

Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica

Isabel Castro¹, Miguel Ángel Casado², Lucía Ramírez-Sanz³, José Manuel de Miguel², Margarita Costa⁴ y Francisco Díaz Pineda²

1. Universidad Autónoma de Madrid. Departamento Interuniversitario de Ecología. Facultad de Ciencias.
2. Universidad Complutense de Madrid. Departamento Interuniversitario de Ecología. Facultad de Biología.
3. Centro de Investigación Fernando González Bernáldez. Soto del Real (Madrid).
4. Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Biología Vegetal I. Facultad de Biología.

Manuscrito recibido en julio de 1995

Resumen

Se calculan las funciones adecuadas para evaluar la biomasa aérea de 17 especies típicas del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. Se usan y discuten diferentes métodos existentes en la literatura. La relación entre el peso y un parámetro estructural sencillo para estas especies —cobertura, altura, biovolumen aparente— suele ser alométrica —expresable como una potencia de alguno de estos parámetros—. La función de alometría calculada directamente, sin transformaciones previas de los datos originales, se ha revelado como la de mayor utilidad en el caso considerado.

Palabras clave: biomasa aérea, funciones de alometría, funciones lineales, índice de ajuste (FI), matorrales mediterráneos.

Abstract. *Estimation functions of aerial biomass of some mediterranean shrubs species from the center of the Iberian Peninsula*

A set of functions for the estimation of aerial biomass have been calculated on data from 17 Mediterranean shrub species. Together with the methods here used, those applied in the relevant literature are discussed. Simple structural parameters like cover, height and biovolume proved to scale allometrically with weight. Models based on raw untransformed data rendered the best results.

Key words: Aerial biomass, Allometric functions, Central Spain, Fit index, Lineal functions, Mediterranean shrublands.

Introducción

Muchos trabajos de ecología funcional, en particular los relacionados con los ciclos de nutrientes, interacciones de competencia y procesos espacio-temporales requieren estimaciones de biomasa (Austin, 1990; Casado y otros, 1985;

Guillén y otros, 1994; Merino y otros, 1990; Payandeh, 1981). Igualmente, algunos estudios relacionados con la coexistencia de especies (Tausch & Tueller, 1989), densidad de individuos (Firbank & Watkinson, 1990) o con la detección de efectos competitivos de los árboles sobre la producción de las especies del sotobosque (Tausch & Tueller, 1990) se han basado en el estudio de la biomasa.

Los trabajos desarrollados sobre la estimación de la biomasa en plantas son numerosos. Desde principios de los años setenta se han dedicado notables esfuerzos encaminados a la mejora del diseño experimental y al análisis de este tipo de información. Etienne (1989) ofrece una amplia revisión de las metodologías de muestreo y análisis empleadas. De todas ellas parece ser la propuesta por Whittaker & Woodwell (1968) la que, con determinadas variaciones, ha sido acogida con mayor éxito. La biomasa en peso seco de una especie se estima a partir de un proceso destructivo sobre un número relativamente reducido de muestras. Con ellas se establece una función predictiva que relacione un parámetro característico de la estructura del vegetal con la biomasa (Brand & Smith, 1985).

Resulta de gran interés disponer de funciones adecuadas que permitan el cálculo de la biomasa sin necesidad de realizar en cada ocasión el proceso completo (Martínez Fernández y otros, 1991; Smith & Brand, 1983; Stanek & State, 1978; Tritton & Hornbeck, 1982). En cualquier caso, cabe preguntarse cuál de todas las ecuaciones de estimación existentes en la literatura debería ser utilizada. Se han propuesto varias soluciones. Una de ellas recomienda combinar los datos propios — que, en general, suelen ser escasos — con aquellos que generaron la función conocida (Green & Grigal, 1978; Schmitt & Grigal, 1981). El problema aparece cuando, como ocurre en la mayoría de las ocasiones, los datos originales no están disponibles. Otra solución propuesta es la elección de una función desarrollada en un área geográficamente próxima, lo que no es muy fiable ya que las variaciones producidas en las biomásas estimadas pueden no ser explicadas en términos geográficos (Crow, 1978; Tritton & Hornbeck, 1982).

Usualmente se ha utilizado el coeficiente de determinación R^2 — calculado en las funciones de ajuste — para realizar una evaluación comparativa entre diversas funciones para una misma especie. Sin embargo, algunos autores como Drapper & Smith (1966) y Netter & Wasserman (1974) han indicado la conveniencia de utilizar criterios adicionales, analizándose también los valores de las sumas de cuadrados residuales y la propia distribución de residuos (Martín de Agar y otros, 1995). En silvicultura se han empleado con éxito variable tres modelos: i) $Y = aX^2$; ii) $Y = aX^2h$ y iii) $Y = aX^b$, donde Y es el valor de biomasa vegetal en peso seco, X es el diámetro del tronco a 1.3 m del suelo, h la altura de la planta y a y b los coeficientes a ser estimados. Se han obtenido resultados que permiten entender como buenas estas ecuaciones en el orden 1°; iii; 2°; i; 3°; ii, según los errores típicos que suelen encontrarse en la estimación de biomasa y sus R^2 .

