

COMPORTAMIENTO DENDROMÉTRICO DE *Grevillea robusta* A. IMPLANTADA A DISTINTAS DENSIDADES INICIALES EN MISIONES, ARGENTINA

DENDROMETRIC BEHAVIOUR OF *Grevillea robusta* A.
AT ESTABLISHED AT DIFFERENT INITIAL PLANT
DENSITIES IN MISIONES, ARGENTINA

Fecha de recepción: 15/10/2015 //Fecha de aceptación: 17/12/2015

Sara Barth
INTA EEA Montecarlo
/ FCF-UNaM.
barth.sara@inta.gob.ar

Ana María Giménez
FCF-UNSE.
amig@unse.edu.ar

**María Jacqueline
Joseau**
FCA-UNC. Contacto:
jajoseau@agro.unc.edu.ar

**María Elena Gauchat
Hugo Fassola
Ernesto Crechi**

INTA EEA Montecarlo.
fassola.hugo@inta.gob.ar;
gauchat.maria@inta.gob.ar
crechi.ernesto@inta.gob.ar

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de *Grevillea robusta* ante diferentes espaciamientos. Se evaluaron densidades de plantación de 162 a 1500 árboles por hectárea en un ensayo instalado en Posadas, Misiones, Argentina. Para ello, se realizaron mediciones periódicas de las parcelas a través de 18 años tomando datos de dap y altura, a partir de los cuales se analizaron, a lo largo del tiempo y al momento de la corta final, variables de obtención indirecta como área basal / ha y volumen / ha. Los resultados evidenciaron que la densidad inicial de plantación influyó la tendencia en crecimiento en dap, área basal /ha y volumen /ha, teniendo un efecto menos significativo sobre la altura total. Menores densidades de plantación presentaron mayores diámetros pero en las mayores densidades de plantación ocurrió la mayor acumulación de área basal y volumen /ha. En la mayor densidad de plantación el dap fue un 39

SUMMARY

This work was aimed to assess the behaviour of *Grevillea robusta* at different spacings. A test site in Posadas, province of Misiones, Argentina was used to test plantation densities ranging from 162 to 1500 trees per hectare. To that effect, regular measurements of the plots were carried out over 18 years, taking dbh and height data, which were then used to analyze throughout the time and at the time of the clear cut, variables obtained indirectly, such as basal area/ha and volume/ha. Results show that initial plantation density has an impact on the growth trend in dbh, basal area/ha and volume/ha, with a less significant effect on total height. Lower plantation densities show greater diameters, but the highest densities of plantations show the highest accumulation of basal area and volume/ha. In the largest planting density the dbh was 39% lower than the lower density, that difference was of 12% and 22% regarding the two intermediate densities respectively.

% menor que en la menor densidad, dicha diferencia fue de 12 % y 22 % respecto a las dos densidades intermedias respectivamente. En área basal, entre las dos mayores densidades de plantación existe una diferencia de tan solo 5 % y respecto a las dos densidades intermedias respectivamente. En área basal, entre las dos mayores densidades de plantación existe una diferencia de tan solo 5 % y entre éstas y las dos menores de 46 % y 68 %, respectivamente. En cuanto al volumen con corteza por hectárea, la diferencia entre las dos mayores densidades de plantación y las dos menores fue de 56 %.

Palabras clave: Manejo forestal, altura, dap, área basal, volumen, crecimiento y producción

In basal area, the difference between the two greatest planting densities is only 5%, and between those and the two lowest densities is 46 % and 68 %, respectively. Regarding the volume with bark per hectare, the difference between the two largest planting densities and the two lowest was 56%.

Keywords: Forest management, height, dbh, basal area, volume, growth

INTRODUCCIÓN

Grevillea robusta es utilizada en forestaciones comerciales en el nordeste y noroeste argentino. Según datos provenientes de SIFIP (2013) y de la Dirección de Recursos Forestales de Corrientes (2013) la Región Misiones y N de Corrientes cuentan en conjunto con 3000 hectáreas implantadas de *Grevillea robusta*, conocida además como roble sedoso o grevillea. Si bien la especie es implantada como acompañante a cultivos agrícolas en Kenia, Ruanda, Burundi, Brasil y Argentina, se desconoce su comportamiento frente a manejo forestal intensivo (Lott *et al.*, 2000; Roose y Ndayizigiye, 1997; Akyeampong *et al.*, 2000; Baggio *et al.*, 1997).

El largo plazo de la actividad forestal incrementa la complejidad en la toma de decisiones de manejo de la masa arbórea. Surge así la necesidad de conocer cómo modificar la producción física que provee la plantación para al mismo tiempo acrecentar su valor comercial. El producir madera de calidad en un marco de Manejo Forestal Sustentable es de importancia estratégica para el sector foresto-industrial. En consonancia con ello se busca incorporar nuevas alternativas de cultivo a través de especies no tradicionales pero con potencialidad en la región. La elección de *Grevillea robusta* como una alternativa productiva por parte de las empresas se debe a su crecimiento relativamente rápido (en comparación al de otras especies cultivadas en la región), la adaptación a condiciones edafo-climáticas y a la presión para el cese del aprovechamiento del bosque nativo (Fassola *et al.*, 2004; Esquivel, *et al.*, 2010). En función a lo expuesto y tomando en cuenta la necesidad de incrementar el conocimiento disponible sobre el potencial de cultivo de *Grevillea robusta*, el presente trabajo buscó estudiar el efecto de la densidad de plantación en la evolución de las distintas variables dendrométricas de interés para el ordenador forestal.

