

# MODELOS REGIONALES DE BIOMASA AÉREA DE *Pinus taeda* PARA MISIONES Y NE DE CORRIENTES, ARGENTINA

## REGIONAL PREDICTION MODELS FOR ABOVEGROUND BIOMASS ESTIMATION OF *Pinus taeda* IN MISIONES AND NE CORRIENTES REGION, ARGENTINA

Fassola, H. E.<sup>1</sup>; Crechi, E. H.<sup>1</sup>; Barth, S. R.<sup>1</sup>; Keller, A.E.<sup>1</sup>; Winck, R. A.<sup>1</sup>; Martiarena, R.<sup>1</sup>; Von Wallis, A.<sup>1</sup>; Pinazo, M. A.<sup>1</sup>; Knebel, O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INTA EEA Montecarlo. Av. El Libertador 2472 (3384), Misiones. Tel: 03751-480057 / 480512. [intam@montecarlo.inta.gov.ar](mailto:intam@montecarlo.inta.gov.ar)

### RESUMEN

*Pinus taeda* es una de las especies más difundida en plantaciones del mundo, siendo estas reconocidas como una estrategia válida para reducir las emisiones de CO<sup>2</sup> y como fuente de bioenergía. Para estimar la capacidad de secuestro de CO<sup>2</sup> de estas plantaciones como para evaluar su potencial de generación de energía se requieren ecuaciones de biomasa. A los fines de poder efectuar estas evaluaciones a nivel regional o nacional se ajustaron modelos predictivos de biomasa para distintos compartimentos aéreos. Para ello en rodales de distintas edades, 3 a 25 años, ubicados en la región de Misiones y NE de Corrientes, se establecieron parcelas donde se apearon 167 ejemplares de *P. taeda*. De éstos, 116 estaban ubicados en la zona norte y alta de Misiones (zona 1) y 51 en el sur de Misiones y NE de Corrientes (zona 2). De ellos se determinó la biomasa aérea total, la de fuste, la de ramas < a 5 cm y la de ramas > a 5 cm, la total de ramas, la de conos y biomasa de acículas. Mediante análisis de regresión se ajustaron modelos para predecir la biomasa de cada compartimento. Como variables independientes se emplearon el diámetro a la altura del pecho (m) (dap), la altura (h, m) y el producto (dap<sup>2</sup>\*h). También se incluyó una variable “dummy” para clasificar las zonas. De los diversos modelos ajustados se seleccionó el que permitía predecir la biomasa de los distintos compartimentos en función del dap, que incluyó la variable “dummy” (zona). Esta fue altamente significativa para la biomasa total y para la biomasa de fuste aunque no para el resto de los compartimentos. Ello indica que hay diferencias de patrón de acumulación de biomasa entre ambas zonas. El coeficiente de determinación para el modelo de biomasa total fue del 97 %, del 96 % para fuste, 91 % para total de ramas, 89% para ramas < 5 cm, para ramas > de 5 cm 72 %, 82 % para acículas y 62 % para conos.

**Palabras clave:** biomasa aérea, variables “dummy”, modelos predictivos, *Pinus taeda*.

### SUMMARY

*Pinus taeda* is one of the most used specie in the world for man made-plantations. Thus they are recognized as valid strategy for diminishing CO<sup>2</sup> emissions and for energy generation, so biomass equations are needed for the evaluation of those potentials. With the purpose of developed regional and national evaluations of biomass prediction models was fitted. Data base was obtained felling 167 trees of *Pinus taeda* in stands placed in Misiones Province and NE of Corrientes Province of Argentina. In northern and highlands of Misiones province, named zone 1, 116 trees were felled; where as in southern Misiones and NE of Corrientes province, named zone 2 , other 51 trees. Total aerial biomass for each tree was estimated and also stems biomass, biomass of branches < 5 cm, biomass of branches > 5 cm, total biomass of branches, cones biomass and needles biomass. Regression analysis was used for the prediction of the biomass of each compartment. As independent variables was used

14<sup>as</sup> Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 10, 11 y 12 de Junio de 2010 -Eldorado, Misiones, Argentina

diameter at breast height (cm) (dbh), height (m) (h) and ( $dap^2 \cdot h$ ). Also a “dummy” variable was included for the classification of the zones. Of the different models fitted it was chosen for the prediction of the biomass of the different compartments the models that used dbh as independent variable and that included the “dummy” variable. Significance of that variable was high,  $p < 0.0001$ , for the prediction of total biomass and stem biomass, but not for the other compartments. That is an indication that biomass accumulation process in both zones differ between them. Determination coefficient for the prediction model of total biomass was 97 %, 96 % for stem biomass, 91 % for total branches biomass, 82% for needles biomass, 89 % for branches < 5cm, 72 % for branches biomass > 5 cm and 62 % for cones biomass.

