

Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina

J. F GOYA¹, J.L. FRANGI¹ & F. DALLA TEA²

⁽¹⁾ Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. CC 31, 1900 La Plata, Argentina

⁽²⁾ INTA, Estación Experimental Agropecuaria, Concordia. CC 34, 3200 Concordia, Argentina

GOYA J.F., J.L. FRANGI & F. DALLA TEA. 1997. Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina. Rev. Fac. Agronomía, La Plata 102(1): 11-21.

El objetivo de este trabajo consistió en constatar si existen diferencias en la biomasa aérea y área foliar y, consecuentemente, en la producción y el rendimiento de la masa de madera de plantaciones de *Eucalyptus grandis* ubicadas en los tres tipos de suelos con aptitud forestal de Concordia (31° 23' S; 58° 02' W).

El estudio se realizó en tres rodales experimentales de 0,207 ha con *E. grandis* de procedencia sudafricana y 14 años de edad, con un distanciamiento original de 3 x 3m, localizados, respectivamente, sobre suelos Quartzipsamment Oxico (localmente arenoso), Haplumbrept Fluvéntico (localmente mestizo) y Argiacuol Vértico (localmente arcilloso).

En cada rodal se determinaron los parámetros estructurales densidad, área basal y volumen. Se apearon 22 árboles en el rango diamétrico y de altura presentes en los rodales; y se les midió el peso fresco y seco de los compartimientos fuste > 5cm de diámetro, ramas <5 > 1cm de diámetro, ramas pequeñas < 1cm de diámetro, ramitas del año, hojas y frutos. Se aplicaron los procedimientos del Análisis Dimensional. La biomasa (total y por compartimiento) de cada rodal fue calculada empleando las ecuaciones de regresión obtenidas y las medidas de DAP-altura de todos los árboles presentes en el rodal. El Índice de Área Foliar (IAF) de cada rodal fue obtenido multiplicando su Área Foliar Específica (AFE) por su biomasa foliar. Para calcular el AFE, se midieron 15 grupos de 20 hojas de cada rodal con un planímetro óptico y se las secó hasta peso constante.

Dado que no se hallaron diferencias significativas entre los modelos de los rodales, se emplearon modelos únicos de regresión para la estimación del peso seco de cada compartimiento en los tres sitios. Se observaron diferencias estructurales significativas entre los rodales. El sitio mestizo mostró árboles con diámetros 20-10 % y alturas 35-29% mayores, 31-33% más área basal y 73% más volumen e Incremento Medio Anual (IMA) que los sitios arenoso y arcilloso respectivamente. El IAF fue también mayor en el sitio mestizo. En este sitio, la biomasa de fustes y el IMA fueron 351 Mg.ha⁻¹ y 25 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, respectivamente, y el IAF fue 4,5. Para los sitios arenoso y arcilloso los valores correspondientes de biomasa de fustes, IMA e IAF fueron, respectivamente, 200-201 Mg.ha⁻¹, 14-13 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ y 3,3-3,0. Concluimos que el rendimiento en masa y volumen de madera, está fuertemente influenciado por el tipo de suelo probablemente debido a que la textura limita la disponibilidad de agua en los suelos con textura extrema. Las diferencias en el IMA indican que el turno de máxima producción difiere entre sitios. Los rendimientos en masa de madera de *E. grandis* en el NE de Entre Ríos se encuentran entre los valores más altos informados para esta especie en el hemisferio sur.

Palabras clave: *Eucalyptus grandis*, biomasa, modelos de regresión, índice de área foliar, crecimiento, suelos.

GOYA J.F., J.L. FRANGI & F. DALLA TEA. 1997. Relationship among aboveground biomass, leaf area and soil types in *Eucalyptus grandis* plantations from NE Entre Ríos, Argentina. Rev. Fac. Agronomía, La Plata 102(1): 11-21.

The objective of this work was to determine if there were differences in aboveground biomass and leaf area, and consequently, in wood mass production and yield in *Eucalyptus grandis* plantations grown on three soil forest types in Concordia (31° 23' S, 58° 02' W).

The study was conducted in three 0.207 ha experimental plots of *E. grandis*-south african provenance, 14 yrs old, originally planted at 3 x 3m, respectively located on Oxic Quartzipsamment (locally *arenoso*), Fluventic Haplumbrept (locally *mestizo*) and Vertic Argiacuol (locally *arcilloso*) soils.

The structural parameters measured were density, basal area and volume. Twenty-two trees in the diameter-height range present in the plots were cut for fresh and dry weight measurement of stems >5 cm diameter, branches <5 >1cm diameter, small branches < 1cm diameter, twigs, leaves and fruits. Dimensional analysis procedures were applied. Biomass (total and by compartment) for each plot was calculated using the regression equations obtained and DBH-height measures of all trees in the plot. The Leaf Area Index (LAI) of each plot was obtained multiplying it specific leaf area (SLA) and leaf biomass. To calculate SLA, 15 groups of 20 leaves of each plot were measured with an optical planimeter and dried to constant weight.

