

# FUNCIONES DE BIOMASA DE *Eucalyptus globulus ssp. globulus* EN LA REGION COSTERA CENTRAL

José Antonio Prado Donoso \*  
César Alarcón Araya \*

## INTRODUCCION

La especie *Eucalyptus globulus ssp. globulus*. fue introducida al país en la primera mitad del siglo XIX, y ha tenido una amplia distribución en Chile central, donde ha sido utilizada como la principal fuente de leña para consumo industrial y casero y de postes para la minería y la agricultura. En la actualidad, las plantaciones de *E. globulus ssp. globulus* ocupan una superficie de 81.700 ha (INFOR, 1989), siendo la segunda especie forestal más plantada en Chile.

Durante los últimos años, el interés por esta especie ha sido creciente, ya que presenta excelentes características para la producción de pulpa. Esto se ha traducido en un aumento en la tasa de plantación, desde 1.500 a 2000 ha / año a 25.000 ha en 1990.

El *Eucalyptus globulus ssp. globulus* también ha permitido el desarrollo de una pequeña industria de aceites esenciales, debido al alto contenido y calidad de los extraíbles de sus hojas.

El hecho de ser una especie de uso múltiple hace posible una utilización de casi todos los componentes del árbol: fuste, ramas y hojas. En consecuencia, la estimación de la productividad de un árbol de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* va más allá del tradicional cálculo del volumen del fuste, que es lo más usual en las plantaciones forestales.

Además, por la naturaleza de los productos que se obtienen del bosque de *Eucalyptus*, el volumen no constituye el mejor indicador de su productividad, el peso resulta más exacto, especialmente cuando se trata de productos tales como madera para pulpa o leña y hojas para la obtención de aceites esenciales. Es por esto que se ha estimado conveniente desarrollar funciones de biomasa y establecer una comparación con otras ya existentes.

El *Eucalyptus globulus ssp. globulus* constituye un importante recurso forestal en la región costera central, principalmente en la V Región, en donde existen 21.376 ha de plantaciones (INFOR, 1989), distribuidas en un importante número de pequeños y

\* Ingenieros Forestales, Instituto Forestal

medianos propietarios, quienes se pueden ver beneficiados al disponer de una herramienta que les permita hacer una mejor estimación de la productividad de sus bosques.

El presente estudio está basado en árboles de Monte alto de tres rodales con edades entre 20 y 25 años, ubicados en la V Región de Valparaíso

## MATERIAL Y METODOS

### Muestreo

Para la determinación de las funciones de biomasa se utilizó una muestra de 41 árboles extraídos de tres parcelas ubicadas en la zona costera de la V Región, en las localidades de Longotoma (Escuela Agrícola Longotoma), Peñuelas (Lago Peñuelas) y Santa Marta (Predio Santa Marta, Casablanca). Estas parcelas fueron establecidas por el Instituto Forestal y no han sido objeto de manejo alguno. La muestra se distribuyó al azar en las distintas clases diamétricas, pero con una probabilidad proporcional prefijada, de modo de favorecer la selección de árboles de mayor volumen.

El resultado de esta distribución se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 1  
DISTRIBUCION DE LOS ARBOLES MUESTREADOS SEGUN CLASE  
DIAMETRICA Y LUGAR DE MUESTREO

CLASE DAP (cm)	Nº TOTAL DE ARBOLES	Nº DE ARBOLES SEGUN LUGAR DE MUESTREO		
		LONGOTOMA	PEÑUELAS	STA. MARTA
6 - 10	3	-	3	-
11 - 15	6	2	2	2
16 - 20	6	2	2	2
21 - 25	9	3	3	3
26 - 30	7	2	3	2
31 - 35	5	2	2	1
36 y +	5	1	4	-
TOTAL	41	12	19	10

## Metodología de Campo y Laboratorio

En terreno se ubicaron los árboles que debían ser cortados y pesados, cuidando que no estuviesen bifurcados a poca altura y que no presentasen daños manifiestos producidos por viento, plagas u otras causas.