La producción de una población forestal es influenciada por factores como el material genético empleado, factores edafo-climáticos y topográficos, representados en el concepto de “calidad de sitio”, la densidad inicial de plantación y los distintos tratamientos silvícolas implementados (limpieza, raleos, poda, fertilización. (Crechi, E.1996). Según Daniel *et al.* (1982) entre ellos, la densidad de plantación es el segundo factor en importancia, después de la calidad de sitio, en la determinación de la productividad de un rodal. Este hecho es también reconocido por Jobet (1999). El espaciamiento es uno de los principales factores que el productor forestal puede manejar en el desarrollo de su plantación. La densidad de plantación presenta un efecto significativo en el crecimiento de la masa forestal (Bailey, 1986; INFOR, 1995). Trabajando con *Eucalyptus sp.*, Montagu *et al.* (2003) destacan que la densidad de la plantación y el ritmo de crecimiento de las plantas son los principales condicionantes que determinan el momento de cierre del dosel arbóreo. A su vez, Martínez *et al.* (2006) señalan que la elección de la densidad de plantación adecuada influye en el crecimiento y condiciona las tareas de mantenimiento y aprovechamiento.

Diversos autores hacen referencia a que a mayores densidades de plantación ocurre una disminución del diámetro y la altura total en individuos pero dándose un aumento de área basal y volumen total por hectárea. Este comportamiento fue observado en *Eucalyptus sp* (Schönau y Coetzee, 1989; Bernardo *et al.*, 1998) más específicamente en *E. camaldulensis* y *E. tereticornis* (Mushove, 1991), *E. grandis* (Coetzee, 1991; Dalla-Tea, 1995 y Crechi *et al.*, 2003), *E. nitens* (Neilsen y Gerrand, 1999) y *E. globulus* (Madrigal *et al.*, 1999; Pinilla Suárez y Ulloa, 2001 y Guerra-Bugueño, 2013). También arribaron a las mismas conclusiones Sharma *et al.* (2002) y Pezzutti (2011) para *Pinus taeda*.

El conocimiento del desempeño de la especie en cuanto a acumulación de biomasa y sus

vinculaciones al crecimiento y a la calidad de madera obtenida, es una herramienta fundamental para la toma de decisiones. Los objetivos planteados en el presente trabajo fueron: a) realizar un análisis comparativo de crecimiento y producción de *Grevillea robusta* a diferentes densidades iniciales de plantación, b) desarrollar modelos que permitan estimar la producción presente y futura en área basal y volumen con corteza por hectárea en función a la densidad de plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con datos provenientes de un ensayo de densidad de plantación de *Grevillea robusta* instalado en la zona Sur de la provincia de Misiones, Argentina (tabla 1). El mismo contó con mediciones bianuales por un lapso de 18 años. La plantación fue realizada en el año 1994 por INTA en campos de la empresa Danzer Forestaciones S.A., actualmente perteneciente a la empresa Garruchos Forestal S. A. (Pomera Maderas). El material genético utilizado es de procedencia local y origen desconocido, cosechado por la EEA INTA Bella Vista, Corrientes.

Según la metodología sugerida por Huxley *et al.* (1984) se trabajó con un diseño sistemático con 4 repeticiones (pseudoréplicas) de 4 por 4 filas con dos filas de bordura perimetral. Para atender el efecto de las pseudoréplicas (no independencia de datos) los análisis se realizaron por regresión a través de modelos lineales generalizados (Hurlbert, 1984). Todos los tratamientos sufrieron 4 podas con remoción del 30 % de la copa viva en cada uno de ellos, hasta llegar a una altura de base de copa verde de 4,5 metros en los tratamientos menos densos y cercana a los 5,2 metros en las mayores densidades. Las podas se realizaron anualmente desde los 3 hasta los 6 años de edad (Fassola *et al.*, 2004).

En el inventario de las parcelas de ensayo se consideraron las mediciones de diámetro a altura de pecho (dap) y altura total. A partir de la información obtenida se analizó el efecto de la densidad inicial de plantación sobre el diámetro (cm) y altura media (m) de *Grevillea robusta*. A modo de caracterizar el desempeño del dap en función a la densidad de plantación se ajustó la función de probabilidad acumulada en base al modelo de Weibull (Soarez, T. S., 2006). Al ser área basal (m²/ha) y volumen (m³/ha) variables derivadas de interés para el manejo de rodales forestales se procedió al cálculo de las mismas a fin de realizar un análisis comparativo según tratamiento. Dichas comparaciones fueron realizadas a través del empleo de modelos mixtos trabajando con el software InfoStat (2014). Con motivo de evaluar la competencia entre densidades de plantación como explicación a algunas

respuestas halladas, se calculó el factor de espaciamiento relativo (Wilson, 1946). Para ello se empleó la expresión:

$$FE (\%) = \left(\sqrt{10000/N} / \text{altura dominante} \right) * 100$$

Donde: FE es el factor de espaciamiento y N el número de árboles por hectárea.

En paralelo se ajustaron modelos de crecimiento en dap y altura total a fin de evaluar diferencias de comportamiento entre las distintas densidades de plantación. Se evaluaron los modelos de Chapman-Richards, Gompertz y Monomolecular (Fassola *et al.*, 2004), eligiéndose el de mejor performance a través del valor de Akaike (AIC). Corroborada la existencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos mediante la comparación de funciones de crecimiento a través de modelos lineales generalizados, se procedió al ajuste de modelos matemáticos de predicción de área basal y volumen mediante una adaptación de los modelos compatibles de crecimiento y producción de Sullivan y Clutter (1972). En la adaptación de estos modelos se consideraron como variables predictoras a aquellas que estuvieran vinculadas a la densidad de plantación a fin de su aplicabilidad en todo el rango de densidades consideradas.

