

## DISTINTOS MARCOS DE PLANTACIÓN PARA *Eucalyptus globulus* EN EL LITORAL ATLANTICO DEL URUGUAY

Alejandro González<sup>8</sup>, Juan Mac Gregor<sup>9</sup>

### 1. INTRODUCCIÓN

Para que un genotipo pueda expresar su potencial de crecimiento es necesario levantar aquellos factores bióticos y abióticos que lo limiten. En tal sentido, la densidad de plantación ha sido identificada como uno de los factores determinantes en la productividad forestal (Daniel *et al.*, 1982). Según éste, la densidad del rodal es el segundo factor en importancia (después de la calidad del sitio) para la determinación de la productividad de una masa forestal, con lo cual es muy importante el manejo correcto de la misma. En rotaciones cortas y sin raleos intermedios, la densidad de plantación es muy importante, afectando no solo el volumen final del rodal o el de las trozas, sino también el turno de corta, trayendo por tanto implicancias económicas directas e indirectas (por ej. costos de implantación o de aprovechamiento; Coetzee, 1991).

En general, el aumento en la densidad de plantación afecta el crecimiento individual de los árboles, disminuyendo sobre todo el diámetro de los mismos, pero contrastándose hasta cierto punto con un aumento de la biomasa por hectárea. Esta tendencia general ha sido reportada en distintas investigaciones, para distintas especies de *Eucalyptus*: *globulus* (Pinilla y Ulloa, 2001), *grandis* (Coetzee, 1991), *nitens* (Neilsen y Gerrand, 1999), entre otros.

Independientemente de esto, el máximo de producción forestal está condicionado además de la especie, al sitio e incluso a la preparación del mismo. Por tanto, la elección de un espaciamiento determinado no es una decisión sencilla, puesto que depende de muchos factores como ser: especie elegida, características específicas del sitio, preparación del mismo, destino de la producción, entre otras.

Investigaciones sobre *E. grandis* en la Provincia de Buenos Aires (Chagas Campos *et al.*, 1990), establecen que espaciamientos mayores (menor densidad de plantación) mantienen el crecimiento de los árboles individualmente por un mayor período de tiempo que aquellos espaciamientos menores, pero en estas circunstancias la producción total por superficie es menor hasta que todo el espacio disponible para el crecimiento sea plenamente utilizado.

El objetivo del presente trabajo es evaluar y analizar el efecto de cinco densidades iniciales de plantación a los 8 ½ años de edad, sobre el diámetro medio, altura media, volumen medio individual, volumen total por hectárea y supervivencia. Las densidades iniciales ensayadas fueron: 800, 1100, 1400, 1700 y 2000 árboles por hectárea.

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

- Región: Atlántico, depto. de Rocha
- Establecimiento: Agrocampo
- Ubicación: latitud: 34° 10' 46" S; longitud: 54° 17' 38" W
- Tipo de Suelo: CONEAT 2.11a (bloques 1 y 2), 2.12 (bloque 3)
- Fecha de instalación: octubre de 2001
- Material vegetal: *E. globulus*, clon 334-1-AR
- Tamaño total: 7500 m<sup>2</sup>
- Repeticiones: 3

<sup>8</sup> Ing. Agr. Forestal, I+D, Montes del Plata

<sup>9</sup> Ing. Agr. Forestal, I+D, Sierras Calmas

- Parcelas: 500 m<sup>2</sup>
- Plantación: manual
- Fertilización: 80 gramos/planta de 13:40:0 al momento de la implantación
- Programa estadístico usado: Statgraphics Plus 5.1
- Densidades ensayadas:
  - 1- 800 árboles por ha: 3.67 m entre plantas \* 3.4 m entre filas
  - 2- 1100 árboles por ha: 2.67 m entre plantas \* 3.4 m entre filas
  - 3- 1400 árboles por ha: 2.10 m entre plantas \* 3.4 m entre filas
  - 4- 1700 árboles por ha: 1.73 m entre plantas \* 3.4 m entre filas
  - 5- 2000 árboles por ha: 1.47 m entre plantas \* 3.4 m entre filas

### 3. RESULTADOS

Para los análisis de los resultados se usó el siguiente modelo estadístico:  $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + TB_{ij} + e_{ij}$ ; donde:

Y es la variable analizada (diámetro individual medio, altura individual media, volumen individual medio, volumen por hectárea, supervivencia)

$\mu$  es la media general

T es el efecto tratamiento (distintas densidades de plantación)

