

REGULACIÓN DE LA DENSIDAD EN RODALES DE *Grevillea robusta* A. Cunn. PARA LA PRODUCCIÓN DE MADERA DE CALIDAD Y FORRAJE EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE MISIONES *

FASSOLA, H.E.¹; MOSCOVICH, F.A.¹;
DOMECQ, C.M.²; FERRERE, P.¹;
LACORTE, S.³; HAMPEL, H.⁴;
MALETTI, C.⁵; ALEGRANZA, D.¹

RESUMEN

En cercanías de la ciudad de Posadas, Argentina, se estableció un ensayo de densidades de plantación de *Grevillea robusta* con 3000, 1500, 750, 375 y 162 árboles/ha. La hipótesis que guió este trabajo fue que *Grevillea robusta* responde de diferentes maneras a distintas intensidades

* Trabajo parcialmente financiado por el Proyecto de Desarrollo Forestal – SAGPYA-BIRF- PIA 01/01 “Silvicultura y manejo de *Grevillea robusta*”.

¹ Ing. Ftal., EEA INTA Montecarlo. Av. El Libertador 2472- (3384) Montecarlo, Misiones, Argentina. Tel. y FAX ++54 (3751) 480057 / 480512. Correo electrónico: hfasola@ceel.com.ar

² Lic. en Genética. Jefe Div. Investigación DANZER FORESTACIÓN S.A. C.C. 449 (N3300WAI) Posadas, Misiones, Argentina.

Tel.: ++54 (3752) 480295. FAX: ++54 (3752) 480557.

³ Ing. Agr. MSC CR INTA Misiones. C.C. 12 (3300) Posadas, Misiones, Argentina.

Tel. y FAX: ++54 (3752) 480640. Correo electrónico: intasml@espacio.com.ar

⁴ Dr. Gerente Gral. DANZER FORESTACIÓN S.A. C.C. 449 (N3300WAI) Posadas, Misiones, Argentina. Tel.: ++54 (3752) 480295. FAX: ++54 (3752) 480557.

⁵ Téc. Ftal. Supervisor. DANZER FORESTACIÓN S.A. C.C. 449 (N3300WAI) Posadas, Misiones, Argentina. Tel.: ++54 (3752) 480295. FAX: ++54 (3752) 480557.

RIA, 33 (1): 15-38. Abril 2004. INTA, Argentina

de plantación. Las evaluaciones realizadas entre los 3 y 7 años de edad, permitieron comprobar la existencia de menor altura en los individuos cuando son plantados en densidades bajas. Al analizar los diámetros máximos sobre muñones resultantes en cada densidad, luego de cada tratamiento de poda, se pudo comprobar que esta no ejercía una influencia mayor sobre este parámetro. El tratamiento de 3000 árboles/ha a los 7 años de edad no presentó mortalidad por competencia, sin embargo la alta variabilidad en dap respecto de los otros tratamientos a esa edad, hizo que se establecieran, preliminarmente, como línea de mortalidad inminente por competencia, Factor de Espaciamiento e Índice de Reineke alcanzados en ese momento. La disponibilidad de forraje como la presencia de brotes adventicios permitió establecer zonas de manejo que permitirían regular la densidad para responder a objetivos forestales y/o silvopastoriles.

Palabras clave: *densidad inicial de plantación, índices de densidad, pastizal, silvicultura, Grevillea robusta A. Cunn.*

SUMMARY

STAND DENSITY REGULATION OF *Grevillea robusta* A. Cunn. FOR QUALITY WOOD AND FORAGE PRODUCTION IN SOUTHERN MISIONES PROVINCE

A trial plot with different initial plantation densities of *Grevillea robusta* was established in 1994 close to Posadas city, in Argentina. The initial densities were 3000, 1500, 750, 375 and 162 stem/ha. Evaluations between the years 3 and 7 after plantation, allows to determine that height was lower in the low densities than in the high densities. It was also possible to established that there was no difference between maximum diameters over stubs of the different densities, after the four pruning lift that were applied. The treatment with 3.000 stem/ha did not have natural mortality at year 7, but high variability in diameter allows to established that Spacemen Factor and Reineke Index, at this moment, could be considered as Imminent Mortality by Competition Line. Forage availability and the presence of adventitious buds allows to established strategic

management zones for stand density regulation, in order to maximize wood production or implementing agroforestry systems in young plantations.

Key words: *initial plantation density, stand density index, pasture, silviculture, Grevillea robusta A. Cunn.*

INTRODUCCIÓN

El género *Grevillea* comprende más de 260 especies; *Grevillea robusta* A. es una especie que crece naturalmente en el NE de Australia, en pequeños rodales de los estados de Queensland y Nueva Gales del Sur entre los 30° 10' S y 24° 30' S (Harwood y Getahun, 1990; Harwood, 1992) donde alcanza el mayor porte con alturas de hasta 40 m. y diámetros de hasta 1,20 m.

Harwood y Getahun (1990) mencionan que a partir de su descripción en 1830 sus semillas fueron distribuidas por Europa donde se la comenzó a emplear como ornamental, para ser posteriormente introducida en Sri Lanka e India, como también Argelia y África del Sur. En América Latina fue introducida a fines del siglo XIX.

En Argentina, la especie ha despertado gran interés, pues se trata de un árbol de fácil adaptación y de rápido crecimiento (Cozzo, 1976). Se estima que existen unas 1.500 ha en Misiones y Corrientes, principalmente formando cortinas y montes de reparo. La madera posee un veteado sedoso, y puede ser utilizada para muebles, paneles y recubrimientos de interiores.

Con respecto a su silvicultura, son escasos los antecedentes en el país, pudiendo mencionarse los de Cipaletti y Cozzi y los de López y Cozzi (cit. op. por Cozzo, 1976), realizados en la provincia de Santa Fe.