A unique model for each tree compartment dry weight estimation was used because there were not significant differences among site models. Significant stand structural differences were observed. The *mestizo* site showed trees with diameters 20-10 % and height 35-29% more length, 31-33% more basal area and 73% higher volume and Mean Annual Increment (MAI) than the *arenoso* and *arcilloso* sites, respectively. The LAI was also higher in the *mestizo* site. In *mestizo* site stem biomass and MAI were 351 Mg.ha⁻¹ and 25 Mg.ha⁻¹.yr⁻¹, respectively, and the LAI attained 4.5. For the *arenoso* and *arcilloso* sites the correspondent stem biomass, MAI and LAI were, respectively, 200-201 Mg.ha⁻¹, 14-13 Mg.ha⁻¹.yr⁻¹ and 3.3-3.0. We conclude that wood mass and volume yield are strongly influenced by the soil type because texture is probably limiting water availability in both textural soil extremes. Differences in MAI indicate that maximum sustained yield differ among sites. *E. grandis* wood mass yields in NE Entre Ríos are similar to the higher figures reported for sites in the southern hemisphere.

Key words: *Eucalyptus grandis*, biomass, regression models, LAI, growth, soils.

INTRODUCCION

Tradicionalmente, la estimación de la biomasa aérea ha sido efectuada para conocer el crecimiento, la productividad y ciclo de nutrientes de ecosistemas forestales naturales e implantados. La estimación de la biomasa con fines aplicados no ha recibido un tratamiento similar a pesar de su interés en la evaluación de las disponibilidades de productos como leña, carbón o subproductos de la madera, que suelen evaluarse a través de estimaciones indirectas de la masa. Desde hace unos años existe una tendencia a valorar los productos no maderables (ramas, hojas y corteza) para la producción de energía y otros usos (Poggiani *et al.*, 1983; Darrow, 1984; Lugo *et al.*, 1988), y para un mejor manejo de los nutrientes considerando sus elevadas con-

centraciones y proporción de la mineralomasa total (Attwill & Leeper, 1987; Schumacher & Poggiani, 1993). Por otro lado, expresar la producción del rodal como biomasa facilita la comparación entre sitios de plantaciones con altas densidades y baja producción en volumen con sitios de igual biomasa pero con bajas densidades de plantación y elevados volúmenes de producción (Lugo *et al.*, 1988).

La producción de materia seca de fustes, producto principal de la industria maderera, depende esencialmente de la producción del follaje, lo cual se relaciona directamente con el área foliar y su expresión como Índice de Área Foliar (IAF) (Attwill, 1962; Shepherd, 1985; Cromer & Jarvis, 1990; West & Osler, 1995). El área foliar por individuo presenta una relación alométrica con variables como el DAP (diámetro a la altura del pecho) o área basal

individual, relación que generalmente es dependiente de la edad, del sitio y la densidad (Whitford, 1991).

Herbert & Robertson (1991) encuentran para varias especies de *Eucalyptus*, que la producción de biomasa de fustes es la que más se destaca, entre la de los distintos compartimientos, relacionados con la calidad del sitio. Este hecho tendría consecuencias importantes desde un punto de vista económico al considerar sus efectos sobre el índice de cosecha (Shepherd, 1985).

A pesar de la importancia de las plantaciones de eucaliptos en la Argentina (Schonau, 1984) con más de 130.000 ha en la región mesopotámica (Carpineti *et al.*, 1995), y que de ellas *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) ocupa el primer lugar, no se han realizado estudios de biomasa que permitan precisar la importancia de los distintos compartimientos de la misma y la respuesta de las plantaciones bajo las condiciones edáficas sobre las que se implantan. En el país, los estudios de especies de éste género se refieren mayormente a su mejoramiento genético, propiedades de la madera, silvicultura y tecnología (Carpineti *et al.*, 1995), en tanto que los estudios ecológicos de plantaciones de *E. grandis* son escasos (Marcó, 1986; Goya *et*

al., 1993).

En este trabajo se ha planteado como objetivo contestar las siguientes preguntas referentes a plantaciones de *E. grandis*: ¿Que modelos permiten predecir el peso seco individual de los árboles? ¿Cómo está distribuida la biomasa aérea? ¿Difieren la biomasa aérea y su distribución proporcional en compartimientos, y por ende la productividad, e índice de área foliar sobre los tres principales suelos sobre los que se implanta la especie?

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se encuentra en las inmediaciones de la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos (31° 23' S 58° 02' W). Para la década 1981-1990, la temperatura media anual fue de 18,9 °C, con mínima y máxima absolutas de -4,8 °C y 40,5 °C, respectivamente. La precipitación media anual alcanzó 1307,8 mm, y el periodo de meses más lluviosos va de febrero a abril, y noviembre (Servicio Meteorológico Nacional, 1992).

Se estudiaron tres rodales de 0,207 ha plantados con *E. grandis* de procedencia sudafricana, y 14 años de edad, con una distancia original de plantación de 3x3 m y con una

Tabla 1. Características de perfiles de suelos representativos de los sitios de plantación con *E. grandis* en el NE de Entre Ríos (Marcó, 1988).

Characteristics of soil profiles representatives of *E. grandis* planting sites in NE Entre Ríos.