La utilidad de estas ecuaciones se considera teniendo en cuenta su buen valor predictivo para todas las fracciones de la biomasa, resultando ser muy utilizada la (ii) para estimar la biomasa de ramas y las restantes para la madera (tronco). De ellas la función de alometría (iii) es comúnmente empleada para expresar la proporción entre el incremento relativo de la biomasa y el diámetro de los árboles,

lo que puede variar en diferentes ambientes y a lo largo de la sucesión (Brunig, 1973; Hitchcock & Mac Donnell, 1979; Ribé, 1979).

En matorrales, las relaciones entre la biomasa y una medida estructural —por ejemplo, altura o cobertura del vegetal— suelen ser, en efecto, usualmente alométricas (Sprent, 1972) y se han calculado, tradicionalmente, a través de la transformación logarítmica de la ecuación de alometría ($Y = aX^b$) en una función lineal ($\log Y = a + b \log X$). Sin embargo, parece un hecho probado que este método introduce sistemáticamente desviaciones en los resultados (Baskerville, 1972; Lee, 1982; Payandeh, 1981; Sprugel, 1983), obteniéndose una sobreestimación del valor de biomasa calculado. Teóricamente esta desviación se produce al utilizar las sucesivas transformaciones log-antilog de los datos. Algunos trabajos comentan que esta diferencia es muy escasa y poco significativa (Pastor & Bockheim, 1981; Turner & Long, 1975). A pesar de ello, se han propuesto factores de corrección a fin de minimizar las diferencias detectadas (Baskerville, 1972; Lee, 1982; Sprugel, 1983). Estos factores se han testado sobre poblaciones con individuos uniformemente repartidos en todo el rango posible de valores. Sin embargo, cuando se aplican sobre datos de campo —donde los ejemplares medidos pueden estar restringidos a una parte muy pequeña de su variabilidad— en la mayoría de los casos subestiman la biomasa calculada (Tausch, 1989). A pesar de la controversia planteada, en la actualidad sigue siendo práctica habitual la obtención de la función de alometría mediante transformaciones log-antilog, sin correcciones posteriores.

Chiyenda & Kozak (1982) y Payandeh (1981) proponen que el cálculo de la función alométrica se realice directamente, sin transformaciones previas de los datos. Tausch (1989) compara diversas funciones log-log, log-log corregida y alométrica calculada directamente. Utiliza a tal efecto el coeficiente de determinación (R^2), según recomienda Schlaegel (1981). Demuestra que las dos primeras introducen desviaciones, lo que hace recomendable el uso de la función sin transformación, aunque si se utilizan simultáneamente se puede tener un mejor conocimiento sobre las posibles desviaciones (Brand & Smith, 1985).

A la hora de elegir la función que mejor se ajuste a los datos hay que tener en cuenta que en los análisis log-log el coeficiente de determinación (R^2), se calcula sobre datos transformados, por lo que no puede ser comparado directamente con el obtenido en funciones no lineales (Payandeh, 1981). Las funciones obtenidas con ambos métodos pueden ser comparadas a través del cálculo de «fit index» (FI) (Brand & Smith, 1985), que es equivalente al coeficiente de determinación (R^2) obtenido en ecuaciones lineales sin transformación previa de los datos (Tausch & Tueller, 1988). Este índice varía entre un valor máximo de 1 y, a diferencia de R^2 , un mínimo que puede ser negativo.

En este trabajo se presentan las funciones predictivas de la biomasa de 17 especies características del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. Están basadas en parámetros fácilmente medibles en el campo —cobertura, altura, biovolumen aparente—. El objetivo principal es establecer, para cada especie, con qué parámetro estructural y mediante qué función se obtiene la mejor relación con la biomasa. Para ello se han ensayado las funciones más usuales

utilizadas en la literatura existente y se han comparado mediante el uso conjunto de los índices FI y R^2 . Con el fin de hacer su aplicación lo más general posible, su cálculo se ha realizado con datos procedentes de distintas épocas del año y de un rango territorial amplio.

Material y métodos

Se estudia la vertiente sur de la Cordillera Central, desde la Sierra de Guadarrama en España hasta la Serra da Estrela en Portugal. En esta banda de clima marcadamente mediterráneo, el estudio se ha realizado en el ámbito territorial de la encina *Quercus rotundifolia* Lam. Dentro de este ambiente general se aprecia la existencia de dos gradientes mesoclimáticos. El primero está asociado a manifestaciones de atlanticidad-continentalidad (WSW-ENE), mientras que el segundo responde claramente a variaciones altitudinales (250 a 1200 m).

La litología, en general bastante homogénea, mantiene un carácter predominantemente ácido, estando formada fundamentalmente por granitos y gneises y sus productos de meteorización.

Históricamente, el territorio ha estado sometido a un sistema de explotación agro-silvo-pastoral. Este uso tradicional ha dado como resultado el paisaje de elevada heterogeneidad existente hoy en día, donde coexisten manchas con distinto predominio de vegetación leñosa y/o herbácea en diferente grado de madurez.

