



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-187

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Efecto del marco de plantación sobre la producción de madera para la especie *Eucalyptus globulus* en la zona este del Uruguay

BOSCANA GOIRES, M.¹, BUSSONI GUITART, A.¹, VARELA CASADEY, F.¹, LLANOS GARCÍA, E.², BENTACUR, O.³.

¹Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía, UdelaR.

²Departamento de Sistemas Ambientales, Facultad de Agronomía, UdelaR.

³Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía, UdelaR.

Resumen

Los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad productiva con gran potencial de expansión en Uruguay, especialmente para ganaderos que integren la forestación, a partir de la demanda creciente de madera con destino pulpa de celulosa. El trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del marco de plantación en la producción de madera de los sistemas bajo estudio. El mismo se realizó en plantaciones comerciales de *Eucalyptus globulus* en la región Este del país, bajo diferentes marcos de plantación (m): 3,5x2,7 y (2x2)+8. Para determinar el rendimiento del componente arbóreo se establecieron parcelas rectangulares, donde se cuantificaron variables dasométricas: diámetro a la altura del pecho (DAP), Altura total (Ht) y sobrevivencia a los 36, 41, 45 y 51 meses de edad del cultivo, las cuales fueron utilizadas para estimar variables poblacionales. Los resultados indican que el marco de plantación para el crecimiento individual en DAP y Ht no tienen efecto significativo ($p > 0,05$) en cada uno de los meses en evaluación. A nivel poblacional, existen diferencias significativas en producción de madera por unidad de superficie (m^3/ha) entre los sistemas a partir de los 41 meses de edad ($p < 0,05$), dado que la densidad (árboles/ha) entre los mismos comienzan a registrar diferencias. Los resultados aportan información para sistemas ganaderos permitiendo un mejor aprovechamiento del espacio en sistemas integrados.

Palabras claves

celulosa, silvopastoreo, marco de plantación, densidad.

1. Introducción

Los sistemas silvopastoriles constituyen una modalidad productiva con un gran potencial de expansión en Uruguay. En los últimos años se han incrementado las oportunidades de asociación de productores de rubros tradicionales a empresas forestales, haciendo posible su coexistencia en términos productivos y evitando su desplazamiento del medio rural. La demanda creciente de materia prima forestal y el aumento sostenido del precio de la tierra en Uruguay, son aspectos que conforman un nuevo escenario para el sector forestal y que ha generado el acercamiento del rubro a otras actividades agropecuarias. Frente a este contexto, se genera la necesidad de evaluar la conveniencia productiva y económica de los sistemas integrados.

En estos sistemas se establecen interacciones productivas-económicas, ambientales y sociales que deben ser conocidas para poder proyectar su viabilidad en el mediano a largo plazo. Los mismos posibilitan un modelo de integración que en una adecuada combinación de sus componentes, podrían mejorar la producción de los sistemas ganaderos y forestales tradicionales, el retorno económico de los productores rurales, así como el uso más eficiente de los recursos naturales.

Algunos de las variables del componente arbóreo que cobran importancia en la asociación lo constituyen: la especie forestal, edad del cultivo, la densidad inicial, el espaciamiento y la distribución de los árboles en la plantación. Los mismos determinan no sólo la producción de madera del sistema, sino que también la producción de forraje bajo dosel. En sistemas silvopastoriles en general, los árboles son dispuestos en una o varias filas separados por



callejones amplios para maximizar la producción total de forraje y madera, así como también una gestión más eficiente del ganado (Brauer y Ares, 2005).

Existen numerosos estudios a nivel regional e internacional que se centran en comparar el crecimiento mediante algunas de estas variables: altura, diámetro, área basal, volumen, biomasa y sobrevivencia, para distintas especies de *Eucalyptus sp.*, con diversos espaciamientos y densidades iniciales. El estudio de estas características permite definir el arreglo más adecuado según los objetivos de producción, siendo la elección de un determinado espaciamiento y densidad de los árboles en la plantación determinantes en el crecimiento individual de los mismos.

Bernardo et al. (1998) evaluó el crecimiento en diámetro y altura para las especies *Eucalyptus camaldulensis*, *E. urophylla* y *E. pellita* para tres arreglos: 3x1.5 m, 3x3 m y 4x3 m y para tres edades 15, 31 y 41 meses, en la región central de Minas Gerais, Brasil. Algunos de los resultados demostraron que el espaciamiento tuvo poco efecto sobre el crecimiento en altura para las especies en los periodos evaluados, sin embargo, tuvo efecto en el crecimiento en diámetro a partir de los 41 meses de edad. Es decir, que árboles creciendo en un arreglo de 4x3 m presentaron una menor competencia, registrando un crecimiento individual en diámetro superior. Sin embargo, estos incrementos de crecimiento en diámetro de los árboles individuales no fueron suficientes para compensar el efecto a nivel poblacional, siendo los que presentaron más bajos valores en área basal por unidad de superficie (ha). Por lo tanto, los valores más altos de área basal fueron registrados cuando hubo una mayor densidad de árboles por superficie (arreglo 3x1,5 m) para cada especie y a los 41 meses de edad.