A los fines de comprobar la veracidad de los modelos elegidos se verificó la bondad del ajuste contra sus propios datos. Para ello se efectuó el test de regresión lineal entre valores de biomasa observados y predichos. En este test, si el modelo es bueno, la regresión coincide con la bisectriz del primer cuadrante, contrastándose mediante la prueba de F, con nivel de significancia del 5 %, la hipótesis nula de que el intercepto es = 0 y la pendiente = 1 en forma simultánea (Huang *et al.*, 2003). Posteriormente se validó el modelo contra datos disponibles de una muestra independiente proveniente de un ensayo de intensidad y oportunidad de raleo de 16 años de mediciones sucesivas (Crechi *et al.*, 2008). A fin de la comparabilidad de las situaciones se consideraron los valores provenientes del tratamiento testigo, sin raleo. Para este último procedimiento el error se calculó como ((valor observado – valor estimado) / valor observado)*100.

Tabla 1. Espaciamiento y densidades iniciales de plantación del ensayo de *Grevillea robusta*
Table 1. Spacing and initial planting densities for *Grevillea robusta* trial

Tratamiento	Espaciamiento (m)	Densidad (árboles/ha)
1	2,50 x 2,65	1500
2	3,70 x 3,60	750
3	5,20 x 5,10	375
4	7,90 x 7,85	162

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura

Tal lo esperado según antecedentes bibliográficos para distintas especies cultivadas (Schumacher, 1930; Reismann, 1983), la altura de los 100 individuos de mayor diámetro por hectárea no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los 375 y los 1500 árboles /ha. Dicha diferencia sí se presentó entre éstas densidades y 162 a/ha (figura 1).

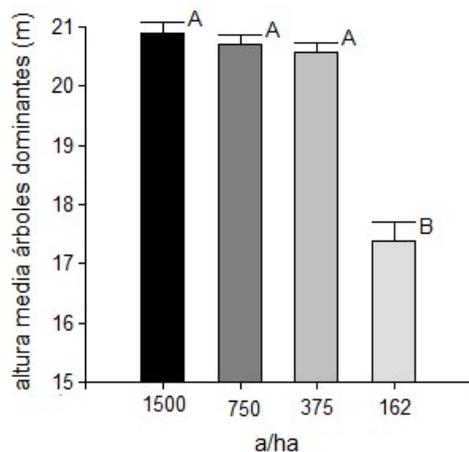


Figura 1. Altura dominante según densidad de plantación en *Grevillea robusta* de 18 años de edad (a/ha: árboles por hectárea)

Figure 1. Dominant height by planting density in 18-years-old *Grevillea robusta* plantation (t/ha: trees per hectare)

La altura dominante es aceptada generalmente como indicadora de la calidad de sitio de una especie forestal porque guarda una estrecha relación con la producción en volumen, dentro de ciertos límites de densidad normales (Reismann, 1983; Patrone, 1963). A 162 a/ha el dosel nunca alcanzó un estado de competencia como para procurar altura en busca de luminosidad. Esto hizo

que en ese espaciamento la altura dominante fuera menor, este espaciamento se hallaría fuera del rango citado por Reismann (1983), Assman (1970) y otros investigadores como normal o dentro de los límites del área basimétrica óptima para una determinada área. Por otro lado, al analizar los resultados encontrados en la variable altura media (figura 2), se observaron diferencias en función a la densidad de plantación. A mayores densidades de plantación se da un mayor porcentaje de individuos dominados (Barth *et al.*, 2015), lo que hace que la altura media sea mayor que en el tratamiento de menor densidad. Esto se debe a la competencia desarrollada por la búsqueda de luz, máxime al ser *Grevillea robusta* una especie catalogada como heliófita (Ferreira y Martins, 1998). Un caso particular se dio a 750 a/ha, es la densidad que mejor aprovecha la potencialidad brindada por los recursos disponibles. Podría considerarse que es el punto de inflexión entre un estado de competencia y una adecuada ocupación del sitio.

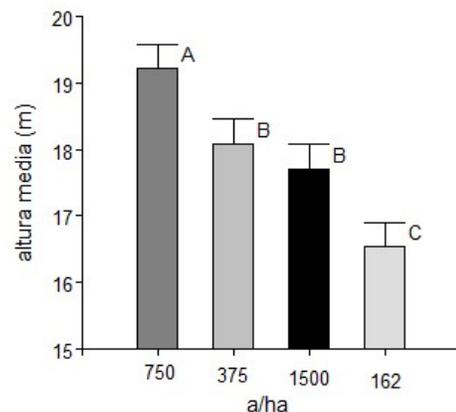


Figura 2. Altura media según densidad de plantación en *Grevillea robusta* de 18 años de edad

Figure 2. Mean height according to planting density in a *Grevillea robusta* plantation of 18 years old

Realizado el análisis de la evolución de altura total del rodal a través del tiempo (figura 3, tabla 2), la tendencia de crecimiento entre las distintas densidades de plantación presentó diferencias estadísticamente significativas.

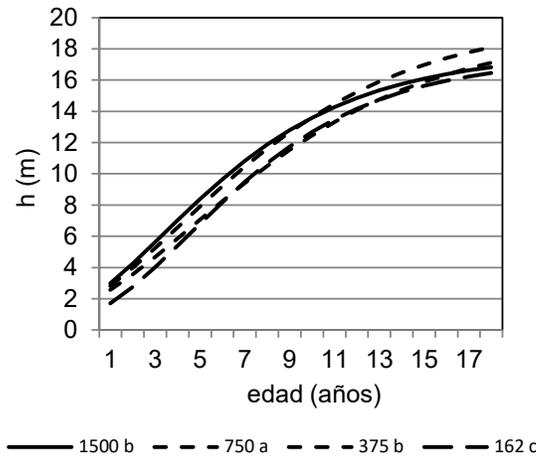


Figura 3. Evolución de altura total según densidad de plantación. (Líneas representadas: Modelo de Chapman-Richards)
Figure 3. Evolution of total height according to planting density. (Represented Lines: Chapman-Richards model)