Estudios en la provincia de Misiones señalan que en rodales puros con distanciamientos de 3 x 3 m, una plantación de 9 años presentaba los siguientes incrementos promedio: diámetro 2,24 cm/año, altura total 1,73 m/año y volumen 14,99 m³/ha/año. En el caso de rodales consociados con "Yerba Mate" (*Ilex paraguariensis*) y con

RIA, 33 (1): 15-38. Abril 2004. INTA, Argentina

“Pino Paraná” (*Araucaria angustifolia*), se han registrado para espaciamientos iniciales de 6 x 4 m, a los 9 años, los siguientes incrementos promedio: diámetro 2,26 cm/año, altura total 2,01 m/año y volumen 11,54 m³/ha/año (Ottone y Carloni, 1996).

A los cuatro años de edad los orígenes de mejor comportamiento de una red de ensayos de evaluación de orígenes han exhibido un diferencial en volumen del árbol promedio, del orden del 40 % con respecto al testigo de procedencia local y origen desconocido (López *et al.*, 1999).

Salvo estos antecedentes no existen en Misiones ensayos de manejo silvicultural de la especie; considerando el renovado interés despertado en la región en los últimos años debido a la apreciación de su potencial productivo, se instaló un ensayo para evaluar la incidencia de la densidad inicial de plantación en el comportamiento de la misma.

Las hipótesis que se plantearon para este trabajo fueron las siguientes: a) existen diferencias de crecimiento en altura total y diámetro cuando se planta *Grevillea robusta* en distintas densidades iniciales; b) es posible determinar patrones de crecimiento para distintas densidades iniciales de plantación; c) es posible definir índices de espaciamiento y de densidad, a edades tempranas, para el manejo de *Grevillea robusta* con diferentes propósitos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo está ubicado en el Departamento Capital de la Provincia de Misiones, Argentina, siendo sus coordenadas geográficas 27°29'08" Latitud S y 55°56'83" Longitud O, a una altitud de 159 msnm.

La temperatura media es de 21,1° C y la amplitud térmica de 10,5° C. Las temperaturas máximas absolutas oscilan entre 36.3° C y 40.3° C, la temperatura mínima absoluta es de -3,9° C. El régi-

men pluviométrico es isohigro, con totales anuales que van desde 1.054 a los 2.089 mm (Galeano cit. op. en Fernández *et al.*, 1996); concordando con el rango de condiciones ambientales definidas como apropiadas para el desarrollo de esta especie (Harwood y Booth, 1992). Los suelos predominantes en la región son rojos profundos, arcillosos y bien drenados, pertenecientes a los grandes grupos Kandihumultes y Kandiudalfes (INTA, 1990). El relieve es ondulado, con pendientes de 3 al 10 % (Fernández *et al.*, 1996).

El material implantado es de procedencia local y origen desconocido, cosechado por la EEA INTA Bella Vista, Corrientes. La plantación se realizó en septiembre de 1994, efectuándose reposiciones en octubre del mismo año.

Para la preparación del terreno se recurrió al pasaje de rastra en toda la superficie del ensayo y el control de malezas, mecánico, fue total hasta el tercer año, momento a partir del cual fue interrumpido y el terreno fue lentamente cubierto por pastizal propio de la zona.

A partir de un diseño sistemático se establecieron 5 fajas con distintas densidades (Figura 1), en cada una de ellas se delimitaron 4 parcelas – pseudoréplicas - de 16 árboles cada una. En la Tabla 1 se describen los distintos espaciamientos, densidades, superficie por parcelas, número de plantas y la superficie demandada por cada tratamiento. Alrededor del ensayo y de las parcelas dos líneas de plantación con igual tratamiento actuaron de bordura externa e interna, respectivamente. El análisis de las con-

Figura 1. Esquema del ensayo de densidad de *Grevillea robusta* A.

Tratamiento	T1 3000 árboles/ha	T2 1500 árboles/ha	T5 162 árboles/ha	T4 375 árboles/ha	T3 750 árboles/ha
Pseudoréplicas	p4 p3 p2 p1				

Tabla 1: Descripción de los tratamientos del ensayo del estudio de densidades iniciales de plantación.

tratamientos	espaciamiento (m)	densidad (pla/ha)	parcelas (n°)	sup/parc (m ²)
T 1	2,5 x 1,32	3000	4	53
T 2	2 5 x 2 65	1500	4	107
T 3	3,7 x 3,6	750	4	213
T 4	5,2 x 5,1	375	4	426
T 5	7,9 x 7,85	162	4	988
sup. ensayo				1,87 has

diciones físicas del suelo evidenció la homogeneidad del sitio en ese aspecto (Martiarena *et al*, com. pers., 2003)

A partir de los 3 años y hasta los años 6 de edad se aplicaron podas anuales. Todos los tratamientos tuvieron similar intensidad de remoción de copa viva (cerca al 30 % en cada realce). El total de realces en el período fue de 4, cuando se alcanzó una altura de poda cercana a 4,8 m la misma fue suspendida.

Anualmente, luego de efectuado el realce de poda y a comienzos del período invernal, se procedió a efectuar la medición del ensayo. Se midió el diámetro altura del pecho (dap) a todos los individuos; en cada tratamiento se tomó una muestra aleatoria de un mínimo del 15 % de los árboles, donde se midió la altura total (h), en m, con vara telescópica, diámetro máximo sobre muñón en cada levante de poda (dmsm), en cm, con cinta métrica, altura de ocurrencia del dmsm (hdmsm), en m, con vara telescópica, altura de la base de la copa verde desde el suelo (bcv), en m, con vara telescópica y diámetro de la rama sobre muñón (drm), en cm, con cinta métrica. Todos los ejemplares fueron mapeados a fin de identificar su ubicación dentro del rodal. Paralelamente se efectuaron observaciones sobre la presencia de brotes epicórmicos, exhudados de gomas y presencia de tapiz herbáceo.

Mediante el empleo del número de árboles y la altura dominante – definida como la altura media de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea - se estimó el Factor de Espaciamento

RIA, 33 (1): 15-38. Abril 2004. INTA, Argentina

(FE) (Day, 1987) correspondiente a cada tratamiento, empleando la siguiente fórmula:

$$FE(\%) = \frac{\sqrt{\frac{10.000}{N}}}{hdom} \cdot 100$$

donde: N = número de árboles por hectárea;
 $hdom$ = altura dominante, en metros.