Las características comentadas confieren al territorio una marcada heterogeneidad ambiental, idónea para el desarrollo de la experiencia realizada.

Se seleccionaron un total de 50 estaciones de muestreo que recogen las principales formaciones de matorral existentes en el territorio (Ramírez Sanz, 1994). En cada estación de muestreo se dispusieron al azar un número variable (de 4 a 12) de parcelas de 1 x 1 m en las que se anotó, para todas las especies leñosas, su cobertura (m^2) y su altura máxima (m). Posteriormente, se cortaron a ras de suelo y se pesaron en fresco los ejemplares. Fueron trasladados al laboratorio, se trocearon y se secaron en una estufa a 80 °C hasta peso constante.

Registradas la cobertura y la altura de los ejemplares muestrados, se calculó el biovolumen aparente de cada pie, como el producto entre ambas medidas (Cook, 1960; Frandsen, 1983).

El muestreo se realizó entre septiembre de 1991 y octubre de 1992, analizando un total de 541 parcelas. De las 34 especies muestreadas sólo se han considerado las 17 que presentan datos en 20 o más observaciones (tabla 1).

Para cada especie se calcularon distintas funciones de regresión entre su peso seco como variable dependiente y cada una de las tres medidas de la estructura de la planta —cobertura, altura y biovolumen aparente— como variable independiente. Las funciones ensayadas han sido cuatro: alométrica ($Y = aX^b$), lineal log-log ($\log Y = \log a + b \log X$), lineal simple ($Y = a + bX$) y lineal simple sin constante ($Y = bX$). Este último caso se ha tenido en cuenta dado el tipo de variables consideradas (necesidad de que la función pase por el origen de coordenadas). La elección de la función apropiada para cada especie se ha realizado teniendo en cuen-

Tabla 1. Especies consideradas en el trabajo. Se presenta el número de muestras (NM) utilizadas en cada caso para el cálculo de la función de estimación de biomasa aérea. Igualmente se indica el rango de valores considerados para los siguientes parámetros: altitud de las localidades de muestreo donde ha aparecido la especie, cobertura, altura y peso seco obtenidos por cuadrado de 1x1 m. En el caso de *Quercus rotundifolia* se considera únicamente el morfotipo de matorral. Nomenclatura según Tutin y otros (1964-80).

Especies	NM	Altitud (m)		Cobertura (m ²)		Altura (m)		Peso (gr)	
		>	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
<i>Cistus albidus</i>	23	520	520	0.95	0.200	1.15	0.22	1876.80	20.35
<i>Cistus crispus</i>	22	380	320	0.90	0.010	0.40	0.10	1574.51	1.74
<i>Cistus ladanifer</i>	82	960	280	1.00	0.005	1.95	0.07	5943.31	0.30
<i>Cistus salviifolius</i>	24	580	300	0.90	0.010	0.80	0.08	1219.48	2.48
<i>Cytisus multiflorus</i>	40	440	280	1.00	0.005	1.90	0.22	5617.92	0.43
<i>Cytisus scoparius</i>	25	1160	280	0.85	0.010	1.70	0.10	3744.15	1.53
<i>Cytisus striatus</i>	22	400	285	0.95	0.010	2.00	0.45	3766.56	2.26
<i>Genista hirsuta</i>	23	860	260	0.75	0.080	1.00	0.30	1234.80	25.86
<i>Halimium occymoides</i>	23	990	340	0.40	0.030	0.90	0.10	586.56	6.11
<i>Halimium umbellatum</i>	26	920	340	0.40	0.005	0.43	0.05	199.36	2.66
<i>Helichrysum stoechas</i>	24	860	440	0.12	0.005	0.40	0.07	207.48	1.11
<i>Lavandula pedunculata</i>	111	1160	260	0.90	0.005	0.65	0.10	1181.90	0.70
<i>Quercus rotundifolia</i>	24	990	290	0.75	0.001	0.85	0.05	2593.50	0.35
<i>Retama sphaerocarpa</i>	23	626	280	0.90	0.010	2.30	0.15	5436.09	1.88
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	23	880	620	0.60	0.005	0.60	0.10	398.09	3.03
<i>Thymus mastichina</i>	29	1160	470	0.40	0.010	0.60	0.10	584.97	2.25
<i>Thymus zygis</i>	20	950	860	0.30	0.001	0.25	0.03	84.64	0.72

ta el grado de significación de la misma y la comparación entre el coeficiente de determinación (R^2) y «fit index» (FI). Este último, calculado para funciones no lineales, responde a la siguiente fórmula:

$$FI = 1 - (\sum (\hat{Y}_i - Y_i)^2 / \sum (Y_i - \bar{Y})^2)$$

donde \hat{Y}_i es el i_{th} valor esperado de Y_i y \bar{Y} es la media observada de Y_i .

