

MODELOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE *Eucalyptus dunnii* (Maid) EN LA ZONA DE GARUHAPÉ MISIONES

GROWTH AND YIELD MODELS FOR *Eucalyptus dunnii* (Maid) IN GARUHAPÉ MISIONES

Sara Regina Barth¹

Hugo E. Fassola²

Paula Ferrere²

Diego Allegranza²

Norberto Pahr²

¹. Ing. Forestal. Ex pasante INTA EEA Montecarlo, adscripta Cátedra Ordenación Forestal Fac. Cs. Ftles. – UNaM. Aryo. Chimiray n° 372. C. P. 3380. Eldorado. Misiones.

e-mail: barth@ceel.com.ar

². Ing. Forestal. INTA EEA Montecarlo. Av. Libertador n° 2472. C. P. 3384 Montecarlo. Misiones. e-mail: hfassola@ceel.com.ar

SUMMARY

Database of *Eucalyptus dunnii* obtained from a essay of early thinning, installed in Garuahpé, Misiones, was used for compared the answer of the treatments. Growth and yield models were developed in order to obtain useful criteria about management of commercial plantations of *Eucalyptus dunnii*.

As a result of the comparison between treatments it was possible to observed that the reduction in stand density increases the growth of the basal area, and consequently of the volume of individual trees. At 6 years of age the treatments corresponding to 275 and 137 trees per hectare reach an average dbh. of 26,45 cm. and 30,43 cm. respectively. In spite of what it has been said, it was possible to established that the drastic thinning in initial periods can affect the economic destiny of the plantations because of defects caused in the wood due to the influence of climatic conditions. (Winds). None statistically significant differences have been found in the growth in height for the different treatments used.

Key words: Forest Management, Stand Density, Growth and Yield models, *Eucalyptus dunnii*.

RESUMEN

Con datos generados en un ensayo de poda y raleo instalado en Garuhapé Misiones se compara la respuesta de *Eucalyptus dunnii* a diversos tratamientos desarrollando modelos de crecimiento y producción a fines de brindar criterios orientativos de manejo de plantaciones comerciales de *Eucalyptus dunnii*.

Como resultado de la comparación entre tratamientos se pudo observar que una disminución en la densidad incrementa el crecimiento en área basal, y consecuentemente en volumen. A los 6 años de edad los tratamientos correspondientes a 275 y a 137 árboles por hectárea alcanzan un dap promedio de 26,45 cm y 30,53 cm respectivamente. A pesar de lo antedicho cabe acotar que raleos drásticos en períodos iniciales pueden afectar el destino económico de las plantaciones por defectos causados en la madera por la influencia de perturbaciones climáticas (vientos). No se hallan diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento en altura para los distintos tratamientos aplicados.

Palabras clave: Manejo forestal, densidad, modelos de crecimiento y producción, *Eucalyptus dunnii*.

INTRODUCCIÓN

Eucalyptus dunnii posee madera de color blanquecino, en ensayos llevados a cabo en ejemplares de 10 años de edad del departamento Iguazú Misiones se determinó una densidad básica media de 0,573 g/cm³, valor aproximado buscado por la industria de debobinado, pese al requerimiento de cuidados especiales para evitar las rajaduras frecuentes en *Eucalyptus* y su gran variación dimensional. (Pereyra et al, 1994).

Eucalyptus dunnii muestra un notable crecimiento en altura y volumen en plantaciones de regiones con lluvias estivales (1000 -1500 mm/año) tanto en su zona de origen, Nueva Gales del Sur y Queensland, como en áreas de Sudáfrica y Sur de Brasil, hallándose crecimientos de 30 a 50 m³/ha/año. En Estados Unidos se ha demostrado que es uno de los eucaliptos de mayor resistencia al frío, lo que fue corroborado en Brasil tolerando heladas ligeras. (FAO, Roma; 1981)

Si bien *Eucalyptus dunnii* es en Misiones una especie de incorporación marginal su potencialidad despertó interés y siendo el conocimiento de la evolución del rodal un elemento indispensable para su manejo, es útil poder interpretar los cambios producidos por medio de modelos que permitan inferir sobre el estado futuro de la masa.