B es el efecto bloque

TB es el efecto interacción tratamiento- bloque

e es el error experimental

Como fue dicho anteriormente, las variables analizadas son: diámetro individual medio, altura individual media, volumen individual medio, volumen total por hectárea y supervivencia. En la tabla 1 se describen las densidades al momento de la instalación, 4, 6 ½ y 8 ½ años:

Tabla N° 1

Tratamiento	Distancia de plantación (m)	Densidad original (plantas ha <sup>-1</sup> )	Densidad a los 4 años (plantas ha <sup>-1</sup> )	Densidad a los 6 ½ años (plantas ha <sup>-1</sup> )	Densidad a los 8 ½ años (plantas ha <sup>-1</sup> )
1	3.67 * 3.4	800	655	635	584
2	2.67 * 3.4	1100	1000	970	901
3	2.10 * 3.4	1400	1302	1275	1233
4	1.73 * 3.4	1700	1555	1475	1399
5	1.47 * 3.4	2000	1825	1760	1599

Puede observarse que en los últimos 2 años se han perdido en promedio de los 5 tratamientos alrededor del 6.5% de los árboles vivos a los 6 ½ años.

#### 3. A. Diámetro individual medio

El análisis de varianza para diámetro individual medio determina que el modelo es altamente significativo ( $P < 0.05$ ), siendo también significativo el efecto Tratamiento (o sea que se presentan diferencias estadísticas entre ellos para esta variable). La media general del experimento a los 8 ½ años es de **179 mm**; a continuación se presenta la tabla de comparaciones múltiples correspondientes según tratamiento.

### Comparaciones múltiples para Diámetro (mm) según Densidad

-----

Método: 95.0 porcentaje LSD

Densidad	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
2000 (T5)	238	161.925	2.78491	a
1700 (T4)	209	165.685	2.9637	ab
1400 (T3)	185	173.989	3.15136	b
1100 (T2)	136	185.716	3.67488	c
800 (T1)	89	208.052	4.5386	d

-----

\*letras distintas indican diferencias significativas

Se observa claramente que el diámetro medio individual aumenta a medida que disminuye el número de plantas por hectárea, es decir, el menor diámetro se ve en las parcelas de mayor densidad (161.9 mm para 2000 plantas originales ha<sup>-1</sup>) y el mayor diámetro en las parcelas de menor densidad (208.1 mm para las parcelas de 800 plantas originales ha<sup>-1</sup>).

Se establecen varios grupos con diferencias significativas entre ellos. Por un lado el tratamiento 1 (800 plantas originales ha<sup>-1</sup>) presenta un crecimiento significativamente superior al resto; el tratamiento 2 (1100 plantas ha<sup>-1</sup>) crece para esta variable significativamente menos que el T1 pero más que el resto; asimismo, el T5 presenta un crecimiento significativamente inferior a todos los demás con excepción del T4.

Las diferencias en diámetro entre los distintos tratamientos son muy importantes, siendo un 28.5% superior en el tratamiento 1 respecto al tratamiento 5 (tomando este último como base 0). La figura 1 muestra lo anterior,

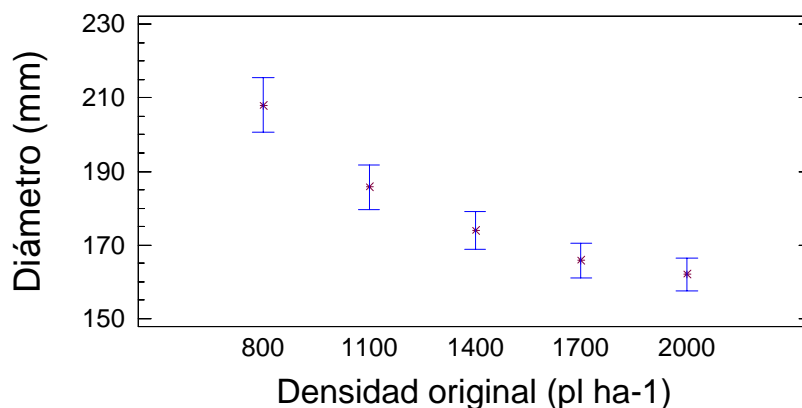


Figura 1- Diámetro medio (mm) según tratamiento

### 3. B. Altura individual media

El análisis de varianza para altura individual determina que el modelo es altamente significativo ( $P < 0.05$ ). Si bien el mismo no determina significancia para el efecto tratamiento, las comparaciones múltiples (LSD) si las establecen, esto es un hecho destacable ya que la altura de los árboles es un indicador de calidad de sitio y por tanto, en principio, independiente de los tratamientos experimentados; de hecho en la evaluación anterior (6 ½ años de edad) no se registraban para esta variable diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Al

