

MODELOS PREDICTIVOS DE BIOMASA AÉREA DE *Eucalyptus grandis* PARA EL NORESTE DE ARGENTINA

REGIONAL PREDICTION MODELS FOR THE ABOVEGROUND BIOMASS ESTIMATION OF *Eucalyptus grandis* IN NORTHEASTERN ARGENTINA

Rosa Angela Winck¹ Hugo Enrique Fassola² Sara Regina Barth³ Ernesto Héctor Crechi⁴
Aldo Esteban Keller⁵ Daniel Videla⁶ Constantino Zaderenko⁷

RESUMEN

Diferentes intereses industriales, energéticos y ambientales han motivado el análisis de las distintas posibilidades de aprovechamiento de la biomasa forestal, este tema está adquiriendo un creciente protagonismo, por lo que la cuantificación de la biomasa aérea de estos sistemas forestales constituye un primer paso fundamental e ineludible. El objetivo de este trabajo fue desarrollar modelos que permitan estimar la biomasa de los diferentes compartimentos aéreos de *Eucalyptus grandis*. Para ello se emplearon datos de 41 árboles provenientes de rodales de diferentes edades, entre 4 y 32 años, ubicados en la región NE de Argentina. Se tomaron 23 individuos ubicados en la Zona Norte y Alta de Misiones (zona 1) y 18 en el Sur de Misiones y NE de Corrientes (zona 2). Se determinó la biomasa de hojas, ramas menores a 5 cm, ramas mayores a 5 cm, total de ramas, fuste y biomasa total del árbol. Para el ajuste de modelos se tomaron diversas variables independientes, el diámetro a la altura de pecho (dap), la altura total del árbol (h), el producto ($dap^2 \cdot h$) y la variable “dummy” (zona). Para el caso de la biomasa de ramas y de hojas, debido a que no se lograron resultados satisfactorios con el empleo de estas variables, se examinaron modelos que adicionaban índice de sitio, factor de espaciamiento, diámetro en la base de la copa verde (dbcv), altura hasta la base de la copa verde (hbcv), longitud de copa verde (lcv), el área transversal de albura en la base de copa verde (g Alb bcv) y diferentes combinaciones de estas variables. Los modelos fueron seleccionados en base al coeficiente de determinación y el error cuadrático medio. Para la biomasa de ramas menores a 5 cm, ramas mayores a 5 cm, total de ramas, fuste y total, los mejores modelos fueron los que incorporaron como variables regresoras, el diámetro a la altura de pecho, la altura total del árbol y la variable “dummy” (zona). Para la biomasa de hojas, las variables, edad, área basal y número de árboles por hectárea permitieron mejorar la estimación. Los coeficientes de determinación para los modelos de biomasa total y de fuste fueron de 0,99, para el total de ramas fue de 0,83, para ramas menores a 5 cm 0,69, para ramas mayores de 5 cm 0,53 y 0,65 para hojas. Se recomienda incrementar la base de datos a los efectos de intentar mejorar las predicciones de biomasa de hojas y ramas.

Palabras clave: funciones; variable “dummy”; estimaciones por compartimento; Misiones y NE Corrientes.

- 1 Ingeniera Forestal, Becaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Av. El Libertador, 2472, (3384), Montecarlo, Misiones, Argentina. awinck@montecarlo.inta.gov.ar
- 2 Ingeniero Forestal, MSc., Investigador de INTA, Av. El Libertador, 2472, (3384), Montecarlo, Misiones, Argentina. hfassola@montecarlo.inta.gov.ar
- 3 Ingeniera Forestal, MSc., Investigadora del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Profesora Adjunta de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Bertoni, 124, Km 3, (3380), Eldorado, Misiones, Argentina. sbarth@montecarlo.inta.gov.ar
- 4 Ingeniero Forestal, MSc., Investigador del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Av. El Libertador, 2472, (3384), Montecarlo, Misiones, Argentina. ecrechi@montecarlo.inta.gov.ar
- 5 Ingeniero Forestal, Becario del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Av. El Libertador, 2472, (3384), Montecarlo, Misiones, Argentina. akeller@montecarlo.inta.gov.ar
- 6 Ingeniero Forestal, Profesor Adjunto de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Bertoni, 124, Km 3, (3380), Eldorado, Misiones, Argentina. danielv@facfor.unam.edu.ar
- 7 Ingeniero Aeronáutico, MSc., Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Misiones, Bertoni, 124, Km 3, (3380), Eldorado, Misiones, Argentina. zaderenko@facfor.unam.edu.ar

Recebido para publicação em 20/09/2011 e aceito em 31/10/2013

ABSTRACT

Different industrial, environmental and energy interests have led, in recent years, to the analysis of different possibilities for utilization of forest biomass is gaining an increasing role, so that quantification of the biomass from these forest systems is an essential first and an unavoidable step. The aim of this study was to develop models which allow estimate the biomass of different compartments of *Eucalyptus grandis* trees. To do this 41 trees from stands of different ages were employed, between 4 and 32 years, located in the NE region of Argentina. Twenty three (23) trees were felled in the North and High area of Mission (Zone 1) and eighteen 18 in Southern Misiones and Corrientes NE (Zone 2). The Biomass was determined from leaves, branches less than 5 cm, branches larger than 5 cm, branches total, stem and tree totals biomass. For the models fitting were taken several independent variables, diameter at breast height (dbh), total tree height (h), the product (dap2 * h) and the *dummy* variable (zone). In the case of the biomass branches and leaves, because the results achieved were not satisfactory with the use of these variables, there were examined models that add the site index, spacing factor, diameter at the base of green crown (dbgc), height to green crown base (hgcb), length of green crown (lgc), the cross-sectional area of sapwood at the base of the green crown (c Sap bgc) and different combinations of these variables. The models were selected based on coefficient of determination and mean square error. For biomass of branches smaller than 5 cm, branches larger than 5 cm, branches total, stem and total biomass of the tree, the best performing models were those which incorporated as explanatory variables, the diameter at breast height, the total tree height and the “*dummy*” variable (zone). For biomass of leaves the variables age, basal area and number of trees per hectare improved the estimate. The coefficients of determination for the model of the total tree and stem biomass was 0.99, for the total of branches was 0.83 for branches smaller than 5 cm 0.69, for branches larger than 5 cm gave 0.53 and was 0.65 for leaves. It is recommended to increase the database for the purpose of trying to improve predictions of biomass of leaves and branches.

Keywords: functions; “*dummy*” variable; compartment estimates; Misiones and Corrientes NE.