Otros autores como Alves et al. (2014), evaluando clones de *E. urophylla x E. grandis* en diferentes arreglos espaciales (3x1 m; 3x1,5 m; 3x2 m y 3x2,5 m) para el tercer y el sexto año de edad en Avare, San Pablo, encontraron que a un mayor espaciamiento de los árboles el crecimiento en diámetro aumenta por un aumento de la disponibilidad de espacio y de los recursos ambientales. En cuanto a la altura, los árboles de 3x1 m de espaciamiento mostraron el valor promedio mínimo, mientras que las otras separaciones, tendieron a ser mayores y próximos. En relación a la supervivencia a los 6 años de edad, se observó que el arreglo de 3x1 m obtuvo menores porcentajes, lo que evidencia una mayor competencia entre las plantas por menor superficie disponible para el crecimiento.

Oliveira et al. (2009), evaluó la dinámica de crecimiento y productividad de una plantación clonal de *E. camaldulensis x E. urophylla* bajo 11 diferentes arreglos espaciales en un sistema agroforestal en 4 momentos del ciclo forestal (18, 27, 38, 51 meses de edad) en Minas de Gerais, Brasil. Los arreglos espaciales fueron de filas simples de 3,33x2 m, 3,33x3 m, 5x2 m, 10x2 m, 10x3 m, 10x4 m y filas dobles de (3x4)+7 m, (3x3)+10 m, (3x4)+10 m, (3x3)+15 m, y filas dobles y simple de (3x4)+7+10 m. Algunos de los resultados señalan que aquellos árboles con mayor área útil por planta (m²) presentaron mayor crecimiento en diámetro y volumen por árbol, registrándose un crecimiento diferenciado en líneas simples cuando eran comprados con filas dobles. A su vez, la tasa de crecimiento disminuyó a lo largo del tiempo en arreglos más densos, tanto para el DAP como en altura. Sin embargo a nivel de población, tanto el área basal como volumen por unidad de superficie (ha) registraron mayores valores dado el efecto de una mayor cantidad de árboles por hectárea.

Resultados similares fueron obtenidos por Ranieri et al. (2013), evaluando plantaciones clonales de *E. camaldulensis* desarrollados en sistemas de monocultivo y silvopastoril, ambos sobre pasturas de *B. brizantha* en el estado de Minas Gerais, Brasil. El primero refiere a espaciamientos de 3,6x2,5 m y 3,3x3,3 m (1111 y 918 árboles por ha respectivamente), mientras que los segundos con arreglos de filas dobles y callejones siendo de 2x2+10 m y 3x3+9 m (833 y 556 árboles por ha respectivamente) y filas simples de 9x3 m (370 árboles por ha). Los resultados revelaron que el arreglo de línea simple 9x3 m alcanzó el mayor diámetro y volumen individual, cuyo rendimiento fue muy similar al de línea doble 3x3+9 m. Sin embargo los



rendimientos más altos fueron obtenidos con las tres densidades iniciales más altas y con el arreglo de filas dobles de 2x2+10m, aunque con menores diámetros. Dado que estos últimos alcanzaron los mismos rendimientos, el estudio recomendó la utilización de este último arreglo dado que permitiría una mayor transmisión de luz y producción de pasto bajo dosel para uso ganadero.

Una mayor área útil por planta (pl/m²) en general se traduce en un mayor crecimiento en diámetro y volumen por árbol. Esto se constata también para la disposición de los árboles: el diámetro y el volumen en filas de plantación simples son mayores en relación a árboles creciendo en filas dobles. A nivel de población, el volumen por hectárea puede registrar mayores valores en plantaciones de alta densidad dado el efecto de una mayor cantidad de árboles por hectárea (Alves et al., 2014; Henskens et al., 2001; Bernardo et al., 1998).