Las variables independientes medidas para la obtención de las funciones de biomasa fueron las siguientes:

DAT	(cm)	Diametro a la altura del tocón (30 cm)
DAP	(cm)	Diametro a la altura del pecho (130 cm)
HTOT	(m)	Altura total
HF 10	(m)	Altura del fuste hasta un diámetro de 10 cm.
HF 4	(m)	Altura del fuste hasta un Diametro de 4 cm.
ICV	(m)	Altura hasta el inicio de la copa viva.
LC	(m)	Largo de la copa viva.

Una vez volteados los árboles, se procedió a pesarlos divididos en los siguientes componentes:

- a) Fuste: Desde el tocón hasta un diámetro límite de utilización de 10 y 4 cm con corteza. Se presenta en los cuadros y gráficos del estudio con la abreviatura F 10, F 4 y el peso entre ambos F10-4.
- b) Ramas : Ramas hasta un diámetro límite inferior de 4 cm con corteza.
- c) Ramillas: Sección de la ramas o pequeñas ramas con menos de 4 cm de diámetro con corteza, incluye la punta del árbol.
- d) Hojas: Su peso se estimó mediante un muestreo de ramillas efectuado en dos o tres secciones de la copa, dependiendo del tamaño del árbol. Con esto se determinó una relación peso ramilla - peso hojas, para cada sección de copa.
- e) Corteza: Sólo se consideró la corteza del fuste hasta los 4 cm de diámetro. Su peso se estimó mediante una relación corteza - madera, determinada en base a tres muestras por árbol, tomadas a distintas alturas del fuste.

Con el fin de facilitar la tarea de pesaje y de obtener información relativa a volumen y ahusamiento, el fuste se dividió en secciones de 1,2 m midiéndose el diámetro

menor con y sin corteza. Las funciones de volumen y ahusamiento serán motivo de otro estudio.

Para establecer una relación peso verde - peso seco, se tomaron muestras de cada uno de los componentes y se pesaron en terreno, con una precisión de 0,1 gr, luego se secaron en horno, a 103 °C, hasta obtener un peso constante.

### Metodología de Análisis

El peso verde de los árboles no solo varía por la acumulación de biomasa, sino que también por condiciones climáticas que en alguna medida afectan la disponibilidad de agua. Con el fin de evitar estas variaciones, se determinaron funciones de peso seco.

Para expresar la relación entre las dimensiones del árbol y el peso de sus componentes se probaron diversos tipos de modelos que incluyen las variables independientes tal como fueron medidas, combinadas o transformadas (1n).

Los modelos empleados corresponden a las siguientes formas generales:

#### a) Modelos alométricos (Baskerville, 1972)

$$y = b_0 X_1^{b_1} \in$$

$$y = b_0 (X_1^{b_1} \times X_2^{b_2}) \in$$

$$y = b_0 X_1^{b_1} \times X_2^{b_2} \in$$

#### b) Modelos lineales

$$y = b_0 + b_1 X_1^{b_1} + b_2 X_2^{b_2} + \dots + b_n X_n^{b_n} \in$$

$$y = b_0 + b_1 X_1^{b_1} + b_2 X_2 + b_3 X_1^{b_1} X_2 \in$$

En que:

y = Peso seco

$x_i$  = Variables independientes

$b_i$  = Coeficientes de la función

$\in$  = Error de estimación

Los modelos alométricos fueron ajustados mediante transformación logarítmica y por lo tanto corregidos para compensar el sesgo producido por la transformación (Wiant y Harner, 1979).

Se debe hacer notar que estos modelos alométricos, pueden ser fácilmente perturbados por factores inherentes al sitio, no así por la densidad del rodal, que según Baskerville (1965), por si sola no altera en ningún grado las relaciones de estos modelos.

La selección de la variables a incluir en cada caso se hizo empleando el método de regresión paso a paso (stepwise).