Sitios	Arenoso	Mestizo	Arcilloso
Tipo	Arenoso rojizo profundo	Arenoso pardo mestizo	Suelo arcilloso
Clasificación	Oxic Quartzsammment	Fluventic Haplumbrept	Argiacuol Vértico
Orden	Entisol	Entisol	Vertisol
Descripción	Muy arenoso sobre materiales franco arcillosos rojizos a más de 150 cm	Suelo arenoso sobre materiales franco-arcillo-arenoso a 70 cm grisáceo con inclusiones de materiales rojizos; Epipedón franco arenoso	Suelo hidromórfico profundo Epipedón mólico (30-35 cm) franco-arcillo-limoso, con b2 arcillosos concreciones calcáreas desde 75-90 cm.
MO (%)	Ap: 0.42 AC: 0.21	Ap: 1.5 A: 1.3 C: 1.4	A1: 4.5 B21t: 1.97 B22t: 1.63
pH (H ₂ O)	5.4	5.4	5.8
CIC (m.e./100g)	Ap: 1.22 AC: 1.02	Ap: 5.8 A: 7.7 C: 21.7	A1: 28.4 B21t: 39.8 B22t: 42.0
Equivalente de humedad (%)	Ap: 1.9 AC: 1.7	Ap: 9.2 A: 10.5 C: 22.8	A1: 26.2 B21t: 40.5 B22t: 42.60
Saluración de bases (%)	Ap: 26.0 AC: 30.0	Ap: 30.0 A: 33.0 C: 66.0	A1: 78 B21t: 85 B22t: 96

densidad actual de 947, 871 y 782 árboles.ha⁻¹, respectivamente. Los rodales se hallan implantados sobre tres tipos de suelos característicos del NE Entre Ríos: arenoso rojizo profundo (Oxic quartzipsamment), nombre local arenoso; arenoso pardo (Fluventic Haplumbrept), localmente mestizo, y (Argiacuol Vertico) localmente arcilloso (Marcó, 1988; Tabla 1).

A todos los individuos de cada rodal se les midió DAP (Diámetro a la altura del pecho) con cintas diamétricas y alturas totales con hipsómetro Haga. Para la estimación del volumen se utilizó el modelo de Schumacher & Hall ajustado para la región (Glade & Friedl, 1988). Para caracterizar la distribución de alturas se ajustaron modelos de regresión lineales y no lineales para cada sitio (Clutter *et al.*, 1983).

El peso de los árboles se obtuvo mediante técnicas de análisis dimensional (Whittaker & Woodwell, 1968). Se aparearon 22 individuos distribuidos proporcionalmente a las frecuencias diamétricas de cada rodal. El material se separó en los siguientes compartimientos: (a) fuste mayor de 5 cm de diámetro; (b) ramas entre 1 y 5 cm; (c) ramas menores de 1 cm, (d) hojas, (e) ramas del año y (f) frutos. Los pesos de los compartimientos (d), (e) y (f) se estimaron separando en el laboratorio el 25 % del peso total fresco [(d) + (e) + (f)] registrado en el campo. Alicuotas del material fueron secadas a 70 °C hasta peso constante para la obtención del peso seco. El porcentaje de corteza se determinó mediante el peso con y sin corteza de secciones del fuste de distintos diámetros >5 cm. Se establecieron relaciones alométricas entre el peso seco de cada compartimiento y el total vs. DAP, DAP², DAP² x altura, con y sin transformación logarítmica (Crow, 1988). Para obtener las ecuaciones de peso seco y sus estadísticos se utilizaron técnicas de regresión lineal simple y prueba de F al 95 % de significancia. Se eligieron las ecuaciones con mayores valores de r², y menores valores de error relativo de

la estimación con transformación logarítmica E (antilogaritmo del error estandar de la estimación) y sin transformar e (error estandar de la estimación dividido la media) (Whittaker & Woodwell, 1968). Los modelos de regresión de cada rodal fueron comparados entre sí mediante el análisis de covarianza (Sokal & Rohlf, 1979). Para la comparación de la biomasa del fuste y de la relación biomasa foliar/biomasa del fuste (H/F) entre sitios, se seleccionaron al azar 50 individuos de cada sitio, a los cuales se les aplicaron los modelos de regresión ajustados. La biomasa de cada sitio se estimó mediante los modelos de regresión y la sumatoria de todos los individuos de cada rodal (Baskerville, 1965). Se determinó un índice de cosecha para cada sitio (biomasa cosechada/biomasa total) considerando la utilización de todo material leñoso superior a 5 cm de diámetro, que incluye destinos como triturado y material para aserrío (Carpineti *et al.*, 1995).

El índice de área foliar (IAF) de cada rodal se obtuvo a través de la estimación del área foliar específica media (AFE). Se midió el área foliar con un planímetro óptico Li-Cor 3100 y se pesaron 15 grupos de 20 hojas seleccionadas de distintas posiciones dentro de la copa de los individuos cosechados para la determinación de peso seco (Attiwill, 1962). Con el AFE y la biomasa foliar se obtuvo el IAF según:

$$\text{IAF} = \text{biomasa de hojas (kg.m}^{-2}\text{)} \times \text{AFE (m}^2\text{.kg}^{-1}\text{)}$$

Las comparaciones entre sitios se realizaron mediante análisis de la varianza de una vía con tres tratamientos (sitio) y test de Tukey ($P = 95\%$) (Sokal & Rohlf, 1979).

RESULTADOS

La estructura de los tres rodales **mostró** importantes diferencias en sus **parámetros** dasométricos. El sitio con suelo **mestizo** tuvo

Tabla 2. Biomasa (peso seco) de cada compartimiento, Incremento Medio Anual (IMA), índice de cosecha (IC) y principales parámetros estructurales para *E. grandis* en los sitios arenoso, mestizo y arcilloso.