Tabla 2. Coeficientes y estadísticos de las funciones para altura según el modelo de Chapman-Richards
Table 2. Coefficients and statistics for height equations according to Chapman-Richards model

Parámetros	árboles por hectárea			
	1500	750	375	162
alfa	17,74	19,91	19,27	17,46
beta	-0,26	-0,29	-0,25	-0,24
gamma	0,2	0,17	0,16	0,21
delta	7,45	6,97	8,42	10,74

Diámetro

Tal lo esperado, si consideramos el dap con corteza (diámetro a 1,30 m), los tratamientos de menor densidad de plantación superaron en diámetro a los de mayor densidad de plantación (figura 4). *Grevillea robusta* siguió un patrón de comportamiento común a muchas especies implantadas, a mayor espaciamiento, ante una mejor asignación de espacio vital, la ausencia de competencia por luz ya mencionada al considerar la variable altura, permitió la manifestación del máximo potencial de la especie en cuanto a desarrollo diamétrico. Este resultado es explicable con un análisis de lo sucedido mediante el factor de espaciamiento de Wilson, la competencia fue mayor a mayores densidades de plantación. El factor de

espaciamiento fue creciendo de 12,52 % a 17,50 %, 24,86 % y 45,49 %, desde la mayor a la menor densidad de plantación.

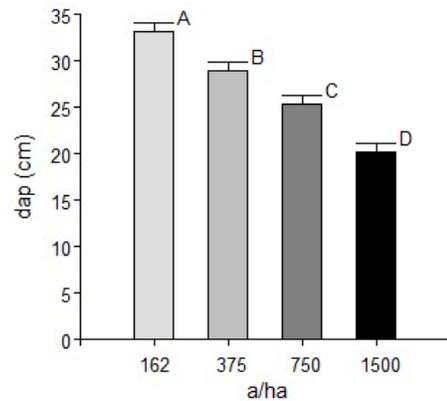


Figura 4. Dap según densidad de plantación en Grevillea robusta de 18 años de edad
Figure 4. Diameter at breast height (dbh) according to planting density in a Grevillea robusta plantation of 18-years-old

El efecto negativo de la competencia en el desarrollo individual de *Grevillea robusta* es también mencionado por Radonski y Ribaski (2010) y Lott *et al.* (2000) estudiando la potencialidad del uso de la especie en sistemas silvopastoriles y agroforestales respectivamente. En coincidencia a lo expresado en el presente estudio, Crechi (1996) analizando el efecto del espaciamiento en *Araucaria angustifolia* y *Dalla tea* (1995) trabajando con *Eucalyptus grandis*, hacen referencian a que el dap fue afectado por la densidad de plantación. Según Crechi (1996), dicho efecto fue mayor en dap que en altura total.

Evaluando a través de modelos lineales generalizados la evolución del dap de los individuos del rodal en un período de 18 años (figura 5), se comprobó que el crecimiento a diferentes densidades de plantación tuvo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Los coeficientes de las funciones ajustadas para el trazado de la representación gráfica del dap pueden ser visualizados en tabla 3.

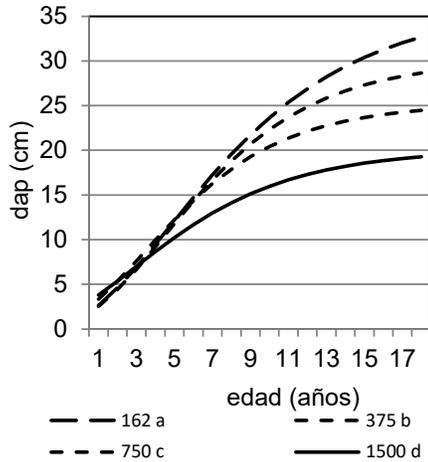


Figura 5. Evolución del dap según densidad de plantación. (Líneas representadas: Modelo de Chapman-Richards)
 Figure 5. Evolution of diameter at breast height according to planting density. (Represented Lines: Chapman-Richards model)

Tabla 3. Coeficientes y estadísticos de las funciones para dap según el modelo de Chapman-Richards
 Table 3. Coefficients and statistics for dbh functions according to Chapman-Richards model

$$dap = \alpha * (1 + \beta * \exp(-\gamma * Edad))^{\delta}$$

Parámetros	árboles por hectárea			
	1500	750	375	162
alfa	20,1	25,22	30,14	36,3
beta	-0,24	-0,26	-0,32	-0,61
gamma	0,21	0,24	0,22	0,17
delta	7,7	8,85	8,33	3,63

Distribución diamétrica

A modo de caracterización de la distribución diamétrica del rodal según las distintas densidades iniciales de plantación, se presenta la función de probabilidad acumulada en base al modelo de Weibull (figura 6). Se produjo un desplazamiento de las curvas hacia la derecha, menores densidades de plantación presentaron mayor número de individuos con diámetros superiores a 30 cm.

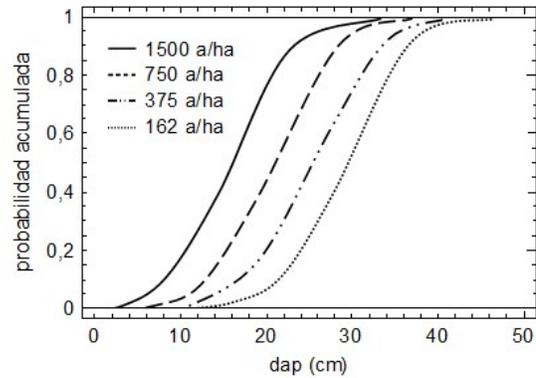


Figura 6. Distribución de probabilidades acumuladas según modelo Weibull para *Grevillea robusta* de 18 años de edad en función de la densidad de plantación
 Figure 6. Cumulative probability distribution according to Weibull model for a *Grevillea robusta* plantation of 18-years-old depending on planting density

La distribución de frecuencias en base a los datos observados (figura 7) evidencia que a 1500 a/ha el 30 % de los individuos supera los 30 cm de diámetro, con un rango diamétrico de 6 a 33 cm. A 750 a/ha dicha frecuencia asciende a 46 %, con un rango de 8 a 38 cm, a 375 a/ha dichos individuos representan un 68 % con un rango de 12 a 44 cm y a 162 a/ha los individuos de las clases superiores a 30 cm constituyen el 85 %, con un rango de distribución de 12 cm a 46 cm.