INTRODUCCIÓN

Los bosques, juegan un gran papel en el balance de carbono global (DIXON et al., 1994), por ello es fundamental poder conocer la biomasa acumulada en ellos. El conocimiento de la biomasa de un bosque puede emplearse para estimar cantidades potenciales de diversos productos, combustibles, para determinar la eficiencia de un rodal forestal, o en las relaciones suelo-agua-planta y nutrientes con la productividad del sitio (CHIYENDA y KOZAK, 1984). El conocimiento de la dinámica de acumulación de biomasa es importante para comprender el funcionamiento del ecosistema forestal, ya que refleja la distribución del material orgánico.

Actualmente existe interés en estudiar la biomasa como materia prima proveniente de procesos industriales y energéticos, además de sus repercusiones ambientales. Dado que la metodología de cuantificación de la biomasa en forma directa es muy costosa, se han desarrollado relaciones alométricas que permiten estimar la biomasa de los distintos componentes del árbol mediante funciones

matemáticas basadas en variables observadas de fácil registro y un número limitado de árboles extraídos (PORTÉ et al., 2002). También se han desarrollado varios modelos para la estimación del carbono secuestrado en un bosque como el CO2FIX (MOHREN et al., 1990), HYBRID 3.0 (FRIEND et al., 1997), 3PG (LANDSBERG y WARIN, 1997), FINNFOR (KELLOMAKI y VAISANEN, 1997) y GOTILWA (GARCÍA et al., 1999). Sin embargo ninguno de estos modelos de simulación ha sido ampliamente aceptado. Es por ello que si bien el desarrollo de relaciones alométricas tiene un costo elevado, en el caso de bosques intensivamente manejados, como es el caso de los de eucaliptos, se convierten en una herramienta imprescindible. Aplicando estas relaciones a datos de inventario pueden obtenerse estimaciones indirectas de la biomasa del rodal para un sitio específico con gran precisión.

Varios autores han establecido relaciones alométricas, empleando el diámetro a la altura de pecho, la altura total y/o una combinación de ambos para predecir la biomasa, en diferentes edades y especies de eucaliptos, entre ellos, Dudley y Fownes

(1991); Schumacher y Poggiani (1993); Soares et al. (1996); Silva (1996) citado por Moro et al. (1996); Mello y Gonçalves (2008), con *Eucalyptus grandis*.

Por otro lado, Schumacher y Poggiani (1993) utilizaron *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus torelliana*; Laclau et al. (2000) clones de eucaliptos; Leles et al. (2001) *Eucalyptus camaldulensis*; Schumacher y Caldeira (2001) *Eucalyptus globulus*; Silva et al. (2004) *Eucalyptus benthamii*; González et al. (2005) *Eucalyptus globulus* y Montagu et al. (2005) *Eucalyptus pilularis*.

Algunos autores, citados por Mello y Gonçalves (2008), afirman que las variables diámetro a la altura de pecho y altura total del árbol, por sí solas, no son suficientes para estimar la biomasa de la copa (ramas y hojas), recomendando la incorporación de otras variables. Por ejemplo Reis et al. (1985) sugieren agregar la edad del árbol; Satoo y Madgwick (1982), proponen incorporar además, el diámetro en la base de la copa, la longitud de copa y el área basal de la albura. Soares et al. (1996) constataron que al incluir el diámetro en la base de copa como variable independiente aumentó significativamente la precisión de la estimación de la biomasa de ramas y hojas en plantaciones de *Eucalyptus grandis*.

También Soares y Oliveira (2002), basándose en estas mismas variables predictoras ajustaron ecuaciones para estimar la cantidad de carbono acumulado en cada componente aéreo del árbol de *Eucalyptus grandis*. Soares et al. (2005), incorporaron además, la edad, el área basal y el índice de sitio.

En Argentina, los primeros estudios de biomasa de *Eucalyptus grandis* fueron desarrollados en plantaciones establecidas en diferentes tipos de suelos de la provincia de Entre Ríos (GOYA et al., 1997). El trabajo consistió en el desarrollo de modelos alométricos para estimar la biomasa acumulada en los diferentes compartimientos aéreos.

Considerando los antecedentes respecto de que las variables diámetro a la altura del pecho (a 1,30 m del suelo) y la altura total del árbol, explicarían mejor la acumulación de biomasa y que éstas no serían suficientes para estimar la biomasa aérea, el objetivo de este trabajo fue desarrollar ecuaciones incorporando otras variables que permitieran mejorar las estimaciones de la biomasa aérea de los diferentes compartimientos de *Eucalyptus grandis* para dos regiones agroecológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de donde se obtuvieron las muestras corresponde a la región fitogeográfica de la Provincia Paranaense, Dominio Amazónico (CABRERA, 1976), donde se presentan dos distritos: el de las selvas – norte de la provincia de Misiones -y el de los campos, con extensos pastizales en el sur de la provincia de Misiones y NE de la provincia de Corrientes (CABRERA, 1976; RODRIGUEZ et al., 2004). Esta se corresponde con las zonas agroecológicas Misiones Norte-Alta Misiones (zona 1) y Misiones Sur-NE de Corrientes (zona 2) (PAPADAKIS, 1974). Los suelos derivan de la meteorización de la roca basáltica presentando color rojo, siendo arcillosos en todo su perfil. El clima según la clasificación de Köppen es de tipo Cfa, macrotérmico, constantemente húmedo y subtropical (RODRIGUEZ et al., 2004). La precipitación media durante el período 1981-1990, fue de 1919 mm en Iguazú y 1947 mm en Posadas, ciudades localizadas al norte y al sur de la región considerada. La temperatura media anual fue en el mismo período de 20,7 y 21,5 °C respectivamente (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2008).

El estudio fue realizado en árboles provenientes de rodales de diferentes edades, entre 4 y 32 años, en parcelas ubicadas en las zonas agroecológicas Misiones, Norte-Alta Misiones (zona 1) y Misiones Sur-Noreste de Corrientes (zona 2) (PAPADAKIS, 1974). En cada parcela se midieron los diámetros a la altura del pecho (dap 1,3 m del suelo) de todos los individuos. Los individuos fueron clasificados según su posición fitosociológica en dominados, codominados y dominantes (KÖHL et al., 2006). De cada estrato se aparearon dos ejemplares, se determinó el peso total de hojas verdes y de ramas vivas menores y mayores a cinco cm de diámetro.