Estudios en el suroeste de Australia Occidental (Henskens et al., 2001) evaluaron los efectos del diseño y arreglo espacial del componente arbóreo sobre la forma, el crecimiento, la intercepción de luz y superficie fotosintética para plantaciones de *Eucalyptus globulus* de 3 a 4 años de edad. Cuatro diseños de plantación fueron elegidos: 2x4 m, filas triples 2x4+10 m, filas individuales de 2x10 m y árboles aislados de 10x10 m. Concluyeron que el volumen y el crecimiento individual de los árboles fueron mayores en configuraciones abiertas, seguidos de los ampliamente espaciados y menores en el diseño más denso. Concluyen, que los rendimientos poblacionales de madera bajos pueden ser compensados por el mayor crecimiento de pasturas bajo dosel por una mayor disponibilidad de luz, aumentando los beneficios globales en el sistema.

Ferrere et al (2005), en un ensayo instalado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, evaluaron el efecto de la densidad inicial (entre 2.083 y 582 plantas/ha) para plantación de *Eucalyptus globulus* sobre variables de crecimiento. Concluyeron que el espaciamiento inicial afecta la productividad entre los tratamientos estudiados durante el ciclo del cultivo forestal. En términos generales, el crecimiento en diámetro aumenta con la disminución de la densidad, sin embargo las diferencias de crecimiento en altura no fueron tan evidentes.

Otros autores sostienen que en términos de densidad (árboles por unidad de superficie), el crecimiento individual en diámetro aumenta con la disminución de la densidad, en contraposición a lo que ocurre con la altura, donde las diferencias de crecimiento no son tan evidentes, existiendo una tendencia a la reducción del crecimiento en altura en las masas excesivamente densas o en árboles excesivamente aislados. (Hawley y Smith, 1972).

2. Objetivos

Como objetivo general se plantea evaluar el efecto del marco de plantación en términos productivos comparando sistemas de producción convencional y sistemas silvopastoriles en la región Este de Uruguay para la especie *Eucalyptus globulus*.

Como objetivos específicos se pretende evaluar la producción de madera y pasturas en cada sistema y estimar la conveniencia económica de los mismos.

3. Metodología

Los estudios de caso corresponden a plantaciones comerciales de *Eucalyptus globulus* pertenecientes a una empresa forestal en la zona Este del país, en el departamento de Rocha - Uruguay (34°03'28,82" S - 54°05'1,76" W). El estudio se desarrolla sobre una superficie efectiva de plantación de 112 ha de *E. globulus* (origen semilla de Jeeralang), plantados en la primavera del año 2011. La superficie bajo estudio se divide en dos zonas: sistema de producción convencional (**SPC** 26,3 ha) y sistema silvopastoril con callejones y filas dobles sin mejoramiento (**SSFC** 85,93 ha).

Estos sistemas difieren únicamente en el marco de plantación y densidad inicial. Para el **SPC**, el marco de plantación corresponde a una distancia entre filas y de los árboles dentro de la fila de 3,5 m y 2,27 m respectivamente, lo que equivale a una densidad inicial teórica de 1.258 arb/ha, siendo este un espaciamiento que es utilizado habitualmente en plantaciones forestales comerciales. Para el segundo arreglo **SSFC**, el marco de plantación corresponde a filas dobles separadas por callejones de 8 m, cuya distancia entre filas y dentro de las filas es de 2 m por 2 m, lo que se traduce a una densidad inicial teórica de 1.000 arb/ha (Figura 1).

La actividad ganadera se desarrolla en ambos sistemas, tanto en áreas de forestación como en zonas no afectadas por el cultivo (como zonas bajas y cortafuegos). La especialización es la recría e internada. En términos generales, la entrada al sistema son novillos de 1 a 2 años con aprox. 240 kg permaneciendo de 2 a 3 años hasta lograr un peso final de 480-490 kg (Novillos de más de 3 años), con un sistema de pastoreo rotativo. Los turnos de corta en producción forestal son de aproximadamente 12 años, siendo el destino industrial el chipeado de la madera.



Figura 1. Sistemas productivos en evaluación, a la izquierda **SPC** y a la derecha **SSFC**

A priori, se estratificó la población a evaluar según la altitud del terreno (metros sobre nivel del mar, m.s.n.m), dado que es un factor que puede interferir en las variables forestales a estudiar, estableciéndose 3 estratos: menor a 70 m.s.n.m, entre 70 a 90 m.s.n.m y mayor a 90 m.s.n.m. Con esto se busca contrarrestar la varianza dentro de cada bloque a los efectos de realizar un tamaño de muestra menor (Sorrentino, 1997).

En relación al número de parcelas se plantea un nivel de precisión o error de muestreo admisible que se ubica entre el 5 y 10%. En este sentido, se determinó previamente el coeficiente de variación de la población para calcular el número de parcelas requeridas y lograr el error de muestreo establecido. En relación al tamaño y forma de las parcelas permanentes, se estableció una forma rectangular que varía según sistema en 216 m² (**SPC**) y 400 m² (**SSFC**).