momento de esta evaluación (8 ½ años), algunos árboles del T5 (2000 árboles originales ha<sup>1</sup>) han comenzado a quedar suprimidos respecto al resto y consecuentemente además de reducir sensiblemente los incrementos en diámetro también lo han hecho para la variable altura, lo que determina que este tratamiento difiera significativamente de al menos uno de los otros (T3). La media general del experimento para esta variable es de 22.4 m.; a continuación, la tabla de comparaciones múltiples correspondientes según tratamiento.

### Comparaciones múltiples para Altura (mm) según Densidad

Método: 95.0 porcentaje LSD

Densidad	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
2000 (T5)	238	2193.36	24.2021	a
1700 (T4)	209	2223.91	25.7558	ab
1100 (T2)	136	2244.77	31.9363	ab
800 (T1)	89	2248.33	39.4424	ab
1400 (T3)	185	2293.85	27.3867	b

\*letras distintas indican diferencias significativas

Se puede observar que por lo expuesto anteriormente, el T5 (2000 plantas originales ha<sup>-1</sup>) tiene un crecimiento significativamente inferior al T3, aunque este último presenta una altura media solo un 4.6% mayor respecto al primero (1m exacto). En la figura 2 se observa lo dicho.

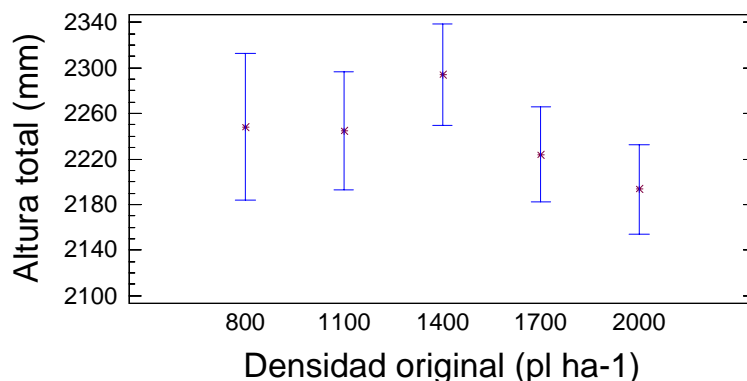


Figura 2- Altura media (mm) según tratamiento

### 3. C. Volumen individual medio

Para las estimaciones de esta variable se usaron funciones de volúmenes para *E. globulus* en Uruguay. El análisis de varianza determina al igual que para las anteriores que el modelo es altamente significativo ( $P < 0.05$ ), como así también lo es el efecto Tratamiento. La media general de todo el ensayo para esta variable es de 0.179 m<sup>3</sup>, a continuación se presenta la tabla de comparaciones múltiples correspondientes según tratamiento.

Comparaciones múltiples para VOLUMEN Individual (m<sup>3</sup>) según Densidad

-----  
 Método: 95.0 porcentaje LSD  
 -----

Densidad	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
2000 (T5)	298	0.144083	0.00495031	a
1700 (T4)	254	0.158756	0.0053618	a
1400 (T3)	210	0.187659	0.00589673	b
1100 (T2)	166	0.192541	0.00663257	bc
800 (T1)	122	0.212972	0.00773848	c

-----

\*letras distintas indican diferencias significativas

Al igual que para la variable diámetro, se observa para el volumen medio individual que el mismo aumenta a medida que disminuye la densidad de plantas por hectárea (el menor volumen individual medio se da en las parcelas de mayor densidad: 0.144 m<sup>3</sup> para 2000 plantas originales ha<sup>-1</sup> y los mayores ocurren en las parcelas de menor densidad: 0.213 m<sup>3</sup> para las parcelas de 800 plantas originales ha<sup>-1</sup>).

El tratamiento de menor densidad (T1) presenta un crecimiento significativamente superior al resto, excepto respecto a T2; al mismo tiempo, los tratamientos 4 y 5 (1700 y 2000 plantas originales ha<sup>-1</sup> respectivamente) tienen para esta variable un crecimiento significativamente inferior a los demás y sin diferencias significativas entre ellos.