La biomasa de los compartimientos ramas, separadas en mayores a 5 cm, menores a 5 cm de diámetro y hojas fue determinada obteniendo alícuota de cada una de ellas. Estas sub-muestras fueron llevadas a estufa a una temperatura de 70°C hasta peso constante, aplicando luego los coeficientes de conversión, obtenidos en función a peso seco versus peso húmedo, a los valores de peso verde del total de las hojas y ramas. El fuste del árbol fue trozado en largos comerciales, siendo los largos de 4,2 m, 3,5 m y 2,2 m los más utilizados para el presente trabajo debido a la exigencia de utilizar medidas empleadas en la industria. En cada

extremo de las trozas se tomaron los diámetros con y sin corteza, obteniéndose de ellos discos, de 2 cm de espesor. De cada disco se obtuvo un listón central con largo equivalente al diámetro del mismo, de los cuales se obtuvieron probetas de 2x2 cm. El volumen de las mismas se determinó mediante el método de desplazamiento volumétrico, luego las probetas fueron llevadas a estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C hasta peso constante para estimar densidad básica. El volumen de los rollizos fue determinado mediante la fórmula de Smalian. El volumen por hectárea se obtuvo a partir de los datos de las parcelas de muestreo instaladas en cada lugar y de la utilización de la ecuación de volumen desarrollada por Fassola et al. (2007). El valor promedio de densidad de madera obtenido para cada disco, se multiplicó por el volumen de cada rollizo para estimar su peso seco o biomasa de fuste (BF) (WHITTAKER y WOODWELL, 1968; ADEGBIDI et al., 2002, PINAZO et al., 2007).

La base de datos para estimar la biomasa quedó conformada por 41 individuos, de los cuales, 23 correspondían a la zona 1, y 18 a la zona 2. En la Tabla 1 se presentan los valores de las principales variables de estado de los rodales donde se efectuó el apeo.

Ecuaciones de biomasa de los diferentes compartimentos del árbol

Una vez determinada la biomasa seca de los diferentes compartimentos aéreos de los árboles medidos es necesario desarrollar un modelo matemático que relacione dichos pesos con una o más variables dimensionales representativas de

estos árboles (SATO y MADGWICK, 1982). Se analizaron diferentes modelos lineales para relacionar el peso seco de los diferentes compartimentos aéreos con las variables del árbol individual y/o del rodal. La expresión matemática general de estas relaciones es la siguiente:

ln Y = a + b * lnX + e

Donde: lnY = representa el logaritmo natural de la biomasa seca de los compartimentos aéreos: hojas, ramas menores a 5cm de diámetro, ramas mayores a 5cm de diámetro, fuste, biomasa total de ramas y del individuo; ln X = el logaritmo natural de las variables independientes empleadas; a y b son los coeficientes de regresión y e es el error del modelo.

Se emplearon como variables independientes del árbol: el diámetro a la altura de pecho (dap), la altura total (h), el producto del dap² * h.

En los modelos evaluados para estimar la biomasa de ramas y de hojas, se incorporaron otras variables independientes de uso menos frecuente en estos cálculos para tratar de mejorar las estimaciones. Estas son: diámetro cuadrático (D), área basal (G), edad (E), índice de sitio (IS), número de árboles por hectárea (N), índice de Reineke (IR), factor de espaciamiento (FE), diámetro en la base de la copa verde (dbcv), altura de la base de la copa verde (hbcv), longitud de copa verde (lcv), área transversal de la albura en la base de copa verde (g Alb bcv) (dado que la albura está ligada a la parte viva del árbol) y diferentes combinaciones de estas variables.

El Índice de Reineke (IR) establece la relación entre el número de árboles por hectárea

TABLA 1: Valores de las principales variables de estado de las parcelas de Eucalyptus grandis por zona. TABLE 1: Value of state variables of Eucalyptus grandis stands by zone.

Zona		E	N	dap	H	G	Hdom	Vc.c.	n
		años	arb/ha	cm	M	m²/ha	m	m³/ha	n° árb. apeados
1	Mínimo	4	200	20,9	21,9	14,0	23,0	138,9	23
	Máximo	32	461	38,1	41,0	61,1	51,0	1.125,5	
	Promedio	15	329	32,4	33,9	30,4	37,3	495,0	
2	Mínimo	4	133	16,5	16,9	7,1	18,4	56,6	18
	Máximo	12	325	36,5	37,6	19,6	38,1	314,9	
	Promedio	9	216	29,7	29,4	13,6	30,1	191,0	
Total									41

Donde: E = edad; N = número de árboles; dap = diámetro a 1,3 m; h = altura total del árbol; G = área basal; Hdom = altura dominante; Vc.c. = volumen total con corteza; n = total de árboles apeados.

y el diámetro normal del árbol de área bisimétrica promedio (diámetro medio cuadrático) (REINEKE, 1933). Se conoce como IR el número de árboles de 10 pulgadas (25,4 cm) por hectárea de espesura equivalente, calculada con la siguiente función:

$$IR = N \left(\frac{D}{25,4} \right)^r \text{ ó } IR = N \left(\frac{25,4}{D} \right)^{-1,605}$$

Donde: IR = índice de Reineke; N = número de plantas por hectárea; D = diámetro medio cuadrático en cm; r = constante dependiente de la especie considerada, en ausencia de información específica = 1,605. Para un amplio rango de especies el valor de r oscila entre 1,2 y 2,8.

El factor de espaciamento (PRODAN et al., 1997), fue estimado con la siguiente función:

$$FE = \left(\frac{\sqrt{\frac{10000}{N}}}{H_{dom}} \right) * 100$$

Donde: N = número de árboles por hectárea; Hdom = altura dominante (m).

El Índice de Sitio (IS) fue calculado con la ecuación ajustada por Crechi et al. (2006):

$$IS = H_{dom} * \frac{(1 - \exp(-0.0793285 * E_i)^{0.799597})}{(1 - \exp(-0.0793285 * E)^{0.799597})}$$

Donde: Hdom = altura dominante; E_i = edad base, tomado como 15 años; E = edad del árbol.

Regresión con variables auxiliares (dummy)

Con el objetivo de establecer la relación funcional entre variables de estado de los árboles de las distintas zonas se procedió a ajustar una regresión única para los dos grupos de datos, mediante el empleo de variables auxiliares o “dummy” (INFOSTAT, 2004). Obteniéndose de esta forma una regresión lineal múltiple, llamada modelo máximo (SCHNEIDER y TONINI, 2003), representada por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * D + \beta_3 * D * X + e \quad (1)$$

Donde: Y = variable dependiente; = constante; = coeficientes; X = variable regresora cuantitativa; D = variable auxiliar; e = error.