Se establecieron en total 30 parcelas para evaluar el crecimiento forestal, 15 correspondientes al sistema de Producción Convencional (**SPC**) y 15 al sistema silvopastoril con filas doble y callejones (**SSFC**). El diseño corresponde a un muestreo aleatorio, donde se establecieron parcelas al azar en cada estrato con igual número de repeticiones en cada sistema (Tabla 1)

Tabla 1. Número de parcelas por estrato según tratamiento en evaluación

Tratamiento	Estratos	Estrato	Número de parcelas
SSFC	< 70 m	1	3
	70 – 90 m	2	7
	> 90 m	3	5
SPC	< 70 m	1	3
	70 – 90 m	2	7
	> 90 m	3	5

En cada una de las mismas, se cuantifican las siguientes variables de mensura forestal: DAP (diámetro a la altura del pecho), Altura total (Ht), sobrevivencia y diámetro de copa. Se realizaron mediciones en el período 2014-2016, correspondiente a los 36, 41, 45 y 51 meses de edad del cultivo. Para el cálculo de Volumen se utilizó un factor de forma promedio de 0,45.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software R 3.2.1 (2012). El objetivo fue identificar a través de análisis de varianza, si existían diferencias significativas entre los sistemas y estratos establecidos para las siguientes variables forestales: DAP, Ht, sobrevivencia, Área Basal, Volumen y Altura media de los dominantes. Los test que se aplicaron son con 2 efectos fijos (sistema-estrato) y su interacción, analizando de forma separada por edad del cultivo. En caso de existir diferencias significativas se realizaron posteriormente Pruebas de Tukey con una probabilidad de error del 5%.

4. Resultados

En la Figura 2. se puede observar la evolución de las variables DAP (cm) y HT (m) entre sistemas en cada mes de evaluación de forma descriptiva. Para los 36 meses de edad la variable DAP adquiere valores que van desde 1,9 cm a 17,2 cm y 1,2 cm a 15 cm para **SPC** y **SSFC** respectivamente. Para el primer sistema y a la misma edad, el 50% de las observaciones se ubica en torno a un valor de 8,9 cm, mientras que el valor promedio es de 8,7 cm, tomando un valor de 8,5 cm para **SSFC** en ambos indicadores. Para ambos sistemas los valores de primer y tercer cuartil son de 6,4 cm y 11 cm respectivamente no existiendo diferencias. Para los demás meses de evaluación los valores en DAP no establecen diferencias entre sistemas, tomando registros similares en ambos con valores promedios que se ubican en los 11 cm, con mínimos de 2,4 cm a máximos de 26 cm.

Para la variable Ht (m) ambos sistemas al mes 36 presentaron promedios y mediana similares con valores de 8 m, mientras que los registros mínimos fueron de 2,8 m y máximos de 13,5 m para **SPC** y de 2,3 m y 14,6 m para **SSFC** respectivamente. En **SPC** el primer cuartil se ubicó en 6,5 m y el tercer en 9,5 m, mientras que en **SSFC** en 6,2 m y 9,7 m respectivamente. Hacia el último mes de medición no existen diferencias entre sistemas siendo el valor del 50% de las observaciones y promedio de 11 m, con valores mínimos de 2,4 m y máximos de 17 m para **SPC** y de 3 m a 17 m para **SSFC** respectivamente. En ambos sistemas el primer y tercer cuartil se ubicó en 9 m y 13 m respectivamente.



