

LEGUMINOSAS LEÑOSAS DE RÁPIDO CRECIMIENTO COMO CULTIVOS ENERGÉTICOS EN EL SUROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Raúl Tapias*, Manuel Fernández*, Joaquín Alaejos*, Laura Salvador*, Patricia Alesso+, Jose Antonio González Duque*, Ascensión Alfaro*, Francisco López Baldovin^, M. Jesús Díaz Blanco^.

Universidad de Huelva. Departamentos de Ciencias Agroforestales (*) y de Ingeniería Química (^) y Centro de Investigación y Documentación del Eucalipto (CIDEU)(+).

Dirección: Campus Universitario de La Rábida, Carretera de Palos de la Frontera s/n, 21819 Palos de la Frontera
Autores para la correspondencia: rtapias@uhu.es; nonoe@uhu.es

Boletín del CIDEU 5: 135-147 (2008)
ISSN 1885-5237

Resumen

Este estudio pretende evaluar las posibilidades del empleo de leguminosas leñosas de rápido crecimiento como cultivos destinados a la producción de biomasa como fuente de energía.

El ensayo consistió en el cultivo de 14 especies / procedencias de los géneros *Leucaena* (*L. leucocephala*, *L. salvadorensis*, *L. diversifolia*, *L. collinsi*), *Prosopis* (*P. alba* y *P. juliflora*), *Sesbania* (*S. sesban*), *Chamaecytisus* (*C. proliferus* var *palmensis*) y *Retama* (*R. monosperma*). Las plantas fueron producidas a partir de semillas e inoculadas con bacterias del género *Rhizobium*. Tras una fase de vivero fueron transplantadas en dos parcelas de ensayo sometidas a dos regímenes de riego. Durante el cultivo se monitorizó el crecimiento (altura, diámetro y peso). La producción anual de biomasa se evaluó durante 3 años consecutivos bajo tres sistemas de aprovechamiento: cortas anuales o a los 2, y 3 años.

Todas las especies y variedades salvo *Leucaena salvadorensis* y *Sesbania sesban* mostraron una buena adaptación edafo-climática a las características de la zona de estudio (Huelva). La variación en las tasas de crecimiento entre especies fue muy grande desde las 0.3 toneladas de materia seca leñosa por hectárea y año (*Retama monosperma*, *Prosopis juliflora*) hasta las 25-35 t/ha y año (*Leucaena leucocephala*). Todas las especies soportaron bien las cortas anuales menos *Chamaecytisus proliferus* que se mostró muy sensible a la corta del primer año sobretodo en la parcela más regada.

Palabras clave: leguminosas leñosas, SO de España, biomasa, *Leucaena*, *Chamaecytisus proliferus*, *Prosopis*, *Sesbania*.

Summary

This study evaluates the use possibilities of a fast-growing leguminous woody plants like alternative crops dedicated to biomass production for energy source.

We cultivate 14 species / provenances of genera *Leucaena* (*L. leucocephala*, *L. salvadorensis*, *L. diversifolia*, *L. collinsi*), *Prosopis* (*P. alba* and *P. juliflora*), *Sesbania* (*S. sesban*), *Chamaecytisus* (*C. proliferus* var *palmensis*) and *Retama* (*R. monosperma*). The plants were produced from seeds and inoculated with specific bacteria of the genus *Rhizobium*. After a nursery phase, seedling were planted in two experimental plots subjected to two water regimes. Annual biomass production was evaluated under three management systems: annual biannual and three annual clear-cutting

All the species and varieties except *Leucaena salvadorensis* and *Sesbania sesban* showed a good edafo-climatic adaptation to the characteristics of the study area (Huelva). Variation in growth rates among species was high, from the 0.3 t of woody dry matter per hectare and year (*Retama monosperma*, *Prosopis juliflora*) until 25-35 t ha⁻¹ year⁻¹ (*Leucaena leucocephala*). All the species supported annual cutting with a vigorous re-sprouts except *Chamaecytisus proliferus* that was very susceptible especially in the most irrigated plots.

Key words: leguminous woody plants, SW Spain, biomass, *Leucaena*, *Chamaecytisus proliferus*, *Prosopis*, *Sesbania*.

Introducción

La fuerte dependencia energética de los combustibles fósiles y sus efectos negativos sobre el medio ambiente, así como la necesidad de dar cumplimiento a los compromisos en el ámbito internacional (Protocolo de Kyoto, Plan Nacional de Asignación) han provocado que muchos países vuelvan sus miradas hacia las energías renovables y dentro de estas a la biomasa. Hasta el punto que el Libro Blanco de las Energías Renovables de la UE otorga a la biomasa la máxima responsabilidad en el incremento del peso de estas energías en el futuro desarrollo europeo (IDEA 2005).