Los modelos biológicos, se caracterizan en base a variables elegidas a partir de un seguimiento del crecimiento de los componentes de bosques existentes con el fin de predecir la oportunidad de intervenciones silvícolas, o la instancia final, según el destino definido para el producto a obtener. (Strand, 1972; Curtis, 1972)

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos provienen de un ensayo de poda y raleo instalado en Garuhapé Misiones, se planteó un diseño sistemático en fajas con 3 repeticiones por tratamiento, la plantación se efectuó en el año 1992 y el raleo fue efectuado a los 2 años de edad.

Cuadro n° 1. Tratamientos aplicados

Tratamiento N°	Superficie parcela (m ²)	Densidad final
1 (Testigo)	135	1100
2	270	550
3	540	275
4	1080	137

La altura promedio de poda final osciló entre 10 y 11 m. Las mediciones se efectuaron en los años 1994 antes y después del raleo, 1995, 1996 y 1998. Las variables medidas fueron diámetro altura de pecho (dap), altura total (ht) y altura de la base de copa verde (hbcv). A los 4 años se apearon árboles para la confección de una ecuación de volumen.

Atendiendo a los objetivos planteados, el trabajo se desarrolla bajo 2 ítems principales:

1. Comparación entre tratamientos

Crecimiento y rendimiento dependen tanto de la productividad del sitio como del aprovechamiento que hace el rodal de la potencialidad del mismo a través de la cantidad y distribución del stock (densidad del rodal). La densidad es empleada como variable de decisión o control en intervenciones silviculturales o, en modelos simuladores de desarrollo y crecimiento, también como variable predictora. (Prodan, et al, 1997)

Con el objetivo de modelar la evolución de área basal, volumen, altura y dap, se procedió al ajuste de modelos para cada tratamiento, finalmente se adoptó la ecuación de Chapman-Richard (Clutter et al, 1976; Prodan et al, 1997). Dicha ecuación toma la forma:

$$X = b_0 * (1 - (2,71^{(- b_1 * edad)}))^{b_2}$$

Donde: X = Variable dependiente: AB, V, H, dap
 b_0, b_1, b_2 = Coeficientes

La existencia de diferencias significativas entre tratamientos fue analizada inicialmente por test de Duncan, comparación de medias de valores del ensayo al nivel del 5 % de probabilidades; y posteriormente a través de análisis de significancia estadística de términos por ajuste de un modelo lineal simple. $Y = a + b \cdot \text{edad}$.

2. Ajuste de modelos:

Los modelos fueron ajustados a través de regresiones lineales múltiples. Se consideró:

- Altura
- Volumen para árboles individuales
- Funciones de Producción (Área Basa y Volumen, presente y futuro)

RESULTADOS

Comparación entre tratamientos

Crecimiento en Área Basal

Los coeficientes correspondientes al modelo de área basal para cada tratamiento son presentados en el cuadro n° 2.

Cuadro n° 2. Coeficientes de la función Chapman-Richard, R, varianza explicada. (AB/Ha)

Tratamiento	b_0	b_1	b_2	R	Varianza explicada
1	35,7946096	0,21536565	1,02385972	0,94470	89,246 %
2	28,0312916	0,27392461	1,43092857	0,96011	92,181%
3	23,6093073	0,23846425	1,72581851	0,99793	99,586%
4	19,0711750	0,23343656	2,11905339	0,98072	96,181%

La evolución de área basal por tratamiento se presenta en la figura n° 1, en la misma queda evidenciada la pérdida de área basal que se produciría en caso de partir de densidades iniciales bajas o raleos drásticos a edades tempranas. Al 5 % de probabilidades existen diferencias estadísticamente significativa entre los diferentes tratamientos ensayados, excepto entre los tratamientos 3 y 4 en donde la disminución de la densidad no produjo un incremento significativo en área basal. En la figura n° 2 se puede observar además la evolución de dap por tratamiento.

Crecimiento en volumen

Los coeficientes del crecimiento en volumen para los distintos tratamientos son presentados en el cuadro n° 3.