El número de variables auxiliares D_i a incluir es igual al número de niveles del factor de

clasificación que se desea modelar menos 1. Cada variable auxiliar es una variable dicotómica que asume el valor 1 sólo para un nivel del factor de clasificación. La variable D “dummy” adoptó el valor 0 para la zona 1, mientras que para la zona 2, D fue considerada igual a 1.

En forma previa se ajustaron los modelos lineales con las variables dependientes y regresoras sin transformar y con transformación logarítmica a los fines de emplear en el análisis aquellos modelos que mejores estadísticas y residuales presentaban.

Del ajuste de la ecuación (1) y su respectivo análisis de la varianza fue posible construir la ecuación de ajuste para cada zona para los distintos compartimentos aéreos, se tuvieron en cuenta para la selección del modelo el coeficiente de determinación (R²) y el error cuadrático promedio o medio (ECM). A los fines de comprobar si el modelo elegido era adecuado, se verificó la bondad del ajuste contra sus propios datos, ya que no se disponía de una muestra independiente, y la empleada en el ajuste no era lo suficientemente amplia para ser dividida. Para ello se contrastó los valores de biomasa observados versus los predichos determinándose el error porcentual y se efectuó el test de regresión lineal entre valores de biomasa observados y predichos. En este test, si el modelo es bueno, la regresión coincide con la bisectriz del primer cuadrante, contrastándose mediante la prueba de F, al 5 % de probabilidades, la hipótesis nula de que el intercepto es = 0 y la pendiente = 1 en forma simultánea (HUANG et al., 2003).

Para corregir los errores sistemáticos ocasionados por el empleo de transformaciones logarítmicas en las ecuaciones obtenidas, se procedió al cálculo del factor de corrección de la discrepancia logarítmica (MEYER, 1941).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa aérea total (BT) observada en la zona 1 fue un 41% superior, respecto a la biomasa aérea total de la zona 2, con un 5% y 36% en los compartimentos de la biomasa total de ramas (BTR) y biomasa de fuste (BF) respectivamente. Esto puede deberse, a que en la zona 1 están presentes árboles de mayor edad. En los demás compartimentos: Hojas (BH), ramas menores a 5 cm de diámetro (BRMen5cm), ramas mayores a 5 cm (BRMay5cm) y ramas secas (BRS) la acumulación de biomasa fue similar en ambas zonas.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de los

TABLA 2: Valores promedio, máximo, mínimo de biomasa de los diferentes compartimentos aéreos de árboles de *Eucalyptus grandis* apeados.

TABLE 2: Mean, maximum and minimum values of the compartments of the aboveground biomass of *Eucalyptus grandis* felled trees.

Zona		Edad (Años)	Unidad	BH	BRMen5cm	BRMay5cm	BRS	BTR	BF	BT
1	Mínimo	4	Kg	5,8	9,8	0,0	0,0	10,8	69,4	87,1
			%	6,7%	11,3%	0,0%	0,0%	12,4%	79,7%	
	Máximo	32	Kg	61,5	179,9	301,9	211,8	481,7	3.675,4	4.134,1
			%	1,5%	4,4%	7,3%	5,1%	11,7%	88,9%	
	Media	15	Kg	20,7	68,1	54,6	12,6	135,3	969,0	1.124,9
			%	1,8%	6,1%	4,9%	1,1%	12,0%	86,1%	
2	Mínimo	4	Kg	6,2	10,3	0,0	0,0	10,3	32,1	51,1
			%	12,1%	20,3%	0,0%	0,0%	20,3%	62,9%	
	Máximo	12	Kg	41,0	106,3	67,0	0,0	173,3	927,6	1.022,7
			%	4,0%	10,4%	6,5%	0,0%	16,9%	90,7%	
	Media	9	Kg	20,7	56,2	10,0	0,0	66,2	512,9	599,8
			%	3,4%	9,4%	1,7%	0,0%	11,0%	85,5%	

Donde: BT = biomasa total; BF = biomasa de fuste; BTR = biomasa total ramas; BRS = biomasa de ramas secas; BRMay5cm = biomasa de ramas mayores a 5cm; BRMen5cm = biomasa de ramas menores a 5cm; BH = biomasa de hojas.

valores mínimos, máximos y medios de la biomasa observada en las zonas 1 y 2, para los diferentes compartimentos resultantes de los trabajos de campo y laboratorio.

Los porcentajes de peso seco de cada uno de los compartimentos aéreos con respecto a la biomasa aérea total son bastante constantes en las dos zonas. La secuencia de acumulación de biomasa observada en los compartimentos aéreos es la siguiente: fuste, ramas menores a 5 cm de diámetro, ramas mayores a 5 cm de diámetro, hojas y ramas secas.

El fuste es el compartimento aéreo que mayor porcentaje de biomasa aporta, representando un valor medio de 85,8%. Este porcentaje de madera se relaciona con la edad ($r = 0,8443$; $P = 0,0011$), de modo que a medida que aumenta la edad de plantación, aumenta la proporción de peso de madera con respecto a la biomasa total. Por otro lado, la acumulación promedio de peso seco del total de ramas y hojas para las 2 zonas es de 11,5% y 2,6% respectivamente. Valores similares de acumulación de biomasa fueron registrados por González et al. (2005) para *Eucalyptus globulus*.

Selección de las ecuaciones de biomasa

De las funciones de biomasa ajustadas, el modelo general $Ln(Y) = \beta_0 + \beta_1 Ln(dap) + \beta_2 Ln(h) + \beta_3 D + \epsilon$, fue el que presentó mejores ajustes para todos los compartimentos, salvo para el caso de la biomasa de hojas. En este caso, el modelo mejoró su estimación al adicionar las siguientes variables independientes: edad, área basal y número de árboles por hectárea.

En primer lugar se evaluó el efecto de la variable zona (variable auxiliar o *dummy*) sobre la biomasa aérea de los diferentes compartimentos del árbol, se determinó que esta variable tuvo influencia significativa sobre la acumulación de BT, BF y BTR, por ello se decidió ajustar ecuaciones para cada zona, para todos los compartimentos.

Las ecuaciones que tuvieron mejores ajustes y los parámetros estadísticos utilizados en la selección de las mismas se presentan en la Tabla 3. Además del factor de corrección de la discrepancia logarítmica (Fc) (MEYER, 1941), este factor se aplica al antilogaritmo de la biomasa estimada.

