

DETERMINACIÓN DE LA BIOMASA AEREA DE PLANTACIONES DE *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE EN EL NORTE DE LA PROVINCIA DE MISIONES *

AERIAL BIOMASS DETERMINATION IN *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE PLANTATION IN NORTHERN MISIONES.

Fernández Tschieder E.¹, R. Martiarena², J. Goya¹, A. Lupi³, J. Frangi¹

¹ LISEA. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. Calle 119 y 60, La Plata.

lisea@ceres.agro.unlp.edu.ar

² EEA Montecarlo INTA. Av. Del Libertador 2472, Montecarlo, Misiones.

³ Instituto de Suelos INTA Castelar. Los Reseros y Las Cabañas. Villa Udaondo, Castelar. Pcia de Buenos Aires.

Summary

The present study was carried out in three *Araucaria angustifolia* plantations of different age class defined in 20-25, 30-35 and 40-45 years old in northern Misiones. Three equations for dry weight estimation of tree aboveground components were fitted. The biomass per-hectare was estimated by applying the selected equations to each tree of the treatments plots. The three evaluated equations showed better fitting for the bole and total dry weight than for the leaves and branches components. No trends in the residuals distribution were observed. The total aboveground biomass was 121,6 Mg.ha⁻¹ for the 20-25 age class, 137,2 Mg.ha⁻¹ for the 30-35 class and 245,3 Mg.ha⁻¹ for the 40-45 class. Independently from age, the bole biomass represented the higher proportion of the total above ground biomass, the leaves biomass percentage diminished with the age, while the branches biomass percentage did not show any relation with age.

Key words: equation fitting, aerial biomass, *Araucaria angustifolia*.

Resumen

El presente estudio se llevó a cabo en plantaciones de *Araucaria angustifolia* de diferentes clase de edad, definidas entre 20-25, 30-35 y 40-45 años, localizadas en el norte de la Provincia de Misiones. Se ajustaron tres ecuaciones para determinar el peso seco de los diferentes compartimentos de la parte aérea de los árboles. Se estimó la biomasa por hectárea mediante la aplicación a los individuos de las parcelas de las ecuaciones seleccionadas. Las 3 ecuaciones evaluadas mostraron mejores ajustes para el compartimento fuste y el peso seco total que para los compartimentos hojas y ramas. En ningún caso se observaron tendencias en la distribución de los residuos. La biomasa aérea total resultó 121,6 Mg.ha⁻¹ para la clase de edad 20-25 años, 137,2 Mg.ha⁻¹ para la clase 30-35 años y 245,3 Mg.ha⁻¹ para la clase 40-45 años. Independientemente de la edad la biomasa del fuste representó el mayor porcentaje de la biomasa aérea total, el porcentaje de la biomasa de las hojas disminuyó desde las menores hacia las mayores edades, mientras que el porcentaje de biomasa de las ramas no mostró ninguna relación con la edad.

Palabras clave: ajuste de ecuaciones, biomasa aérea, *Araucaria angustifolia*.

Introducción

Araucaria angustifolia es una conífera nativa de América del Sur cuya distribución se extiende por un área fitogeográfica que abarca parte de Brasil y Argentina. En esta última sólo

* Trabajo parcialmente financiado por el Proyecto Forestal de Desarrollo

ocupa una región marginal del área de distribución natural, la que se extiende por el Nordeste de la Provincia de Misiones.

Hoy en día existe un considerable interés en la estimación de la biomasa de los bosques tanto para fines comerciales y estudios científicos sobre la productividad de los ecosistemas, flujos de energía y nutrientes, como para la valoración de los cambios producidos en las tierras forestales, especialmente las tropicales, al ciclo global del carbono (Parresol, 1999).

Dentro de los límites del ecosistema forestal, en sentido vertical la altura del vuelo y la profundidad de exploración radicular, los nutrientes se encuentran distribuidos en varios reservorios, o compartimentos, tanto de la biomasa, de la necromasa, y del suelo. (Fernández, 2002).

El establecimiento de una relación armónica entre las decisiones de manejo forestal y las características del balance y circulación de los nutrientes es un aspecto clave para el mantenimiento de la productividad de los sitios. La estimación precisa del capital y flujo de nutrientes de una forestación depende de la correcta evaluación de la biomasa y su productividad (Binkley et al., 1997).