Debido a la fórmula utilizada para calcular el coeficiente de determinación (R^2) en funciones lineales sin constante, el valor de éste es siempre superior que el correspondiente en la función con término constante (Sen & Srivastava, 1990). Por ello, en la comparación entre funciones lineales simples con y sin constante se ha elegido este último cuando el término constante no es significativamente distinto de cero ($p > 0.01$). Para los cálculos estadísticos se ha utilizado SYSTAT (Wilkinson, 1989).

Resultados y discusión

En la tabla 2 se reflejan los coeficientes de determinación (R^2) y «fit index» que permiten elegir la función con mejor ajuste para cada especie. De los tres parámetros

Tabla 2. Coeficientes de determinación (R^2) y «fit index» (FI) de las diversas funciones calculadas. Se subrayan los valores máximos para cada especie.

Especies		No lineal		Log/log		Simple	Sim. sin constante
		R^2	FI	R^2	FI	R^2	R^2
<i>Cistus albidus</i>	Cobertura	0.928	0.846	0.952	0.83	0.843	0.926
	Altura	0.83	0.638	0.768	0.597	0.634	0.761
	Biovolúmen	0.943	0.878	0.962	0.873	0.862	0.929
<i>Cistus crispus</i>	Cobertura	0.685	0.312	0.662	0.127	0.212	0.574
	Altura	0.568	0.055	0.15	-0.12	0.054	0.561
	Biovolúmen	0.679	0.298	0.636	0.201	0.227	0.584
<i>Cistus ladanifer</i>	Cobertura	0.827	0.691	0.911	0.65	0.646	0.788
	Altura	0.896	0.815	0.764	0.761	0.619	0.711
	Biovolúmen	0.927	0.869	0.942	0.818	0.845	0.91
<i>Cistus salvifolius</i>	Cobertura	0.837	0.728	0.86	0.7	0.72	0.83
	Altura	0.696	0.493	0.628	0.401	0.495	0.663
	Biovolúmen	0.91	0.85	0.869	0.767	0.843	0.906
<i>Cytisus multiflorus</i>	Cobertura	0.768	0.667	0.851	0.54	0.566	0.682
	Altura	0.673	0.53	0.564	0.506	0.487	0.596
	Biovolúmen	0.878	0.824	0.835	0.717	0.784	0.847
<i>Cytisus scoparius</i>	Cobertura	0.655	0.506	0.852	0.495	0.49	0.641
	Altura	0.751	0.644	0.569	0.535	0.513	0.609
	Biovolúmen	0.915	0.878	0.879	0.793	0.842	0.889
<i>Cytisus striatus</i>	Cobertura	0.931	0.858	0.89	0.794	0.793	0.881
	Altura	0.702	0.383	0.407	0.028	0.409	0.693
	Biovolúmen	0.935	0.867	0.886	0.856	0.867	0.935
<i>Genista hirsuta</i>	Cobertura	0.883	0.64	0.777	0.58	0.8	0.883
	Altura	0.778	0.316	0.635	-0.05	0.592	0.772
	Biovolúmen	0.916	0.74	0.856	0.735	0.861	0.915
<i>Halimium occymoides</i>	Cobertura	0.885	0.83	0.613	0.558	0.789	0.831
	Altura	0.521	0.294	0.388	0.162	0.298	0.521
	Biovolúmen	0.84	0.764	0.652	0.594	0.764	0.839
<i>Halimium umbellatum</i>	Cobertura	0.928	0.864	0.769	0.833	0.864	0.928
	Altura	0.47	0.17	0.008	-0.17	0.014	0.381
	Biovolúmen	0.776	0.577	0.606	0.499	0.549	0.746
<i>Helichrysum stoechas</i>	Cobertura	0.868	0.782	0.792	0.733	0.764	0.842
	Altura	0.609	0.356	0.466	0.272	0.363	0.583
	Biovolúmen	0.876	0.796	0.86	0.79	0.795	0.876
<i>Lavandula pedunculata</i>	Cobertura	0.894	0.807	0.846	0.793	0.795	0.882
	Altura	0.573	0.217	0.189	0.053	0.216	0.558
	Biovolúmen	0.886	0.79	0.841	0.77	0.787	0.882
<i>Quercus rotundifolia</i>	Cobertura	0.792	0.753	0.807	0.178	0.59	0.643
	Altura	0.775	0.733	0.695	0.57	0.617	0.558
	Biovolúmen	0.962	0.551	0.852	0.364	0.937	0.941
<i>Retama sphaerocarpa</i>	Cobertura	0.827	0.746	0.922	0.531	0.623	0.717
	Altura	0.847	0.775	0.909	0.768	0.661	0.698
	Biovolúmen	0.962	0.944	0.963	0.747	0.888	0.912
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	Cobertura	0.944	0.876	0.902	0.862	0.873	0.941
	Altura	0.714	0.364	0.708	0.287	0.375	0.688
	Biovolúmen	0.934	0.852	0.936	0.849	0.838	0.916
<i>Thymus mastichina</i>	Cobertura	0.8	0.709	0.694	0.519	0.63	0.717
	Altura	0.724	0.598	0.347	0.253	0.44	0.522
	Biovolúmen	0.939	0.912	0.767	0.737	0.864	0.897
<i>Thymus zygis</i>	Cobertura	0.784	0.672	0.776	0.577	0.574	0.672
	Altura	0.489	0.223	0.165	0.049	0.219	0.486
	Biovolúmen	0.71	0.559	0.728	0.008	0.366	0.422