Cuadro n° 3. Coeficientes de la función Chapman-Richard, R, varianza explicada. (V/Ha)

Tratamiento	b_0	b_1	b_2	R	Varianza explicada
1	442,891113	0,26028809	1,51016653	0,95828	: 91,830%
2	367,7270051	0,29415051	1,94041216	0,96283	92,705%
3	312,248815	0,26539852	2,26810394	0,99819	99,639%
4	255,431359	0,25730368	2,67318714	0,98377	96,780%

Los tratamientos raleados manifiestan una pérdida del crecimiento en volumen total. No se presenta diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos 3 y 4., existiendo entre los demás diferencias estadísticamente significativas al 5 % de probabilidades.

El crecimiento volumétrico para los distintos tratamientos se presenta en la figura n° 3.

Crecimiento en Altura

Los coeficientes de la función de rendimiento en altura ajustada para cada tratamiento se aprecian en el cuadro n° 4

Cuadro n° 4. Coeficientes de la función Chapman-Richard, R, varianza explicada. (H)

Tratamiento	$b0$	$b1$	$b2$	R	Varianza explicada
1	26,9547497	0,25038391	0,86071234	0,98487	96,997%
2	39,4255020	0,12959920	0,69884656	0,99461	98,924%
3	29,8904332	0,34319995	1,15448509	0,99871	99,743%
4	30,7319898	0,37553862	1,29002007	0,99953	99,906%

El crecimiento en altura para los distintos tratamientos se visualiza en la figura n° 4. Los tratamientos de raleo efectuados no afectaron en forma estadísticamente significativa la evolución de la altura del rodal.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas presentadas hasta aquí a favor de menores densidades (mayor crecimiento en relación a tratamientos 1 y 2), cabe mencionar la necesidad de estudiar posibles defectos en la madera como efecto de la acción del viento. “La torsión o tracción producida sobre el fuste como consecuencia de perturbaciones climáticas produce desgarros internos sobre las capas de crecimiento donde más tarde se acumula quino. Depósitos de quino en venas o canales podrían llegar a afectar el destino económico de plantaciones de *Eucaliptus*.” (Pascutti, Roberto; 24° Congreso Técnico ATIPCA). Este hecho fue también detectado en un ensayo de raleo de *Eucaliptus grandis* del NE de Corrientes donde los temporales y vientos ocasionaron caída y quiebre de árboles, así como presencia de quino en densidades de 200 árboles/ha y en menor grado a 400 árboles/ha a una edad de 2 años, (Fassola et al, comunicación personal). La información disponible indicaría que no deberían ser aplicados raleos drásticos a edades muy tempranas.