Con el fin de Seleccionar las funciones que entregan las mejores estimaciones de la biomasa total y de los distintos componentes del árbol se consideraron : coeficiente de determinación ( $R^2$ ), valor de F, error cuadrático medio (ECM), test de Freese y análisis de residuos. El ECM es especialmente importante como medida de eficiencia de la función, ya que incluye los errores aleatorios y sistemáticos, representando adecuadamente la exactitud de la estimación (Prado et al. 1986).

La Existencia de multicolinealidad entre las variables independientes se analizó mediante la matriz de varianza y covarianza.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Como resultado de los análisis de regresión y posterior comparación de las funciones obtenidas, a continuación se seleccionaron las siguientes funciones que entregan la mejor estimación de la biomasa total y de los componentes de *Eucalyptus globulus ssp. globulus*.

En el caso de la biomasa del fuste, se presentan funciones para ambos diámetros límites de utilización.

Cuadro 2

FUNCIONES PARA ESTIMAR BIOMASA TOTAL Y DE COMPONENTES DE *Eucalyptus globulus ssp. globulus* EN LA ZONA COSTERA CENTRAL

COMPONENTE	FUNCION	R <sup>2</sup>	ECM (%)	F
FUSTE (D.L 4 cm)	PF4 = 13,289 + 0,01394 (D <sup>2</sup> H)	0,98	10,3	2205,9
FUSTE (D.L 10 cm)	PF10 = - 4,170064 + 0,014155 (D <sup>2</sup> H)	0,98	11,5	2075,1
RAMAS (> 4cm)	PRAM = 17,912236 - 3,17988 D + 0,00316 (D <sup>2</sup> H)	0,73	89,7	32,7
RAMILLAS	LN PRAM1 = -1,52316 - 1,213669 LN H + 0,962783 LN (D <sup>2</sup> LC)	0,92	26,8	223,4
HOJAS	LN PHOJ = 1,9384 - 1,4233 LN H + 0,493 LN (D <sup>2</sup> LC) + 0,61623 LN (DIC <sup>2</sup> ICV)	0,94	26,7	185,3
CORTEZA	LN PCOR = - 5,246262 + 0,91033 LN (D <sup>2</sup> H)	0,98	10,8	2519,3
TOTAL	PTOT = - 35,3503 + 0,54647 D <sup>2</sup>	0,98	10,9	2197,1

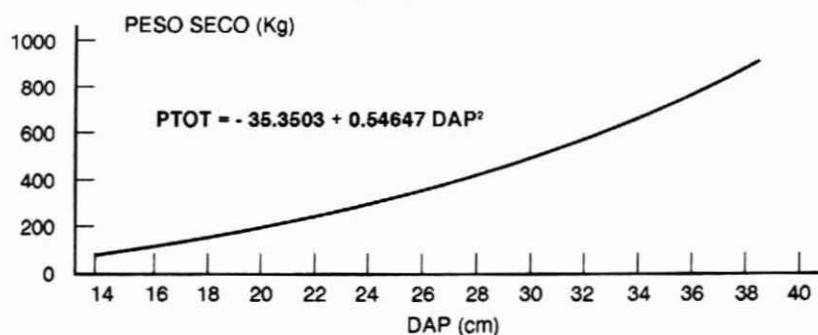
Estas funciones presentan altos valores en sus coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) y los más bajos valores de error entre los modelos probados.

Tanto los modelos alométricos como los lineales, dan buenas estimaciones del peso del fuste, optándose por los modelos más simples. Lo mismo es válido en el caso del peso total, en donde solo incluyendo el diámetro se logra una muy buena estimación. Esto coincide con lo determinado por Schönau y Boden (1975) para varias especies de *Eucalyptus*, en Sudafrica, y por Cromer (1975) en Australia.

En el gráfico 1 se presenta el peso seco total por clase diamétrica, dentro del rango en que la función es confiable.