Las diferencias en crecimiento individual de los árboles para los distintos tratamientos son muy importantes, siendo un 48% mayor en el tratamiento 1 respecto al tratamiento 5 (tomando este último como base 0); básicamente estas grandes diferencias se explican por las existentes en cada caso para la variable diámetro. La figura 3 muestra lo dicho.

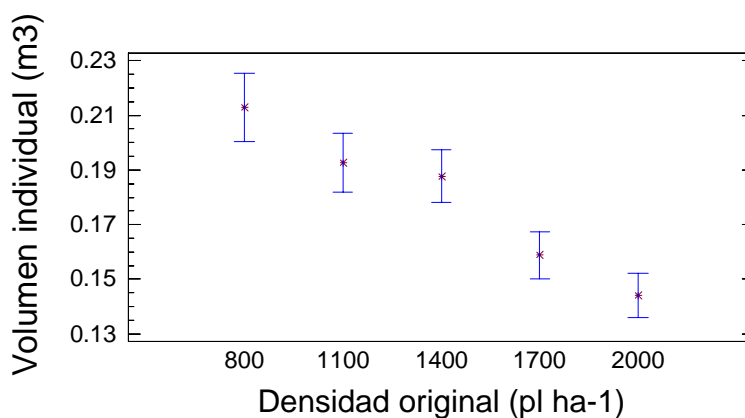


Figura 3- Volumen individual medio (m<sup>3</sup>) según tratamiento

### 3. D. Volumen total por hectárea

Las evaluaciones para esta variable se hicieron usando las densidades reales existentes actualmente (8 ½ años), o sea, los volúmenes por hectárea están calculados a partir de la sumatoria de los volúmenes en cada parcela y extrapolados luego a la hectárea. Las ecuaciones de volúmenes en este caso son las mismas usadas en ítem 3. C.

Al igual que para las variables anteriores, el análisis de varianza determina que el modelo es altamente significativo ( $P < 0.05$ ), así también el efecto Tratamiento. La media general de todo el experimento es para esta variable de  $196.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , a continuación se presenta la tabla de comparaciones múltiples correspondientes según tratamiento.

#### Comparaciones múltiples para VOLUMEN ( $\text{m}^3$ ) $\text{ha}^{-1}$ según Densidad

Método: 95.0 porcentaje LSD

Densidad	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
800 (T1)	122	124.163	8.39176	a
1100 (T2)	166	173.48	7.1925	b
1700 (T4)	254	221.941	5.81444	c
2000 (T5)	298	230.1	5.36821	c
1400 (T3)	210	231.383	6.39453	c

\*letras distintas indican diferencias significativas

Puede observarse en este caso que se diferencian 3 grupos con diferencias significativas entre ellos; los 3 tratamientos de mayor densidad original (y actual) presentan un crecimiento significativamente superior respecto a los otros dos tratamientos de menor densidad, los que a su vez, difieren entre sí. La figura 4 lo muestra claramente.

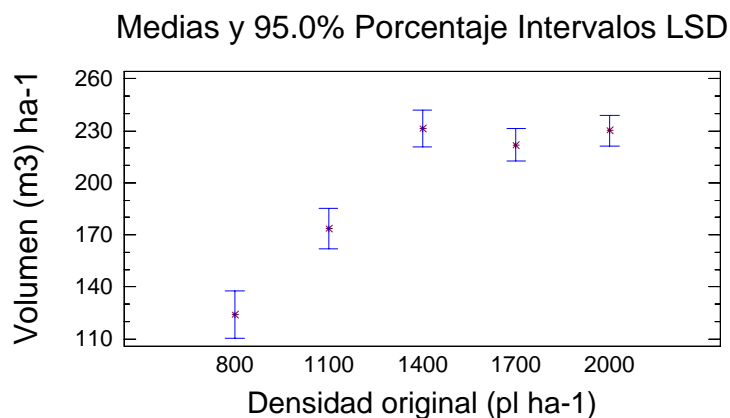


Figura 4- Volumen total medio por ha ( $\text{m}^3$ ) según tratamiento

Puede observarse que los tres tratamientos de mayor densidad original y actual (T3, T4 y T5) tienen un crecimiento volumétrico por hectárea muy superior a los otros dos (T1 y T2) y sin diferencias significativas entre ellos.