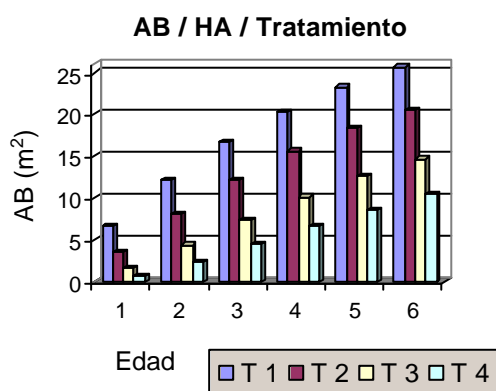


Figura n° 1. Área Basal / ha por tratamiento

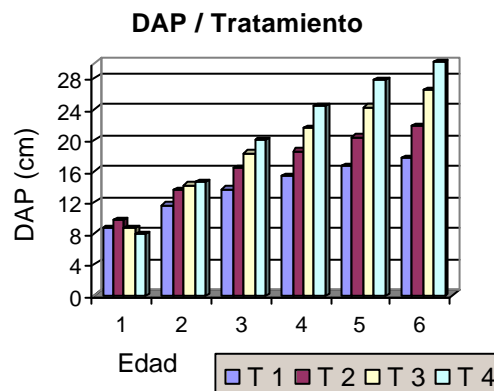


Figura n° 2. Dap por tratamiento

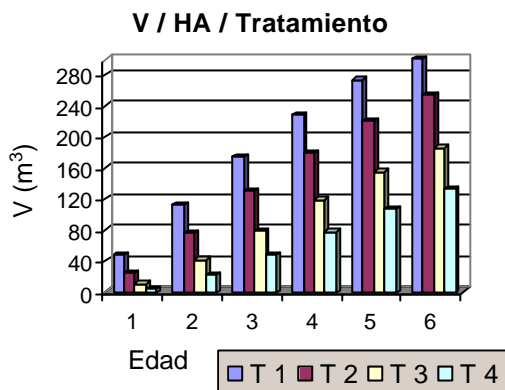


Figura nº 3. Volumen / ha por tratamiento

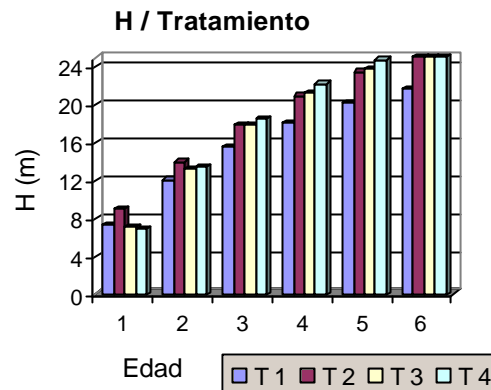


Figura nº 4. Altura por tratamiento

Ajuste de Función Altura

El ajuste se logró con un algoritmo de regresión lineal múltiple, empleando el modelo de Curtis (1967) cuya ecuación es:

$$\ln h = b_0 + b_1 * 1/dap + b_2 * 1/e + b_3 * 1/(d * e)$$

Donde:

\ln = logaritmo natural

h = altura total del árbol

d = diámetro a 1,3 m del suelo (cm)

e = edad del árbol (años)

b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes de la ecuación

Modelo final ajustado:

$$h = \text{Exp}(3,839751 - 8,986359 / dap - 1,818402 / e + 8,312745 / (dap * e))$$

$$R = 0,92$$

$$R^2 = 0,98$$

Ajuste de Función Volumen para Árboles Individuales

Los datos provienen de árboles apeados al año 4.

Se seleccionó el modelo de Schumacher y Hall:

$$\ln V = b_0 + b_1 * \ln d + b_2 * \ln h$$

Donde:

\ln = logaritmo natural

V = volumen total (m³)

d = diámetro a 1,3 m del suelo (cm)

h = altura total del árbol

b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes de la ecuación

Modelo final ajustado:

$$V = \text{Exp}(-8,35011 + 1,98497 * \ln dap + 0,455925 * \ln h)$$

$$R^2 = 0,998727$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0,998691$$

$$\text{Std.Error of estimate: } 0,00197992$$

Ajuste de Funciones de Producción

A los fines de determinar producción, tanto en área basal como en volumen, fueron ajustados modelos siguiendo los conceptos de Clutter et al (1976) siendo los mismos validados a través de una muestra independiente.

Modelo de producción presente en área basal (m²/ha)

El modelo de estimación de área basal presente adquiere la forma:

$$LN AB1 = b0 - b1 * \left(\frac{1}{E1^2} \right) + b2 * LN N + b3 * (H1 * E1)$$

Donde: *LN AB1*: Logaritmo natural del área basal presente.
b0, b1, b2 y b3: Coeficientes
E1: Edad 1
LN N: Logaritmo natural del número de individuos (plantas / ha)
H1: Altura dominante a la edad 1

$$AB1 = \text{Exp}(-2,56866402 - 0,91134999 * \frac{1}{E1^2} + 0,70586188 * LN N + 0,01174862 * (H1 * E1))$$

Bondad del ajuste de área basal presente:

R = 0,986 R² = 0,972 Adjusted R² = ,96905661 Std.Error of estimate: 0,11081

Modelo de producción futura en área basal (m²/ha)

El modelo de área basal futura fue ajustado de acuerdo a lo sugerido por Bennett (Citado en Clutter et al, 1976), el mejor ajuste se logró con la siguiente expresión:

$$LN AB2 = b0 * ((\frac{E1}{E2}) * LN AB1) + b1 * (1 - (\frac{E1}{E2})) + b2 * (H1 * (1 - (\frac{E1}{E2})))$$

Donde: *LN AB2*: Logaritmo natural del área basal futura
b0, b1, b2 y b3: Coeficientes
E1 y E2: Edad presente y edad futura, respectivamente
LN AB1: Logaritmo natural del área basal presente
H1: Altura dominante a la edad 1

$$LN AB2 = \text{Exp}(1,13817548 * ((\frac{E1}{E2}) * LN AB1) + 2,29193482 * (1 - (\frac{E1}{E2})) + 0,02098357 * (H * (1 - (\frac{E1}{E2}))))$$