Las funciones para estimar la biomasa total y de fuste, mostraron una mejor capacidad de predicción, con un valor de R^2 de 0,99. Los ajustes

TABLA 3: Funciones para la estimación de la biomasa aérea por compartimento de *Eucalyptus grandis* para cada zona agroecológica.TABLE 3: Prediction models of the aboveground biomass of *Eucalyptus grandis* for each agroecological zone.

Zona	Función	R ² Aj.	ECMP	Fc
1	$\text{Ln}(\text{BT}) = -3,36 + 2,12 * \text{Ln}(\text{dap}) + 0,65 * \text{Ln}(\text{h})$	0,99	0,02	1,01
2	$\text{Ln}(\text{BT}) = -3,32 + 2,12 * \text{Ln}(\text{dap}) + 0,65 * \text{Ln}(\text{h})$			
1	$\text{Ln}(\text{BF}) = -4,51 + 1,83 * \text{Ln}(\text{dap}) + 1,22 * \text{Ln}(\text{h})$	0,99	0,02	1,01
2	$\text{Ln}(\text{BF}) = -4,48 + 1,83 * \text{Ln}(\text{dap}) + 1,22 * \text{Ln}(\text{h})$			
1	$\text{Ln}(\text{BTR}) = -2,68 + 3,73 * \text{Ln}(\text{dap}) - 1,77 * \text{Ln}(\text{h})$	0,83	0,25	1,13
2	$\text{Ln}(\text{BTR}) = -2,67 + 3,73 * \text{Ln}(\text{dap}) - 1,77 * \text{Ln}(\text{h})$			
1	$\text{Ln}(\text{BRMay5cm}) = 4,53 + 5,65 * \text{Ln}(\text{dap}) - 5,93 * \text{Ln}(\text{h})$	0,53	1,24	1,86
2	$\text{Ln}(\text{BRMay5cm}) = 4,37 + 5,65 * \text{Ln}(\text{dap}) - 5,93 * \text{Ln}(\text{h})$			
1	$\text{Ln}(\text{BRMen5cm}) = -1,81 + 2,67 * \text{Ln}(\text{dap}) - 1,09 * \text{Ln}(\text{h})$	0,69	0,30	1,16
2	$\text{Ln}(\text{BRMen5cm}) = -1,71 + 2,67 * \text{Ln}(\text{dap}) - 1,09 * \text{Ln}(\text{h})$			
1	$\text{Ln}(\text{BH}) = -6,12 + 3,26 * \text{Ln}(\text{dap}) - 1,08 * \text{Ln}(\text{h}) - 0,65 * \text{Ln}(\text{E}) - 0,43 * \text{Ln}(\text{G}) + 0,71 * \text{Ln}(\text{N})$	0,65	0,25	1,13
2	$\text{Ln}(\text{BH}) = -5,63 + 3,26 * \text{Ln}(\text{dap}) - 1,08 * \text{Ln}(\text{h}) - 0,65 * \text{Ln}(\text{E}) - 0,43 * \text{Ln}(\text{G}) + 0,71 * \text{Ln}(\text{N})$			

Donde: Ln = logaritmo natural; BT = biomasa total; BF = biomasa de fuste; BTR = biomasa total ramas; BRMay5cm = biomasa de ramas mayores a 5cm; BRMen5cm = biomasa de ramas menores a 5cm; BH = biomasa de hojas; R²Aj = coeficiente de determinación ajustado; EMCP = error cuadrático medio; Fc = coeficiente de Meyer; dap = diámetro a 1,3 m; h = altura total; E = edad; G = área basal; N = número de árboles por hectárea.

para biomasa de fuste son coincidentes con los determinados por Soares et al. (1996) y por Mello y Gonçalves (2008) para *Eucalyptus grandis* de 6 y 11 años de edad respectivamente.

En la Figura 1 se puede observar la biomasa observada versus la estimada para los diferentes compartimentos del árbol, en la que se refleja el buen ajuste para la biomasa de fuste y total del árbol, y menor capacidad predictiva para los compartimentos de la copa (ramas y hojas).

El modelo para estimar la biomasa total de ramas resultó ser más efectivo, que cuando se separan en ramas mayores y menores a 5 cm, sin embargo el uso de las ecuaciones va a depender del objetivo que se busca, si se desea conocer solamente la biomasa podría emplear el modelo que estima el total de ramas, sin embargo si se desea realizar manejos de residuos forestales y conocer su influencia en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, probablemente interesaría

conocer la proporción de ramas menores a 5cm dada la importante concentración de nutrientes que presentan las ramas más finas.

Cuando se realizan ajustes para los compartimentos de ramas y hojas se logra una capacidad predictiva débil, en este estudio las mejores estimaciones de biomasa de hojas, de ramas mayores a 5 cm y de ramas menores a 5 cm, arrojaron como resultado coeficientes de determinación (R²) bajos, 0,65; 0,53 y 0,69 respectivamente, siendo inferiores a los citados en los antecedentes consultados (REIS et al. 1985 y TANDON et al., 1988, citado por SCHUMACHER y POGGIANI, 1993; SOARES et al., 1996; SCHUMACHER y CALDEIRA, 2001; MELLO y GONÇALVES, 2008).

La ventaja de los modelos que emplean solo el dap como variable independiente, es que son fáciles de obtener ya que no requieren invertir mucho tiempo en mediciones, por lo que el costo de inventario para estimar la biomasa se reduciría. No