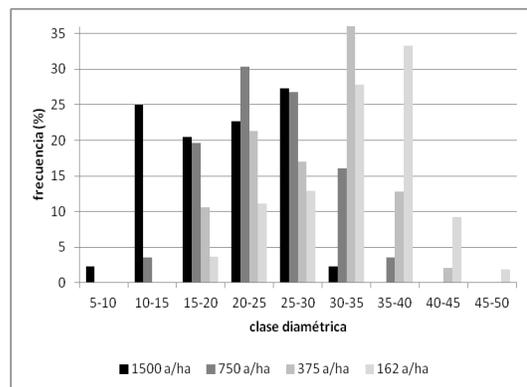


Figura 7. Frecuencia relativa porcentual según clase diamétrica para *Grevillea robusta* de 18 años de edad
 Figure 7. Percentage relative frequency by diameter class for 18-years-old *Grevillea robusta* plantation

Área basal

Al considerar área basal (G) en m²/ha (sumatoria de áreas transversales a 1,3 m de todos los individuos de una hectárea) la incidencia del número de individuos hace, no obstante la diferencia individual en tamaño, que los tratamientos de mayores densidades de plantación presenten mayor área basal en comparación con los de densidades menores (figura 8). En área basal, la diferencia entre las dos mayores densidades de plantación es de 5 % y entre éstas y las dos menores de 46 % y 68 % respectivamente. Dicho comportamiento se mantiene en la evolución de la masa a lo largo de los años (figura 9 y tabla 4).

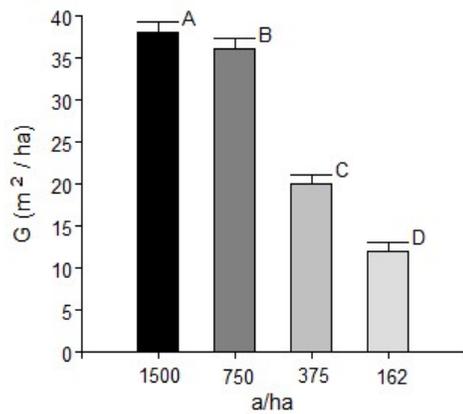


Figura 8. Área basal según densidad de plantación en *Grevillea robusta* de 18 años de edad

Figure 8. Basal area according to planting density in a *Grevillea robusta* plantation of 18-years-old

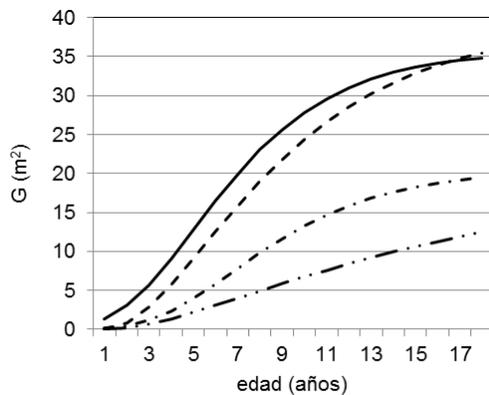


Figura 9. Evolución del área basal según densidad de plantación. (Líneas representadas: Modelo de Chapman-Richards)

Figure 9. Evolution of basal area according to planting density. (Represented Lines: Chapman-Richards model)

Tabla 4. Coeficientes y estadísticos de las funciones para área basal según el modelo de Chapman-Richards

Table 4. Coefficients and statistics for basal area functions according to Chapman-Richards model

Parámetros	árboles por hectárea			
	1500	750	375	162
alfa	35,76	39,00	20,55	19,19
beta	-0,17	-1,15	-0,30	-1,13
gamma	0,28	0,19	0,26	0,09
delta	24,09	2,48	19,4	1,70

Volumen individual

El volumen con corteza de árboles individuales fue menor a mayores densidades de plantación (figura 10). A 162 a/ha hay un 24 % más de volumen individual que a 375 a/ha, un 45 % más que a 750 a/ha y un 65 % más que a 1500 a/ha.

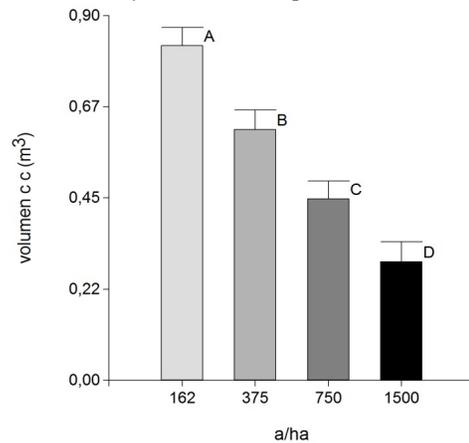


Figura 10. Volumen individual con corteza según densidad de plantación en *Grevillea robusta* de 18 años de edad

Figure 10. Individual volume with bark according to planting density in a *Grevillea robusta* plantation of 18-years-old

Volumen por hectárea

Al considerar la variable volumen con corteza por hectárea (Vcc/ha), los tratamientos de 1500 y 750 a/ha presentan una producción 56 % superior, diferenciándose en forma estadísticamente significativa en relación a los de 375 y 162 a/ha

(figura 11). Esto se debe principalmente al mayor número de individuos, acompañado en menor grado de incidencia por su mayor altura a pesar de su menor dap individual. Este hecho es importante desde el punto de vista del manejo forestal, máxime al ser la especie de potencial interés para emprendimientos agroforestales en los que se requiere un menor número de individuos / ha a fin de evitar competencia de recursos necesarios para la actividad agrícola (Barth *et. al.* 2015). Las diferencias estadísticas entre las distintas densidades de plantación se mantienen a lo largo de todo el ciclo de crecimiento evaluado (figura 12, tabla 5).

