROBLES *et al.*, 1991).

El cociente entre fitomasa fotosintética/fitomasa total (B_f/B_t) se ha calculado para cada especie y para cada tipo de matorral, obteniéndose un valor medio de 0,19-0,20, que no difiere mucho de los obtenidos de 0,17 para la garriga de Francia (LOISSANT, 1973), 0,16 en el matorral higrofitico de Doñana (MARTÍN DE AGAR, 1979), 0,19 en la frigana de Grecia (MARGARIS, 1982), o 0,19 de los matorrales de *Globularia* (GARCÍA-PLÉ *et al.*, 1991). Los valores individuales por especies también son muy próximos a los obtenidos por GARCÍA-PLÉ *et al.*, (1991). No obstante, la comparación de la relación B_f/B_t está muy influida por la edad de los individuos y la comunidad estudiada, al menos al nivel de

especie, como se ha comprobado por ejemplo para *Lavandula stoechas* (DÍAZ *et al.*, 1999). Por otro lado, los valores de la fracción fotosintética para una especie han de ser muy inferiores si se tiene en cuenta que las partes subterráneas de las plantas representan una fracción muy importante de la fitomasa total, aunque dada la dificultad de estudio de la fitomasa radical, existen poco datos para especies mediterráneas.

Los modelos de evolución temporal obtenidos coinciden con lo señalado ampliamente en la literatura consultada, donde se proponen modelos generales de tipo polinomio o potencial-exponencial (CAÑELLAS y SAN MIGUEL, 2000). Los valores de ajuste obtenidos se encuentran dentro del rango que describen otros autores para especies de matorral, o son ligeramente superiores a los descritos para tipos comunes de matorral. Los errores típicos de estimación obtenidos son indicativos de la elevada heterogeneidad y del escaso número de parcelas de donde proceden los datos, pero resulta difícil disponer en todos los casos de un número muy elevado de parcelas. No obstante, los modelos obtenidos sugieren una relación muy próxima entre fitomasa aérea y edad, aunque es difícil generalizar su uso para la estimación de fitomasa a partir de datos reales o estimados de edad en los matorrales andaluces más representativos.

El cálculo de la fitomasa para una edad determinada, permite determinar la producción de forma independiente de la diferente altura que presentan las formaciones de matorral, lo cual facilita la comparación entre localizaciones. Los valores registrados, próximos a los 80-100 g m⁻² año⁻¹ son análogos a los obtenidos para brezal en Cádiz (NAVARRO y BLANCO, 2003). La producción neta representa la diferencia entre asimilación y respiración, y si se considera todo el CO₂ fijado se habla de producción bruta. Los resultados obtenidos de producción primaria neta varían entre 546-867 g m⁻² año⁻¹, muy próximos a los 250-1.500 g m⁻² año⁻¹ indicados como valores típicos en matorrales (TERRADAS, 2001). Si tenemos en cuenta que en cada kilogramo de materia vegetal seca equivale aproximadamente a 400 g de C, podríamos dar la productividad

de los tipos de matorral estudiados en unidades de carbono, obteniéndose un valor comprendido entre 21,8 t C ha⁻¹ año⁻¹ y 34,68 t C ha⁻¹ año⁻¹.

CONCLUSIONES

Los resultados que aporta este trabajo han permitido estimar la fitomasa aérea total de brezales, comunidades de matorral dominante en el monte alcornocal en una comarca de Cataluña (T.M. de Cassà de la Selva-Girona). Los métodos indirectos han mostrado algunas limitaciones para el estudio de la fitomasa de matorrales, y para comunidades con composiciones específicas y estructuras complejas, tendiendo a infravalorar la fitomasa. El cálculo de otras variables asociadas a la descripción de las comunidades estudiadas como la altura media, la densidad, la cobertura y el fitovolumen facilitan una mejor comprensión de las características que describen a cada comunidad. A partir de los datos de fitomasa, también ha sido posible determinar la relación fitomasa fotosintética/fitomasa aérea total, así como proponer modelos de evolución temporal de la fitomasa en función de la edad, a partir de los cuales es posible estimar la producción primaria neta de cada tipo de matorral y las unidades de C fijadas en estas formaciones anualmente.