considerados en el 65% de los casos es el biovolumen aparente la medida estructural más idónea para la estimación del peso en seco. La cobertura lo es en sólo seis especies. Cabe resaltar que en ningún caso la altura ha resultado ser la variable mejor relacionada con la biomasa. La cobertura tiende a ser el mejor predictor de la biomasa en aquellas especies con menor altura máxima y forma globosa (tabla 1). Por el contrario, en las especies que alcanzan mayor porte el biovolumen aparente tiende a ser la variable elegida.

El cálculo del biovolumen aparente de cada especie se ha realizado como el producto entre la cobertura y la altura del vegetal. Sin embargo, en la mayoría de los trabajos publicados, su cálculo se realiza a través del ajuste de la forma de la planta a la de un cuerpo sólido determinado (ver referencias en Etienne, 1989). Este planteamiento presenta problemas debido a que los ejemplares de una misma especie, en diferentes ambientes, no siempre mantienen la misma morfología (Guillén y otros, 1994). En cualquier caso, el volumen de las formas geométricas con las que se puede identificar cualquiera de estos táxones se calcula como producto entre el área de la base por la altura del individuo, multiplicado por una constante, variable según los casos. Si el área es calculada como cobertura horizontal sobre el suelo, como ocurre en nuestro caso, los resultados no se modifican al multiplicarlo por una constante. Únicamente cuando el área de la base se calcula a través de la longitud máxima y la longitud perpendicular a ésta, el ajuste a un determinado sólido puede influir en la estima del biovolumen aparente.

En trabajos relativamente antiguos (Sprent, 1972) se indica que la relación entre la biomasa de un matorral y una medida de su estructura es, con una alta probabilidad, alométrica. Los resultados obtenidos apoyan esta aseveración: la mayor parte de los táxones (88%) presentan un mejor ajuste a una función de alometría. Solamente dos especies (*Genista hirsuta* y *Quercus rotundifolia* —en su morfotipo de matorral—) lo hacen a funciones lineales y ninguna a funciones log-log.

Esto también confirma la idea de que el cálculo de ecuaciones de alometría se realice sin transformación previa de datos. Sea cual sea la variable independiente elegida y la especie considerada, «fit index» indica un mejor ajuste en las funciones no lineales directas que en aquellas calculadas a través de sucesivas transformaciones log-antilog de los datos originales.

Se aportan también resultados para las diferentes especies por medio de funciones lineales calculadas sin constante. Si bien el coeficiente de determinación (R^2) no es comparable —dado su cálculo particular— con el de una función lineal con término constante, en el caso en que la función elegida fuese lineal y siempre y cuando el término constante no sea significativo, ofrece un mejor grado de ajuste.

La tabla 3 muestra las funciones calculadas para las distintas especies estudiadas. Todas ellas son significativas ($p < 0.01$) y por tanto susceptibles de ser utilizadas en el caso en que no se posean datos de la especie con el parámetro de mejor resolución. Los altos ajustes y la alta variabilidad de los datos considerados permite generalizar su utilización para calcular la biomasa en peso seco midiendo pará-

Tabla 3. Funciones obtenidas para el cálculo de la biomasa aérea en peso seco. Todas las funciones son significativas ($p < 0.01$). En las funciones lineales simples el término constante no es significativo ($p > 0.01$) excepto en (a). Para el nombre completo de cada especie ver tabla 1.