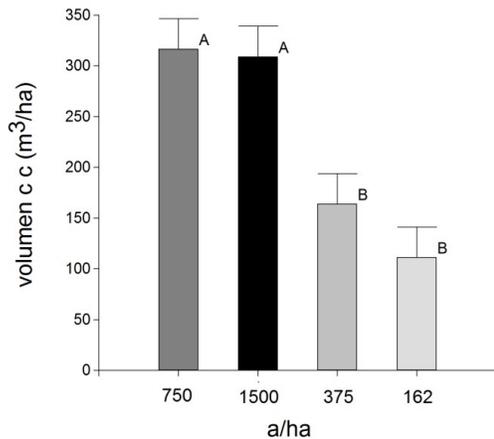


Figura 11. Volumen con corteza por hectárea según densidad de plantación en *Grevillea robusta* de 18 años de edad

Figure 11. Volume with bark per hectare according to planting density in a *Grevillea robusta* plantation of 18-years-old

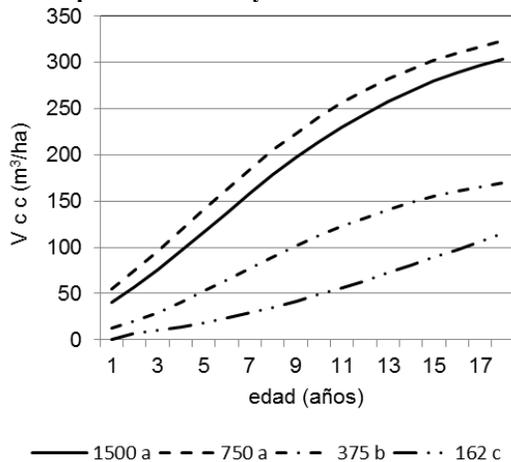


Figura 12. Evolución del volumen total con corteza según densidad de plantación. (Líneas representadas: Modelo de Chapman-Richards)

Figure 12. Evolution of total volume with bark according to planting density. (Represented Lines: Chapman-Richards model)

Tabla 5. Coeficientes y estadísticos de las funciones para volumen total con corteza según el modelo de Chapman-Richards

Table 5. Coefficients and statistics for total volume functions with bark according to Chapman-Richards model

$$\text{área basal} = \text{alfa} * (1 + \text{beta} * \exp(-\text{gamma} * \text{Edad}))^{\text{delta}}$$

Parámetros	árboles por hectárea			
	1500	750	375	162
alfa	345,77	357,4	195,43	306,07
beta	-0,16	-0,06	-0,17	-0,52
gamma	0,16	0,17	0,17	0,07
delta	14,55	35,86	17,46	6,14

En particular, el tratamiento de 750 a/ha presentó una diferente acumulación proporcional de biomasa evidenciado por su mayor índice de área foliar (tabla 6). Esto podría indicar que es el punto de inflexión de la respuesta a los tratamientos considerados

Tabla 6. Índice de área foliar según densidad de plantación en *Grevillea robusta* de 18 años de edad

Table 6. Leaf area index according to planting density in a *Grevillea robusta* plantation of 18-years-old

Densidad de plantación (a/ha)	Índice de área foliar (m² / m²)
750	3,61 a
162	2,59 b
1500	2,35 b
375	2,31 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Funciones de producción

Si bien existen diferencias significativas en la evolución en área basal y volumen según la densidad de plantación, fue posible modelar dicha producción en un modelo único, considerando en el ajuste variables vinculadas a dicho comportamiento como ser el número de árboles en el modelo de área basal presente, el cual posteriormente formó parte de los modelos de producción futura en área basal y producción presente y futura en volumen con corteza. Cabe acotar que los modelos obtenidos son de aplicación en la zona y rango de tamaño considerados en su ajuste. Amerita a futuro ampliar la base de datos de modelación a fin de incluir un mayor número de zonas dentro de la región.

4

Los modelos ajustados fueron:

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

$$G1 = \exp(-2,81236 - 7,80236 * 1/edad\ 1 + 0,815543 * \ln(N) + 0,439135 * \ln(dap))$$

Siendo R²= 97,97 % y Sxy =0,15. Dónde, G1 es el área basal presente y N hace referencia al número de individuos por hectárea.

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

$$G2 = \exp(-0,458853 + 1,15089 * (edad\ 1 / edad\ 2) * \ln(G1) + 6,3917 * (1 - (edad\ 1 / edad\ 2)) - 0,152583 * altura * (1 - (edad\ 1 / edad\ 2)))$$

Siendo R²= 98,25 % y Sxy =0,11. Dónde, G2 es el área basal futura, edad 1 es la edad actual y edad 2 se refiere a la edad futura a la que le interesa predecir el área basal.

Modelo de producción presente en volumen con corteza (m³/ha)

$$V\ cc\ 1 = \exp(1,54344 + 8,10178 * (1/ edad\ 1) + 1,2123 * \ln(G1) - 0,649005 * (altura / edad\ 1))$$

Siendo R²= 96,41 % y Sxy =0,15. Dónde, V cc 1 es el volumen presente con corteza.