También con la densidad y el dap cuadrático se determinó el Índice de Densidad de Reineke (IDR) (Cabrelli *et al.*, 1997) correspondiente a cada tratamiento mediante la siguiente fórmula:

$$IDR = 1,0147 * (10)^{(LOG(N)+1,605*LOG(Dq)-2,250)}$$

donde: N = número de árboles por hectárea;
 Dq = diámetro cuadrático (cm)
LOG = logaritmo decimal

La información fue analizada mediante análisis de regresión, recurriéndose al análisis de covarianza para comparar diferencias entre interceptos y pendiente mediante el método de Snedecor (Schneider, 1998).

Con los índices de densidad de rodal se establecieron zonas de manejo, asumiendo que la especie responde a la Ley de los $-3/2$ (Drew y Flewelling, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cada tratamiento, por año, son presentados en el Anexo 1.

Área basal (G)

Para definir la evolución de la variable G se utilizó el modelo monomolecular (Machado, 1978) el que presentó muy buenos ajustes, de acuerdo con los coeficientes de determinación alcan-

zados y el error estándar obtenido, según puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2: Modelo monomolecular de evolución en G (m²/ha), para cada tratamiento.

tratamiento	modelo	R ² %	S _{xy}	n
1	93,1192 1 - 1,11768 exp(-0,0705638 edad)	95,4782	1,743990	20
2	48,9643 (1 - 1,30481 exp(-0,119664 edad))	95,8529	1,355260	20
3	45,1634 (1 - 1,25238 exp(-0,0913139 edad))	94,0805	1,266650	20
4	55,2277 * (1 - 1,08571 * exp(-0,0328062 * edad))	89,5470	0,875729	20
5	14,0639 * (1 - 1,18994 * exp(-0,0688025 * edad))	90,6483	0,403644	20

R²% = coef. de determinación; S_{xy} = error estándar; n = número de observaciones

No existiendo diferencias significativas entre los valores de la asíntota de las ecuaciones generadas se definió un valor medio común (Crechi, 1996), con lo cual se generaron nuevos modelos para cada tratamiento con asíntota común (Tabla 3). Con estas ecuaciones fue posible graficar la evolución de G en función de la edad (Figura 2).

En la Figura 2 se puede apreciar la existencia de una disminución en el valor de área basal (G) cuando se parte con densidades bajas y tratamientos drásticos.

Tabla 3: Modelos de rendimiento en G (m²/ha) de valor asíntótico común para cada tratamiento.

tratamiento	modelo	R ² %	S _{xy}	n
1	51,467668 * (1 - 1,36747 * exp(-0,165001 * edad))	95,2151	1,74346	20
2	51,467668 * (1 - 1,27958 * exp(-0,111788 * edad))	95,851	1,31738	20
3	51,467668 * (1 - 1,20873 * exp(-0,077728 * edad))	94,0748	1,23156	20
4	51,467668 * (1 - 1,09285 * exp(-0,035385 * edad))	89,5337	0,851596	20
5	51,467668 * (1 - 1,04111 * exp(-0,016624 * edad))	90,8142	0,388775	20

R²% = coef. de determinación; S_{xy} = error estándar; n = número de observaciones

Otro hecho destacable fue que el tratamiento 1 (3000 pla/ha) a los 7 años alcanzó un valor de G cercano a los 30 m²/ha, sin evidenciar mortalidad natural.

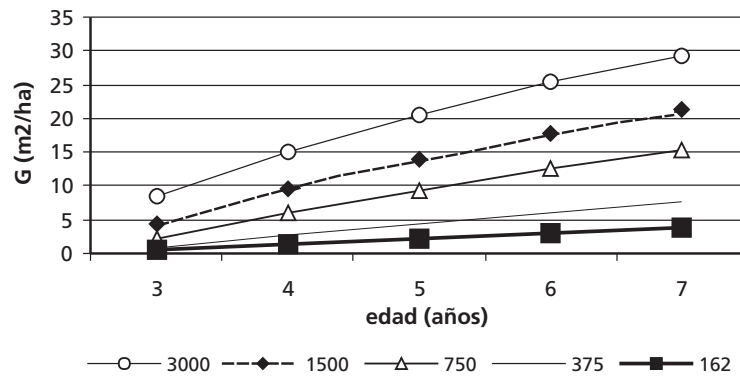


Figura 2: Evolución de G (m²/ha) con la edad para los distintos tratamientos.

Evolución en altura (h)

Al analizar la evolución de la altura promedio en cada tratamiento y en cada año de medición fue posible observar que a partir del tercer año había diferencias entre los mismos y dichas diferencias se acentuaron con el transcurso del tiempo, alcanzando alturas superiores en las densidades mayores (T1, Tt2 y Tt3) y menores en las densidades más bajas (T4 y T5).

Fueron ajustados modelos de regresión lineal para cada tratamiento y se realizó el análisis de covarianza, por el método de Snedecor (Schneider, 1998) para determinar la existencia de diferencias entre ellos.

Como resultado de este análisis se determinó que los tratamientos 4 y 5 no presentaban diferencias estadísticamente significativas al 90 % de probabilidad entre los interceptos, aunque sí entre sus respectivas pendientes. También se determinó que no existían diferencias significativas entre las pendientes de los tratamientos 1, 2 y 3, habilitando esto la posibilidad de combinar los datos de los mismos para el ajuste de un modelo de pendiente común.

En contraposición, Lott *et al.* (2000) señalan que no encontraron diferencias en altura trabajando con esta especie en rodales puros y árboles aislados, dentro de sistemas agroforestales.

Ajuste de modelos de evolución de la altura

Para describir la evolución de la altura en función del dap y la edad del rodal se utilizó el modelo de Curtis (1967) con modificaciones, sugerido por Prodan *et al.* (1997) el que mostró un buen ajuste en función del coeficiente de determinación obtenido. Los tratamientos 1, 2 y 3 fueron agrupados conformando una sola regresión debido a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en sus pendientes y asíntotas (Tabla 4).