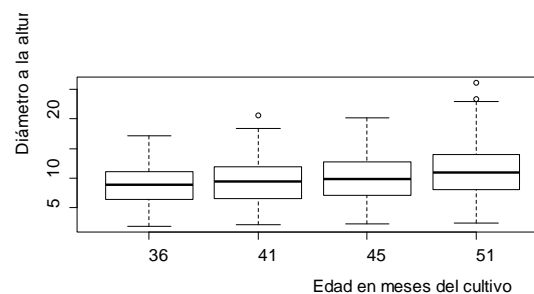
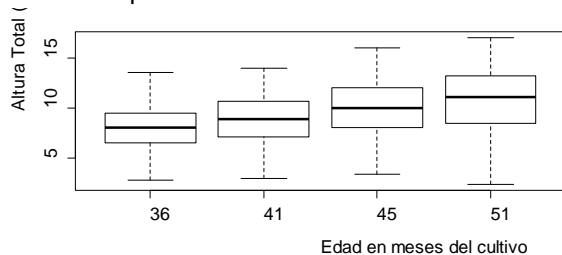
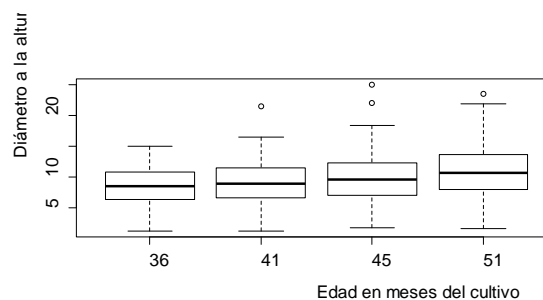
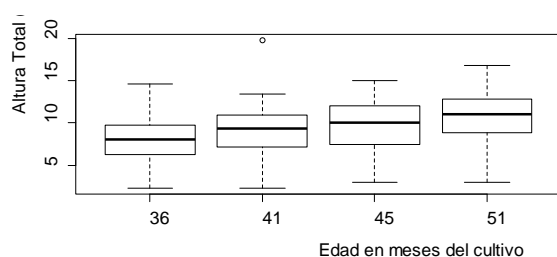
Sistema de producción convencional **SPC**Sistema silvopastoril filas dobles y callejones **SSFC**

Figura 2. Distribución de los valores de DAP (cm) y Ht (m) por sistema y meses de edad del cultivo

La densidad inicial promedio por unidad de superficie (arb/ha) fue de 1.021 arb/ha y de 1.319 arb/ha para **SSFC** y **SPC** respectivamente. Para la última medición realizada a los 51 meses de edad, la densidad promedio resultó en 731 arb/ha y 988 arb/ha para **SSFC** y **SPC**, respectivamente, lo que equivale a una sobrevivencia promedio del orden del 72% y 75%. Si bien los porcentajes de pérdida de árboles por hectárea no reflejan diferencias considerables entre los mismos en términos promedios, existen diferencias por estrato dentro de cada sistema. En este sentido, a los 51 meses de edad, el estrato 1 presenta un 49% y 39% de pérdida para **SSFC** y **SPC** respectivamente con respecto a la densidad inicial. En contraposición el estrato 3 presenta menores porcentajes de pérdida de densidad respecto a la inicial, siendo para el sistema **SSFC** del orden del 14% y para **SPC** del 10% (Tabla 2).

Tabla 2. Densidades iniciales y al momento de cada medición según sistema y estratos

Estrato	Densidad inicial (arb/ha)	Densidad (arb/ha) a diferentes edades (meses)			
		36	41	45	51
SSFC					
1	987	536	527	518	518
2	1042	823	816	798	791
3	1034	903	898	878	883
SPC					
1	1240	s/d	842	812	799
2	1321	1015	985	972	979
3	1397	1194	1185	1176	1186



4.1 Análisis individual por mes de evaluación para las variables DAP, Ht y sobrevivencia

El modelo estadístico tuvo la siguiente forma:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + E_j + (SE)_{ij} + \varepsilon_{ijk} + \delta_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = variable de respuesta (DAP o Ht individual) en cada mes de edad.

$$\varepsilon_{ijk} \sim \text{iid } N(0; \sigma^2_\varepsilon)$$

$$\delta_{ijk} \sim \text{iid } N(0; \sigma^2_\delta)$$

Dónde:

μ = media general

S_i = Efecto del i-ésimo sistema

E_j = Efecto del j-ésimo estrato

$(SE)_{ij}$ = interacción entre el i-ésimo sistema y el j-ésimo estrato

ε_{ijk} = error entre parcelas

δ_{ijkl} = error entre árboles dentro de cada parcela

Según análisis de varianza, no se pueden establecer diferencias significativas en crecimiento individual para las variables dependientes DAP y Ht entre sistemas (*SPC* y *SSFC*), así como tampoco que exista interacción Sistema×Estrato ($p > 0,05$) para cada uno de los meses evaluados. Sin embargo se pueden establecer diferencias significativas para crecimiento en DAP individual por el efecto estrato, siendo altamente significativo para los 36 y 41 meses ($p < 0,01$) y los 45 meses de edad ($p < 0,05$). Para los 51 meses no se pueden establecer diferencias significativas ($p > 0,05$) por efecto estratos. Para la variable Ht se pueden establecer diferencias altamente significativas por el efecto estrato ($p < 0,01$) para todos los meses evaluados. (Tabla 3 y 4).

Para ambas variables, el Estrato 3 es el que presenta las mayores medias en cada mes de evaluación, mientras que el Estrato 1 presenta los valores inferiores.