Modelo de producción futura en volumen con corteza (m³/ha)

$$V\ cc\ 2 = \exp(0,788754 + 8,43366 * 1/ edad\ 2 + 1,1771 * (edad\ 1/edad\ 2) * \ln(G1) + 0,370728 * (1 - (edad\ 1/edad\ 2)) * altura)$$

Siendo R²= 95,54 % y Sxy =0,18. Dónde, V cc 2 es el volumen futuro con corteza.

Calculado el error de ajuste de los modelos (contrastando contra sus propios datos) se concluye que su comportamiento es aceptable, las pendientes de las rectas ajustadas entre valores observados y predichos son cercanas a 1 (figura 13).

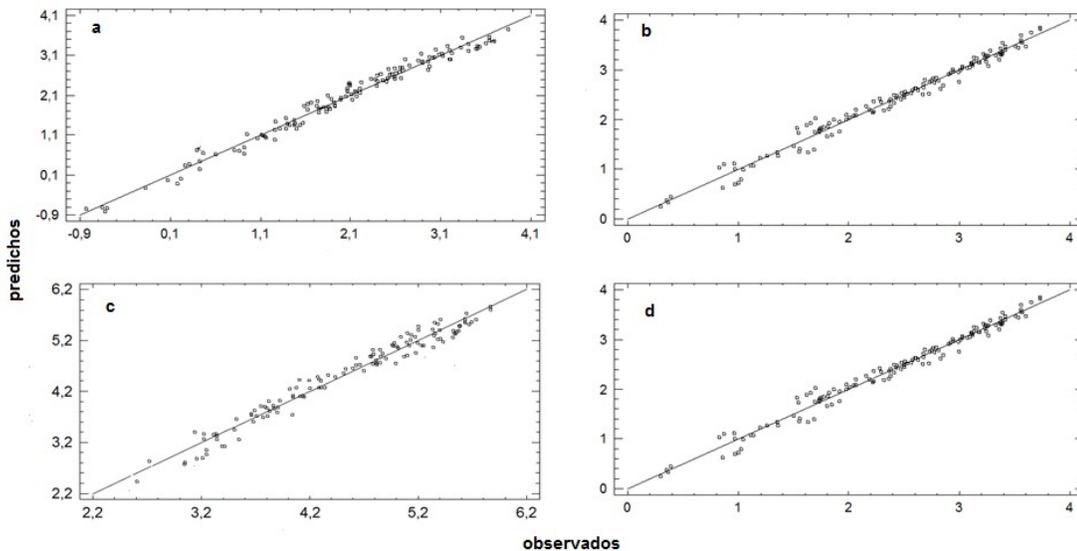


Figura 13. Valores observados versus predichos, modelos de producción de *Grevillea robusta*. 13 a: área basal presente, 13 b: área basal futura, 13 c: volumen presente, 13 d: volumen futuro

Figure 13. Observed values versus predicted ones for *Grevillea robusta* production models. 13 a: current basal area, 13 b: future basal area, 13 c: current volume, 13 d: future volume

Validados los modelos ajustados contra la muestra independiente, área basal presente (G1) presentó un error promedio de 7 %; área basal futura (G2), 14 %; volumen presente (V cc 1), 14 % y volumen futuro (V cc 2), 5 %.

CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, de las consideraciones expuestas y bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio, se puede concluir que:

La altura dominante no es influenciada por la densidad de plantación, con la excepción de la densidad de 162 a/ha, en la que nunca se presentó competencia por luz entre árboles de la misma especie, recurso de suma importancia al ser *Grevillea robusta* una especie considerada heliófita.

La densidad de 162 a/ha se encuentra fuera del rango de ocupación de sitio considerado como normal, o dentro de los límites del área basimétrica óptima, para una masa forestal pura.

Las variables dap, altura media, volumen individual y área basal y volumen por hectárea son influenciados por la densidad inicial de plantación.

Menores densidades de plantación presentaron mayor dap y menor altura media, así como mayor volumen individual.

Mayores densidades de plantación presentaron mayor área basal y volumen por hectárea pero con producto de menores dimensiones.

Cuanto mayor sea el diámetro objetivo de la producción menor deberá ser la densidad inicial de plantación o en su defecto se hará indispensable la realización de raleos intermedios.

Si se prioriza la maximización del volumen, esto se logrará a altas densidades de plantación, debiendo analizarse los riesgos de esta decisión en vistas al uso dado a la especie, madera para aserrado y ebanistería que priorizan calidad y mayores dimensiones. A densidades menores, un porcentaje mayor a 50 % de los individuos superaron los 30 cm de dap a los 18 años de edad.

La función de Chapman-Richards describió adecuadamente la evolución de las variables dap, altura media, área basal y volumen a través de los 18 años considerados.

Los modelos empleados para estimación de producción en área basal y volumen presente y futuro por hectárea tuvieron buen desempeño, con valores de coeficiente de determinación superiores a 95 % en todos los casos, lo que fue corroborado por la validación contra la muestra independiente.

No obstante a lo expresado en el párrafo precedente, no se recomienda el uso de los modelos de producción presentados en edades inferiores a 5 años y fuera de las dimensiones consideradas en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del personal de campo de INTA EEA Montecarlo en la persona de los señores Otto Knebel, Lucas Giménez, Diego Aquino y Roberto Kobs.

BIBLIOGRAFIA

AKYEAMPONG, E.; HITIMANA, L.; TORQUEBIAU, E. and MUNYEMANA, P. C. 2000. Multistrata Agroforestry with Beans, Bananas and *Grevillea robusta* in the Highlands of Burundi. *Experimental Agriculture* 35:357-369.

ASSMANN, E. 1970: *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press. Oxford. New York. 506 pp.

BAGGIO A. J.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLO filho, A. y MONTROYA, L. 1997. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agroforestry Systems*, 37:111-120.