Consecuentemente, dado que no existe diferencias entre ellos, el tratamiento de 1400 plantas por hectárea (T3) es sin dudas el mejor para esta especie y sitio dentro de las densidades testeadas, pues presenta respecto a los otros dos con crecimiento similar (T4 y T5), un menor costo de implantación (menor cantidad de plantas por hectárea) así como un menor costo de cosecha (mayor volumen individual de los árboles y por tanto menor tarifa de cosecha).

A continuación se gráfica las tarifas de cosecha según los volúmenes individuales medios de los árboles. Es importante resaltar que las tarifas presentadas no son exactamente reales (información reservada de c/empresa) pero si mantienen las respectivas proporciones respecto a los volúmenes individuales de los árboles.

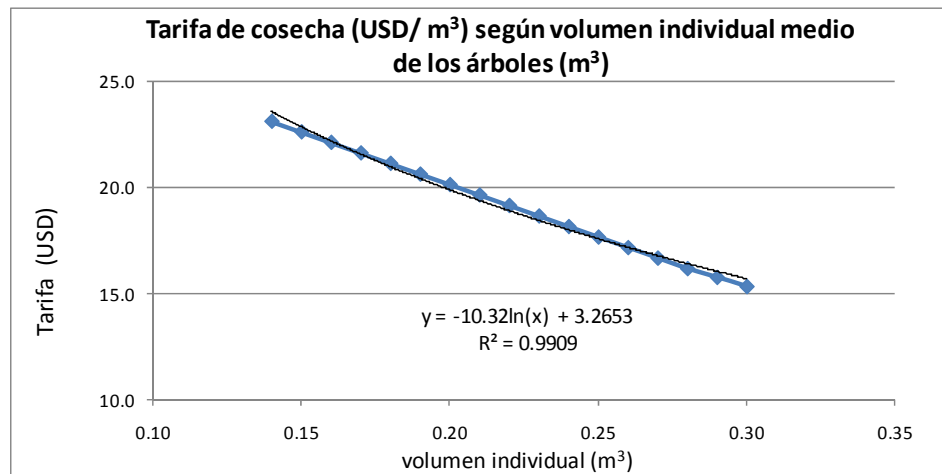


Figura 5. Evolución de tarifas de cosecha según volumen individual medio de los árboles

Puede observarse claramente lo dicho, esto es, que los volúmenes individuales de los árboles influyen directamente en los costos directos de la cosecha, siendo estos menores a medida que aumentan los volúmenes individuales de los árboles.

### 3. E. Supervivencia

Por último se analiza la supervivencia, para detectar eventuales diferencias significativas entre los tratamientos que podrían estar influyendo en los volúmenes finales por hectárea.

El modelo es altamente significativo ( $P < 0.05$ ), y al igual que para la variable altura, si bien el mismo no determina significancia para el efecto tratamiento, las comparaciones múltiples (LSD) si las establecen. La supervivencia media de todo el ensayo es de **81.1%**, a continuación se presenta la tabla de comparaciones múltiples correspondientes según tratamiento.

### Comparaciones múltiples para SUPERVIVENCIA (%) según Densidad

Método: 95.0 porcentaje LSD

Densidad	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
800 (T1)	122	73.0159	4.42585	a
2000 (T5)	298	79.9388	2.83122	ab
1100 (T2)	166	81.9156	3.79336	ab
1700 (T4)	254	82.2969	3.06656	ab
1400 (T3)	210	88.0952	3.3725	b

\*letras distintas indican diferencias significativas

El análisis determina que T1 presenta la menor supervivencia (800 plantas ha<sup>-1</sup> originales, 584 actuales) mientras que el tratamiento 3 (1400 plantas ha<sup>-1</sup> originales, 1233 actuales) es quien presenta la mayor supervivencia. Al mismo tiempo, los tratamientos 4 (1700 plantas ha<sup>-1</sup> originales, 1399 actuales), 2 (1100 plantas ha<sup>-1</sup> originales, 901 actuales) y 5 (2000 plantas ha<sup>-1</sup> originales, 1599 actuales) presentan una supervivencia muy similar entre ellos. Estadísticamente solamente puede aseverarse (95% de confianza) que los tratamientos 3 y 1 se diferencian significativamente entre si. La figura 6 lo muestra,