Biomass (dry weight) per tree component, mean annual increment (IMA), harvest index (IC) and structural parameters of *E. grandis* for arenoso, mestizo and arcilloso sites.

Variable	Arenoso	Mestizo	Arcilloso
Biomasa (Mg.ha⁻¹)			
hojas	4,13	5,59	4,12
frutos	1,06	1,88	1,08
ramas del año	1,22	1,95	1,19
ramas <1cm	2,72	3,42	2,63
ramas <5 cm	9,00	11,35	8,73
corteza de ramas	0,45	0,57	0,44
fuste	199,97	351,00	201,93
corteza de fuste	13,45	23,64	13,59
Total	226,14	375,06	225,23
IMA total (Mg.ha⁻¹.año⁻¹)	16,15	26,80	15,02
IMA fustes (Mg.ha⁻¹.año⁻¹)	14,28	25,10	13,46
Area basal (m².ha⁻¹)	36,60	48,00	36,00
Volumen (m³.ha⁻¹)	418,30	721,00	417,30
IMA (m³.ha⁻¹.año⁻¹)	29,80	51,50	29,80
IC fuste >5cm diámetro (%)	88,00	94,00	90,00

un DAP 20-10% mayor, es un 35-29% más alto, un 31-33% más de área basal y su volumen e IMA fueron 73% mayores que en los sitios arenoso y arcilloso respectivamente (Tabla 2).

Las estructuras diamétricas representaron distribuciones normales propias de rodales coetáneos con una localización de la moda en una clase diamétrica mayor en el sitio mestizo (Figura 1a). Las alturas totales me-

dias de los individuos de este sitio, presentaron diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$) respecto de los otros sitios (Figura 2).

El rango de variación del peso seco de hojas, ramas del año y frutos expresados como proporción del peso seco de la copa fue de 70-90%; 10-20% y 5-10% respectivamente. Los contenidos de humedad del fuste, ramas y hojas fueron de 47, 45 y 48 % respectivamente.

Tabla 3. Modelos de regresión, parámetros y estadísticos para la estimación del peso seco por compartimiento de árboles de *E. grandis* para los sitios arenoso, mestizo y arcilloso. P: peso seco (kg); H: altura (m) y DAP: diámetro altura del pecho (m), E y e error (n=22) relativo de la regresión.

Regression models, parameters and statistics for estimating compartment dry weight of *E. grandis* trees (n=22) in the arenoso, mestizo and arcilloso sites. P= dry weight (kg); H: height (cm); DAP=diameter at breast height (m); E and e relative error of regression.

Compartimiento	Ecuación	a	b	r ²	E	e	F	P
Fuste >5 cm	(1)	5,076	1,028	0,99	1,1	—	2531	<0,05
Ramas <5 cm	(2)	-3,171	1,754	0,73	1,6	—	54	<0,05
Ramas <1 cm	(2)	-4,294	1,731	0,90	1,3	—	184	<0,05
Hojas	(2)	-5,324	2,189	0,86	1,5	—	121	<0,05
Frutos	(3)	-0,537	0,904	0,81	—	0,74	83	<0,05
Ramas del año	(3)	0,223	0,822	0,83	—	0,38	99	<0,05
Total	(1)	5,241	0,930	0,99	1,1	—	2088	<0,05

(1) $\ln P = a + b \times \ln DAP^2 H$

(2) $\ln P = a + b \times \ln DAP$

(3) $P = a + b \times DAP^2 H$

Los modelos alométricos ajustados no mostraron diferencias entre sitios para los compartimientos fuste, copa, hojas y total (Análisis de covarianza $P > 0,05$). Los ajustes

fueron significativos para las distintas ecuaciones ensayadas. Se observó una variación de los estadísticos del ajuste de acuerdo con la variable predictora y el compartimiento con-