Los parámetros estadísticos de las ecuaciones logradas (Tabla 4) son presentados en la Tabla 5, donde se observan los altos valores de coeficiente de determinación obtenidos y los bajos valores del error estándar (S_{xy}) y del error estándar de probabilidad (EAP) logrados en el ajuste.

Tabla 4: Relaciones hipsométricas por grupos homogéneos de densidades iniciales de plantación.

trat.	ec.	modelo	Coeficientes			
			a	b	c	d
1-2-3	1	$\ln h = a + b \frac{dap}{den} + c \frac{1}{edad} + d \frac{1}{dap \frac{den}{edad}^{0,3}}$	3,5679	12,926	4,1118	8,0791
4	2	$\ln h = a + b \frac{1}{edad} + c \frac{dap}{edad} + d \frac{1}{edad}^{0,3}$	1,0571	4,0982	1,3422	
5	3	$\ln h = a + b \frac{1}{edad} + c \frac{dap}{edad} + d \frac{1}{edad}^{0,05}$	-3,8977	3,9641	7,2662	

ec. = ecuación. dap = diámetro altura pecho, en cm. den = densidad inicial de plantación, en plantas por hectárea. Edad en años. ln = logaritmo natural

Tabla 5: Principales estadísticos y ANOVA de las relaciones hipsométricas ajustadas

ecuación	n	R ² %	S_{xy}	EAP	valor P
1	169	93,976	0,0881664	0,0646192	0,0000
2	67	93,087	0,1065050	0,0833323	0,0000
3	65	87,924	0,1085220	0,0891837	0,0000

S_{xy} = error estándar; n = número de observaciones, R²% = coeficiente de determinación, EAP = error absoluto de probabilidad

Evolución de la altura dominante (hdom)

Mediante el empleo de las relaciones hipsométricas correspondiente a cada tratamiento fue posible estimar la altura dominante (hdom) en los mismos, para los distintos años de observación. Asimismo, considerando los resultados obtenidos al analizar la altura de los tratamientos 1, 2 y 3, se procedió también a agrupar las hdom de estos tratamientos para proceder al ajuste de un modelo común. Las hdom de los tratamientos 4 y 5 fueron tratadas en forma separada. Para el ajuste se emplearon diversos modelos, no lineales y lineales, brindando el mejor ajuste la siguiente ecuación linearizada:

$$hdom = a + b \ln \frac{1}{edad}$$

Los parámetros (a y b) y las estadísticas descriptivas son presentados en la Tabla 6 y en la Figura 3 puede observarse la evolución de hdom.

Tabla 6: Diferencias entre pendientes de modelos de altura -edad

trat.	ec.	Coefficiente a	coeficiente b	r	R ² %	S _{xy}	valor P
1-2-3	1	-4,1506	-8,35072	-0,988115	97,6372	0,39547	0,0000
4	2	-3,0766	-6,91803	-0,990090	98,0277	0,309591	0,0000
5	3	-2,8970	-6,25329	-0,992627	98,5309	0,240903	0,0000

S_{xy} = error estándar; R²% = coeficiente de determinación, r = coeficiente de correlación.

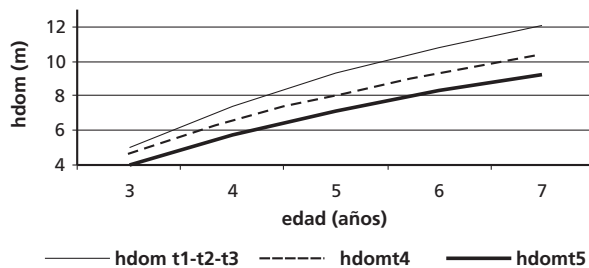


Figura 3: Evolución de hdom (m) para los distintos tratamientos.

En el Anexo 1 se pueden observar que existen diferencias en Hdom y en h que se evidenciaron tempranamente a los 3 años; estas diferencias no podrían ser atribuidas en primera instancia a condiciones físicas del suelo (Martiarena *et al* com. pers., 2003). Los registros del año 1 y 2, de supervivencia, altura y afectación por heladas, evidenciaron mayor efecto de estas últimas en las densidades menores, con el efecto consecuente sobre la altura al segundo año. Este efecto puede haberse visto incrementado con el transcurso del tiempo por efecto de los vientos, que traslocan auxinas de crecimiento hacia la base de la copa.

Base de copa verde (bcv)

A los fines de analizar las intensidades de poda y posteriormente poder reconstruir la estructura de la canopia de los distintos tratamientos, se procedió a establecer relaciones entre variables de los árboles y la base de la copa verde resultante en cada realce de poda o año.

La variable independiente que mayor asociación presentó con la bcv resultó ser la altura total, siendo esta relación esperable debido a que la poda se realizaba en función de esta variable. En la Tabla 7 se presentan los modelos de regresión ajustados para cada realce, independientemente de la densidad inicial de plantación.

Tabla 7: Modelos empleados para estimar la bcv (m) para cada año (período 1997-2001).

Año	modelo	coeficientes		r	R ² %	S _{xy}	valor P
		a	b				
1997	$bcv \exp a b h$	-0,49865	0,192998	0,886097	78,5	0,0870564	0,0000
1998	$\ln bcv a b \frac{1}{h}$	1,144690	-2,82315	-0,78162	61,1	0,0889055	0,0000
1999	$bcv \frac{1}{a b \frac{dap}{dap^2 h} I, I}$	0,245599	4,32625	0,449897	20,2	0,0486835	0,0002
2000	$bcv a b \ln(h)$	-3,37949	3,73686	0,804026	64,6	0,43116	0,0000
2001	$bcv a b \sqrt{h}$	-3,48336	2,55682	0,851314	72,5	0,418051	0,0000

La poda permitió alcanzar fustes libres de ramas de hasta 5,20 m de longitud para los tratamientos más densos y de 4,50 m en los de menor densidad. Puede establecerse que en cualquiera de los tratamientos con intensidades de poda no superiores al 30 % de remoción de copa verde sería factible en 4 realces lograr rollizos podados de 4,80 m de largo.