Tabla 3. Comparación del Efecto principal = Estrato para DAP (cm). Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los sistemas por cada estrato. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes

Mes	Estrato	Media (cm)	Error estándar (cm) +/-	Pvalor
36	2	7,8976 ^b	0,2577	0,005
	3	9,5229 ^a	0,2855	
41	1	8,1929 ^b	0,4324	0,0024
	2	8,7697 ^b	0,2701	
	3	10,0804 ^a	0,3106	
45	1	9,0001 ^b	0,4668	0,0267
	2	9,4457 ^{ab}	0,2922	
	3	10,4884 ^a	0,3360	
51	1	9,9599 ^a	0,5149	0,0536
	2	10,5659 ^a	0,3210	
	3	11,4837 ^a	0,3680	



Tabla 4. Comparación del Efecto principal = Estrato para Ht. Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los sistemas por cada estrato. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes

Mes	Estrato	Media (m)	Error estándar (m) +/-	Pvalor
36	2	7,2346 ^b	0,3120	0,0006
	3	9,1597 ^a	0,3522	
41	1	6,8779 ^c	0,4465	< .0001
	2	8,2895 ^b	0,2876	
	3	10,2321 ^a	0,3369	
45	1	7,5416 ^c	0,5454	< .0001
	2	9,2886 ^b	0,3526	
	3	11,1022 ^a	0,4138	
51	1	8,3840 ^c	0,5114	< .0001
	2	10,3409 ^b	0,3281	
	3	12,0691 ^a	0,3830	

Para establecer diferencias en sobrevivencia se calculó la probabilidad de la misma estableciendo el número de árboles medidos (NMED) en el total de árboles por parcela (NTOT) (NMED/NTOT).

Según análisis de varianza, no se pueden establecer diferencias significativas para la variable dependiente sobrevivencia (Numero de árbol medidos por parcela dividido el número de árboles totales en la misma) entre sistemas (*SPC* y *SSFC*), así como tampoco que exista interacción Sistema×Estrato ($p > 0,05$) para cada uno de los meses evaluados. Sin embargo se pueden establecer diferencias significativas por el efecto estrato, siendo altamente significativo a partir de los 41 meses de edad del cultivo ($p < 0,01$). Para los 36 meses si bien se pueden establecer diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto estratos, los niveles de sobrevivencia no presentan marcadas diferencias. Nuevamente el Estrato 3 presenta los más altos niveles de sobrevivencia en contraposición al Estrato 1 en cada mes del cultivo evaluado. (Tabla 5)

Tabla 5. Comparación del Efecto principal = Estrato para Sobrevivencia. Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los sistemas por cada estrato. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes.

Mes	Estrato	Media	Error estándar +/-	Pvalor
36	2	0.7738 ^b	0.03038	0.0469
	3	0.8649 ^a	0.02783	
41	1	0.6081 ^b	0.04961	0.0006
	2	0.7642 ^a	0.02753	
	3	0.8591 ^a	0.02642	
45	1	0.5913 ^b	0.04766	0.0004
	2	0.7502 ^a	0.02692	
	3	0.8456 ^a	0.02635	
51	1	0.5849 ^c	0.04701	0.0002
	2	0.7491 ^b	0.02662	
	3	0.8515 ^a	0.02559	



4.1 Análisis poblacional por mes de evaluación para las variables Volumen (m³/ha) y área basal (m²/ha).

El modelo estadístico tuvo la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_j + (SE)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = variable de respuesta (Volumen (m³/ha, área basal (m²/ha) en cada mes de edad.

$\varepsilon_{ijk} \sim \text{iid } N(0; \sigma^2_\varepsilon)$

Dónde:

μ = media general

S_i = Efecto del i-ésimo sistema

E_j = Efecto del j-ésimo estrato

$(SE)_{ij}$ = interacción entre el i-ésimo sistema y el j-ésimo estrato

ε_{ijk} = error entre árboles dentro de cada parcela

Según análisis de varianza, se pueden establecer diferencias altamente significativas para la variable dependiente área basal por hectárea por efecto sistema (**SPC** y **SSFC**) y estratos ($p < 0,01$), para cada uno de los meses evaluados. (Tablas 6 y 7). Para volumen por unidad de superficie (m³/ha) se pueden establecer diferencias significativas ($p < 0,05$) a partir de los 41 meses de edad según sistema (**SPC** y **SSFC**), excepto para los 36 meses ($p > 0,05$). Para estratos, se pueden establecer diferencias altamente significativas para la variable dependiente con un $p < 0,01$. (Tablas 8 y 9)

Sin embargo no se pueden establecer para ambas variables que exista interacción Sistema×Estrato ($p > 0,05$).