**Key words:** aboveground biomass, “dummy” variables, prediction models, *Pinus taeda*.

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La estimación de la biomasa de los bosques es un tema relevante tanto en lo relativo al ciclo de nutrientes como en relación con el problema de calentamiento global. Por esto se ha incrementado el interés por estudiar el papel de los bosques en los ciclos de elementos biogeoquímicos, especialmente del carbono (Delaney *et al.*, 1997), y su relación con los gases de efecto invernadero (Brown, 1997). Se parte del principio de que aproximadamente 50% de la biomasa es carbono, (Brown & Lugo 1992, Brown, 1997). Por lo tanto para medir y monitorear el carbono almacenado, especialmente en el compartimento aéreo, que es el más grande, es necesario conocer la cantidad de biomasa. Las ecuaciones de biomasa son la mejor aproximación para lograr estas estimaciones, y poder cuantificar la biomasa de los bosques (Saldarriaga *et al.* 1988).

Por otra parte el aprovechamiento de los recursos biomásicos como los derivados de la industria forestal y del manejo de las plantaciones, es vista como una oportunidad para la cogeneración de energía eléctrica. Alrededor de la mitad de la población mundial sigue dependiendo de la biomasa como fuente principal de energía. En Argentina existe un gran potencial de producción de biomasa para la generación de energía eléctrica; este potencial no está siendo aprovechado adecuadamente, de tal manera, que la mayor parte de la generación de electricidad proviene de las centrales termoeléctricas basadas en combustibles fósiles. Este potencial es evidente en las provincias del noreste argentino (Misiones, Corrientes y Entre Ríos), conjuntamente con la provincia de Buenos Aires, que son las que presentan la mayor concentración de residuos aptos para su utilización energética (FAO, 1995).

Considerando que *Pinus taeda* es la conífera que más se implanta en el mundo por su alta productividad en madera, cerca de 12 millones de has, principalmente en EEUU seguido de Brasil, Argentina y Uruguay, siendo menos importante su cultivo en Sudáfrica y Australia (Du Toit *et al.*, 1998; Simpson *et al.*, 1998; Samuelson, *et al.*, 2004; De Lungo *et al.*, 2006), el conocer la acumulación de biomasa en los compartimentos del árbol es de suma relevancia para su manejo, dado que los nuevos objetivos de la producción forestal no son ya sólo madereros.

En la Argentina los estudios de biomasa en plantaciones de rápido crecimiento son recientes. A los primeros estudios exploratorios efectuados en el norte del país sobre plantaciones de *Pinus taeda* (Goya *et al.*, 2003) le han sucedido otros efectuados para determinar biomasa aérea en tres clases de edades en el Departamento Montecarlo (Goya *et al.*, 2005) y el resultante del análisis de un ensayo de intensidad y oportunidad de raleo a los 20 años de edad en el Departamento Iguazú, ambos de la provincia de Misiones, arrojando este último diferencias entre tratamientos (Pinazo *et al.*, 2007). Las relaciones alométricas desarrolladas por Goya *et al.* (2003, 2005) y Pinazo *et al.* (2007), en este último caso una general para todos los tratamientos, para distintos compartimentos y sumatoria total de la

biomasa aérea de *Pinus taeda*, se basaron en uno de los modelos más comúnmente utilizados:  $\ln y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln x$  (Bravo, 2007). Con posterioridad se desarrollan modelos que incluyeron el efecto de la silvicultura (Fassola *et al.*, 2009) y poseen la propiedad de ser aditivos (Fassola *et al.*, 2010), es decir que la suma de las predicciones de biomasa de los distintos componentes sea igual a la predicción para el total del árbol (Návar *et al.*, 2002; Parresol, 1999; Cunia y Briggs, 1985; Reed y Green, 1985).