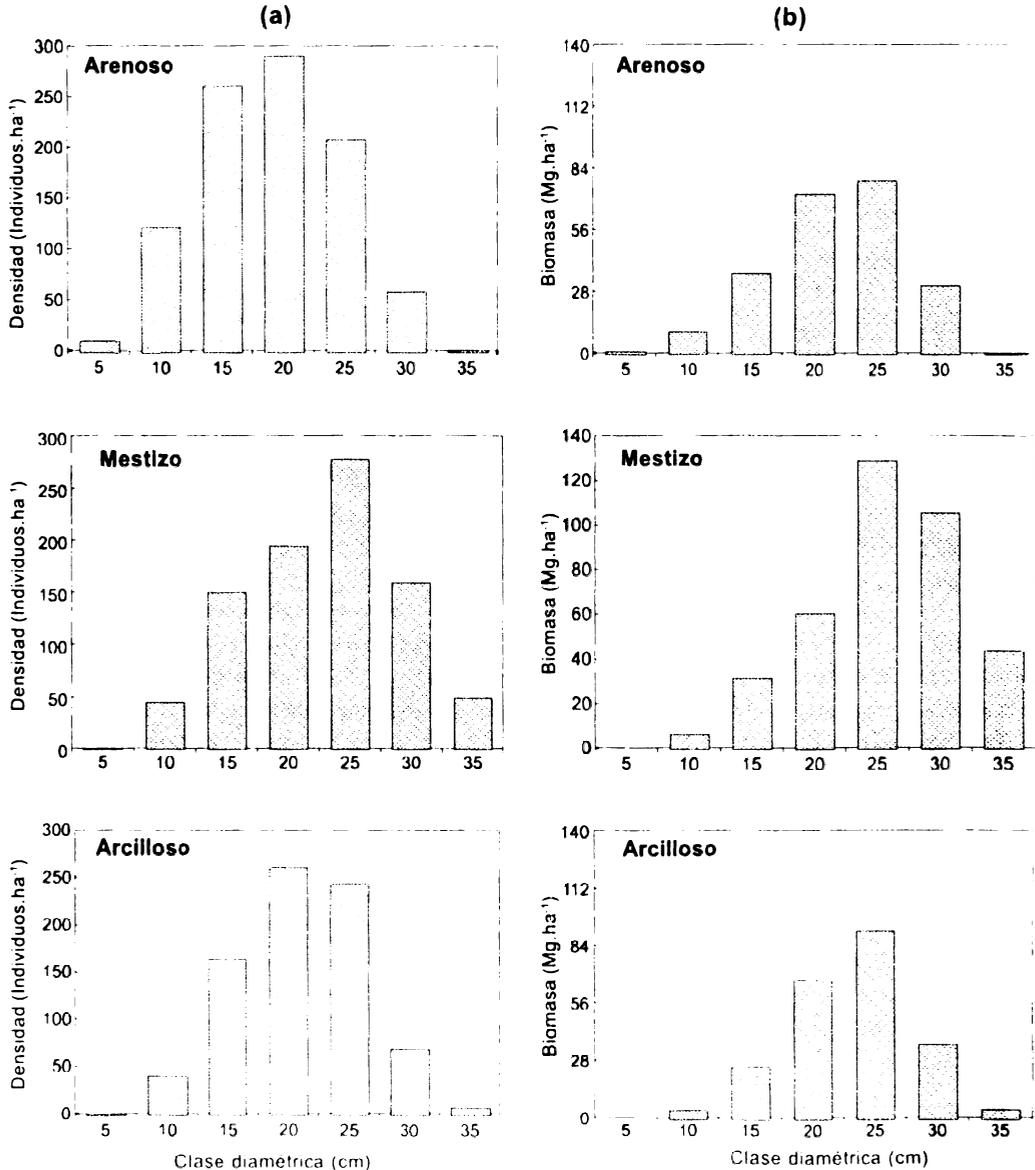


Figura 1. Distribución de la densidad (a) y de la biomasa total (b) en clases de 5 cm de DAP de los rodales de *E. grandis* correspondientes a los sitios arenoso, mestizo y arcilloso.

Diameter (a) and total biomass (b) distributions in 5 cm classes of *E. grandis* at arenoso, mestizo and arcilloso sites

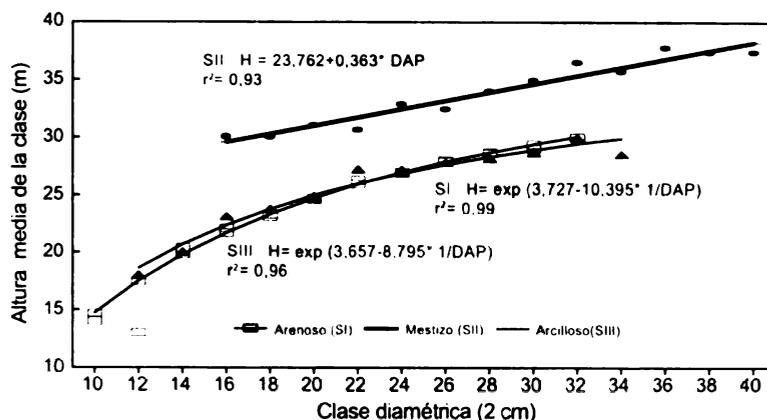


Figura 2. Distribución de las alturas en función del DAP (clases de 2 cm) y modelos de regresión para *E. grandis* en los sitios arenoso, mestizo y arcilloso.

Height as function of DAP (2 cm classes) and regression models for *E. grandis* at arenoso, mestizo and arcilloso sites.

siderado (Tabla 3).

Para estimar el peso seco del fuste y total se utilizó el modelo logarítmico con DAP^2H como variable predictora debido a la existencia de diferencias significativas en altura total entre sitios.

El peso promedio de fustes de los individuos del sitio con suelo mestizo fue significativamente mayor que aquellos de suelos arenoso y arcilloso (Tukey $P < 0,05$, $n = 50$). La relación masa foliar/peso del fuste (H/F) fue mayor en los sitios con suelo arenoso y arcilloso que en aquel de suelo mestizo (Tabla 4).

La composición porcentual de los distin-

tos compartimientos de la biomasa total fue similar para los tres sitios. El compartimiento de mayor aporte fue el de fustes, con un 92 a 94% del total. El resto de la biomasa estuvo representada por un 5% de ramas, 2% de hojas y 1% de frutos más ramas del año. La biomasa de cada compartimiento en valores absolutos fue similar en los sitios con suelo arenoso y arcilloso, y considerablemente menor que en aquel con suelo mestizo (Tabla 2).