Todos los métodos para la estimación de la biomasa deben involucrar, al menos en la etapa de desarrollo, la predicción del peso seco de los árboles y la sumatoria de este para la obtención de la biomasa por hectárea. El procedimiento más común para la estimación del peso seco de los árboles es a través del uso de técnicas de regresión. Se determina el peso seco de los compartimentos de cada árbol y estos se relacionan con una o más variables dimensionales de los individuos (Parresol, 1999).

Los objetivos del presente trabajo fueron el ajuste de ecuaciones para la predicción del peso seco de los diferentes compartimentos de árboles de *Araucaria angustifolia* y la estimación de la biomasa aérea de plantaciones de *Araucaria angustifolia* de diferentes edades en el Norte de la Provincia de Misiones.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en rodales de *Araucaria angustifolia* ubicados en el Norte de la provincia de Misiones, seleccionándose dos sitios de muestreo:

- Campo Anexo Manuel Belgrano: propiedad del INTA-EEA Montecarlo, localizado próximo a San Antonio, Dpto. Gral. Manuel Belgrano, NE de la Provincia de Misiones. Geográficamente se ubica a los 20° 04' de latitud sur y 53° 45' de longitud oeste, a unos 600 m.s.n.m. El clima de la región se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 19,4° C, una máxima absoluta de 35,5° C y mínimas absolutas de -7° C. La precipitación media anual oscila alrededor de 2000 mm y su distribución es de tipo isohigro. Las heladas que se registran son relativamente intensas debido a la altitud que posee. El suelo del sitio se clasifica como apto para araucaria (Fernández et al., 1999), pertenece al gran grupo kandiudaf, es rojo, bien drenado, con profundidad efectiva superior a los 2 metros. El relieve es suave ondulado con pendientes del orden del 8%. El uso anterior de este sitio fue un monte nativo.

- Puerto Laharrague: perteneciente a la empresa Puerto Laharrague S.A., próximo a la ciudad de Montecarlo, Departamento del mismo nombre, Provincia de Misiones. Geográficamente se ubica aproximadamente a los 26° 30' de latitud sur y los 54° 40' de longitud oeste. El clima de la zona se caracteriza por presentar una temperatura media anual entre 20 y 21°C y una amplitud media anual de 11°C. Las precipitaciones varían en torno a los 2000 mm anuales y su distribución es de tipo isohigro. Los suelos de estos rodales también se clasifican como aptos para araucaria, y pertenecen al gran grupo kandiudult, son rojos, bien drenados, con profundidad efectiva superior a los 2 metros. El relieve es suave ondulado a ondulado con

pendientes del orden del 8 al 15%. El uso anterior de este sitio fue cultivo de Tung (*Eleurites fordii*).

Determinación del Peso seco de árboles y biomasa aérea

En lo referente a las opciones metodológicas que este tipo de estudios plantea, se ha optado por la construcción de una cronosecuencia (Sprugel, 1984; Turner, 1986; Ranger et al., 1995). Ello implica la selección de rodales de diferentes edades asumiendo que representan distintos estados de desarrollo de un mismo rodal. Esta alternativa permite obviar la necesidad de remediación y monitoreo a largo plazo que impone el estudio de cohortes de organismos longevos.

Se utilizaron plantaciones de tres clases de edad, definidas entre 20-25 años, 30-35 años y 40-45 años. Para cada una de ellas se instalaron tres parcelas circulares de 600 m². En cada parcela se midió el Dap (diámetro a 1,30 metros de altura) y altura (H) de todos los individuos. Las parcelas pertenecientes a las clases de edad 20-25 y 30-35 años se encuentran ubicadas en el campo Puerto Laharrague, mientras que las parcelas de la clase 40-45 años se encuentran en el Campo Anexo Manuel Belgrano. En la Tabla 1 pueden observarse las características estructurales de las plantaciones de *Araucaria angustifolia* de diferentes clases de edad.

TABLA 1.- Parámetros estructurales de plantaciones de *Araucaria angustifolia* de distintas edades, Provincia de Misiones.

Clase de edad (años)	Individuos (Ind.ha ⁻¹)	sdt	AB (m ²)	sdt	Hm (m)	sdt
20-25	306	21	19,1	2,6	17,3	0,52
30-35	206	8	21,4	1,4	18,6	0,05
40-45	300	24	34,5	1,8	22,7	0,37

(Ind.ha⁻¹) individuos por hectárea; (sdt) desvío estándar; (AB) área basal; (Hm) altura media.