Tabla 6. Comparación del Efecto principal = Sistema para AB/ha. Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los estratos por cada sistema. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes

Mes	Sistema	Media (m ² /ha)	Error estándar (m ² /ha) +/-	Pvalor
36	1	7.4925 ^a	0.5205	0.0264
	2	5.7497 ^b	0.5033	
41	1	7.6507 ^a	0.4316	0.0010
	2	5.3621 ^b	0.4316	
45	1	8.4462 ^a	0.4564	0.0008
	2	5.9871 ^b	0.4564	
51	1	10.4665 ^a	0.5302	0.0003
	2	7.2686 ^b	0.5302	

Tabla 7. Comparación del Efecto principal = Estrato para AB/ha. Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los sistemas por cada estrato. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes

Mes	Estrato	Media (m ² /ha)	Error estándar (m ² /ha) +/-	Pvalor
36	2	5.1484 ^b	0.4782	0.0007
	3	8.0938 ^a	0.5436	
41	1	4.1693 ^c	0.6428	<.0001
	2	6.2901 ^b	0.4208	
	3	9.0598 ^a	0.4979	
45	1	4.9013 ^c	0.6797	<.0001
	2	7.1168 ^b	0.4450	
	3	9.6318 ^a	0.5265	
51	1	6.0102 ^c	0.7897	<.0001
	2	8.9926 ^b	0.5170	
	3	11.5999 ^a	0.6117	



Tabla 8. Comparación del Efecto principal = Sistema para Vol/ha. Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los estratos por cada sistema. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes

Mes	Sistema	Media (m ³ /ha)	Error estándar (m ³ /ha) +/-	pvalor
36	1	30,8016 ^a	2,8128	0,1142
	2	24,3235 ^a	2,7200	
41	1	33,9336 ^a	2,7800	0,0159
	2	23,7299 ^b	2,7800	
45	1	41,0198 ^a	3,2462	0,0136
	2	28,7995 ^b	3,2462	
51	1	55,5166 ^a	3,7639	0,005
	2	39,0468 ^b	3,7639	

Tabla 9. Comparación del Efecto principal = Estrato para Vol/ha. Prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%. Nota: La Media (m) es un estimador que representa la media de los sistemas por cada estrato. Medias sin letras en común difieren significativamente ($p < 0,05$) dentro de cada mes

Mes	Estrato	Media (m ³ /ha)	Error estándar (m ³ /ha) +/-	pvalor
36	2	19.0755 ^b	2.5844	0.0004
	3	36.0496 ^a	2.9379	
41	1	14.5336 ^b	4.1405	<.0001
	2	26.8230 ^b	2.7106	
	3	45.1386 ^a	3.2073	
45	1	18.6967 ^c	4.8349	<.0001
	2	34.0930 ^b	3.1652	
	3	51.9392 ^a	3.7451	
51	1	25.1373 ^c	5.6059	<.0001
	2	48.3178 ^b	3.6699	
	3	68.3901 ^a	4.3423	

5. Discusión

Los resultados para producción de madera señalan que el marco de plantación (**SPC** y **SSFC**) no tuvo efecto significativo sobre el crecimiento individual en DAP y HT ($p > 0,05$) en cada uno de los meses en evaluación. Para estas variables, no existe interacción entre estratos y sistemas ($p > 0,05$) para cada uno de los meses, por lo que el crecimiento tanto en DAP como en Ht registra menores valores en el estrato 1 y mayores en el estrato 3 en ambos sistemas. La variable sobrevivencia de árboles, tampoco mostró diferencias significativas entre sistemas, así como tampoco que exista interacción Sistema×Estrato ($p > 0,05$) para cada uno de los meses.

Según estimaciones de crecimiento para *E. globulus* bajo las mismas condiciones de crecimiento y altas densidades por hectárea (densidad promedio de 1100 arb/ha), la altura total promedio puede registrar 10,4 m y un DAP medio de 10,7 cm a una edad de 51 meses (Methol, 2006). Los resultados promedios obtenidos tanto en el marco de producción convencional como en el sistema silvopastoril evaluados a la misma edad, tuvieron valores promedios similares entre ellos y apenas superiores al simulado del entorno de los 11 m de altura y 11 cm de DAP.

Los espaciamientos evaluados se traducen en un área útil por árbol (m²/planta) de 8 m² y 10 m² para **SPC** y **SSFC** respectivamente. Los trabajos de Alves et al. (2014); Henskens et al. (2001) y Bernardo et al., (1998), señalan que árboles con mayor área útil resultan en mayor crecimiento individual en DAP, sin embargo, en los sistemas en evaluación no existen tales diferencias.