La Agencia Internacional de la Energía calcula que el 10% de la energía primaria mundial procede de los recursos asociados a la biomasa, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás. Mientras que algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles, en Europa el 54% de la energía primaria de origen renovable procede de esta fuente, sin embargo ésta sólo supone el 4% sobre el total energético. Según los datos del observatorio europeo de las energías renovables, EurObserv'ER, en 2004 la producción de energía primaria debida a biomasa se cuantificó en 55,4 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). La mayoría fue destinada a la generación de calor en viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos y en redes de calefacción centralizada. En general, en torno al 83% se destina a usos térmicos y el 17% a la producción de electricidad (IDAE 2005). El objetivo que fija el Libro Blanco de las Energías Renovables de la Unión Europea sería alcanzar en 2010 una producción energética de 135 Mtep, lo que supone aumentar en más del doble la producción actual. Según estas previsiones gran parte de este

aumento de producción energética, el 64,2%, deberá provenir de cultivos energéticos (CIEMAT, 2001, European Commission, 2003).

A nivel local, el Plan de Energías Renovables en España (PER) para el periodo 2005-10 (IDAE 2005) establece, entre otros objetivos, que para el año 2010, el 12,1% del consumo de energía primaria sea abastecido por fuentes renovables. Además, se pretende una producción eléctrica con estas fuentes del 30,3% del consumo bruto de electricidad y un consumo de biocarburantes del 5,83% sobre el consumo de gasolina y gasóleo para el transporte en ese mismo año. Los recursos potenciales de biomasa calculados por IDAE (2005) para el desarrollo del PER superan las 19 Mtep, más de tres veces el incremento establecido en el PER para el año 2010 de los cuales, más de 13 Mtep corresponden a biomasa residual y casi 6.000 Mtep a cultivos energéticos. En la actualidad, la biomasa alcanza el 45% de la producción con energías renovables en España, lo que equivale al 2,9% respecto del total de consumo de energía primaria.

Estas previsiones se realizaron en un escenario en la Unión Europea con un sector agrario marcado por la existencia de importantes excedentes alimentarios desde hace unas décadas. Sin embargo, a partir de 2007 esa circunstancia cambió, en parte por el destino energético de algunos cultivos, la mayor demanda de algunos países emergentes y la intervención de agentes inversores externos al sector. Los cultivos energéticos, que inicialmente se plantearon como una alternativa para mantener un nivel de rentas apropiado en el ámbito rural, se han situado en el centro de un intenso debate sobre el encarecimiento de los productos alimenticios. En estas circunstancias el empleo de especies con

varios usos (energético y alimentario) puede ser interesante.

Los cultivos para uso energéticos pueden ser de tipo herbáceo o leñoso, pero sus técnicas de cultivo varían sensiblemente de las tradicionales y, aún en nuestros días, no están totalmente definidas, así como no lo están las especies a emplear según las condiciones de suelo y clima de cada zona. Más aún, cuentan con algunos inconvenientes como pueden ser la necesidad de maquinaria específica no completamente desarrollada, un mayor coste de recogida, transporte y manipulación, baja densidad energética; o producciones estacionales que hacen que se deba almacenar de una sola vez la materia prima que se vaya a utilizar durante un año. La producción de electricidad precisa de sistemas aún más complejos dado el bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido en volátiles. Para ello se necesitan centrales térmicas específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogar mayores que si utilizaran un combustible convencional, que conlleven inversiones elevadas y reducen su rendimiento. Para la producción de energía eléctrica en instalaciones industriales mediante combustión las especies leñosas son más adecuadas pues producen una menor cantidad de cenizas, elementos corrosivos para la caldera (Cl y S), y permiten una mayor duración de las mismas. Cuentan con la ventaja de tener una menor estacionalidad pues su corta se puede programar en un amplio abanico de fechas y permiten un almacenamiento más fácil. Por el contrario requieren una maquinaria específica para la recolección y su transformación en astillas previa a la entrada en la caldera para automatizar la alimentación.

En la actualidad son diversas las plantas que están siendo utilizadas en diversos