En los realces 3 y 4 se observó – en especial en los tratamientos 4 y 5 – la aparición de ramas adventicias, pudiéndose deducir que en bajas densidades, con poco sombreado lateral, los dos últimos realces de poda fueron excesivos, ya que la copa era mayormente funcional o bien el estímulo de la radiación solar demasiado alto.

Efecto de la densidad de plantación sobre el dmsm resultante de cada levante de poda

Aparte de la longitud de la troza podada, uno de los aspectos fundamentales que hacen a la calidad de la misma son las dimensiones del "cilindro que contiene los defectos" (cd), según la definición de Park (1982) y que si se emplea similar criterio que en las coníferas, estará fuertemente condicionado por las dimensiones del diámetro máximo sobre muñones (dmsm).

A los fines de determinar si existían diferencias entre los dmsm resultantes de cada densidad inicial de plantación en cada realce, se efectuó un análisis de covarianza de los interceptos y de las pendientes resultantes de los modelos lineales que relacionaban dap con dmsm para cada tratamiento y en cada año. Como consecuencia de ello se encontró que no había diferencias significativas al 90 % de nivel de confianza en los diferentes años considerados.

Debido a lo establecido anteriormente, los datos de todos los tratamientos en cada realce fueron unificados para ajustar un modelo lineal del tipo: $dmsm = f(dap)$; con intercepto y pendiente común para cada operación de poda. Se presentan en la Tabla 8, con sus respectivos estadísticos y análisis de la varianza.

Con los valores obtenidos en la Tabla 8 fue posible definir un gradiente entre los valores de los coeficientes correspondientes a los interceptos y las pendientes (*a* y *b* respectivamente) para los distintos realces, por lo que mediante el método de ajuste paramétrico se adecuó una sola función para todos los tratamientos (Clutter *et al.*, 1992). Los parámetros, con sus estadísticas, son presentados en la Tabla 9.

Pudiéndose expresar el modelo final para la estimación del dmsm en cualquier realce y densidad, de la siguiente manera:

$$dmsm = \exp^{(0,9994)} (realce^{-0,268463}) + (\exp^{(0,111890)} (realce^{-0,311915})) dap$$

donde: *realce* = 1, 2, 3 o 4

Tabla 8: Modelos de estimación del dmsm resultante de los distintos levantes de poda

Realce	a	b	n	r	R ² %	S _{xy}	valor P.
1 ^{ero}	2,73190	1,11744	46	0,876041	76,7448	1,43842	0,0000
2 ^{do}	2,12304	0,902491	68	0,780039	60,8461	2,10322	0,0000
3 ^{ero}	5,47095	0,465995	56	0,519469	26,9848	2,45779	0,0000
4 ^{to}	1,88293	0,725158	61	0,902610	81,4704	1,24486	0,0000

S_{xy} = error estándar; R²% = coeficiente de determinación, r = coeficiente de correlación.

Tabla 9: Coeficientes de los modelos para estimación del intercepto y la pendiente en la función de estimación del dmsm en distintos realces de poda.

modelo	a'	b'	r	R ² %	S _{xy}	valor P
a exp a' realce ^b	0,99942	-0,268463	-0,998655	99,7312	0,0136618	0,0330
b exp a * realce ^{b'}	0,111896	-0,311915	-0,999977	99,9953	0,00209523	0,0044

S_{xy} = error estándar; R²% = coeficiente de determinación, r = coeficiente de correlación.

Hay que considerar también, al analizar los dmsm, que la disposición de ramas de *Grevillea robusta* es alterna, por lo que el valor del dmsm incluye el diámetro del fuste más la proyección horizontal de una sola rama, a diferencia de las coníferas donde este valor incluye la proyección de todas las ramas presentes en el verticilo.

Altura de ocurrencia del diámetro medio sobre muñón (dmsm)

La altura de ocurrencia del dmsm en el primer realce de poda, al igual que en el caso de *Pinus taeda* (Fassola *et al.*, 1999), fue por debajo de 1,30 m, ubicándose en promedio para todos los tratamientos, a 42 cm del suelo.

Al analizar la ubicación en sucesivos realces fue factible determinar que estaba fuertemente relacionado con la base de la copa previa a la intervención de poda.

Mediante regresión lineal se construyó el siguiente modelo que permite estimar la altura de ocurrencia del dmsm en relación con la altura de la base de copa previo a la poda:

$$hdmsm = 0,271375 + 0,976015 \cdot bcv_{anterior}$$

Esta ecuación presentó un coeficiente de determinación (R²%) de 94,0940 y un error estándar (S_{xy}) de 0,3042.

Índices de densidad del rodal y zonas de manejo

Analizados los índices de densidad rodal en el tratamiento de 3000 árboles/ha, Factor de Espaciamiento (FE) e Índice de Reineke (IDR), puede afirmarse que no había ingresado en la zona de mortalidad inminente por competencia; definida por Drew y Flewelling (1979) como "la línea que define el límite de la zona de manejo forestal" (Tabla 10).

Por esta razón, los valores de FE e IDR alcanzados en ese tratamiento, factible de ser considerado como testigo, en la medición correspondiente al 7^{mo} año, 15% y 836, pueden tomarse

Tabla 13: Estadísticos del dap al 7º año por tratamiento.

tratamiento	prom (cm)	xy	máx. (cm)	min. (cm)	S _{xy} (cm)	cv (%)
T1	10,99	10,75	20,05	4,30	3,28	29,8
T2	13,25	10,31	19,10	2,86	3,21	24,2
T3	16,50	8,25	23,71	9,39	2,87	17,4
T4	16,44	13,83	22,92	6,21	3,72	22,6
T5	17,68	11,34	24,67	8,59	3,37	19,1

σ_{xy} = variancia; S_{xy} = desvío estándar; cv(%) = coeficiente de variación porcentual

en forma preliminar como límites inferior y superior, respectivamente, de la zona de manejo (Day, 1985; Day y Gonda, 1987) o como la línea índice de la mortalidad por competencia (Drew y Flewelling, 1979), siempre bajo el presupuesto de que la especie se comporta siguiendo los postulados de la Regla de los $-3/2$

Bajo el mismo presupuesto y considerando lo planteado por Lilieholm *et al.* (1993), cuando determinaron los valores de IDR de distintos rodales de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) y establecieron líneas de manejo, paralelas a las de mortalidad inminente por competencia, que promovían el manejo de la biodiversidad – específicamente favoreciendo la nidificación de águilas –, se procedió a analizar la información correspondiente a los índices de espaciamiento donde se producía la desaparición del tapiz herbáceo con predominancia de *Axonopus compressus* - “pasto jesuita” - para determinar cuales serían los límites de la zona de manejo silvopastoril.