Para el caso de la estratificación, se pueden establecer diferencias significativas en DAP para todos los meses ($p < 0,05$) excepto a los 51 meses de edad ($p > 0,05$), mientras que para

HT presenta diferencias altamente significativas por dicho efecto ($p < 0,01$) para todos los meses evaluados. La variable sobrevivencia resultó ser altamente significativo a partir de los 41 meses de edad del cultivo ($p < 0,01$). Estos resultados reflejan cierta heterogeneidad entre los mismos en calidad de sitio. En términos promedios, se registran mayores crecimientos tanto en **SPC** y **SSFC** para DAP y Ht en el estrato 3, seguido por el 2 y finalmente con menores valores en el estrato 1 en cada mes.

Si se analizan resultados poblacionales, tanto para las variables área basal (m^2/ha) como Volumen total (m^3/ha) existen diferencias significativas por efecto sistema (**SPC** y **SSFC**) y estratos ($p < 0,05$), para cada uno de los meses evaluados. El único mes donde no se pudo establecer diferencias significativas ($p > 0,05$) para volumen por unidad de superficie por efecto sistema fue a los 36 meses, dado que los niveles de sobrevivencia registrados por sistema tienen poca significancia.

Por lo tanto y dado que no hay efectos de marco de plantación sobre DAP y HT en el crecimiento individual, la diferencia de producción de madera por unidad de superficie (m^3/ha) entre los **SPC** y **SSFC** podrían explicarse por el efecto de la densidad de plantación por unidad de superficie (arb/ha). Según Alves et al. (2014); Henskens et al. (2001); Bernardo et al. (1998), el volumen por hectárea puede registrar mayores valores en plantaciones de alta densidad dado el efecto de una mayor cantidad de árboles por hectárea.

Estos resultados nos permiten reflexionar sobre las ventajas de diseñar plantaciones que optimicen el uso del espacio y mejoren el aprovechamiento de los recursos para una mejor integración con la producción pecuaria.

6. Conclusiones

Con la investigación se espera avanzar en resultados sobre producción de pasturas bajo dosel y madera, para contar con información que permita proyectar resultados productivos y económicos (producto bruto forestal, producto bruto ganadero, producto bruto mixto y renta anual equivalente) para diferentes combinaciones de los sistemas evaluados.

Los resultados podrán ser utilizados para integrar a la producción forestal productores rurales de rubros tradicionales, y aportar elementos para la elaboración de políticas en el sector.

7. Agradecimientos

Se agradece el financiamiento brindado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria a través del Proyecto FPTA 300 "Producción Ganadera y Forestal: Modelos de Integración Económico Ambiental" y a la empresa forestal por permitirnos realizar el trabajo de campo y brindarnos información valiosa para lograr los objetivos propuestos.

8. Bibliografía

ALVES, D.H.A.; LELES, P, S.; CABRERA, E.; MARQUES, A.; ABILIO, F. 2014. Crescimento de clone de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em diferentes espaçamentos. Floresta, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, pp 431 - 440.

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

BRAUER, D.; ARES, A. 2005. Aboveground biomass partitioning in loblolly pine silvopastoral stands: Spatial configuration and pruning effects. Forest Ecology and Management. Volume 219: 176–184.



FERRERE, P.; LÓPEZ, G. A.; BOCA, R.T.; GALETTI, M. A.; ESPARRACH, C. A.; PATHAUER, P. S. 2005. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(2): 174-184.

HAWLEY, R.C; SMITH, D. M. 1985. *Silvicultura Practica*. Pp 9-36 y pp 242-293.

HENSKENS, F.; BATTAGLIA, M.; CHERRY, M. BEADLE, C. 2001. Physiological basis of spacing effects on tree growth and form in *Eucalyptus globulus*. University of Tasmania, Australia. *Trees*. 15: 365–377.

METHOL, R. 2006. “SAG *globulus*”: Sistema de Apoyo a la Gestión de Plantaciones de *Eucalyptus globulus*. INIA. Serie Técnica N° 158.

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E.M. 2009. Desempenho silvicultural e productivo de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em Sistema Agrossilvipastoril. *Pesquisa Florestal Brasileira*. N. 60:01-09.

RANIERI R. P.; REIS, G.G; REIS, M.G.F; OLIVEIRA NETO, S. ; LEITE, H.G.; MELIDO, R.C.N.; LOPES H.N.S.; SOUZA, F.C. 2013. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. *Agroforest System* 87: 1295–1307.

R Core Team. Version 0.99.447. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

SORRENTINO, A. 1997. Manual para Diseño y ejecución de Inventarios Forestales. Montevideo, Uruguay. Hemisferio Sur. pp 3-13.