Sin embargo no se cuenta con modelos regionales para la especie, que puedan aplicarse a evaluaciones de escala regional y/o nacional y que nos permitan inferir-cuantificar la cantidad de biomasa que acumulan esas plantaciones. El objetivo del presente trabajo fue verificar la posibilidad de ajustar un modelo general de biomasa para la provincia de Misiones y el noreste de Corrientes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de donde se obtuvieron las muestras se corresponde con la región fitogeográfica de la Provincia Paranaense (Dominio Amazónico, *sensu* 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; Rodríguez *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, siendo arcillosos en todo su perfil. El clima según la clasificación de Köppen es de tipo Cfa, macrotérmico, constantemente húmedo y subtropical (Rodríguez *et al.*, 2004). La precipitación media durante el período 1981-1990 fue de 1919 mm en Iguazú (N zona 1) y 1947 mm en Posadas, centro de la zona 2. 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 parcelas temporales establecidas en plantaciones comerciales y ensayos ubicados en las zonas agroecológicas Misiones Norte-Alta Misiones (zona 1) y Misiones Sur-Noreste de Corrientes (zona 2) (Papadakis, 1974). En las parcelas de cada zona se procedió a la medición del diámetro a la altura del pecho (dap 1,3 m). Tanto en las parcelas de ensayo como en las instaladas en cada empresa se procedió a la medición del diámetro a la altura del pecho (dap 1,3 m). Luego los árboles fueron ordenados por diámetro y divididos por 3 en tres clases: “pequeños”, “medianos” y grandes (Köhl *et al.*, 2006). De este modo se seleccionó un mínimo de 6 árboles por parcela hasta un máximo de 15, los cuales fueron apeados. En cada ejemplar apeado se procedió a determinar a campo el peso total de acículas verdes y el de ramas vivas. La biomasa de los compartimentos ramas (Br), separada en mayores a 5 cm de diámetro (Br>5cm) y menores a 5 cm de diámetro (Br<5cm), conos (Bc) y acículas (Bac) fue determinada obteniendo de cada una de ellas alícuotas.. Estas fueron llevadas a estufa a una temperatura de 70 °C hasta peso constante, aplicando luego estos valores a los de peso verde del total de las acículas, ramas y conos. El fuste del árbol fue trozado en largos comerciales y en cada extremo de las trozas se tomaron los diámetros con y sin corteza, utilizados para determinar el volumen mediante la fórmula de Smalian. En cada uno de los extremos se cortaron discos, sobre los cuáles, desde el centro hacia la periferia en ambos sentidos, se obtuvieron probetas de 2 x 2 cm y llevadas a estufa a una temperatura de 103 +/-2 °C hasta peso constante para estimar densidad básica. Esta se determinó mediante el método de desplazamiento volumétrico. El valor de densidad básica promedio obtenido de los discos, aplicando la ecuación (1), se aplicó luego al volumen de cada rollizo para estimar peso seco de éstos (Bf) (Whittaker y Woodwell, 1968; Adeguidi *et al.*, 2002, Pinazo *et al.*, 2007).

$$D_b = \frac{P_0}{V_s} \quad \text{Ec.(1)}$$

donde:  $D_b$  : Densidad básica en gr/cm<sup>3</sup>;  $P_0$  : Peso anhidro en gr;  $V_s$  : Volumen saturado en cm<sup>3</sup>

La base de datos general para estimar la biomasa quedó conformada por 167 individuos, de los cuales, 116 correspondían a la zona 1, y 51 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.

Tabla 1: Valores de las principales variables de estado de las parcelas de *Pinus taeda* L. por zona.  
Value of state variables of *Pinus taeda* stands by zone.

Zona		edad	densidad	DAP	H	G	Hdom	vol c.c	n
		años	árb/ha	cm	m	m <sup>2</sup> /ha	m	m <sup>3</sup> /ha	n° árb.
1	mínimo	3	122	7,8	4,7	5,64	5,8	15	143
	máximo	25	1400	46,8	28,0	47,23	28,3	558	
	promedio	13	456	28,7	18,4	22,84	20,0	233	
2	mínimo	3	625	7,9	4,8	6,95	5,9	18	24
	máximo	10	1350	25,7	16,5	40,21	17,3	321	
	promedio	6	919	16,8	10,5	20,48	11,4	131	

DAP: diámetro 1,3 m promedio, H: altura promedio; G: área basal; Hdom: altura dominante; Vol c.c: volumen con corteza; n: total árb. apeados

#### Análisis de Datos

Se establecieron relaciones entre los compartimentos aéreos, biomasa de acículas, ramas <a 5cm de diámetro, ramas > a 5 cm de diámetro, total de ramas, conos, fuste y total, con variables del árbol como el diámetro a la altura de pecho (dap, cm), la altura total (h,m), el producto del  $dap^2 * h$ . También se procedió a ajustar una regresión única para los dos grupos de datos mediante el empleo de variables auxiliares o “dummy” (InfoStat, 2004).

En todos los modelos se aplicaron transformaciones logarítmicas de las variables dependientes e independientes para lograr la homogeneidad de las varianzas.

Posteriormente se seleccionó uno que contuviera las mismas variables independientes para los modelos correspondientes a cada compartimento aéreo, fuste, ramas, conos, acículas y biomasa total (Parresol, 1999). Como criterio de selección se empleó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error cuadrático promedio (ECMP) de los modelos ajustados para cada compartimento. 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 particionar la misma. Para ello se contrastaron 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 último test si el modelo es bueno, la regresión coincide con la bisectriz del primer cuadrante, contrastándose mediante la prueba de F, al 0,05 % 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

En la Tabla 2 se presenta un resumen de valores de biomasa para los diferentes compartimentos Bac, Br<5cm, Br>5cm, Btr, Bc, Bf y biomasa total del árbol Bt resultantes de los trabajos de campo y laboratorio.

Tabla 2: Valores promedio, máximo, mínimo de la biomasa de los diferentes compartimentos aéreos de árboles de *Pinus taeda*.

Mean, maximum and minimum value of the compartments of aboveground biomass of *Pinus taeda* trees.