Dado que a los 5 años de edad se procedió a establecer un ensayo de evaluación de la oferta forrajera del pastizal existente en los distintos tratamientos, fue posible observar que en el tratamiento 2 la presencia de “pasto jesuita” era ínfima, razón por la cual en ese tratamiento no se realizó la evaluación de oferta forrajera (Lacorte *et al.*, 2001), correspondiéndole en ese momento un FE del 29 % y un IDR de 377.

Durante el año 2001, 7 años de edad, en el tratamiento 3 - 750 árboles/ha - también fue posible observar una drástica reducción del tapiz herbáceo que inviabilizaría el desarrollo de prácticas silvopastoriles (Lacorte *et al.*, 2001), correspondiéndole valores de FE e IDR de 30 % y 368 respectivamente.

La similitud de los valores de los índices de espaciamiento en ambas ocasiones, permiten adoptar preliminarmente como límites inferior y superior de la zona de manejo silvopastoril un FE del 30 % y un IDR de 370, respectivamente (Figura 4).

Debe considerarse también que al momento de la medición - año 2001 - el tratamiento 3 no presentaba ramas muertas en la base de la copa. Teniendo en cuenta que la probable disminución

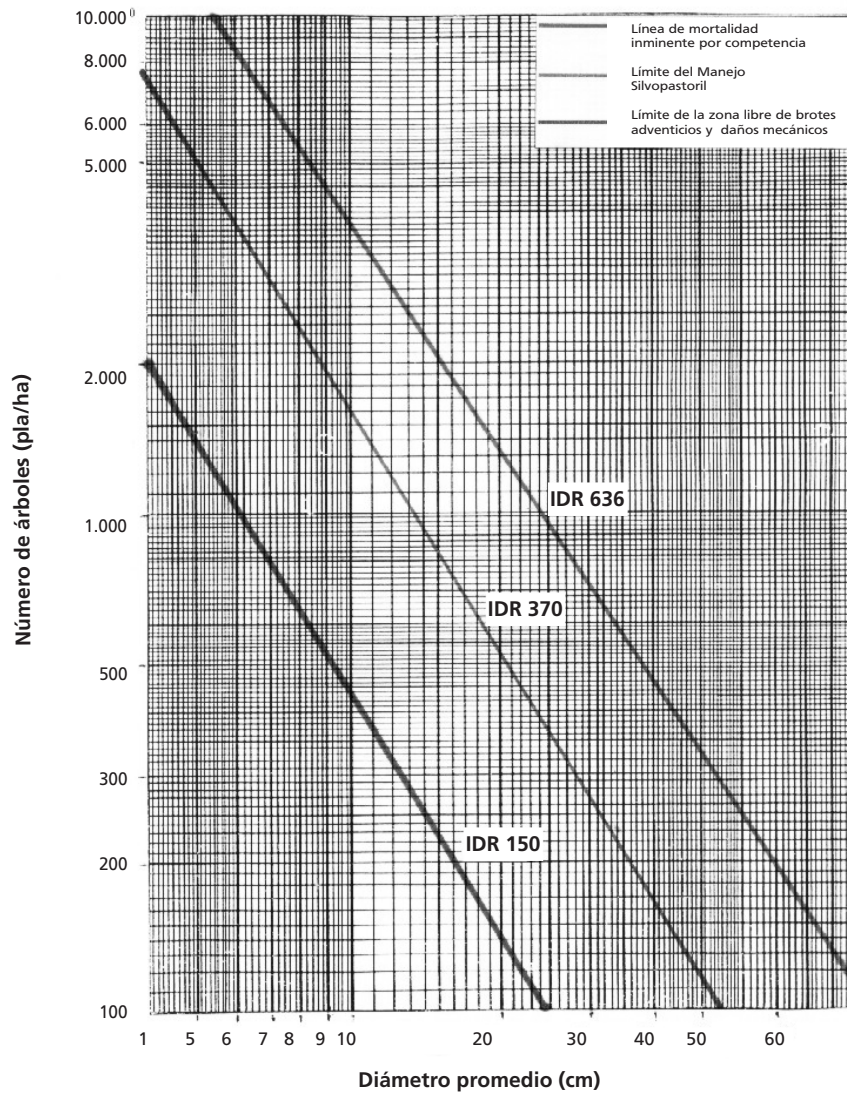


Figura 4: Hoja de manejo de la densidad mediante IDR

ANEXO 1. Principales variables de estado correspondientes a parcelas de distintas densidades iniciales de plantación y edades de *Grevillea robusta* en El Porvenir (Misiones)