países europeos y americanos (*Populus spp*, *Salix spp*, *Betula ssp*, *Eucalyptus spp...*, *Miscanthus spp*, *Cynara cardunculus...*) aunque aún no se ha alcanzado una fase de utilización comercial significativa a nivel mundial. Entre las especies a evaluar en el Suroeste de España, como posibles cultivos no alimentarios, de crecimiento rápido y con posibilidades de uso múltiple (energía, celulosa, forraje, restauración del suelo, etc.) y de adaptación a ambientes distintos (humedad, aridez, salinidad), hemos considerado para este estudio a leguminosas leñosas como *Chamaecytisus proliferus* var. *palmensis* (tagasaste), *Leucaena leucocephala*, *L. diversifolia*, *L. colinsii*, *Prosopis alba*, *P. juliflora* y *Sesbania sesban*, especies que tradicionalmente se han utilizado como forrajeras pero que se presentan con un futuro muy prometedor en cuanto a su multiplicidad de usos (Singh y Toky, 1995; Rethman *et al.* 1996; Rosenschein *et al.* 1999; Yamoah *et al.* 1998, Hassen y Zewda, 2000; Lefroy *et al.* 2001; Fernández *et al.* 2005). A estas especies se añadió Retama monosperma, por ser una leguminosa ampliamente difundida en esta región. Se incluyeron varias procedencias de algunas de las especies para evaluar el diferente comportamiento y las posibilidades de mejora. Para el caso concreto del tagasaste, arbusto natural de la isla de La Palma, ya hay realizadas algunas experiencias sobre sus posibilidades de cultivo en el Suroeste de España (González Duque, 2000). En estas experiencias se pusieron de manifiesto la variabilidad existente entre poblaciones y, dentro de cada población, entre individuos. El problema de la variabilidad y la consiguiente necesidad de llevar a cabo un programa de selección y mejora también se ha puesto de manifiesto con las otras especies (Douglas *et al.* 1999; Goel y Behl, 2001).

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad productiva de varias especies de leguminosas leñosas y valorar su aptitud como cultivos energéticos. Para ello se determinará la producción total de biomasa, la distribución entre biomasa leñosa y no leñosa, la respuesta a distintos turnos de aprovechamiento (anual, bianual y trianual)

Metodología

El ensayo consistió en la producción de plantas, a partir de semillas, de *Chamaecytisus proliferus* (4 procedencias), *Leucaena leucocephala* (3 procedencias), *L. diversifolia*, *L. salvadorensis*, *L. colinsii*, *Prosopis alba*, *P. julyflora*, *Sesbania sesban* y *Retama monosperma* (tabla 1).

Las plantas se produjeron en vivero, en envases de 300 cm³, se inocularon con bacterias del género *Rhizobium* y, a los tres meses de edad, se transplantaron a las

parcelas de cultivo, situadas en el campo de prácticas de la Escuela Politécnica Superior, en el Campus de La Rábida (Palos de la Frontera, Huelva). El diseño experimental consistió en dos ensayos (parcelas), cada una de ellas formada por 4 bloques completos y 16 plantas por unidad experimental. El marco de plantación fue de 0,6x1,8 m².

Para la estimación de la biomasa, se realizaron tres tipos de aprovechamiento (turno de cortas), todos ellos en época invernal (mes de febrero), obteniéndose datos del crecimiento a un año de edad desde la siembra (1), a dos años de edad desde la siembra (2), a los 3 años y a un año de edad tras rebrotar después de haber sido cortado cuando tenían un año (1+1). Este último tratamiento está precedido de una selección de brotes en el mes de julio en la que se dejaron 3 brotes/planta.

Especies	Procedencias	proveedores
<i>Leucaena diversifolia</i>	Hawai	Agroforester
<i>Leucaena collinsii</i>	Honduras	SETRO
<i>Leucaena salvadorensis</i>	Honduras	SETRO (semillas tropicales S. L.)
	India	Montaraz
<i>Leucaena leucocephala</i>	Honduras	SETRO
	K363	Agroforester
	Huelva	Universidad de Huelva
<i>Chamaecytisus proliferus var. palmensis</i>	La Palma	Universidad de La Laguna
	New Zeland	New Zealand Tree Seed
	Australia	Buy in Australia
<i>Prosopis alba</i>	Argentina	Universidad de Santiago del Estero
<i>Prosopis julyflora</i>	Desconocido	Montaraz
<i>Retama monosperma</i>	Huelva	Universidad de Huelva
<i>Sesbania sesban</i>	Hawai	Agroforester.

Tabla 1. Especies, procedencias y proveedores de las semillas de las leguminosas leñosas de rápido crecimiento utilizadas en el estudio por su afinidad edafoclimática con el lugar de plantación

El desarrollo de los cultivos se siguió periódicamente con mediciones de altura y diámetro hasta el segundo año. En el momento de la cosecha se estimó la distribución de biomasa dentro de la planta y los contenidos de humedad de cada órgano, en una muestra de cuatro brotes/especie/bloque, para poder determinar la biomasa seca. En cada uno se separó y pesó la fracción leñosa, distinguiendo tallos gruesos ($d > 2.5$ cm) y finos ($d < 2.5$ cm) y la no leñosa (distinguiendo hojas y estructuras reproductivas).