Zona		edad	Bac	Br < 5cm	Br > 5cm	Btr	Bc	Bf	Bt
		años	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	mínimo	3	2	2	0,1	2	0,01	3	8
	máximo	25	123	237	352	505	69	1225	1867
	promedio	13	28	57	56	87	7	353	473
2	mínimo	3	3	2	0,1	2	0,01	3	8
	máximo	10	39	58	47	86	20	209	331
	promedio	6	12	20	11	25	2	52	90

Bt: biomasa total kg; Bf: biomasa fuste kg; Bc: biomasa conos kg; Btr: biomasa total ramas kg; Br>5cm:biomasa ramas mayores a 5cm kg; BR<5cm:biomasa ramas < a 5cm kg; Bac: biomasa acículas kg

De las funciones de biomasa ajustadas, el modelo  $Ln(Y)=\beta_0+\beta_1Ln(dap)+\beta_2D+\varepsilon$ , fue el que mejores ajustes presentó para todos los compartimentos, salvo para el caso de  $Ln(Bf)$ . En este caso ajustó mejor empleando como variables independientes a  $Ln(dap)+Ln(h)$ , pero por cuestiones prácticas, se optó por elegir la misma variable regresora para todos los modelos. La variable “dummy” D adoptó el valor 0 para la zona 1, mientras que para la zona 2 D=1.

En la Tabla 3 se presentan los modelos ajustados para la estimación de la biomasa Total Árbol; Biomasa de Fuste; Biomasa Conos; Biomasa Total Ramas; Biomasa Ramas > a 5cm; Biomasa Ramas < a 5 cm y Biomasa de Acículas en función del dap, por zonas, como también el factor de corrección de la discrepancia logarítmica (Fc) (Meyer, 1949). Este factor se aplica al antilogaritmo de la biomasa estimada. Mientras que en la Tabla 4 se presentan los resultados del ANOVA de las distintas funciones. En general se obtuvieron muy buenos ajustes para los distintos compartimentos excepto para el caso de biomasa de conos y biomasa de ramas > a 5 cm, que arrojaron como resultado coeficientes de determinación ( $R^2$ ) bajos, 0,62 y 0,72 respectivamente. También se puede observar que, para la biomasa total y biomasa de fuste, hubo diferencias significativas para el efecto zona (variable auxiliar), no resultando significativa para la biomasa de los demás compartimentos.

Tabla 3: Funciones de biomasa aérea para árboles de *Pinus taeda* para los diferentes compartimentos, por zona agroecológica.

Prediction models for aboveground biomass compartments of *Pinus taeda* by agroecological zone.

Compartimento	Zona 1	Zona 2	R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	ECMP	Fc
<i>Ln(Bt)</i>	- 3,09 + 2,62*Ln(dap)	- 3,18 + 2,62*Ln(dap)	0,97	0,05	1,03
<i>Ln(Bf)</i>	- 4,91 + 3,04*Ln(dap)	- 5,02 + 3,04*Ln(dap)	0,96	0,11	1,06
<i>Ln(Bc)</i>	- 16,77+ 4,91*Ln(dap)	- 16,95 + 4,91*Ln(dap)	0,62	2,57	3,61
<i>Ln(Brt)</i>	- 3,63 + 2,28*Ln(dap)	- 3,633 + 2,28*Ln(dap)	0,91	0,15	1,08
<i>Ln(Br) &gt; a 5cm</i>	- 12,78 + 4,45*Ln(dap)	- 12,74 + 4,45*Ln(dap)	0,72	0,89	1,56
<i>Ln(Br) &lt; a 5cm</i>	- 2,60 + 1,90*Ln(dap)	- 2,63 + 1,90*Ln(dap)	0,89	0,13	1,07
<i>Ln(Bac)</i>	- 1,67 + 1,44*Ln(dap)	- 1,69 + 1,44*Ln(dap)	0,82	0,12	1,06

Bt: biomasa total kg; Bf: biomasa fuste kg; Bc: biomasa conos kg; Btr: biomasa total ramas kg; Br>5cm:biomasa ramas mayores a 5cm kg; BR<5cm:biomasa ramas < a 5cm kg; Bac: biomasa acículas kg; R2 : coeficiente de determinación; EMCP: error cuadrático medio; Fc: coeficiente de Meyer; dap: diámetro a 1,3 m cm

Tabla 4: Valores de *p* correspondientes a los coeficientes de funciones de biomasa por compartimento ajustados para árboles de *Pinus taeda* en las zonas bajo estudio

*p*-value of the coefficients of the prediction models of aboveground biomass compartments of *Pinus taeda* by zone

	<i>ln(Bt)</i>	<i>Ln(BF)</i>	<i>Ln(Bc)</i>	<i>Ln(Brt)</i>	<i>Ln(Br) &gt;5cm</i>	<i>Ln(Br) &lt;5cm</i>	<i>Ln(Bac)</i>
	<i>p</i> -valor	<i>p</i> -valor	<i>p</i> -valor				
Constante	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>Ln(dap)</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Zona*Ln (dap)	<0,0001	<0,0001	0,2941	0,922	0,698	0,3066	0,4799

Bt: biomasa total; Bf: biomasa fuste; Bc: biomasa conos; Btr: biomasa total ramas; Br>5cm:biomasa ramas mayores a 5cm; Br<5cm:biomasa ramas menores a 5cm; Bac: biomasa acícula