Gráfico 1

BIOMASA TOTAL *E. globulus ssp. globulus* ZONA COSTERA CENTRAL



Para la estimación del peso de hojas y ramillas las funciones son más imprecisas, con un error superior al 25%, pero aún aceptable, considerando la gran variabilidad que presenta la especie en cuanto a la forma y desarrollo de la copa, especialmente cuando crece con un espaciamiento variable y sin manejo, que es el caso de las plantaciones muestreadas para este estudio. La inclusión de las variables largo de copa (LC), altura al inicio de copa viva (ICV) y diámetro al inicio de copa (DIC) en forma individual, sólo tuvo una contribución marginal, sin embargo al incluirlas combinadas, especialmente LC y DIC, su contribución al modelo fue estadísticamente significativa.

Normalmente las funciones para estimar peso de ramas y de follaje presentan bajos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y altos errores de estimación (Jokela et al. 1981; Prado et al. 1985; Clough y Scott, 1989; Negi y Sharma, 1987), en este caso se da la misma situación, ya que la función para estimar el peso de las ramas es imprecisa, con un error que llega casi al 90%.

Esto se debe, sin duda, a la falta de homogeneidad en los rodales muestreados, específicamente en lo que se refiere al espaciamiento entre árboles, dando origen a árboles que con diámetros semejantes presentan desarrollos de copa completamente distintos.

De los componentes de la copa de los árboles de esta especie, el producto más importante son las hojas, que se comercializan para la producción de aceite de Eucalyptus ( $\alpha$  - Cineol) que se utiliza en la industria farmacéutica y cosmetología. Por esta razón es importante poder estimar con cierta precisión el peso de este componente.

En el proceso industrial de obtención de aceite se requiere como materia prima hojas verdes, por lo que es necesario estimar el peso en este estado. Esta relación se obtiene mediante la siguiente función lineal:

$$PV = -0.000048 + 1.957359 PS$$

donde:

PV = peso verde (Kg)

PS = peso seco (Kg)

$$S_{xy} = 0.006748$$

Los resultados de los modelos de estimación de hojas, indican, al igual que en los otros modelos del resto de los componentes, que el diámetro (DAP) es mejor estimador que la altura, lo que se explica, según Smith y Hawley (1972), por la estrecha relación entre el incremento diámetro y la cantidad de follaje, mientras que la altura se ve más afectada

por la competencia con árboles vecinos que por el tamaño de la copa.

Con el fin de lograr la mejor estimación de cada componente se han empleado distintos modelos, lo cual hace que las funciones no sean aditivas, es decir que la suma de los componentes no es igual al valor obtenido empleando la función de peso total. Este hecho se produce normalmente, a menos que se emplee un modelo único (Kozak, 1970) con lo que se pierde precisión en la estimación del peso de algunos componentes.

En este caso las desviaciones entre el peso total estimado por la función y el peso total obtenido por la suma de los componentes, varían entre 1 y 2%, dependiendo del tamaño del árbol.

## COMPARACION DE LAS FUNCIONES

Ribalta (1983) desarrolló funciones de biomasa para *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, creciendo en Monte Bajo, las cuales se comparan con las obtenidas en este estudio, que corresponden a árboles de rodales de Monte Alto.

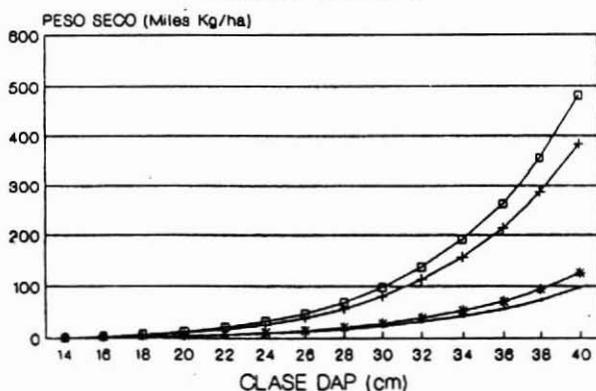
Para hacer esta comparación se utilizó la tabla de rodal que se presenta en el Cuadro 2, obtenida de parcelas de muestreo de un inventario realizado en la zona Costera Central.