<i>C. albidus</i>				
Cobertura	$Y=1808.035 * X^{0.974}$	$Y=2013.724 * X^{1.118}$	$Y=10.165+1848.087X$	$Y=1865.375X$
Altura	$Y=1168.017 * X^{2.126}$	$Y=1104.078 * X^{2.862}$	$Y=-640.549+1804.329X(a)$	$Y=1000.051X$
Biovolumen	$Y=1810.425 * X^{0.759}$	$Y=1909.853 * X^{0.859}$	$Y=91.52+1846.722X$	$Y=2001.86X$
<i>C. crispus</i>				
Cobertura	$Y=295.24 * X^{0.438}$	$Y=535.796 * X^{0.903}$	$Y=61.041+338.565X$	$Y=547.109X$
Altura	$Y=275.186 * X^{0.622}$	$Y=440.555 * X^{1.345}$	$Y=41.133+293.329X$	$Y=437.847X$
Biovolumen	$Y=465.807 * X^{0.399}$	$Y=1106.624 * X^{0.754}$	$Y=59.421+1270.557X$	$Y=2007.873X$
<i>C. ladanifer</i>				
Cobertura	$Y=3204.59 * X^{1.885}$	$Y=2449.063 * X^{1.409}$	$Y=-292.554+2890.616X$	$Y=2426.82X$
Altura	$Y=613.999 * X^{3.085}$	$Y=618.016 * X^{2.663}$	$Y=-974.056+1982.514X(a)$	$Y=1135.112X$
Biovolumen	$Y=1877.576 * X^{1.342}$	$Y=1725.838 * X^{1.609}$	$Y=-107.955+2075.197X$	$Y=1960.621X$
<i>C. salviifolius</i>				
Cobertura	$Y=966.674 * X^{1.257}$	$Y=788.86 * X^{1.115}$	$Y=-24.034+904.642X$	$Y=860.363X$
Altura	$Y=1042.2 * X^{1.971}$	$Y=860.994 * X^{1.864}$	$Y=-146.938+1021.303X$	$Y=715.565X$
Biovolumen	$Y=1915.675 * X^{1.431}$	$Y=1056.817 * X^{0.784}$	$Y=6.784+1582.654X$	$Y=1602.686X$
<i>Cy. multiflorus</i>				
Cobertura	$Y=3254.824 * X^{2.657}$	$Y=1936.422 * X^{1.375}$	$Y=258.321+2652.486X$	$Y=2257.345X$
Altura	$Y=1104.036 * X^{1.971}$	$Y=824.138 * X^{2.362}$	$Y=-571.296+1910.012X$	$Y=1302.976X$
Biovolumen	$Y=2141.371 * X^{1.431}$	$Y=1766.038 * X^{0.974}$	$Y=-83.015+2358.794X$	$Y=-2263.316X$
<i>Cy. scoparius</i>				
Cobertura	$Y=2162.708 * X^{1.557}$	$Y=1778.279 * X^{1.242}$	$Y=-65.703+1867.118X$	$Y=1752.112X$
Altura	$Y=339.143 * X^{3.085}$	$Y=432.522 * X^{1.989}$	$Y=392.171+1140.45X$	$Y=775.206X$
Biovolumen	$Y=1554.936 * X^{1.509}$	$Y=1428.894 * X^{0.904}$	$Y=-28.036+1714.883X$	$Y=1681.753X$
<i>Cy. striatus</i>				
Cobertura	$Y=3307.556 * X^{2.15}$	$Y=2437.811 * X^{1.535}$	$Y=360.092+2958.643X$	$Y=2415.284X$
Altura	$Y=1081.988 * X^{1.275}$	$Y=592.925 * X^{2.771}$	$Y=558.86+1639.103X$	$Y=1143.242X$
Biovolumen	$Y=2068.219 * X^{1.067}$	$Y=1958.845 * X^{1.22}$	$Y=86.178+2165.699X$	$Y=2067.133X$
<i>G. hirsuta</i>				
Cobertura	$Y=1270.553 * X^{0.997}$	$Y=1655.77 * X^{1.362}$	$Y=-20.09+1316.708X$	$Y=1273.458X$
Altura	$Y=915.835 * X^{1.311}$	$Y=1524.053 * X^{2.714}$	$Y=-30.17+1279.958X$	$Y=800.67X$
Biovolumen	$Y=1884.79 * X^{0.955}$	$Y=2113.489 * X^{1.064}$	$Y=21.436+1909.072X$	$Y=1976.604X$
<i>H. occymoides</i>				
Cobertura	$Y=2736.298 * X^{1.61}$	$Y=810.961 * X^{1.075}$	$Y=-51.869+1485.273X$	$Y=1239.589X$
Altura	$Y=337.439 * X^{1.008}$	$Y=216.77 * X^{1.197}$	$Y=-21.523+375.153X$	$Y=336.164X$
Biovolumen	$Y=1710.13 * X^{0.924}$	$Y=796.159 * X^{0.729}$	$Y=9.917+1867.941X$	$Y=1925.311X$
<i>H. umbellatum</i>				
Cobertura	$Y=452.526 * X^{1.022}$	$Y=378.442 * X^{0.993}$	$Y=0.856+443.596X$	$Y=439.743X$
Altura	$Y=46.557 * X^{0.047}$	$Y=40.087 * X^{0.232}$	$Y=-67.689+72.258X$	$Y=172.105X$
Biovolumen	$Y=767.895 * X^{0.737}$	$Y=609.537 * X^{0.75}$	$Y=12.486+1307.736X$	$Y=1515.471X$
<i>He. stoechas</i>				
Cobertura	$Y=3469.97 * X^{1.471}$	$Y=2192.805 * X^{1.315}$	$Y=-12.225+1379.365X$	$Y=1190.169X$
Altura	$Y=466.56 * X^{1.58}$	$Y=691.831 * X^{2.176}$	$Y=-27.293+332.052X$	$Y=220.36X$
Biovolumen	$Y=5249.223 * X^{1.051}$	$Y=4965.923 * X^{1.033}$	$Y=0.392+4372.455X$	$Y=4353.373X$
<i>L. pedunculata</i>				
Cobertura	$Y=1231.811 * X^{1.23}$	$Y=1129.796 * X^{1.242}$	$Y=-43.992+1155.913X$	$Y=1042.87X$
Altura	$Y=1081.999 * X^{1.597}$	$Y=770.903 * X^{1.806}$	$Y=-132.354+982.946X$	$Y=653.449X$
Biovolumen	$Y=2026.375 * X^{0.911}$	$Y=2564.484 * X^{1.069}$	$Y=18.834+2194.473X$	$Y=2288.562X$
<i>Q. rotundifolia</i>				
Cobertura	$Y=8440.693 * X^{2.206}$	$Y=512.861 * X^{0.594}$	$Y=-84.342+2093.169X$	$Y=1894.978X$
Altura	$Y=2916.857 * X^{2.646}$	$Y=1803.018 * X^{2.905}$	$Y=355.515+2132.183X(a)$	$Y=1308.251X$
Biovolumen	$Y=1999.97 * X^{1.223}$	$Y=963.829 * X^{0.776}$	$Y=-51.884+4133.408X$	$Y=3966.999X$
<i>R. sphaerocarpa</i>				
Cobertura	$Y=6505.661 * X^{4.059}$	$Y=2415.461 * X^{1.533}$	$Y=-457.201+3754.817X$	$Y=3032.334X$
Altura	$Y=503.518 * X^{2.8}$	$Y=483.059 * X^{2.745}$	$Y=88.814+1946.092X$	$Y=1291.508X$
Biovolumen	$Y=1732.967 * X^{1.665}$	$Y=1485.935 * X^{1.033}$	$Y=-268.46+2408.286X$	$Y=2175.084X$
<i>S. rosmarinifolia</i>				
Cobertura	$Y=638.105 * X^{0.881}$	$Y=763.836 * X^{1.013}$	$Y=12.093+682.023X$	$Y=721.593X$
Altura	$Y=619.058 * X^{1.845}$	$Y=944.061 * X^{2.713}$	$Y=-101.578+552.93X$	$Y=324.346X$
Biovolumen	$Y=-934.689 * X^{0.75}$	$Y=1042.317 * X^{0.813}$	$Y=24.585+1275.381X$	$Y=1428.973X$
<i>T. mastichina</i>				
Cobertura	$Y=3035.213 * X^{1.76}$	$Y=912.011 * X^{1.183}$	$Y=-46.785+1269.117X$	$Y=1008.027X$
Altura	$Y=2372.663 * X^{3.015}$	$Y=418.793 * X^{1.687}$	$Y=-140.909+797.209X$	$Y=383.099X$
Biovolumen	$Y=7557.571 * X^{1.461}$	$Y=1892.343 * X^{0.973}$	$Y=-21.873+3076.448X$	$Y=2817.805X$
<i>T. zygis</i>				
Cobertura	$Y=168.079 * X^{0.609}$	$Y=27X.612 * X^{0.862}$	$Y=7.052+261.384X$	$Y=306.121X$
Altura	$Y=286.167 * X^{1.163}$	$Y=1.439.279 * X^{1.168}$	$Y=-1.439+219.627X$	$Y=206.621X$
Biovolumen	$Y=215.661 * X^{0.395}$	$Y=872.971 * X^{0.699}$	$Y=11.907+838.9X$	$Y=1054.391X$