En las Figuras 1 y 2 se puede observar la dispersión de la biomasa total y de fuste, por zonas en función del diámetro (dap). En la zona 1 se observa una tendencia a mayor acumulación de biomasa en fuste. Oportunamente Fassola *et al.* (2007) habían determinado que las funciones de volumen para ambas zonas tenían pendientes diferentes, razón por la cual ajustaron un modelo para cada una de ellas al igual que para las funciones de forma. Esto está indicando que el patrón de acumulación en fuste es diferente y podrían también estar afectando con diferentes densidades básicas entre ambas zonas agroecológicas. Mientras que en las Figuras 3 y 4 se pueden observar los residuales de los modelos ajustados para la biomasa total y la biomasa de fuste de *Pinus taeda*. En la Figura 3 es posible observar que para valores bajos de biomasa total se produce una subestimación de la misma.

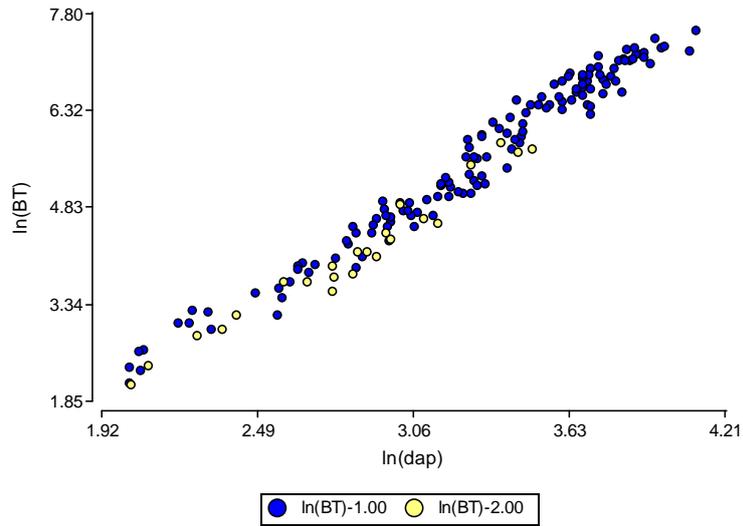


Figura 1: Biomasa total de *Pinus taeda* observada por zona en función del dap  
 Observed total biomass of *Pinus taeda* by zone in relationship to dbh

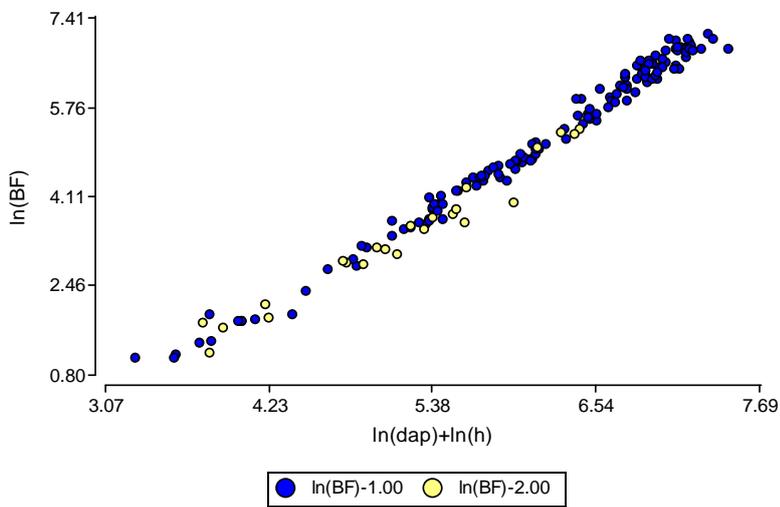


Figura 2: Biomasa de fuste de *Pinus taeda* observada por zona en función del dap  
 Observed stem biomass of *Pinus taeda* by zone in relationship to dbh

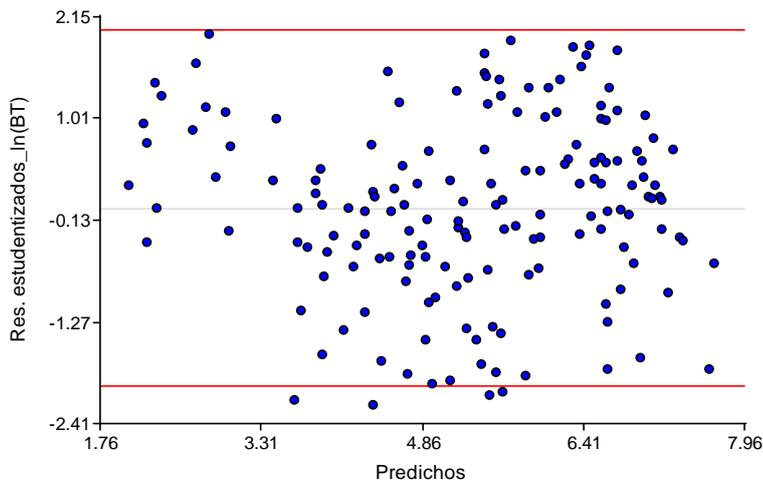


Figura 3: Residuos de la biomasa total observada versus estimada de *Pinus taeda*  
 Residuals of the observed vs. predicted total biomass of *Pinus taeda*