BAILEY, R. 1986. Rotation age and establishment density for planted slash and loblolly pines. *Southern Journal of Applied Forestry*, 10:162-168.

BARTH, S. R.; GIMÉNEZ, A. M.; JOSEAU, M. J.; GAUCHAT, M. E. y FASSOLA, H. E. 2015. Efecto de la densidad de plantación de *Grevillea robusta* A. Cunn. sobre la calidad de la madera en vistas a un uso agroforestal de la especie. Libro de Actas. VIII Congreso Internacional sobre Sistemas Agroforestales para la Producción Pecuaria y Forestal Sostenible. III Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Iguazú. Argentina. P. 243 – 248.

BARTH, S. R.; GIMÉNEZ, A. M.; JOSEAU, M. J.; GAUCHAT, M. E. y VIDELA, D. 2015 (en edición). Influencia de la densidad de plantación y posición sociológica en el rendimiento y la calidad de madera aserrada de *Grevillea Robusta* A. Revista quebracho.

BERNARDO, A.; REIS, M. L.; REIS, G. F.; HARRISON, R. G. and FIRME, D. J. 1998. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita*, *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. *Forest Ecology and management*. 104: 1 – 13.

COETZEE, J. 1991. The influence of stand density on the yield of *Eucalyptus grandis*: a comparison between a good site and a poor site at age 4 years. IUFRO Symposium. Intensive

Forestry. The role of Eucalypts. Durban, South Africa, 2-6 de septiembre. Vol. 2. p. 901-916.

CRECHI, E. 1996. Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivencia de *Araucaria angustifolia* (bert.) o. ktze. em Misiones, Argentina. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do Título de "Mestre em Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná. Brasil. 195 p.

CRECHI, E.; FERNÁNDEZ R.; FASSOLA, H. y REBORATTI, H. 2003. Efectos de la densidad de plantación sobre el crecimiento y la producción en *Eucalyptus grandis* a la edad de 6 años. En: 10º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. FCF-INTA. Edorado, Misiones, 25-27/09/03. 12 p.

CRECHI, E.; KELLER, A.; FASSOLA, H.; FERNÁNDEZ, R. y MOSCOVICH, F. 2008. Efectos de la intensidad de raleo sobre la producción en volumen de *Grevillea robusta* A. en el sur de Misiones, Argentina. En: 13º Jornadas Técnicas, Forestales y Ambientales, Eldorado, Misiones, Facultad de Ciencias Forestales-UNaM; EEA Montecarlo-INTA, 11 p.

DALLA TEA, F. 1995. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en entre Ríos, Argentina. Revista Investigaciones Agropecuarias. Sist. Recursos Forestales. V. 4, nº 1:57 – 71.

DANIEL, P. W.; HELMS, V. E. y BAKER, F. S. 1982. Principios de Silvicultura. México: McGraw Hill. 492 p.

DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS FORESTALES DE CORRIENTES. Inventario forestal. <http://recursosforestales.corrientes.gob.ar/>. Acceso año 2013.

ESQUIVEL, J.; LACORTE, S.; GOLDFARB, C.; FASSOLA, H.; COLCOMBET, L. y PACHAS, N. 2010. Sistemas silvopastoriles con especies maderables en la República Argentina. Actas VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción Pecuaría Sostenible. Panamá. 68 p.

FASSOLA, H.; MOSCOVICH, F.; DOMEQ, C.; FERRERE, P.; LACORTE, S.; HAMPEL, H.; MALETTI, C. y ALEGRANZA, D. 2004. 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. INTA. Ediciones RIA, 33 (1):15-38.

FERREIRA, C. A. y MARTINS, E. G. O. 1998. Potencial da grevilea (*Grevillea robusta* A. Cunn.) para reflorestamento. In: GALVÃO, A. P. M.

(Org.). Espécies não tradicionais para plantios com finalidades produtivas e ambientais. Curitiba: Embrapa Florestas, p. 169-178.

GUERRA-BUGUEÑO, E.; CÉLIS-MOSQUEIRA, F. y MORENO-GARCÍA, N. 2013. Efecto de la densidad de plantación en la rentabilidad de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Volumen 20. 1:22 – 31.

HURLBERT, S. H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological monographs 54:187-211.

HUXLEY, P. A.; BURLEY, J.; WOOD, P. J. and ROBINSON, P. J. 1984. Methodology for the exploration and assessment of multipurpose trees (MPTS): section four part 4c tree crop combinations. Nairobi: ICRAF, 1984. 102 p.

HUANG, S.; Yang, Y. and WANG, Y. 2003. A Critical Look at Procedures for Validating Growth and Yield Models. En: Amaro A., Reed D., Soares P. (Eds.) Modelling Forest Systems. CABI-Publishings, Wallingford, p. 271-293.

INFOR (Instituto Forestal). 1995. Primeros resultados en un ensayo de espaciamiento, poda y raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). Santiago, Chile: División Ordenación Forestal e Inventarios.

INFOSTAT. 2014. Software estadístico desarrollado por Grupo InfoStat (Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez L.; Tablada, M. y Robledo C.W.). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

JOBET, J. 1999. Efecto del espaciamiento inicial sobre el crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus nitens* plantado en suelos de trumao. Silvotecnica, 12:80-104.

LOTT, J. E.; HOWARD, S. B.; ONG, C. K. and BLACK, C. R. 2000 a. Long-term productivity of a *Grevillea robusta*-based overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya: P. I y II. Tree growth. Forest Ecology and Management 139:187 – 201.

MADRIGAL, A.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO R. y ROJO A. 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar. 253 p.

MARTÍNEZ, R.; AZPIROZ, H.; RODRÍGUEZ, J.; CETINA, V. and GUTIÉRREZ, M. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de