Tratamiento (Nº)	G (m ² /ha)	dap (cm)	dapc (cm)	h media (m)	edad (años)	árboles (plta/ha)	hdom (m)	dmsm (cm)	bcv (m)	poda (%)	lcv (Km/ha)	FE (%)	IDR
1	8,36	5,7	5,9	5,0	3	3019	5,45	9,1	1,4	29	10,763	33	300
1	16,43	8,2	8,5	7,2	4	2925	7,88	9,6	2,1	12	14,944	24	513
1	18,95	8,8	9,1	8,7	5	2925	9,45	9,0	3,5	21	15,100	20	575
1	25,03	10,0	10,4	9,9	6	2925	10,95	9,1	5,2	26	13,747	17	720
1	30,16	11,0	11,5	10,8	7	2925	12,05	9,1	5,2	0	17,214	15	836
2	4,08	5,8	6,0	4,5	3	1449	4,95	9,2	1,5	33	4,349	53	146
2	10,12	9,2	9,4	6,8	4	1449	7,43	10,6	2,1	11	6,818	35	303
2	13,30	10,5	10,8	8,3	5	1449	9,08	10,2	3,6	24	6,801	29	377
2	17,71	12,1	12,5	9,5	6	1449	10,58	10,6	5,0	24	6,520	25	474
2	21,47	13,3	13,6	10,4	7	1449	11,65	10,6	5,0	0	8,336	22	555
3	2,00	5,7	6,0	3,9	3	704	4,58	9,1	1,4	36	1,781	82	71
3	6,32	10,5	10,7	6,6	4	704	7,45	11,7	2,0	12	3,208	51	180
3	9,09	12,6	12,8	8,3	5	704	8,71	12,0	3,7	26	3,283	43	241
3	12,35	14,7	14,9	9,8	6	704	11,10	12,5	5,1	24	3,305	34	308
3	15,42	16,4	16,7	11,1	7	704	12,66	12,5	5,1	0	4,269	30	368
4	0,92	5,5	5,8	3,6	3	340	4,29	8,9	1,3	36	0,803	128	33
4	2,86	10,0	10,3	6,0	4	340	6,83	11,3	2,0	14	1,391	80	82
4	3,94	11,6	12,0	7,1	5	340	8,10	11,2	3,5	30	1,254	67	107
4	5,97	14,4	14,8	8,3	6	340	9,39	12,3	4,5	20	1,320	58	150
4	7,72	16,4	16,8	9,0	7	340	10,19	12,3	4,5	0	1,682	53	184
5	0,47	6,1	6,3	3,8	3	152	4,00	9,5	1,2	31	0,397	203	17
5	1,43	10,8	10,9	5,8	4	152	5,70	11,9	1,9	16	0,580	143	40
5	2,04	12,8	13,1	7,0	5	152	7,24	12,2	3,6	35	0,513	112	54
5	2,98	15,6	15,8	8,2	6	152	8,26	12,9	4,5	20	0,563	99	73
5	3,80	17,4	18,0	8,9	7	152	9,29	12,9	4,5	0	0,710	89	88

G=área basal; dap=diámetro altura pecho; dapc= dap cuadrático; h=altura total; hdom=altura dominante; dmsm=diámetro medio sobre muñón; bcv=base copa verde; lcv=largo copa verde; FE=factor de esparcimiento; IDR=índice de densidad de Reineke.

de disponibilidad lumínica, que afectó negativamente el desarrollo del pastizal, afecte también al desarrollo de las ramas en esa porción del fuste, provocando consecuentemente su muerte, es factible entonces considerar que la zona de manejo que permita mantener las ramas vivas tenga sus límites cercanos a los valores de FE e IDR determinados preliminarmente como límites de la zona de manejo silvopastoril.

También fue posible observar en el tratamiento 5, al 7º año, la presencia de exudaciones gomosas en el fuste de algunos ejemplares. Si bien no se efectuó una disección para determinar las causas, la ausencia de estos en los otros tratamientos indicaría su relación con la baja densidad inicial de plantación. Es lógico que los vientos hayan "agitado" con mayor intensidad estos árboles y al no contar con vecinos donde descargar energía, se hayan generado daños mecánicos en los tejidos, que se manifestaron posteriormente con la exudación de gomas. Es probable que la poda, al elevar el centro de gravedad del árbol, como también la edad, que se manifiesta con una pérdida de flexibilidad de los tejidos, hayan ocultado el efecto del viento y sólo se haya podido detectar este síntoma a partir del año 7.

Vinculando esos daños a la densidad y a los índices de densidad que correspondían a ese tratamiento en el momento de la observación, FE 89 % e IDR 88, pueden ser tomados, inicialmente, como límites de tolerancia mecánica para el manejo de la densidad de la especie. Para similares condiciones de sitio y de material genético, esto implicaría que la densidad al tercer año – cuando se iniciaron las tareas de poda – debiera ser igual o mayor a 700 árboles/ha.

La presencia de brotes adventicios en los tratamientos es otro aspecto que debe cuidarse ya que el desarrollo de los mismos desvirtúa los objetivos de producción establecidos para la especie. Analizados los FE e IDR donde se detectó su ocurrencia en los tratamientos 4 y 5 durante el tercero y cuarto levante de poda, se pudo constatar que los valores más próximos a la línea

de mortalidad inminente por competencia fueron 58% y 150, respectivamente (Figura 4). Esto implica que cuando la plantación tiene 5m, 7,5m, 9m y 11m de hdom, momento en que se aplicó los tratamientos de poda, la densidad de la misma debería ser, como mínimo, de 1100, 530, 370 y 250 árboles/ha.

Si se decidiera conducir rodales entre estos límites y los correspondientes a la línea de mortalidad por competencia, sería esperable la no aparición de los brotes adventicios y también evitar daños mecánicos, ya que su límite está más alejado de dicha línea.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Grevillea robusta A. ha demostrado, en estos siete primeros años de estudio, ser bastante resistente a la mortalidad por competencia cuando está plantada en densidades altas. No obstante presentó pequeños problemas de exudación gomosa, cuando se encuentra plantada en densidades bajas, debido, posiblemente, a encontrarse más expuesta a la acción del viento, lo que produciría daños mecánicos.

La falta de diferencias en diámetros entre todos los diámetros a los 3 años de edad permitió establecer que la competencia por recursos aún no se había iniciado. También quedó demostrado que, hasta los 7 años de edad, las diferencias en diámetros no fueron significativas cuando se trataba de densidades mayores y/ o iguales a 750 árboles/ha. Sin embargo, pudo comprobarse que el crecimiento en altura se vio fuertemente afectado.

No fueron observadas diferencias significativas en el diámetro medio sobre muñón (dmsm) para las distintas densidades testadas; no obstante, se hacen necesarios otros estudios que permitan conocer el comportamiento del dmsm dentro de otros esquemas de manejo.