El conjunto de variables estudiadas puede ser incorporado en modelos generales de estimación de fitomasa total acumulada en ecosistemas forestales, para realizar predicciones de diferente naturaleza relacionada con los balances de energía, flujos de CO₂, o valoración ambiental de este tipo de ecosistemas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a David Elié su colaboración en la toma de datos de campo, y de toda su ayuda para conocer el monte *Can Vilallonga* y Girona. Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Economía y silvicultura del alcornocal (AGL2000-0936-C02-02).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUE, J.L. 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. I.N.I.A. Madrid.
- BASANTA, A. 1982. Vegetación seral en Sierra Morena. Estudio ecológico de las respuestas del matorral a distintas intervenciones en el Coto Nacional «La Pata del Caballo» (Huelva). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla. 227 pp. Inédita.
- BLANCO, P. y NAVARRO, R.M. 2003. Aboveground phytomass models for main species in shrub ecosystems of Western Andalucía. Serie Recursos Forestales INIA (en evaluación).
- CAÑELLAS, I. y SAN MIGUEL, A. 2000. Determinación de la fitomasa ramoneable y la calidad bromatológica en matorrales de *Quercus coccifera* L. XLI Reunión Científica de la SEEP: 679-685.
- CASTRO, I.; CASADO, M.A.; RAMÍREZ-SANZ, L.; DE MIGUEL, J.M.; COSTA, M. y DÍAZ, F. 1996. Funciones de estimación de la fitomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. *Orsis* 11: 107-116.
- DI CASTRI, F.; GOODALL, D.W. y SPECHT, R.L. 1981. Mediterranean-type shrublands. Ed. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- DÍAZ, M.; MATEOS, M.A.; ORELLANA, R.; ZUNZUNEGUI, M. y GARCIA, F. 1999. Changes in the canopy structure of the Mediterranean shrubs *Lavandula stoechas* after disturbance. *Journal of Vegetation Science* 10: 449-456.
- ETIENNE, M. 1989. Non-destructive methods for evaluating shrub biomass: a review. *Acta Oecologica* 10: 115-128.
- FERNÁNDEZ, R.; RODRÍGUEZ, M.; MARTÍN, A.; GARCÍA, J.L.; INFANTE, J.M.; LEIVA, M.J.; RODRÍGUEZ, J.J. y GALLARDO, A. 1995. Mediterranean oak forests: basis for appropriate protection strategy. Final Report EV5V-CT92-0210. Commission of the European Communities.
- FERRAN, M., 1997. SPSS para WINDOWS. Programación y análisis estadístico. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid. 580 pp.
- FERRER, LL.; RODA, F.; VERDU, A.M.C. y TERRADAS, J. 1984. Circulación de nutrientes en algunos ecosistemas forestales del Montseny (Barcelona). *Mediterránea. Serie de Estudios Biológicos* 7: 139-166.
- GARCÍA-PLE, C., ABRIL, A.; ALEMANY, F.; TEBAR, F.; XAMANA, J. y MOREY, M. 1989. Valores de fitomasa y necromasa en diferentes tipos de matorral de Mallorca (Islas Baleares, España). I. Matorrales de *Quercus ilex* L. y de *Globularia alypum* L. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Biológica* 84 (3-4): 307-321.
- GARCÍA-PLE, C.; BOVER, A.; FERRA, J.L.; FERRIOL, A.; MARTÍNEZ, C. y MOREY, M. 1991. Estructura vertical de algunas especies arbustivas de encinar en mallorca. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Biológica* 87 (1-4): 5-21.
- GUILLÉN, D.F.; DE LAS HERAS, P.; HERRERA, P. y PINEDA, F. 1994. Shrub architecture and occupation of space in a mediterranean sclerophyllous shrubland. *Journal of Vegetation Science* 5: 497 - 504.
- HIERRO J.L.; BRANCH, L.C.; VILLARREAL, D. y CLARK, K.L. 2000. Predictive equations for biomass and fuels characteristics of Argentine shrubs. *Journal of Range Management* 53 (6): 617-621.
- IBAÑEZ, J.; LLEDÓ, M.J.; SANCHEZ, J.R.; y RODÓ, F. 1999. Stan structure, aboveground biomass and production. In Rodá, F. et al (eds) *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. Ecological Studies*, vol. 137 pp 31-43.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F. y PONS, T. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer Verlag. Nueva York.
- LOISSANT, P. 1973 Soil-vegetation relationship in mediterranean ecosystems of Southern France. In: Di Castri, F.; Mooney, H. (Eds.) *Mediterranean type ecosystems*. Springer Verlag, berlin. pp. 199-210.
- MARGARIS, N.S. 1982 Maquis for biomass. In: Conrad, E.; Vechel, W. (Eds.) *Dynamics and management of mediterranean-type ecosystems*. US Department of Agricultural. pp 166-170.