Cuadro 2  
TABLA DE RODAL DE UNA MUESTRA UTILIZADA PARA  
COMPARACION DE BIOMASA

DAP (cm)	HT (m)	FRECUENCIA
14	18.3	15
16	19.0	18
18	19.6	21
20	20.3	25
22	21.0	29
24	21.7	33
26	22.3	38
28	23.0	45
30	23.6	52
32	24.4	62
34	25.0	72
36	25.7	84
38	26.4	98
40	27.0	116
TOTAL		708

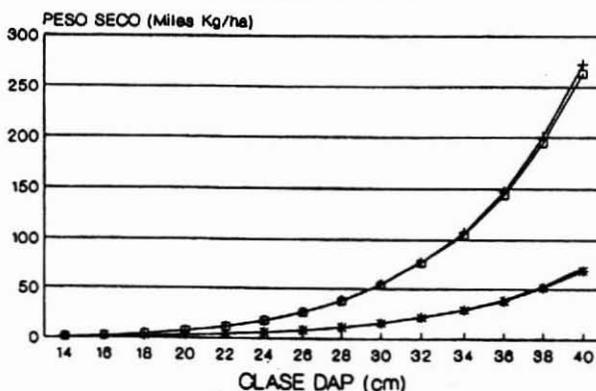
Los resultados de esta comparación se presentan en los gráficos siguientes.

Gráfico 2  
BIOMASA TOTAL *E. Globulus ssp. globulus* POR CLASE DIAMETRICA Y ACUMULADA



—+ CL. ESTUDIO    + AC. ESTUDIO    \* CL. RIBALTA    -□ AC. RIBALTA

Gráfico 3  
BIOMASA FUSTE I.U. 4 cm *E. globulus* POR CLASE DIAMETRICA Y ACUMULADA



—+ CL. ESTUDIO    + AC. ESTUDIO    \* CL. RIBALTA    -□ AC. RIBALTA

Las diferencias en la estimación del peso total son considerables, ya que la función de Ribalta (1983) entrega un peso que supera casi en un 25 % el peso estimado por este estudio. De acuerdo a estos resultados la funciones de Monte Alto no serían aplicables al Monte Bajo en el caso del peso total. La Biomasa del fuste, hasta un índice

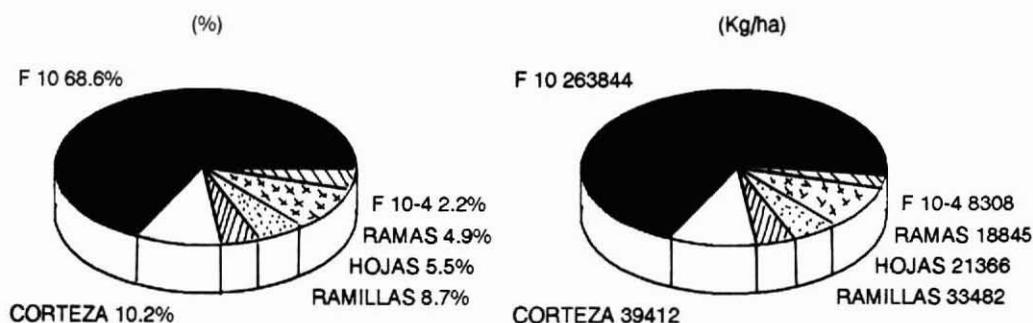
de utilización (U.I.) de 4 cm, es estimada por ambas funciones con un mínimo de diferencia, a pesar de que el peso seco, en el caso de las funciones de Ribalta, fue obtenido en forma indirecta, midiendo el volumen y la densidad básica.

Esto indica que las diferencias en el peso total se deben a imprecisiones en la estimación del peso seco de ramas y follaje o a que las funciones de Ribalta (1983) por ser para Monte Bajo, estén fuera del rango de aplicación en los diámetros mayores.