Bondad del ajuste de área basal futura:

R = 0,9998 R² = 0,9996 Adjusted R² = ,99955687 Std.Error of estimate: 0,05339

Modelo de producción presente en volumen (m³/ha)

Efectuadas las regresiones múltiples correspondientes, el mejor ajuste fue obtenido en el modelo de producción presente sugerido por Bennett, 1970; (Clutter et al, 1976). La función adoptada es: $LN V1 = b0 + b1 * H1 - b2 * (\frac{1}{E1}) + b3 * LN AB1$

Donde: *LN V1*: Logaritmo natural del volumen presente
b0, b1, b2 y b3: Coeficientes

$H1$: Altura dominante a la edad 1

$E1$: Edad 1

$LNAB1$: Logaritmo natural del área basal presente

$$V1 = \text{Exp}(2,64770255 + 0,00276965 * H1 - 0,82159165 * (1/E1) + 0,97814622 * LNAB1)$$

Bondad del ajuste del volumen presente:

$R = 0,9997$ $R^2 = 0,99959$ Adjusted $R^2 = 0,9995$ Std.Error of estimate: 0,01415

Modelo de producción futura en volumen (m³/ha)

Para el ajuste del modelo de crecimiento en volumen se emplea el modelo presentado por Clutter (1976), el mismo está dado por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} LN V2 = & b0 + b1 * H2 - b2 * (1/E2) + b3 * LN \text{Exp}(b3 * ((E1/E2) * LNAB1 + \\ & + b4 * (1 - (E1/E2))) + b5 * (H1 * (1 - (E1/E2))) \end{aligned}$$

La ecuación de proyección de volumen presentada por Bennett es una combinación de los modelos de volumen presente y área basal futura. (Clutter et al, en Timber Management: A quantitative approach, págs. 106-107).

Los coeficientes del modelo ajustado para *Eucalyptus dunnii* son los siguientes:

$$\begin{aligned} V2 = & (\text{Exp}(2,64770255 + 0,00276965 * H2 - 0,82159165 * (1/E2) + \\ & + 0,97814622 * LN \text{Exp}(1,13817548 * ((E1/E2) * LNAB1) + \\ & + 2,29193482 * (1 - (E1/E2))) + 0,02098357 * (H1 * (1 - (E1/E2)))))) \end{aligned}$$

CONCLUSIONES

El presente trabajo permitió ajustar por regresión modelos de altura, volumen individual (datos al año 4), área basal presente y futura, volumen presente y futuro.

Las funciones de producción ajustadas permiten la predicción del crecimiento bajo distintas alternativas silvícolas, de manera que es factible determinar la existencia en área basal y volumen a una edad dada de un rodal bajo distintas alternativas de manejo para el sitio considerado. Cabe remarcar la necesidad de ampliar la base de datos para extender la aplicabilidad del modelo a otras situaciones.

El evitar densidades bajas a edades tempranas asegurará un mejor apoyo entre copas lo que disminuirá el riesgo de desgarros internos a causa de la excesiva inclinación y rotación del tronco evitando así perjudicar la calidad de la madera.

BIBLIOGRAFÍA

- Clutter, J.; Forston, J.; Pienaar, L.; Brister, G.; Bailey R.. 1976, (Reimpresión 1983). Timber Management: A Quantitative Approach. (333 págs.)
- Crechi H.; Fassola E.; Friedl R.; Simulador Forestal. 1998 (INTA – FCF)
- FAO, Roma, 1981. El eucalipto en la repoblación forestal.
- Glade, J.. Tabla de volumen para *Eucalyptus grandis*. Concordia (1984).
- Pascutti, R.. El quino – su presencia en las plantaciones de *Eucaliptus* del nordeste mesopotámico y su incidencia en las industrias celulósicas-madereras. Asociación Técnicos de la Industria Papelera y Celulósica Argentina. 24º Congreso Técnico (1989)

- Pereyra O.. Avaliaçao da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de panéis compensados. 1994, Piracicaba, São Paulo – Brasil. (Tesis de maestría)
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P., P. 1997. Mensura Forestal. (586 págs.)