- MARTÍ-DALMAU, C. y BADÍA-VILLAS, D. 1999-2000. Análisis estructural y funcional de dos arbustos del matorral mediterráneo semiárido: *Cistus clusii* (Dunal.) y *Cistus albidus* (L.). *Georgica* 7: 29-39.
- MARTIN DE AGAR, P. 1979 Biomasa de las especies de matorral de la reserva biológica de Doñana. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sevilla. Inédita.
- MARY, A.A.; STEVEN, P.H. y SICCAM, T.G. 2001. Validating allometric estimates of aboveground living biomass and nutrient contents of a northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 11-17.
- MERINO, O.; MARTIN, M.P.; MARTIN, A. y MERINO, J. 1990. Sucesional and temporal changes in primary productivity in two mediterranean scrub ecosystems. *Oecol. Plant.* 11: 103-112.
- MONTES, N.; GAUQUELIN, T.; BADRI, W.; BERTAUDIÈRE, V. y ZAOUÏ, E.H. 2000. A non-destructive method for estimating aboveground forest biomass in threatened woodlands. *Forest Ecology & Management* 130 (1-3): 37-46.
- NAVARRO y BLANCO, 2003 Above-ground biomass of shrubs ecosystems in South Spain. *Journal of Arid Environment* (en evaluación).
- OJEA, I.; PUENTES, A.; GONZÁLEZ-PEREIRO, L. y BASANTA, M. 1992. Caracterización de la estructura vertical de *Ulex europaeus* L. mediante datos de frecuencia y fitomasa. *Studia Oecologica* 9: 67-76.
- PASSERA, C.B.; GONZÁLEZ REBOLLAR, J.L.; ROBLES, A. y ALLEGRETTI, L.I. 2001. Determinación de la capacidad sustentadora de pastos de zonas áridas y semiáridas del sureste ibérico, a partir de algoritmos. XLI Reunión Científica de la SEEP: 611-617.
- PASTOR-LÓPEZ, A. y MARTÍN, J. 1995. Ecuaciones de fitomasa para *Pinus halepensis* en repoblaciones de la provincia de Alicante. *Studia Oecologica* 12: 79-88.
- RAPP, M.; REGINA, I.S. y GALLEGU, H.A. 1999. Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forest. *Forest Ecology & Management* 119 (1-3): 39-49.
- ROBLES A.B.; GONZÁLEZ-REBOLLAR, J.L.; MORALES C. y BOZA, J. 1991. Evaluación de la fitomasa en comunidades arbustivas de interés ganadero del Sudeste árido español: experiencia piloto «Los Pajares» (Benizalón, Almería). XXXI Reunión Científica de la SEEP: 163-170.
- ROBLES A.B.; PASSERA, C. 1995. Native forage shrub species in south-eastern Spain: forage species, forage phytomass, nutritive value and carrying capacity. *Journal of Arid Environment* (30): 191-196.
- TERRADAS, J. 1991. Mediterranean woody plant growth-forms, biomass and production in the eastern part of the Iberian Peninsula. *Oecologia aquatica* 10: 337-349.
- TERRADAS, J. 2001. Ecología de la vegetación. De la ecofisiologías de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Ed. Omega Barcelona. 703 pag.
- URESK, D.; GILBERT, R. y MENKE, J. 1977. Sampling big sagebrush for phytomass. *J. Range Manage.*, 30 (4): 311-314.
- USO, J.L.; MATEU, J.; KARJALAINEN, T. y SALVADOR, P. 1997. Allometric regression equations to determine aerial biomass of Mediterranean shrubs. *Plant Ecology*, 132: 59-69.
- WHITTAKER, R.H. y WOODWELL, G.M. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. *Journal of Ecology* 56: 1-25.