La moda de la biomasa total correspondió a la misma clase diamétrica en los tres rodales (Figura 1b). No obstante en el sitio mestizo se observó, además de un valor de

Tabla 4. Altura, DAP, peso del fuste y relación biomasa foliar/peso de fustes (H/F) (media \pm error estándar), de individuos de *E. grandis* pertenecientes a los sitios arenoso, mestizo y arcilloso. Los valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas (Test de Tukey, $P < 0,05$).

Height, diameter at breast height (DAP), stem weight and leaf biomass/stem biomass ratio (H/F) (mean \pm standard error) for *E. grandis* in arenoso, mestizo and arcilloso sites. Means followed by the same letter are not significantly different (Tukey test, $P < 0.05$).

Sitio	altura (m)	DAP (cm)	fuste (kg)	(H / F)
Arenoso	24.3 \pm 0.58a	20.60 \pm 0.76 a	187.51 \pm 17.02a	0.023 \pm 0.0007a
Mestizo	33.9 \pm 0.56 b	25.89 \pm 0.91 b	406.06 \pm 31.86 b	0.017 \pm 0.004 b
Arcilloso	25.6 \pm 0.40a	22.87 \pm 0.73 ab	237.07 \pm 16.91a	0.021 \pm 0.0003a

moda mayor, que una importante fracción de dicha biomasa se encontraba en las clases superiores, lo cual no se verificó en los otros dos sitios.

La diferencia en la producción de biomasa total y de fustes a favor del sitio mestizo fue de 149,5 y 149,0 Mg.ha⁻¹, respectivamente. Estos valores representan una ganancia adicional en masa del 66 y 75% de la acumulada en los sitios menos productivos, a diferencia del total de las ramas que fue sólo del 26%. Este hecho también se ve reflejado en los valores del índice de cosecha (IC) (Tabla 2).

Área Foliar Específica, Área Foliar e Índice de Área Foliar

El AFE del sitio arcilloso ($7,3 \pm 0,13$ m².kg⁻¹) fue significativamente menor que en el arenoso ($8,1 \pm 0,10$ m².kg⁻¹) y mestizo ($8,0 \pm 0,09$ m².kg⁻¹) (ANOVA, $P < 0,05$); los dos últimos no mostraron diferencias significativas entre sí (Tukey, $P < 0,05$).

Un análisis de covarianza indicó que no hubo diferencias significativas entre los modelos de regresión para cada sitio, considerando el DAP vs área foliar de los individuos ($P > 0,43$). Esto permitió ajustar un modelo de regresión con transformación logarítmica de ambas variables común a los tres sitios ($a = -3,2373$; $b = 2,181$; $r^2 = 0,85$; $n = 22$; $ES = 0,42$; $P < 0,05$).

El IAF fue de 4,5; 3,3 y 3,0 para los sitios con suelo mestizo, arenoso y arcilloso respectivamente.

DISCUSIÓN

Como ya ha sido indicado (Schonau & Boden, 1981; Poggiani *et al.*, 1983; Crow, 1988) los compartimientos menores (ramas <1cm, ramas del año, frutos) son los que se encuentran menos relacionados con el tamaño de los árboles, lo cual se expresa en el grado de ajuste de las regresiones.

El ajuste significativo de modelos de re-

gresión válidos para todos los sitios, indica que existe una variable o combinación de variables que manifiestan una relación alométrica satisfactoria independiente del sitio (Crow, 1988); la que debe absorber aquella variación que sea significativa en la diferenciación entre sitios. Para la biomasa del fuste de los individuos (> 90 % de la biomasa total) la altura es la variable que, combinada con DAP², permite obtener un modelo único. En cambio, al considerar la biomasa foliar, sólo se requirió el DAP para obtener un modelo único; esto indica que la altura no contribuye de manera relevante a explicar la biomasa foliar de los individuos. La relación de pesos (H/F) del sitio con suelo mestizo presenta valores significativamente menores, lo que indicaría una mayor eficiencia productiva en este sitio, ya que muestra una producción de biomasa de fuste proporcionalmente mayor por unidad de biomasa foliar que en los restantes (Tabla 4).

Los incrementos y producción de biomasa de *E. grandis* en los sitios arenoso y arcilloso resultaron similares a los hallados en suelos de baja productividad de Brasil con aplicación de fertilizantes (da Silva *et al.*, 1983). La distribución de la biomasa total en las clases diamétricas, demuestra que los individuos del sitio mestizo alcanzaron, a una misma edad, mayores dimensiones que aquellos de los sitios de menor calidad.

La diferencia proporcional en biomasa de fustes a favor de la plantación en el suelo mestizo, coincide con lo descrito por Herbert & Robertson (1991), quienes comprobaron que la respuesta de ésta y otras especies de *Eucalyptus* a un aumento en la calidad de sitio consiste principalmente de una mayor producción, absoluta y relativa, de biomasa de fustes. Este hecho se ve reflejado en el IC, lo cual tiene importantes implicancias económicas dado que el suelo de mejor calidad no solo produce mayor biomasa total, sino que la producción del compartimiento de mayor valor económico es proporcionalmente mayor.

Tabla 5. Edad, biomasa total y crecimiento de plantaciones de *E. grandis*. IMA= Incremento medio anual.
Age, total biomass and increment of *E. grandis* plantations. IMA= Mean Annual Increment.