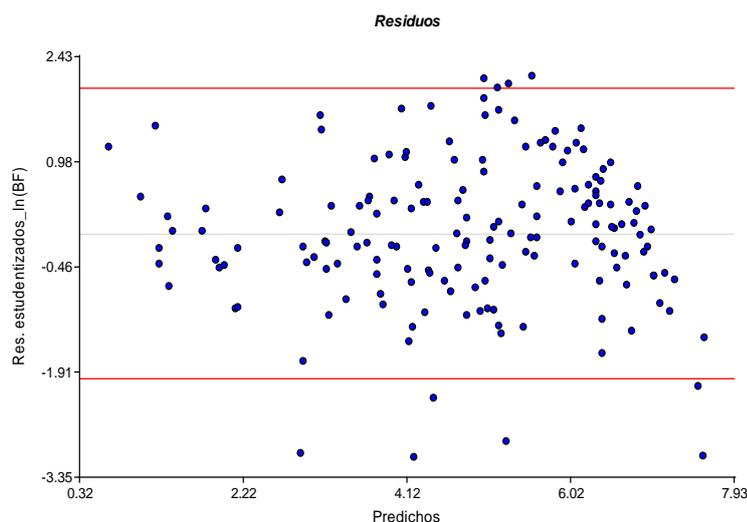


Figura 4: Residuos de la biomasa de fuste observada versus estimada de *Pinus taeda*  
Residuals of the observed vs. predicted of stem biomass of *Pinus taeda*

Efectuada la prueba simultánea de F (Huang *et al.*, 2003; Infostat, 2004), la misma arrojó como resultado que no debía rechazarse la hipótesis nula,  $\beta_0 = 0$  y  $\beta_1 = 1$ , excepto en el caso de la biomasa total y biomasa de fuste de la zona 2, Sur de Misiones y NE de Corrientes (Tabla 5).

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 *Pinus taeda*,

Simultaneous F-test for the coefficients of the regression model between observed and predicted values of aboveground biomass of *Pinus taeda*,

variable	zona1			zona2		
obs. vs. est.	$\beta_0$	$\beta_1$	hip. p-valor	b0	b1	hip. p-valor
<i>Ln(Bt)</i>	-0,01	1	0,994	0,26	0,9	0,0028
<i>Ln(Bf)</i>	-0,03	1,01	0,8344	0,1	0,92	0,0011
<i>Ln(Btr)</i>	0,02	1	0,951	-0,04	1,02	0,9714
<i>Ln(Br) &gt; 5 cm</i>	0,13	0,96	0,882	-0,33	1,33	0,661
<i>Ln(Br) &lt; 5 cm</i>	0,06	0,99	0,8808	-0,27	1,08	0,4662
<i>Ln(Bac)</i>	-0,08	1,01	0,5955	0,07	0,96	0,8449
<i>Ln(Bc)</i>	-0,01	1	0,9969	-0,38	0,99	0,8731

$\beta_0$ : constante;  $\beta_1$ : coeficiente de la regresión; Bt: biomasa total kg; Bf: biomasa fuste kg; Bc: biomasa conos kg; Btr: biomasa total ramas kg; Br>5cm:biomasa ramas mayores a 5cm kg; BR<5cm:biomasa ramas < a 5cm kg; Bac: biomasa acículas kg; hip. p-valor: p valor de comprobación simultánea de hipótesis  $\beta_0 = 0$  y  $\beta_1 = 1$

Si bien el test de F simultáneo “es intuitivamente el más razonable”, en numerosas ocasiones lleva a rechazar modelos apropiados (Huang, *et al.*, 2003). En la Figura 5 se observa la representación gráfica de los *Ln(Bt)* y *Ln(Bf)* observados y estimados para la zona 2, reflejando estas que debieran emplearse otros criterios para seleccionarlo o descartar estos modelos.

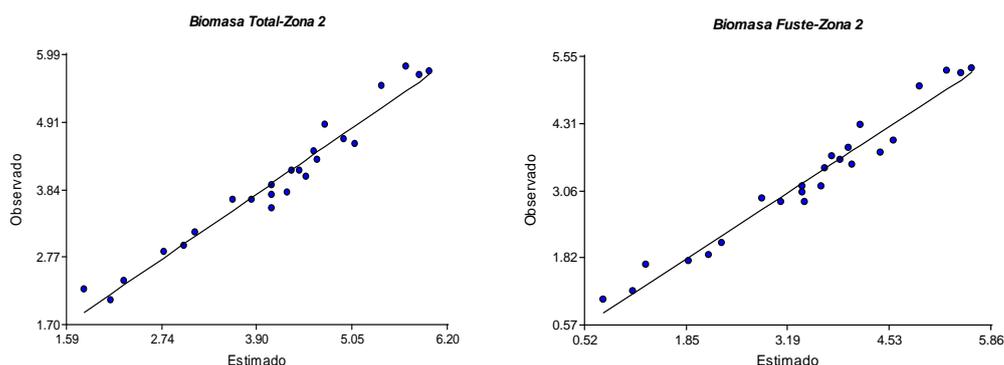


Figura 5. Ln de la biomasa total observada vs estimada y del Ln de la biomasa de fuste observada vs estimada de *Pinus taeda* para la zona 2, sur de Misiones y NE de Corrientes.