El peso de los árboles se obtuvo mediante técnicas de análisis dimensional (Whittaker & Woodwell, 1968). En total se apearon 27 individuos, tres árboles por parcela, comprendidos en el rango de distribución diamétrica existente en las parcelas. En total se cosecharon 9 árboles para cada una de las clases de edad.

El material se separó y pesó en el campo (peso fresco) en los siguientes compartimentos: (a) fuste hasta 5 cm de diámetro; (b) ramas entre 1 y 5 cm de diámetro en los extremos; (c) ramas mayores a 5 cm de diámetro en los extremos; (d) ramas secas de cualquier diámetro; (e) hojas; (f) hojas secas y (g) frutos. Se consideró como hoja a la estructura compuesta por hojas verdes más ramas menores a 1 cm de diámetro cubiertas totalmente por estas. El peso del fuste fue determinado por medio de báscula industrial comercial, mientras que el resto del material se lo pesó en el lugar de apeo con una balanza de mayor precisión. El porcentaje de corteza se determinó mediante el peso con y sin corteza de secciones del fuste de distintos diámetros mayores a 5 cm.

Alícuotas de cada uno de los compartimentos de cada individuo fueron secadas a estufa a 70° C hasta peso constante para la determinación del peso seco de cada compartimento. Con estas muestras se determinó un coeficiente de transformación de peso fresco a peso seco de cada compartimento, el cual fue aplicado a la totalidad del material pesado en campo.

Se establecieron relaciones alométricas entre el peso seco de cada compartimento, excepto el g, y el total vs. Dap, Dap², altura o alguna combinación de ellas (Crow, 1988). Se ajustaron tres ecuaciones (TABLA 2). Para obtener las ecuaciones de peso seco y sus estadísticos se utilizaron técnicas de regresión lineal simple y la prueba de F al 95 % significación.

Los estadísticos analizados fueron el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), error estándar de la estimación (E) y distribución de los residuos (Sokal & Rohlf, 1979). Se seleccionaron las ecuaciones que en conjunto presentaron altos valores de R^2_{aj} , menores valores de E y ausencia de tendencias en la distribución gráfica de los residuos.

TABLA 2.- Ecuaciones para la estimación del peso seco de los compartimentos de árboles de *Araucaria angustifolia*.

Ecuación N°	Fórmula Matemática
1	Ps (kg) = a + b * Dap (cm)
2	Ps (kg) = a + b * Dap ² (cm ²)
3	Ps (kg) = a + b * Dap ² (m ²)*H (m)

Ps: peso seco; Dap: diámetro a 1,30 m de altura; H: altura; a y b parámetros de la ecuación a determinar.

La biomasa de cada compartimento fue estimada mediante la aplicación a cada individuo de las parcelas de las ecuaciones seleccionadas, seguido de la sumatoria de todos los pesos secos obtenidos. Estos valores fueron luego referidos a la hectárea (Baskerville, 1965). La biomasa aérea total por parcela se calculó como la sumatoria de la biomasa de los diferentes compartimentos.

Resultados y Discusión

Peso seco y Ajuste de Ecuaciones

El peso seco de los compartimentos de los 27 árboles cosechados de *Araucaria angustifolia* y sus características dendrométricas se presentan en la TABLA 3. El porcentaje de corteza obtenido para las tres clases de edad fue del 18%.

TABLA 3.- Características dendrométricas y peso seco por compartimento de 27 árboles de tres edades de *Araucaria angustifolia*.