Edad (años)	Biomasa (Mg.ha ⁻¹)	IMA (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Lugar	Fuente
14	226,1	16,2	Concordia	Este estudio
14	375,1	26,8	Concordia	Este estudio
14	225,2	15,0	Concordia	Este estudio
9	273,3	30,4	Brasil	Schumacher <i>et al.</i> , 1993
16	187,4	11,7	Australia	Turner, 1986
14	196,0	14,0	Brasil	Lugo <i>et al.</i> , 1988
12	144,5	12,0	Sudáfrica	Herbert, 1992
12	278,2 (*)	23,2	Australia	Birk and Turner, 1992
12	193,3	16,0	Australia	Birk and Turner, 1992

(*) con fertilización

Las diferencias de crecimiento en volumen para estos sitios se han mencionado en evaluaciones del crecimiento a lo largo del ciclo, las cuales se atribuyeron a las distintas calidades de estación (Marcó, 1988). Con respecto a los valores de incremento medio los resultados obtenidos en este estudio, comparados con los obtenidos a los 9,9 años (Marcó, 1988) permiten concluir que el mismo se redujo para el sitio arenoso, se mantuvo para el mestizo y aumentó en el arcilloso. Por ello, el sitio arenoso parece haber iniciado un periodo de leve decrecimiento de la tasa de acumulación de biomasa, mientras que el mestizo mantiene la mayor tasa de acumulación y el arcilloso ha alcanzado una tasa semejante a la del suelo arenoso pero con una tendencia ascendente de su crecimiento medio. Esto indica que los turnos de máxima producción difieren.

La altura de *E. grandis* resulta un buen indicador de la calidad de sitio. Según Carpinetti *et al.*, (1995) los suelos mestizos, donde se alcanzan los mayores tamaños, tienen mayor fertilidad y retención de humedad que los suelos arenoso profundos, lo que se vincula a un mayor contenido de arcillas y que se asocia a un mayor equivalente de humedad (Tabla 1). Sin embargo, en los suelos arcillosos, que poseen los mayores valores de CIC, saturación de bases y equivalente de

humedad, la altura decrece. Esto permite suponer que la menor disponibilidad de agua durante el estio en estos suelos, sería la limitante principal del crecimiento.

La producción de biomasa observada en estos rodales muestra la elevada productividad y su carácter de especie de rápido crecimiento (2,7 kg.m⁻².año⁻¹ en el sitio más productivo). Esta productividad es comparable a la estimada en los sitios más productivos de Brasil (Schumacher & Poggiani, 1993) y superior a otras zonas del mismo país (da Silva *et al.*, 1983). Por otra parte, la productividad de los sitios arenoso y mestizo son comparables a plantaciones en la zona de vida *bosque subtropical húmedo* (Lugo *et al.*, 1988), Sudáfrica (Herbert, 1992) y Australia (Turner, 1986; Birk & Turner, 1992) (Tabla 5).

El área foliar y el IAF muestran una relación directa con la productividad de los sitios, los valores hallados se encuentran dentro de la amplitud característica de esta especie en los sitios más productivos (Attiwil, 1962; Linder, 1985; West & Osler, 1995). El IAF fue diferente entre los sitios debido principalmente a sus distintas distribuciones diamétricas, que afectan en forma directa la biomasa foliar del rodal. Los resultados sobre el modelo predictivo del área foliar individual resultan contrarios a los hallados para *E. marginata* por Whitford (1991), quien menciona diferen-

cias significativas en la constante y pendiente de la línea de regresión para distintos sitios. Los diferentes resultados podrían atribuirse a que dicho autor trabajó en rodales naturales discetáneos con mayor variabilidad.

El reducido valor del AFE encontrado en el sitio arcilloso podría estar relacionado con una diferencia en la concentración de nutrientes de las hojas (Cromer & Jarvis, 1990) derivada de un mayor contenido de ellos en el suelo arcilloso, presentando buenas condiciones químicas para el desarrollo de la plantación, pero con limitaciones físicas. Por otro lado, los valores bajos de AFE se relacionan con características de xeromorfismo (Jarvis & Leverenz, 1983). Los períodos de déficit hídrico estivales provocarían estrés y la consecuente reducción del crecimiento de la plantación.

CONCLUSIONES

El ajuste significativo de modelos únicos de regresión, independiente del sitio para la estimación del peso del fuste, constituye una herramienta útil para la determinación de los rendimientos brutos de biomasa de plantaciones con edades aproximadas a los turnos que se aplican en la zona. Asimismo, el ajuste de un modelo de regresión independiente del sitio para la estimación del área foliar puede ser utilizado para futuros estudios de productividad e intercambio gaseoso en plantaciones de *E. grandis*.

Los diferentes rendimientos en biomasa y volumen, y las aparentes diferencias en los turnos sobre los distintos suelos considerados, deben ser tenidos en cuenta para el manejo de estas plantaciones.