Se pudieron determinar los límites, para el Índice de Densidad Relativo de Reineke (IDR) y para el Factor de Espaciamiento (FE), dentro de los cuales se optimiza la producción forestal, por un lado, o la permanencia en el tiempo de la pastura dentro de un sistema silvopastoril, por el otro, para esta edad de plantación y con diferentes densidades iniciales.

La determinación de estos límites permite al productor, hacer una mejor elección del sistema a implementar de acuerdo con sus necesidades; lógicamente que la proyección que se está haciendo de estos Índices deberán ser confirmados en el tiempo. Aunque, teniendo en consideración la coincidencia de algunos de estos valores en distintas densidades, es de suponer que las proyecciones que se hagan hoy, basados en estos datos, no deben diferir mucho de lo que realmente suceda en el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

CABRELLI, D.; REBOTTARO, S.; REZZANO, C. 1997. Evaluación y análisis del manejo de la densidad en plantaciones de *Pinus taeda* L, por medio del índice de densidad del rodal. Ciencia y Técnica. AFOA LI n° 1. pp. 40-59.

COZZO, D. 1976. Tecnología de las forestaciones en la Argentina y América Latina. Editorial Hemisferio Sur. Bs. As. pp. 608-609.

CLUTTER, F.H., FORTSON, J. C.; PIENNAR, L.V.; BRISTER, G.H. Y BAYLEY, R.L. 1992. Timber Management - A Quantitative Approach. 2nd ed.. New York. 333 p.

CRECHI, E.H. 1996. Efeitos da Densidade de Plantação Sobre a Produção, Crescimento e Sobrevivência de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. em Misiones, Argentina. Dissertação Mestrado em Engenharia Florestal. Sector de Ciências Agrárias. Univ. Federal do Paraná. Curitiba. 172 p.

CURTIS, R. O. 1967. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-Fir. Forest Science. Bethesda. v.13, n 4. pp. 365-375.

DAY, R. 1985. Crop Plans in Silviculture. Lakehead University. 58 p.

DAY, R.; GONDA, H. 1987. Un método de planificación para el manejo de *Pinus*

RIA, 33 (1): 15-38. Abril 2004. INTA, Argentina

elliottii en Misiones tendiente a mejorar la producción. Actas: Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. CIEF. IV: pp. 116-133. Bs. As.

DREW, T.J.; FLEWELLING, J. 1979. Stand density management: an alternative approach and its applications to Douglas-Fir plantations. *Forest Science*. v.25, n.3. pp. 519-535.

FASSOLA, H.E.; FERRERE, P.; RUIBAL DE GELID, M. 1999. Crecimiento en área basal de plantaciones jóvenes de *Pinus taeda* L, origen Marion. Informe final PIA 20/96.

INTA EEA Montecarlo. Boletín Técnico nº 30. 11 p.

FERNÁNDEZ, R.A.; LUPI, A.M.; PAHR, N.M.; DOMEQ, C. 1996. Respuesta del Kiri (*Paulownia* spp.) a la fertilización y al encalado. Informe Técnico nº 7. INTA EEA Montecarlo, Misiones.

HARWOOD C. E Y GETAHUN A. 1990. *Grevillea robusta*: Australian tree finds succes in Africa. *Agroforestry Today*. 2(1): pp 8-10.

HARWOOD, C.E. 1992. Natural distribution and ecology of *Grevillea robusta*. *Grevillea robusta* in forestry and agroforestry. Prooc. of an International Workshop, Ed. by : C.E. Hardwood. Published by ICRAF. pp. 21-28.

HARWOOD C.E.; BOOTH, T.H. 1992. Status of *Grevillea robusta* in forestry and agroforestry. *Grevillea robusta* in forestry and agroforestry. Prooc. of an International Workshop, Ed. by: C.E. Hardwood. Published by ICRAF. pp. 9-16.

INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Castelar. Buenos Aires. Argentina.

LACORTE, S.M. 2001. Disponibilidad forrajera bajo dosel de *Grevillea robusta*. INTA CR Misiones, Campo Anexo Zaimán. Inédito.

LILIEHOM, R.; KESSLER, W.; MERRILL, K. 1993. Stand density index applied to timber and goshawk habitat objectives. *In: Douglas-Fir Environmental Management*. v.17, n.6, pp. 773-779.

LOTT, J.E.; HOWARD, S.B.; ONG, C.K.; BLACK, C.R. 2000. Long term productivity of a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya: I, Tree Growth. *Forest Ecology and Management* 139. pp. 175-186.

RIA, 33 (1): 15-38. Abril 2004. INTA, Argentina

LÓPEZ, J.A.; PARISI, L.M.; FERNÁNDEZ, R.A. 1999. Variación geográfica de *Grevillea robusta* al 4º año de crecimiento en el Noreste de Argentina. Informe Técnico nº 13. INTA EEA Bella Vista. 14 p.

MACHADO, S.A. 1978. Studies in Growth and Yield Estimation for *Pinus taeda* L. Plantations in the State of Paraná-Brazil. Dissertation. (Doctor of Philosophy). University of Washington. 170 p.

OTTONE, J.R.; CARLONI, C. 1996. Crecimiento y desarrollo de la *Grevillea robusta* (Cunn.) "Roble Sedoso" en la República Argentina. Actas Primer Congreso Argentino y Latinoamericano. Paraná. Entre Ríos. t.5. pp. 152-158.

PARK, J.C. 1982. Occlusion and the defect core in pruned *Radiata pine*. FRI Bulletin 2: NZFS. Rotorua. New Zeland. pp. 1-15.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. 1997. Mensura Forestal 1. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. IICA-BMZ/GTZ. San José. Costa Rica. 561 p.

SCHNEIDER, P.R. 1998. Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal. Univ, Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Departamento de Ciências Florestais. Centro de Pesquisas Florestais-CEPEF. 236 p.

**Original recibido el 10 de junio de 2003;
aceptado el 16 de febrero de 2004.**