## DISTRIBUCION DE LA BIOMASA SEGUN COMPONENTES

Con los mismos datos empleados para comparar las funciones, se calculó la distribución de la biomasa de una hectárea en los distintos componentes del árbol. Los resultados se presentan en el gráfico siguiente.

Gráfico 4  
DISTRIBUCION DE BIOMASA POR COMPONENTE  
*E. globulus ssp. globulus*



Al analizar las cifras del gráfico anterior llama la atención, la baja proporción de biomasa producida por las ramas, que solo alcanza al 4.9%. Esta cifra difiere sustancialmente de la obtenida por Ribalta (1983) que obtiene valores cercanos al 30%. Probablemente incluye lo que en este estudio se ha considerado como "ramillas".

En cuanto a la producción de hojas también se encuentran diferencias de importancia, ya que el estudio de Ribalta entrega cifras menores (de 1.7 a 3.6%), a las obtenidas en este caso (5.5%).

Finalmente, la estimación del peso del fuste es muy similar en ambos casos, a

pesar de tratarse de dos situaciones diferentes desde el punto de vista de generación y estructura del bosque: Monte Alto y Monte Bajo.

## CONCLUSIONES

Las funciones presentadas en este estudio permiten hacer una buena estimación del peso total, del peso del fuste a distintos diámetros límites de utilización y del peso de la corteza, con información de fácil obtención en terreno.

La estimación del peso de las hojas, que es el otro componente de importancia en esta especie, se puede hacer con cierta precisión, pero requiere de un mayor gasto en la toma de datos en terreno.

La estimación del peso de las ramas a través de la función definida, está sujeta a un alto porcentaje de error. Su estimación puede hacerse por diferencia del peso total y los otros componentes que pueden estimarse con mayor precisión.

De las funciones obtenidas, sólo las de peso de fuste pueden ser utilizadas en cualquier tipo de bosque (Monte Alto o Monte Bajo). Para la estimación del peso de los otros componentes deben utilizarse funciones específicas.

Las funciones de biomasa que entrega este trabajo no deben ser empleadas en otras regiones del país, sin una debida validación.

## BIBLIOGRAFIA

- Baskerville, G. L. 1965. Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stand. *Ecology* 46: 867 - 869.
- Baskerville, G. L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, Col. 2: 49 - 52.
- Clough B. F.; Scott K. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *For. Ecol. Management*, Vol. 27: 117-127.
- Cromer R. N.; Raupach, M.; Clarke, A.R.P.; Cameron J.N. 1975. Eucalyptus plantation in Australia. The potential for intensive production and utilization. *Appita* Vol. 29 (3): 165 - 173.
- INFOR. 1990. Estadísticas forestales 1989. Instituto Forestal.



- Jokela, E.J; Shannon Colleen Ann; White E. H. 1981.** Biomass and nutrient equations for mature *Betula papyrifera* Marsh. Canadian Journal of Forest Research. Vol. 11 (1): 298 - 304.
- Kozak, A. 1970.** Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. The Forestal Chronicle. 46 (5): 402 - 404.
- Negi, J.D.S.; Sharma, D. C. 1987.** Biomass estimation of two *Eucalyptus* species by regression method. Indian Forester. Vol. 113 (3): 180 - 184.
- Prado, J. A; Peters R. y Aguirre S. 1986.** Biomass equations for Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.) in the semiarid región of central Chile. For. Ecol. Mangement. Vol. 16: 41 - 47.
- Ribalta, E. 1983.** Evaluación de producción y productividades del monte bajo de *Eucalyptus globulus* (Lab). V Región. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal, Escuela de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 124 p.
- Schönau, A. P. G; Boden, D.I. 1982.** Preliminary biomass study in young *Eucalyptus* South African Forestry Journal. (120): 24 - 28.
- Smith, D. y Hawley 1972.** Silvicultura práctica. Barcelona, Omega. 554 p.
- Wiant, H. V.; Harner E. J. 1979.** Percent bias and stand error in logarithmic regression. Forest Sci. Vol. 25 (1): 167 - 168.