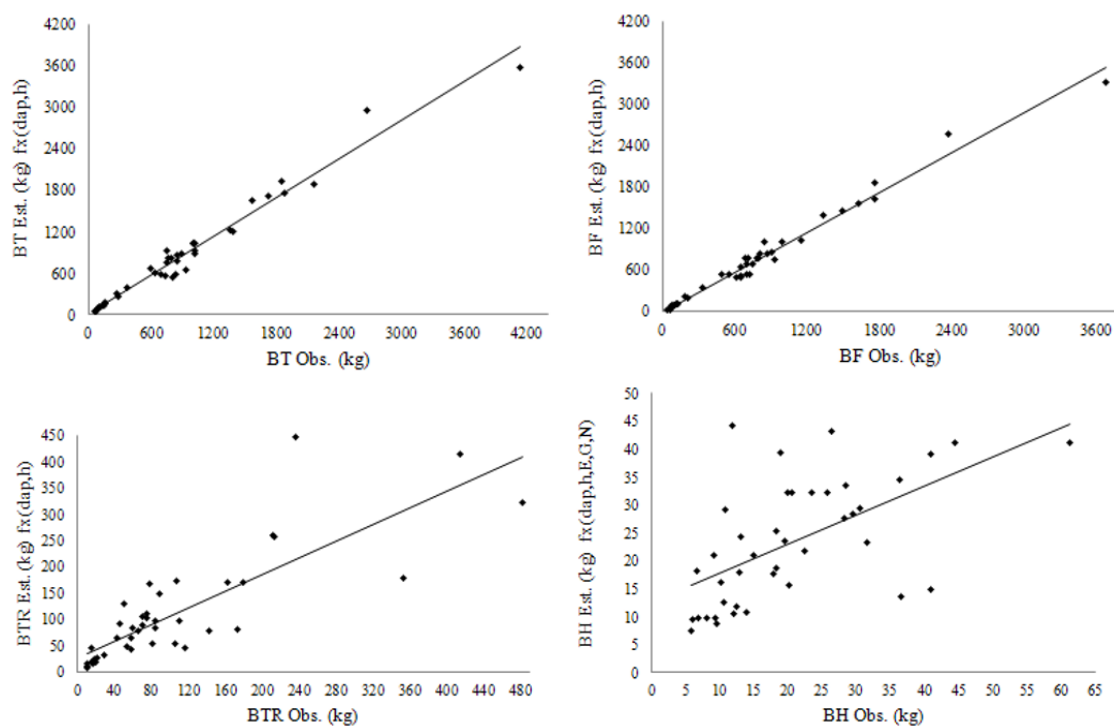


FIGURA 1: Biomasa observada vs estimada de los diferentes compartimentos del árbol de *Eucalyptus grandis*.

FIGURE 1: Observed vs estimated of different compartments biomass of *Eucalyptus grandis*.

obstante, en algunos casos, la dificultad y el tiempo invertido en la obtención de otras variables más complejas pueden estar justificados si su empleo mejora las predicciones de biomasa en forma considerable, sobre todo para el caso de ramas y de hojas que por lo general presentan los ajustes más débiles. Mello y Gonçalves (2008), empleando combinaciones de dap y h, han logrado buenos resultados para estimar la biomasa de ramas y hojas ($R^2 > 0,71$ y $R^2 > 0,75$ respectivamente), estos autores, recomiendan la incorporación de variables asociadas al tamaño de la copa del árbol. También Soares et al. (1996), empleando diferentes combinaciones de las variables: diámetro a la altura de pecho, altura total y diámetro en la base de la copa verde, como variables regresoras, obtuvieron buenos ajustes ($R^2 = 0,8975$ y $R^2 = 0,8719$ para ramas y hojas respectivamente). Sin embargo en este estudio, la incorporación de variables asociadas al tamaño de la copa viva al modelo, no aportó mejoría a los ajustes. Tal vez ese comportamiento guarde una relación con la edad de la plantación, en este caso se trabajó con un amplio rango de edades, entre 4 y 32 años, a diferencia Soares et al. (1996) empleó *Eucalyptus grandis* de 6 años de edad. Por otro

lado Schumacher y Caldeira (2001) trabajando con datos de *Eucalyptus globulus* subespecie *maidenii* de 4 años de edad, obtuvieron valores de R^2 de 0,86 y 0,91 para ramas y hojas respectivamente, además estos autores comprobaron que la biomasa de ramas y hojas disminuyen considerablemente con el aumento del diámetro y la edad del árbol (SCHUMACHER y CALDEIRA, 2001).

La menor calidad de ajuste para los componentes de la copa, principalmente ramas gruesas y hojas, puede ser atribuida a la competencia entre árboles de diferentes clases fitosociológicas, en que la biomasa de hojas y ramas son dependientes de la posición relativa de estos componentes en la copa del árbol.

Según Jokela et al. (1986), citado por Mello y Gonçalves (2008), los componentes de la copa están particularmente influenciados por el índice de sitio. En el presente estudio se pudo corroborar que el IS no tiene influencia significativa ($p\text{-valor} > 0,10$), pero al incorporar ésta variable, en combinación con otras, se logra mejorar el ajuste para biomasa de hojas. Este mismo resultado se logran al sustituir el IS por el área basal, y por ser esta última de más fácil obtención, se optó por seleccionar la función

que adiciona a la misma como una de las variables predictoras de la biomasa de hojas.

En la Tabla 4, se muestran los p-valores para las distintas funciones ajustadas para la biomasa aérea de los diferentes compartimentos del árbol. En esta tabla se puede observar que en la acumulación de BT, BF y BTR, hubieron diferencias significativas para el efecto zona (variable auxiliar o *dummy*), no resultando significativa para la BRMay5cm, BRMen5cm y BH. Dado que la variable zona tuvo efecto sobre 3 compartimentos aéreos, se decidió construir ecuaciones para cada zona, para todos los compartimentos.

Si bien se incorporaron variables no significativas al modelo para estimar biomasa de hojas, estas permitieron mejorar el ajuste significativamente, con mayor coeficiente de determinación y menores valores del error cuadrático medio, akaike (AIC) y criterio de información bayesiano (BIC) ($R^2 = 0,65$; ECMP = 0,25; AIC = 42,56; BIC = 63,13), respecto a cuándo se emplearon solo el dap ($R^2 = 0,35$; ECMP = 0,27; AIC = 61,24; BIC = 68,09) o una combinación de dap*h ($R^2 = 0,30$; ECMP = 0,28; AIC = 63,97; BIC = 70,82) y otras variables regresoras.

La evaluación de los modelos se realizó mediante la prueba simultánea de F (HUANG, et al., 2003; INFOSTAT, 2004), el test de hipótesis, al 5% de probabilidad, indica que los modelos son buenos, excepto el modelo para estimar biomasa de

ramas mayores a 5 cm de la zona 1 (p-valor para test de hipótesis = 0,0260) y la biomasa de hojas de la zona 2 (p-valor para test de hipótesis = 0,0401) (Tabla 5), por lo tanto no se recomienda el uso de éstas dos últimas funciones, dado que el test revela que su capacidad predictiva no es buena. Tal vez al ampliando la base de datos, se podrían mejorar los ajustes.

Con respecto a los errores porcentuales de estimación de la biomasa para los distintos compartimentos aéreos por zona, se observa que son mayores en la zona 2 (Tabla 6) por lo que, tal vez sería conveniente a futuro, reforzar la base de datos en esa zona con la incorporación de nuevos individuos al estudio.