Ln of observed vs. estimated total biomass and Ln of observed vs. estimated stem biomass of *Pinus taeda* for zone, south of Misiones and NE of Corrientes.

Por ello se corroboraron los errores porcentuales de estimación de la biomasa entre los distintos compartimentos aéreos (Tabla 6). Esto evidenció que los errores de estimación de la biomasa total y de fuste para la zona 2 son lo suficientemente bajos como para emplear los modelos ajustados hasta tanto se cuente con mayor información para proceder a un nuevo ajuste, ya que sólo se cuenta con 24 ejemplares apeados. También se observa (Tabla 6) que los errores de estimación de ramas > a 5 cm y < de 5 cm para la zona 2 son elevados, al igual que el error de estimación de la biomasa de conos determinado para la zona 1, razón por la cual no se recomienda su empleo obtener cautela al hacerlo y extraer conclusiones de hacerlo.

Tabla 6. Error promedio de estimación de la biomasa de los compartimentos aéreos de *Pinus taeda* para ambas zonas.

Mean error of estimation of aboveground biomass of *Pinus taeda* by zone.

error de estimación por compartimento (%)							
Zona	Bt	Bf	Btr	Br > 5cm	Br < 5cm	Bac	Bc
Zona 1	-0,20	-0,78	-0,53	-5,13	-0,99	-5,16	43,03
Zona 2	-2,95	-4,74	-2,76	11,06	-7,79	-2,45	-1,85

Bt: biomasa total kg; Bf: biomasa fuste kg; Bc: biomasa conos kg; Btr: biomasa total ramas kg; Br>5cm:biomasa ramas mayores a 5cm kg; BR<5cm:biomasa ramas < a 5cm kg; Bac: biomasa acículas kg

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos ajustados constituyen una herramienta flexible para cuantificar la biomasa aérea en plantaciones de *Pinus taeda* en evaluaciones de carácter regional, aunque debe reforzarse a futuro la intensidad de muestreo en la zona Sur de la provincia de Misiones y NE de Corrientes. Ello con miras a contar con una herramienta básica para poder determinar el CO<sub>2</sub> fijado, como también para evaluar el potencial para producir energía a partir de la biomasa de sus compartimentos aéreos.

Al respecto cabe señalar la necesidad de continuar los estudios tendientes a lograr mejores ajustes para predecir la biomasa del compartimento de ramas, discriminadas por tamaño, no con el propósito de su empleo dendro-energético, ya que se estaría alterando la sustentabilidad de las plantaciones dada la cantidad de nutrientes extraídos y la necesidad del

empleo de métodos de cosecha que concentran los residuos en sectores localizados del rodal, sino para interpretar más adecuadamente el ciclo de nutrientes, incluido el de carbono.