metros sencillos. Únicamente debe tenerse en cuenta el rango de variación de las variables consideradas en este estudio (tabla 1), que establece como valor máximo posible de cobertura 1 m^2 (unidad de muestreo). Dentro de este rango, las funciones podrían utilizarse tanto a nivel de individuo aislado como de un conjunto de individuos comprendidos dentro de esa superficie.

Referencias

- Austin, M.P. 1990. Community theory and competition in vegetation. In: J.B. Grace; D. Tilman (eds.) *Perspectives on Plant Competition*. Academic Press. San Diego, p. 215-238.
- Baskerville, G.L. 1972. Logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. Forest. Res.* 2: 49-53.
- Brand, G.J.; Smith, W.B. 1985. Evaluating allometric shrub biomass equations fit to generated data. *Can. J. Bot.* 63: 64-67.
- Brunig, E.F. 1973. Biomass diversity and utilization in tropical rainforest. IVFRO forest biomass studies. Univ. of Maine, p. 35-42.
- Casado, M.A.; De Miguel, J.M.; Sterling, A.; Peco, B.; Galiano, E.F.; Pineda, F.D. 1985. Production and spatial structure of mediterranean pastures in different stages of ecological succession. *Vegetatio* 64: 75-86.
- Cook, C. 1960. The use of multiple regression and correlation in biological investigations. *Ecology* 41: 556-560.
- Crow, T.R. 1978. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. *Forest. Sci.* 24: 110-114.
- Chiyenda, S.S.; Kozak, A. 1982. Some comments on choosing regression models for biomass prediction equations. *Forest. Chron.* 58: 203-204.
- Draper, N.R.; Smith, H. 1966. *Applied regression analysis*. Wiley. New York.
- Etienne, M. 1989. Non-destructive methods for evaluating shrub biomass: a review. *Acta Oecol. Oecol. Applic.* 10: 115-128.
- Firbank, L.G.; Watkinson, A.R. 1990. On effects of competition: From monocultures to mixtures. In: J.B. Grace; D. Tilman (eds.) *Perspectives on Plant Competition*. Academic Press, San Diego, p. 165-192.
- Frandsen, W. 1983. Modelling big sagebrush as a fuel. *J. Range Managem.* 36: 596-600.
- Green, D.C.; Grigal, D.F. 1978. Generalized biomass estimation equations for jack pine. *Minnesota Forest. Res. Notes* N° 268.
- Guillén, D.F.; De las Heras, P.; Herrera, P.; Pineda, F.D. 1994. Shrub architecture and occupation of space in a Mediterranean sclerophyllous shrubland. *Journal of Vegetation Science* 5: 497-504.
- Hitchcock, H.C.; McDonnell, J.D. 1979. *Biomass measurements: a synthesis of the literature*. Norris Tennessee Valley Authority.
- Lee, C.Y. 1982. Comparison of two correction methods for the bias due to the logarithmic transformation in the estimation of biomass. *Can. J. Forest. Res.* 12: 326-331.
- Martín de Agar, P.; De Pablo, C.L.; Pineda, F.D. 1995. Mapping the ecological structure of a territory: a case study in Madrid (Central Spain). *Environmental Management* (in press).
- Martínez Fernández, J.; López Bermúdez, F.; Romero Díaz, M.A.; Martínez Fernández, J.; Alonso Sarriá, F.; Espinosa, V.; Javaloy, A. 1991. El matorral semiárido del sureste de España. Aportación metodológica para su evaluación. *Studia Ecologica* 8: 97-105.