Árbol N°	Clase de Edad (años)	Peso seco (Kg)									Total
		Dap (cm)	H (m)	Hojas	Hojas secas	Ramas 1-5 cm	Ramas > 5 cm	Ramas secas	Fuste c/c ^a	Frutos	
1	20-25	23,4	16,6	24,3	2,1	18,2		6,3	184,4		235,3
2	20-25	28,5	18,3	56,4	0,7	42,5		9,0	261,9		370,5
3	20-25	25,6	18,6	34,3	0,5	29,4		3,4	218,7	1,1	287,4
4	20-25	24,5	16,7	52,2	2,4	14,0	4,6	1,4	208,7		283,4
5	20-25	29	19,6	56,4	2,3	30,1			255,5		344,3
6	20-25	34,6	18,6	91,0	1,8	61,9		8,7	377,4		540,8
7	20-25	22,1	16,4	37,2	1,4	20,2		4,7	220,4		283,9
8	20-25	28,9	17,2	63,5	0,6	52,2	3,4	3,2	229,4		352,2
9	20-25	31,3	19,2	60,6	0,8	49,0	0,5	5,2	285,1		401,2
10	30-35	37,2	21,3	108,4		72,5	127,5	2,1	492,8		803,3
11	30-35	35,4	21,8	85,7	3,1	54,5	29,5		493,1		665,8
12	30-35	30,5	19,1	106,3		75,0	83,2		370,3		634,7
13	30-35	34,2	20,8	122,6	0,6	65,4	37,8		426,3		652,7
14	30-35	30,4	18,5	53,4	1,7	42,1	41,6	1,6	418,3		558,6
15	30-35	39,9	19,0	82,0	0,8	65,5	57,3	7,0	507,4		720,0
16	30-35	41,5	20,5	156,4	1,1	35,8	173,5	7,8	656,0		1030,6
17	30-35	32,5	17,7	142,1	0,8	50,4	48,9	2,4	396,3		640,9
18	30-35	40,7	21,5	118,7	1,4	31,4	137,1	3,9	598,2		890,7
19	40-45	31,7	22,5	44,0	0,2	161,9	16,4	7,7	416,2		646,4
20	40-45	36,2	21,4	57,6		55,6	73,8	1,0	535,3		723,3
21	40-45	44,8	22,8	103,8	1,2	52,4	104,4	8,2	737,2	1,9	1009,1
22	40-45	35,8	20,8	51,0	0,2	47,0	52,4	1,3	538,4		690,2
23	40-45	43,5	24,1	156,4	0,5	96,3	103,0	0,5	871,0		1227,7

24	40-45	27,7	17,1	32,9	0,4	31,3	6,0	1,6	252,1	0,4	324,7
25	40-45	37,3	21,6	78,0	1,1	45,4	61,5	2,7	551,4	0,4	740,6
26	40-45	28,8	20,7	24,0	0,4	23,7	10,5	4,7	321,3	0,1	384,7
27	40-45	59,2	25,5	176,5	5,5	37,9	205,3		1449,4	0,7	1875,3

^a Fuste con corteza; (Dap) diámetro a 1,30 m de altura; (H) altura.

En los árboles de 20-25 años de edad las ramas mayores a 5 cm de diámetro prácticamente no existen. En las edades mayores la participación en el compartimento ramas, y por ende en la biomasa total, de las ramas mayores a 5 cm de diámetro aumenta (TABLA 3).

Debido a que los ajustes de las tres ecuaciones analizadas para los compartimentos hojas secas, ramas 1-5 cm y ramas secas no fueron satisfactorios se redefinieron los compartimentos de la biomasa aérea de *Araucaria angustifolia*. El compartimento hojas quedó conformado por la suma de hojas verdes más hojas secas y el compartimento ramas por la suma de ramas 1-5 cm, ramas > 5 cm y ramas secas; el compartimento fuste no tuvo modificaciones.

Las tres ecuaciones evaluadas para *Araucaria angustifolia* mostraron un muy buen ajuste a los datos para el compartimento fuste y el peso seco total. Para los compartimentos hojas y ramas el ajuste de las ecuaciones mejoró luego de la redefinición de los compartimentos (TABLA 4). Para ninguno de los tres modelos se encontraron tendencias en la distribución de los residuos de los diferentes compartimentos de la biomasa aérea.

TABLA 4.- Coeficientes y estadísticos de las ecuaciones de regresión ajustadas para la estimación del peso seco de los compartimentos de árboles *Araucaria angustifolia*.

Compartimento	Ecuación	a	b	R ² aj	E	F	P
Hojas	1*	-67,013	4,389	0,61	27,12	42,22	p < 0,05
Hojas	2	15,206	0,055	0,58	28,20	37,16	p < 0,05
Hojas	3	31,725	19,859	0,54	29,73	30,94	p < 0,05
Ramas	1*	-137,238	7,145	0,68	37,87	57,38	p < 0,05
Ramas	2	-1,171	0,088	0,62	41,47	43,72	p < 0,05
Ramas	3	23,592	32,302	0,60	42,81	39,47	p < 0,05
Fuste c/c ^a	1	-635,374	32,154	0,92	76,15	287,38	p < 0,05
Fuste c/c ^a	2	-55,623	0,422	0,96	54,68	580,99	p < 0,05
Fuste c/c ^a	3*	52,704	159,516	0,97	43,60	927,93	p < 0,05
Total	1	-840,041	43,706	0,93	93,92	349,10	p < 0,05
Total	2*	-41,713	0,565	0,94	86,10	420,06	p < 0,05
Total	3	107,951	211,773	0,94	87,29	408,03	p < 0,05

^a Fuste con corteza; *modelos seleccionados; a y b parámetros de la ecuación; (R²aj) coeficiente de determinación ajustado; (E) error estándar de la estimación; (F) valor de F; (P) valor de probabilidad.