Estas herramientas conjugadas con simuladores de crecimiento son esenciales para contribuir a cuantificar la “huella de carbono” de la producción forestal regional, como también de la agroforestal. El determinarla contribuirá a mantener la competitividad del sector forestal y agroalimentario de la región, siendo en este último caso un requerimiento perentorio dada la importancia de los sistemas agroforestales y a que las cadenas de supermercados comenzarán a exigir la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adegbidi, H.G.; Jokela, E.J.; Comerford, N.B.; Barros, N.F. 2001. Biomass development for intensively manager lobbly pine plantations growing on Spodosols in the Southern USA. *Forest Ecology and Management* 167 (2002) 91-102,
- Bravo, F. 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural. Pp.315
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: a Primer, FAO Forestry. Paper 134. Roma,
- Brown, S.; Lugo, A.E. 1992. Aboveground Biomass Estimates for Tropical Moist Forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17:8-18
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II. ACME. Buenos Aires. 85 pp
- Cunia, T.; Briggs, R. D. 1985 Forcing additivity of biomass tables use of generalized least squared methods. *Canadian Journal of Forest Research* 15(1): 23-28
- Delaney, M.; Brown, S.; Lugo, A.E.; Torrez Lezama, A.; Bello Quintero, N. 1997, The Distribution of Organic Carbon in Major Components of Forests Located in Five Life Zones of Venezuela. *Journal of Tropical Ecology* 13: 697-708
- De Lungo, A.; Ball, J.; Carle, J. 2006. Global planted forests thematic study: results and analysis. *Planted Forests and Trees*. FAO. Working Paper 38. Rome. [www.fao.org/forestry/site/10368/en](http://www.fao.org/forestry/site/10368/en)
- du Toit, B.; Smith, C.; Carlson, C.; Esprey, L.; Allen, R.; Little, K. 1998. Eucalyptus and Pine Plantations in South Africa. In *Workshop Proceedings: Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests*. Pietermaritzburg. South Africa. CIFOR. Pp 23-30.
- FAO. 1995. Caso de Estudio: Autoproducción de Electricidad a partir de Residuos de Madera y Leña en la República Argentina. por Ing. Beaumont Roveda Eduardo. Departamento de Montes. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0p.htm>
- Fassola, H. E.; Crechi, E.H.; Keller, A. E.; Barth, S.; Fernandez T., E. 2007. “Funciones y algoritmos dasométricos para manejo silvícola intensivo, de aplicación en plantaciones forestales orientadas a producción de madera de alto valor agregado”. Informe Técnico N° 61 PAN 571. Inta EEA Montecarlo.104p.
- Fassola, H.E.; Crechi, E.H.; Pinazo, M.A.; Videla, D.; Keller, A.E.; Barth S. 2009, Acumulación de biomasa y producción de madera de calidad de *Pinus taeda*: dos objetivos que imponen la silvicultura y los regímenes silvopastoriles actuales. En actas: 1er Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Posadas 14 al 16 de Mayo de 2009. Pág 183-193. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Fassola, H.E.; Pando, V.; Bravo Oviedo, F. 2010. Modelos de biomasa aérea para *Pinus taeda* bajo distintos manejos silvícolas en la región subtropical sin estación seca de Argentina. Informe inédito. En preparación. INTA EEA Montecarlo.
- Goya, J.F.; Pérez, C.; Frangi, J.L.; Fernández, R.A. 2003, Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. *Ecología Austral* 13(2): 139-150
- Goya, J.F.; Pérez, C.; Frangi, J.L.; Fernández, R.A.; Lupi, A.M.; Kuzdra, H. 2005, Ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L, en el norte de la provincia de Misiones. II estudio de diferentes edades de plantación. Informe final PIA (7/98) SAGPyA
- Huang, S.; Yang, Y.; Wang, Y. 2003. A Critical Look at Procedures for Validating Growth and Yield Models. En: Amaro A., Reed D., Soares P. (Eds.) *Modelling Forest Systems*. CABI-Publishings, Wallingford, pp. 271-293.
- InfoStat. 2004. *InfoStat versión 2004*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 314 pp.
- Köhl, M.; Magnussen, S.; Marchetti, M. 2006, *Sampling Methods. Remote Sensing and GIS. Multiresource Forest Inventory*. Ed. Springer. Berlin. Heidelberg. Serie Tropical Forestry. Pp 17-69.
- Meyer, H. A. 1941. Correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. *Pensylvania Forest School Research. Paper 7*. 3 p.
- Návar, J.; Nájera, J.; Jurado, E. 2002. Biomass estimation equations in the Tamaulipan thornscrub of north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. 52: 167d179
- Papadakis, J. 1974. Ecología. Posibilidades Agropecuarias de las Provincias Argentinas. Fascículo 3. Enciclopedia Arg. de Agric. y Jardinería. Ed. ACME. 86p.
- Parresol, B.R. (1999) Assessing tree and stand biomass a review with examples and critical comparison. *Forest Science*, 45:573-593.
- Pinazo, M. A.; Martiarena, R. A.; Von Wallis, A.; Crechi, E.; Pahr, N. M.; Knebel, O. 2007. 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* 36 (1): 5-20

- Reed, D.; Green, E. 1985. A method of forcing additivity of biomass tables when using nonlinear models. *Can. J. For. Res.* Vol. 15: 1184-1187.
- Rodríguez, M. E.; Cardozo, A.; Ruiz Díaz, M.; Prado, D. E. 2004. Los bosques nativos misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas. Disponible en: *Ecología y Manejo de los bosques de Argentina*. Ed.: Arturi M.; Frangi J.; Goya, J. EDULP. La Plata. P.p 3-33.
- Saldarriaga, J.; West, D. C.; Tharp, M. L.; Uhl, Ch. 1988. Long-Term Chronosequence of Forest Succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938-958.
- Samuelson, L.J.; Johnsen, K.; Stokes, T. 2004. Production, allocation and stemwood growth efficiency of *Pinus taeda* L. stands in response to six years of intensive management. *Forest Ecology and Management* 192:59-70.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2008. Datos Estadísticos. Período 1981-1990. Ciudades de Iguazú y Posadas. 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>
- Simpson, J.A.; Osborne, D.O.; Xu, Z. H. 1998. Pine Plantations on the Coastal Lowlands of Subtropical Queensland. Australia. In *Workshop Proceedings: Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests*. Pietermaritzburg. South Africa. CIFOR. Pp 61-68.
- Whittaker, R.H.; Woodwell, G. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest. New York. *J. Ecol.* 56:1-25.