- Merino, O.; Martín, M.P.; Martín, A.; Merino, J. 1990. Successional and temporal changes in primary productivity in two mediterranean scrub ecosystems. *Acta Oecologica* 11: 103-112.
- Netter, J.; Wasserman, W. 1974. Applied linear statistical models. Richard D. Irwin, Homewood, III.
- Pastor, J.; Bockheim, J.G. 1981. Biomass and production of an aspen mixed hardwood-spodosol ecosystem in northern Wisconsin. *Can. J. Forest. Res.* 11: 132-138.
- Payandeh, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. *Forest. Chron.* 57: 229-232.
- Ramírez Sanz, L. 1994. Caracterización florística de fronteras ecológicas en ambiente mediterráneo. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense. Madrid.
- Ribé, J.N. 1979. A study of multistage sampling and dimensional analysis of puckerbrush stands. Univ. of Maine, Bull. Compl. Tree Institute 1.
- Schlaegel, B.D. 1981. Testing, reporting and using biomass estimation models. In: Proceedings of 1981 Southern Forest Biomass Workshop, June 11-12, 1981, Clemson University, Clemson, South Carolina, USDA. For. Serv. Southern For. Expt. Sta. New Orleans, p. 95-112.
- Schmitt, M.D.C.; Grigal, D.F. 1981. Generalized biomass estimation equations for *Betula papyrifera* Marsh. *Can. J. Forest. Res.* 11: 837-840.
- Sen, A.; Srivastava, M. 1990. Regression analysis: Theory, methods and applications. Springer-Verlag. New York.
- Smith, W.B.; Brand, G.J. 1983. Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs and small trees. U.S. For. Serv. Res. Note NC-299.
- Sprent, P. 1972. The mathematics of size and shape. *Biometrics* 28: 23-27.
- Sprugel, D.G. 1983. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology* 64: 209-210.
- Staneck, W.; State, D. 1978. Equations predicting primary productivity (biomass) of trees, shrubs and lesser vegetation based on current literature. *Can. For. Serv. Pac. For. Res. Cent. Publ. BC-X-183*.
- Tausch, R.J. 1989. Comparison of regression methods for biomass estimation of sagebrush and bunchgrass. *Great Basin Naturalist* 49: 373-380.
- Tausch, R.J.; Tueller, P.T. 1988. Comparison of regression methods for predicting singleleaf pinyon phytomass. *Great Basin Naturalist* 48: 39-45.
- 1989. Evaluation of pinyon sapwood to phytomass relationships over different site conditions. *J. Range Managem.* 42: 209-212.
- 1990. Foliage biomass and cover relationships between tree and shrub dominated communities in pinyon-juniper woodlands. *Great Basin Naturalist* 50: 121-134.
- Tritton, L.M.; Hornbeck, J.W. 1982. Biomass equations for major tree species of the northeast. USDA Forest. Serv. Gen. Rep. NE-69.
- Turner, J.; Long, N. 1975. Accumulation of organic matter in a series of douglas-fir stands. *Canad. J. Forest. Res.* 5: 181-190.
- Tutin, T.G.; Heywood, V.H.; Burges, N.A.; Valentine, D.H.; Walters, S.M. & Webb, D.A. 1964-1980. *Flora Europaea*. 5 Vols. Cambridge University Press.
- Wilkinson, L. 1989. SYSTAT: The system for statistics. Evanston, I.L.: Systat, Inc.
- Whittaker, R.H.; Woodwell, G.M. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. *J. Ecol.* 56: 1-25.