Se seleccionó la ecuación 2 para el cálculo del peso seco total, la ecuación 3 para el cálculo del peso seco del fuste y la ecuación 1 para el cálculo del peso seco de hojas y ramas. En las figuras 1, 2, 3 y 4 pueden verse los ajustes de las ecuaciones seleccionadas para cada compartimento.

FIGURA 1.- Ajuste de la ecuación seleccionada para la predicción del peso seco del compartimento hojas de *Araucaria angustifolia*.

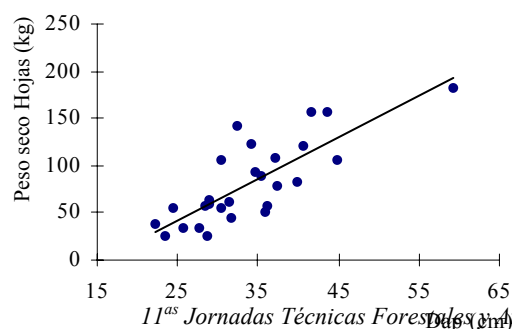


FIGURA 2.- Ajuste de la ecuación seleccionada para la predicción del peso seco del compartimento ramas de *Araucaria angustifolia*.

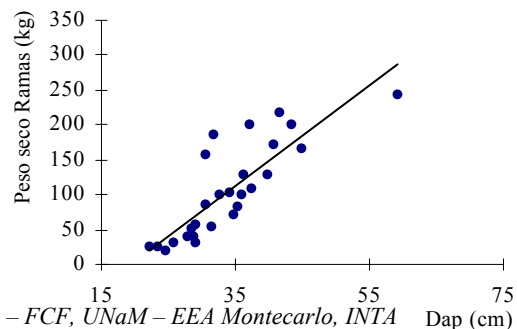


FIGURA 3.- Ajuste de la ecuación seleccionada para la predicción del peso seco del compartimento fuste con corteza de *Araucaria angustifolia*.

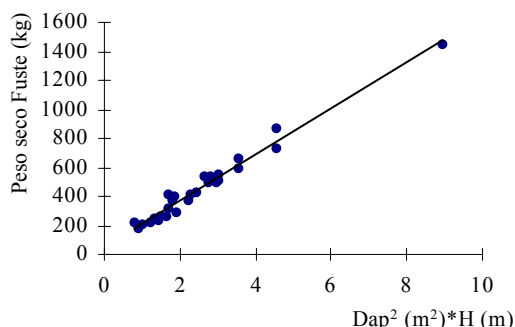
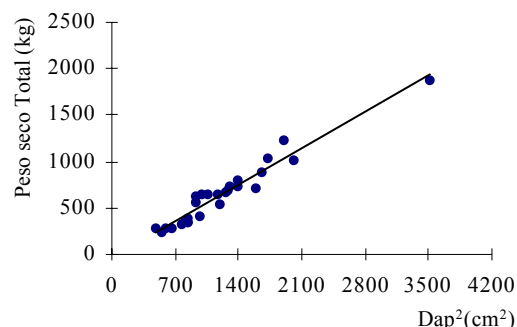


FIGURA 4.- Ajuste de la ecuación seleccionada para la predicción del peso seco total de *Araucaria angustifolia*.



Las ecuaciones seleccionadas para predecir el peso seco del fuste y el total mostraron un ajuste muy preciso a los datos observados, valores de R^2_{aj} de 97% y 94% respectivamente, mientras que las ecuaciones seleccionadas para predecir el peso seco de las hojas y ramas no presentaron valores tan elevados de R^2_{aj} , siguen mostrando un ajuste importante a los datos observados, valores de R^2_{aj} de 61% y 68% respectivamente (TABLA 4). Esta diferencia podría deberse a la más alta correlación del Dap y la altura con las dimensiones del fuste que con otras partes del árbol. Por otra parte, el peso seco del fuste tiene una gran incidencia en el peso seco total.

Biomasa

La biomasa aérea total resultó 121,6 Mg.ha⁻¹ para la clase 20-25 años, 137,2 Mg.ha⁻¹ para la clase 30-35 años y 245,3 Mg.ha⁻¹ para la clase 40-45 años (TABLA 5).

TABLA 5.- Biomasa (\pm sdt) de los compartimentos y total para cada clase de edad de *Araucaria angustifolia*.