El NE entrerriano se encuentra entre las zonas de mayor producción de *E. grandis* del Hemisferio Sur.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Ing. Martín

Marcó por facilitarnos las plantaciones experimentales en donde se realizó este trabajo y a los alumnos de la carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de La Plata por la colaboración en los trabajos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Attwill P.M. 1962. Estimating branch dry weight and leaf area from measurements of branch girth in *Eucalyptus*. *Forest Science* 8: 132-141.
- Attwill P.M. & G.W. Leeper. 1987. *Forest Soil and Nutrient Cycles*. Melbourne University Press. 202 pp.
- Baskerville G.L. 1965. Estimation of dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands. *Ecology* 46 (6): 867-869.
- Birk E.M. & J. Turner. 1992. Response of flooded gum (*E. grandis*) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantations and native forests. *Forest Ecology and Management* 47: 1-28.
- Carpineti L.A., F. Dalla Tea, J. Glade & M. Marcó, Ed. 1995. *Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina. 162 pp.
- Clutter J.L., J.C. Fortson, L. Pienaar, G.H. Brister & R.L. Bailey. 1983. *Timber Management: A Quantitative Approach*. J Wiley and Sons. 333 pp.
- Cromer R. & P. Jarvis. 1990. Growth and biomass partitioning in *Eucalyptus grandis* seedlings in response to nitrogen supply. *Australian Journal of Plant Physiology* 17: 503-515.
- Crow T.R. 1988. A guide to use regression equations for estimating tree biomass. *Northern Journal of Applied Forestry* 5: 15-22.
- Darrow K. 1984. Biomass production of *Eucalyptus grandis* in South Africa planted at various close spacings: two years results. *South African Forestry Journal* december: 34-39.
- da Silva F., F. Poggiani & L. Coelho. 1983. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. *Boletim Pesquisas Florestais, Curitiba* 7: 9-25.
- Glade J. & R. Friedl. 1988. Ecuaciones de volumen para *E. grandis* (Hill ex Maiden) en el Noroeste de Entre Ríos. VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero: 416-420.
- Goya J.F., F. Dalla Tea & J.L. Frangi. 1993. Nutrición en plantaciones de *E. grandis* en tres sitios de la región de Concordia. Entre Ríos. *Actas Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*, Paraná. Entre Ríos. Comisión VI Bosques de Cultivo: 305-311.

- Herbert M.A.** 1992. Nutrition of Eucalypts in South Africa. ICFR Bulletin Series. Institute for Commercial Forestry Research, Pietermaritzburg, South Africa. 25 pp.
- Herbert M.A. & M.A. Robertson.** 1991. Above-ground biomass composition and nutrient content for *Eucalyptus* species in the Southeastern Transvaal. Symposium on Intensive Forestry. APG Schonau, Ed. Durban, South Africa: 662-673.
- Jarvis P.G. & J.W. Leverenz.** 1983. Productivity of temperate deciduous and evergreen forests. En: Encyclopedia of Plant Ecology 12 D. A. Pirson and MH Zimmermann, Eds. Springer-Verlag, New York: 233-280.
- Linder S.** 1985. Potential and actual production in australian forest stands. En: Research for Forest Management. JJ Landsberg and W Parsons, Ed. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne: 11-35.
- Lugo A.E., S. Brown & J. Chapman.** 1988. An analytical review of production rates and stemwood biomass of tropical forest plantations. Forest Ecology and Management 23: 179-200.
- Marcó M.A.** 1986. Tolerancia a heladas de orígenes y procedencias de *Eucalyptus grandis*. EEA INTA Concordia Carpeta Información Forestal, Sección B. 6. 5pp.
- Marcó M.A.** 1988. Incidencia del origen de la semilla y el sitio en el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en el NE de Entre Ríos. III Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia: 4.1- 4.15.
- Poggiani F., H. Couto & W. Suiter Filho.** 1983. Estimativa da remoção da biomassa e dos nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* em regime de mini-rotação. Silvicultura 32: 648-651.
- Schonau A.P.G. & D.I. Boden.** 1981. Preliminary biomass studies in young eucalypts. IUFRO XVII World Congress, Kyoto, Japan :24-28.
- Schonau A.P.G.** 1984. Silvicultural considerations for high productivity of *E. grandis*. Forest Ecology and Management 9: 295-314.
- Schumacher M. & F. Poggiani.** 1993. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana* plantados em Anttembi, SP. Ciencia Florestal 3 (1) : 21-34.
- Servicio Meteorológico Nacional.** 1992. Estadísticas Climáticas 1981-1990. Serie B N° 37. Concordia Aero: 330-334. Fuerza Aérea Argentina. Capital Federal, Argentina.
- Shepherd K.R.** 1985. Carbon balance, carbon partitioning and yield of forest crops. En: Research for Forest Management. JJ Landsberg & W Parsons, Ed. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne: 36-50.
- Sokal R.R. & F.J.U. Rohlf.** 1979. Biometria. Principios y métodos estadísticos de la investigación biológica. H. Blume Ed, Madrid. 832 pp.
- Turner J.** 1986. Organic matter accumulation in a series of *Eucalyptus grandis* plantations. Forest Ecology and Management 17: 231-242.
- West P.W. & G.H. Osler.** 1995. Growth response to thinning and its relation to site resources in *Eucalyptus regnans*. Canadian Journal of Forest Research 25: 69-80.
- Whitford K.R.** 1991. Crown assessment improve regression estimates of leaf area in Jarrah trees (*Eucalyptus marginata*). Australian Journal of Botany 39: 535-544.
- Whittaker R.H. & G.M. Woodwell.** 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. Journal of Ecology 56: 1-25.