Dentro de los estudios realizados con diferentes especies de eucaliptos, en cuanto al ajuste de ecuaciones, se lograron resultados disímiles. En algunos casos se obtuvieron buenos ajustes con el empleo de una sola variable predictora, por ejemplo: Montagu et al. (2005), en *Eucalyptus pilularis*, desarrollaron una relación alométrica regional para estimar la biomasa de diferentes componentes del árbol en distintos sitios, obteniendo el mejor ajuste con el empleo del diámetro a la altura del pecho. Según Wang (2006), el uso del dap como variable independiente explica una gran parte de la biomasa leñosa; sin embargo, la inclusión de la variable altura mejora las estimaciones de la biomasa.

Laclau et al. (2000), establecieron modelos

TABLA 4: Valores de p correspondientes a los coeficientes de las funciones para estimar la biomasa aérea de *Eucalyptus grandis* en las zonas bajo estudio.

TABLE 4: P-value of the coefficients of the prediction models to estimate aboveground biomass of *Eucalyptus grandis* the zone under study.

	ln(BT)	ln(BF)	ln(BTR)	ln(BRMay5cm)	ln(BRMen5cm)	ln(BH)
	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor	p-valor
Constante	<0,0001	<0,0001	0,0004	0,4181	0,0227	0,2799
Ln(dap)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0031	0,0001	0,0001
Ln(h)	0,0011	<0,0001	0,0062	0,0195	0,1054	0,5131
Ln(D)	0,0023	0,0044	0,0160	1,8276	0,1945	2,5254
Ln(E)						0,2439
Ln(G)						0,5976
Ln(N)						0,2064

Donde: BT = biomasa total; BF = biomasa de fuste; BTR = biomasa total de ramas; BRMay5cm = biomasa de ramas mayores a 5cm; BRMen5cm = biomasa de ramas menores a 5cm; BH = biomasa de hojas; Ln = logaritmo natural; dap = diámetro a la altura de pecho; h = altura total; D = zona; E = edad; G = área basal; N = número de árboles por hectárea.

TABLA 5: Resultados de la prueba de F simultánea para los coeficientes de la regresión entre valores observados y estimados de biomasa de los distintos compartimentos aéreos de *Eucalyptus grandis*.

TABLE 5: Simultaneous F-test for the coefficients of the regression model between observed and predicted values of aboveground biomass of *Eucalyptus grandis*.

Variable	Zona 1			Zona 2		
Obs. Vs. Pred.	β_0	β_1	Hip. P-Valor	β_0	β_1	Hip. P-Valor
Ln (BT)	-0,11	1,02	0,6368	0,17	0,99	0,1957
Ln(BF)	-0,02	1,00	0,8998	0,11	1,00	0,2235
Ln(BTR)	-0,04	0,98	0,3517	0,51	0,85	0,5543
Ln(BRMay5cm)	-0,57	0,99	0,0260	-0,69	0,92	0,0702
Ln(BRMen5cm)	0,05	0,95	0,2653	0,12	0,99	0,7639
Ln(BH)	-0,12	0,99	0,1223	1,99	0,29	0,0401

Donde: β_0 = constante; β_1 = coeficiente de la regresión; BT = biomasa total; BF = biomasa de fuste; BTR = biomasa total de ramas; BRMay5cm = biomasa de ramas mayores a 5cm; BRMen5cm = biomasa de ramas menores a 5cm; BH = biomasa de hojas; hip. p-valor = p valor de comprobación simultánea de hipótesis $\beta_0 = 0$ y $\beta_1 = 1$.

TABLA 6: Error promedio porcentual de estimación de la biomasa de los compartimentos aéreos de *Eucalyptus grandis* para ambas zonas.

TABLE 6: Percentages mean error of estimation of aboveground biomass of *Eucalyptus grandis* by zone.

Zona	BH	BRMen5cm	BRMay5cm	BTR	BF	BT
1	-0,52	-0,39	-0,19	0,08	0,04	0,25
2	-2,48	6,23	-14,00	1,22	1,61	1,62

Donde: BH = biomasa de hojas; BRMen5cm = biomasa de ramas menores a 5 cm; BRMay5cm = biomasa de ramas mayores a 5 cm; BTR = biomasa total de ramas; BF = biomasa de fuste; BT = biomasa total del árbol.

predictivos donde el dap y la edad fueron las variables independientes utilizadas para estimar la biomasa y el contenido de diferentes nutrientes en diferentes clones de eucaliptos. En este trabajo, para estimar biomasa de ramas menores a 5 cm, ramas mayores a 5 cm, total de ramas, fuste y total, fue suficiente el empleo del dap y la altura, dado que al complejizar los modelos no se logró mejoría. Para la estimación de la biomasa de hojas, el mejor ajuste se logró, con la incorporación de la edad, el área basal y el número de árboles por hectárea.

CONCLUSIONES

Los modelos ajustados para la biomasa total del árbol, biomasa de fuste y biomasa total de ramas, con el dap y la h como variables regresoras resultaron mejor que aquellos que emplearon solo el dap o la combinación de ambas variables (dap²*h). El modelo para estimar la biomasa total de ramas resultó ser más efectivo, que cuando se

separan en ramas mayores y menores a 5 cm. Los modelos ajustados para la biomasa de ramas mayores a 5cm para la zona 1 y para la biomasa de hojas para la zona 2, debieron ser rechazados, por obtenerse ajustes no satisfactorios. Los modelos tradicionales, en función al dap y la h, para estimación de las biomاسas de ramas mayores a 5 cm, ramas menores a 5 cm y hojas, no lograron explicar más del 53 %, 69 % y 55 % de la variación de la biomasa de ramas mayores a 5 cm, ramas menores a 5cm y hojas respectivamente, por lo que debió recurrirse a modelos más complejos, aun así solo se logró mejorar la estimación de biomasa de hojas (en un 10 %). Se pudo percibir que no hay un modelo claro (definido) para estimar la biomasa de la copa (ramas y hojas), aún con la incorporación de variables asociadas al tamaño de la copa, no permitió, mejorar las predicciones. La incorporación de variables de más difícil obtención, a los modelos, va a depender del balance