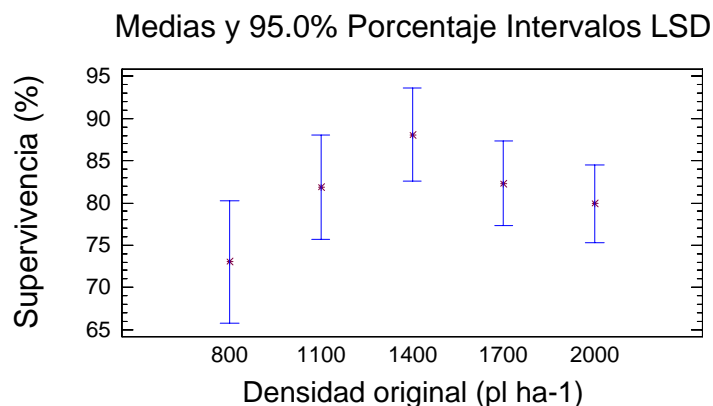


Figura 6- Supervivencia (%) según tratamiento

#### 4. CONSIDERACIONES FINALES

- El diámetro individual medio del experimento es de **179 mm**, éstos aumentan a medida que disminuye la densidad de plantas por hectárea, o sea que los menores diámetros se observan en las parcelas de mayor densidad y los de mayor diámetro en aquellas de menor densidad. Las diferencias en crecimientos individuales para diámetro entre los distintos tratamientos son muy importantes, siendo un **28.5%** mayor en el tratamiento 1 respecto al tratamiento 5 (tomando este último como base 0).
- Si bien la altura es un indicador de la calidad de sitio y no depende normalmente del tratamiento recibido, al momento de la evaluación (8 ½ años) varios árboles del tratamiento más denso (T5, 2000 árboles originales ha<sup>-1</sup>, 1599 árboles actualmente) están suprimidos respecto al resto y consecuentemente además de verse reducidos sus diámetros, también tienen un menor crecimiento en altura. Esto determina que este tratamiento difiera significativamente de al menos uno de los otros (T3), siendo esta diferencia de 1m exactamente (**4.6%**). La media general del experimento para esta variable es de **22.4 m**.



- El volumen medio individual, al igual que el diámetro, aumenta a medida que disminuye la densidad de plantas por hectárea. La media general del experimento para esta variable es  $0.179 \text{ m}^3$ , siendo las diferencias en crecimiento individual entre tratamientos muy importantes. El T1 tienen para esta variable un crecimiento del 48% superior respecto al T5 (tomando este último como base 0).
- El crecimiento medio del rodal para todo el ensayo es de  $196.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . A los 8 ½ años, se determinan 3 grupos con diferencias significativas entre ellos; los 3 tratamientos de mayor densidad original (y actual) presentan un crecimiento significativamente superior respecto a los otros dos tratamientos de menor densidad (a su vez estos últimos también se diferencian significativamente entre ellos). Los tratamientos 3, 4 y 5 no difieren significativamente entre ellos, con lo cual claramente el T3 (1400 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , IMA=  $27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) es el mejor dentro de los testeados para esta especie y lugar pues presenta un menor costo de implantación (ej. menor cantidad de plantas por hectárea respecto a T4 y T5, aun considerando iguales costos de preparación de suelos, control de malezas e incluso fertilización por ha), como así también de cosecha (por mayor volumen individual de los árboles respecto a los tratamientos 4 y 5).
- La supervivencia media a los 8 ½ años es de 81.1%, existiendo diferencias entre tratamientos, teniendo el T1 (menor densidad inicial) una supervivencia significativamente inferior respecto a T3. Sin embargo, podría aseverarse que la menor supervivencia del T1 no se debe a efectos del tratamiento en sí mismo que conlleve a más muertes de árboles, sino que dada la menor cantidad de individuos originales hace que algunas faltas repercuta considerablemente en la supervivencia.

## 5. BIBLIOGRAFIA

DANIEL P., HELMS U., BAKER F., 1982. Principios de Silvicultura, 492 pp.

COETZEE J., 1991. The influence of stand density on the yield of *Eucalyptus grandis*. IUFRO Symposium. Durban, South Africa. Vol.2. pp. 901- 916.

NEILSEN W., GERRAND A., 1999. Growth and branching habit of *Eucalyptus nitens* at different spacing and the effect on final crop selection. For Ecol Manag, pp 217- 229.

PINIILLA SUAREZ J, ULLOA I, 2001. Nuevos resultados en un ensayo de espaciamiento y raleo con *Eucalyptus globulus* en Constitución (VII Región). IUFRO. Valdivia, Chile.

SCHONAU A, COETZEE J, 1989. Initial Spacing, stand density and thinning in *Eucalyptus* plantations. For Ecol Manage 29(4), 245- 266.