Clase de edad (años)	Biomasa (Mg.ha ⁻¹)									
	Hojas	sdt	Ramas	sdt	Fuste s/c ^a	sdt	Corteza	Sdt	Total	sdt
20-25	17,2	2,2	19,4	3,1	69,7	7,5	15,3	1,6	121,6	14,4
30-35	19,0	0,7	25,1	1,0	76,4	2,7	16,8	0,6	137,2	5,0
40-45	29,2	1,4	39,1	1,8	145,1	8,2	31,9	1,8	245,3	13,2

^a Fuste sin corteza; (Mg.ha⁻¹) megagramos por hectáreas; (sdt) desvío estándar.

Para la clase de edad 20-25 años las hojas representaron el 14,2% de la biomasa aérea total, las ramas el 16,0%, el fuste sin corteza 57,3 % y la corteza el 12,6%. Para la clase 30-35 años las hojas representan el 13,8% de la biomasa aérea total, las ramas el 18,3%, el fuste 55,6% y la corteza el 12,2 %. Para la clase 40-45 años las hojas representan el 11,9% de la biomasa aérea total, las ramas el 15,9%, el fuste 59,2% y la corteza el 13%.

Para las tres clases de edad la biomasa del fuste representó el mayor porcentaje de la biomasa aérea total. El porcentaje de la biomasa de las hojas disminuyó desde las edades menores hacia las mayores, mientras que, el porcentaje de biomasa de las ramas no mostró ninguna relación con la edad.

Conclusiones

Las ecuaciones $P_s = -67,01 + 4,389 * Dap$ y $P_s = -137,238 + 7,145 * Dap$ resultaron las más adecuadas para la estimación del peso seco de hojas y ramas respectivamente, para la estimación del peso seco del fuste se seleccionó la ecuación $P_s = 635,374 + 32,302 * Dap^2 * H$,

mientras que la ecuación $Ps = -41,713 + 0,565 * Dap^2$ presentó el mejor comportamiento para la estimación del peso seco total.

La estimación de la biomasa aérea total de *Araucaria angustifolia* mostró que para la clase 20-25 años la misma fue 121,6 Mg.ha⁻¹, para la clase 30-35 años 137,2 Mg.ha⁻¹ y para la clase 40-45 años 245,3 Mg.ha⁻¹. En las 3 clases de edad el fuste con corteza representó aproximadamente el 70% de la biomasa aérea total. La participación porcentual de las hojas en la biomasa aérea total disminuyó desde las menores edades hacia las mayores. El porcentaje de biomasa de las ramas no mostró ninguna relación con la edad.

Bibliografía

BASKERVILLE, G.L. 1965. Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stand. *Ecology*, 46 (6): 867-869.

BINKLEY, D., O'CONNELL, A.M., SANKARAN, K.V. 1997. Stand Development and Productivity. En *Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forest*. E. K. Sadanandan Nambiar and Alan G. Brown Ed, CSIRO Australia: p 419-438.

CROW, T.R. 1988. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. *North J. Appl. For.* 5: 15-22.

FERNÁNDEZ, R. A. Estrategias para minimizar los impactos de la cosecha forestal. Balance de nutrientes y condición física del suelo. 2002. Conferencia. En: *Actas XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, 2002*.

FERNÁNDEZ, R. A.; PAHR, N; LUPI, A. 1999. Aptitud de las tierras para la implantación de bosques. *Provincia de Misiones. Yvyretá* 9: 41-49.

KIMMINS, J.P. 1974. Sustained yield, timber mining, and the concept of ecological rotation; a British Columbian view. *Forest. Chron.* 50:27-31.

PARRESOL, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45 (4): 573-593.

RANGER, J., R. MARQUES, M. COLIN-BELGRAND, N. FLAMMANG & D. GELHAYE. (1995). The Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stand studied using a chronosequence approach. *Forest Ecology and Management* 72: 167-183

SOKAL R.R. & F.J.U. ROHLF. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos de la investigación biológica*. H. Blume Ed, Madrid. 832 pp.

SPRUGEL, D. 1984. Density, biomass, productivity, and nutrient-cycling changes during stand development in wave-regenerated balsam-fir forests. *Ecol. Monog.* 54(2):165-186.

TURNER, J. 1986. Organic matter accumulation in a series of *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management* 17: 231-242.

WHITTAKER, R.H. & WOODWELL, G.M. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. *J. of Ecol.* 56: 1-25.