entre costo y la ganancia en precisión.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEGBIDI, H. G. et al. Biomass development for intensively manager loblolly pine plantations growing on Spodosols in the Southern USA. **Forest Ecology and Management**, v. 167, p. 91-102. 2002.
- CABRERA, A. L. Regiones Fitogeográficas Argentinas. **Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería**. Tomo II. ACME. Buenos Aires. 1976. 85 p.
- CHIYENDA, S. S.; KOZAK, A. Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 14, n. 3, p. 441-446. 1984. Abstract. Disponible en: <(http://rparticle.web-p.cisti.nrc.ca/rparticle/AbstractTemplateServlet?calyLang=eng&journal=cjfr&volume=14&year=0&issue=3&msno=x84-078)> Acceso en: 24 de mayo de 2011.
- CRECHI, E. et al. Desarrollo de funciones de índice de sitio para *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia Argentina. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS, 21., 2006, Concordia. **Anales...** Concordia, 2006.
- DIXON, R. K. et al. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. **Science**, v. 263, p. 185-190, Jan. 1994. Disponible en: <(http://www.sierraforestlegacy.org/Resources/Conservation/FireForestEcology/ThreatsForestHealth/Climate/CI-Dixon_et_al_1994_C_pools.pdf)> Acceso en: 24 de mayo de 2011.
- DUDLEY, N. S.; FOWNES, J. H. Preliminary biomass equations for eight species of fast-growing tropical trees. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 5, n. 1, p. 68-73. 1991.
- FASSOLA, H. E. et al. "Funciones y Algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado" PAN 571. INTA. EEA Montecarlo. 2007. 103 p. (Informe técnico n° 61).
- FRIEND, A. D.; STEVENS, A. K.; KNOX, R. G. A. Process-based, terrestrial biosphere model of ecosystem dynamics (Hybrid v3.0). **Ecol Model** 95, p. 249-287. 1997.
- GARCÍA, C. A. et al. An integrated model of water dynamics and forest growth. **Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests**, v. 137, p. 163-179. 1999.
- GONZÁLEZ, J. G. A. et al. Estimación de la biomasa arbórea de *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia. IBADER: Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural. **Recursos Rurais**, v. 1, n. 1: 21-30. 2005.
- GOYA, J. F.; FRANGI, J. L.; DALLA-TEA, F. Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 102, n. 1, p. 11-21. 1997.
- HUANG, S.; YANG, Y.; WANG, Y. A Critical Look at Procedures for Validating Growth and Yield Models. In: AMARO, A.; REED, D.; SOARES P. (Eds.) **Modelling Forest Systems**. CABI-Publishings, Wallingford. 2003. p. 271-293.
- INFOSTAT. Grupo INFOSTAT, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Versión 2004. 314 p.
- KELLOMAKI, S.; VAISANEN, H. Modelling the dynamics of the forest ecosystem for climate change studies in the boreal conditions. **Ecol Model** 97, p. 121-140. 1997.
- KÖHL, M.; MAGNUSSEN, S.; MARCHETTI, M. Sampling Methods. Remote Sensing and GIS. **Multiresource Forest Inventory**. Heidelberg: Springer. 2006. P. 17-69. (Serie Tropical Forestry).
- LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecol. and Management**, v. 128, p. 181-196. 2000.
- LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecol Manag** 95, p. 209-228. 1997.
- LELES, P. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 77-87. 2001.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema Radicular empovoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com Produtividades distintas. Sociedade de Investigações Florestais. **R. Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 101-111. 2008.
- MEYER, H. A. Correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. Pennsylvania. **Forest School Research**. Paper 7. 1941. 3 p.
- MOHREN, G. M.; KLEIN, J.; GOLDEWIJK, C. G. M. CO₂FIX: A Dynamic Model of the CO₂ Fixation in Forest Stands. **Research Institute for Forestry**

- and **Urban Ecology**, 624. 1990. 35 p.
- MONTAGU, D. K. et al. Developing general allometric relationships for regional estimates of carbon sequestration – an example using *Eucalyptus pilularis* from seven contrasting sites **Forest Ecol. and Management**, v. 204, p. 113–127. 2005.
- MORO, L. et al. Modelos matemáticos para estimativa de exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 2, p. 223-230, maio/ago. 2007.
- PAPADAKIS, J. Ecología. Posibilidades Agropecuarias de las Provincias Argentinas. Fascículo 3. **Enciclopedia Arg. de Agric. y Jardinería**. Ed. ACME. 1974. 86 p.
- PINAZO, M. A. et al. Efectos de la intensidad de raleo sobre la compartimentalización y stock de carbono en plantaciones de *Pinus taeda* L. establecida sobre ultisoles de Misiones. **RIA**. v. 36, n. 1. p. 5-20. 2007.
- PORTÉ, A. et al. Allometric relationship for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **Forest Ecol. and Management**, n. 158, p.71-83.2002.
- PRODAN, M. et al. Mensura Forestal 1.**Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible**. San José: IICA-BMZ/GTZ. 1997.561 p.
- REINEKE, L.H. Perfecting a stand-density index for even-aged forest. **Journal of Agricultural Research**. v. 46, p. 627-638. 1933
- RODRIGUEZ, M. E. et al. Los bosques nativos misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas. Disponible In: **Ecología y Manejo de los bosques de Argentina**. Ed.: ARTURI M.; FRANGI J.; GOYA. J. La Plata: EDULP. 2004. p. 3-33.
- SATOO, T.; MADGWICK, H. A. I. Forest Biomass. **Forestry Sciences**. Kluwer Academic Publishers Group, Holanda.1982.
- SCHNEIDER P. R.; TONINI H. Utilização de variáveis Dummy em equações de volume para *Acácia mearnsii* De Wild. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 13. n. 2, p. 131-129. 2003
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de Nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em ANHEMBÍ, SP.**Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21-34. 1993.
- SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus*(Labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53. 2001.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. Datos Estadísticos. Período 1981-1990. Ciudades de Iguazú y Posadas. 2008. Disponible en: <(http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Posadas; http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Iguazú)>Acceso en: 24 de mayo de 2011.
- SILVA, H. da. et al. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 49, 2004. p. 83-95. 2004.
- SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA. A. L. de. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 179-189. 1996. **On-line**: Disponible en: <(http://www.google.com.br/search?hl=es&tbo=p&tbm=bks&q=Modelos+para+estimar+a+biomassa+da+parte+a%C3%A9rea+em+um+povoamento+de+Eucalyptus+grandis+na+regi%C3%A3o+de+Vi%C3%A7osa+Minas+Gerais&num=10)> Acceso en: 24 de mayo de 2011.
- SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de **árvores** individuais e em plantios comerciais de eucalipto. Sociedade de Investigações Florestais. **R. Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 711-718. 2005.
- SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de **árvores** de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. Sociedade de Investigações Florestais. **R. Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 533-539. 2002.
- WANG, C. H. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forest. **Forest Ecol. and Management**, n. 222. p. 9-16. 2006.
- WHITTAKER, R. H.; WOODWELL, G. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest. New York. **J. Ecol.** v. 56, p.1-25.1968.