El índice de área foliar (Leaf Area Index LAI) se estimó con radiómetro (Sun scan, Delta-T) unos días antes de la corta del segundo año (febrero de 2004) durante las horas centrales del día mediante 6 puntos de muestreo por unidad experimental. El área foliar específica (Specific leaf area, leaf area/leaf dry weight) fue calculado a partir de unas muestras de hojas de cada especie mediante analizador de imágenes

Resultados

Todas las especies mostraron una buena adaptación edafoclimática a las condiciones del ensayo menos *L. salvadorensis* y *S. sesban* que no soportaron las temperaturas del invierno (con mínimas de -5°C). La primera especie murió el primer año con temperaturas no tan bajas y la segunda en el invierno del segundo año cuando se alcanzó el valor mínimo. Algunos episodios ocasionales de encharcamiento en una de

las parcelas durante el primer año de cultivo provocaron síntomas y reducciones de crecimiento en el tagasaste (*C. proliferus*).

Los parámetros relacionados con la cuantificación de la biomasa (biomasa seca total, TDW, biomasa leñosa seca, WDW y biomasa seca no leñosa, NWDW) presentaron un alto grado de correlación entre sí ($0.984 > r^2 > 0.760$), por ello, en términos de producción, nos centraremos en la biomasa seca total (TDW) y biomasa seca leñosa (WDW), entendiéndose que los comentarios son extrapolables a los demás parámetros.

Durante los tres años de estudio, la especie y el tipo de aprovechamiento (turno de cortas) mostraron diferencias significativas en la producción ($p < 0.0001$), tanto para biomasa leñosa, como para biomasa total. El efecto de la parcela no resultó significativo para ninguna variable ($p > 0.390$) por lo que se eliminó del análisis.

La biomasa acumulada en los tratamientos no cortados crece con la edad (tabla 2) pero de manera muy desigual entre las especies (tabla 3). El incremento es muy notorio en las especies de menor crecimiento inicial (*Retama*, *Prosopis* y *C. proliferus*) mientras que para las leucaenas el crecimiento se ralentiza a partir del 2 año. Para el conjunto de las especies las cortas anuales se estabilizan a partir del segundo año en tona a las 13 Tn MS. Con un comportamiento desigual entre las especies.

Tabla 2: Biomasa seca producida en cada tipo de aprovechamiento (1: un año después de la siembra, 2: dos años después de la siembra, 1+1: rebrote de un año tras haber sido cortado el primer año; 3 corta a los tres años; 1+1+1 cortas anuales). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias. WDW: Biomasa seca leñosa, TDW: Biomasa seca total.

Tipo de aprovechamiento	Harvest		Producción anual	
	Peso Seco leñoso WDW (t/ha)	Pesos Seco total TDW (t/ha)	WDW (t/ha/año)	TDW (t/ha/año)
1	3.48±0.75 a	5.01±0.75 a	3.48±0.75 a	5.01±0.75 a
2	22.17±2.67 c	28.24±3.67 c	11.08±2.67 b	14.12±2.66 b
1+1	13.20±2.51 b	18.78±3.80 b	13.20±2.51 b	18.78±2.51 b
3	38,86±6,80 d	45,20±7,46 d	12,95±6,80 b	15,07±7,46 b
1+1+1	13,24±4,28 b	18,81±6,59 b	13,24±4,28 b	18,81±6,59 b

Cabe destacar el alto grado de significación obtenido para la interacción *especie x turno de aprovechamiento*, en función de la capacidad de rebrote tras la corta. Esta diferencia se manifiesta desde el segundo año de edad; para unas especies la producción se vio favorecida por la corta al año de edad (*Leucaena diversifolia* y *L. leucocephala*), para otras se perjudicó (*Chamaecytisus proliferus* y *Prosopis alba*), mientras que para otras resultó indiferente (*Prosopis julyflora*, *Retama monosperma* y *Leucaena colinsii*) (tablas 3).

Las especies menos productivas en los 5 tipos de aprovechamiento fueron *R. monosperma* y *P. julyflora*, seguidas de *L. colinsii*. Por su parte, *P. alba* fue poco productiva el primer año (1) pero logró superarse durante el segundo año (2), alcanzando los niveles obtenidos para *L.*

leucocephala, y superarla el tercer años (3). No obstante, no respondió satisfactoriamente a la corta anual (1±1). *L. leucocephala* resultó ser la más productiva durante el primer año y presentó la mayor tasa productiva tras la corta anual, seguida en el ranking por *L. diversifolia*. Para el tipo de aprovechamiento (2) y (3) destacaron *L. diversifolia*, *P. alba* y sobretudo *Ch. Proliferus*, viéndose esta última sensiblemente perjudicada por la corta anual (tabla 3). *Sesbania sesban*, a pesar de su sensibilidad a las heladas mostró una gran capacidad de crecimiento.

Tanto *Leucaena* como *Prosopis* mostraron una enérgica capacidad de rebrote tras la corta, mientras que el tagasaste acusó negativamente la corta (tabla 2) presentando, incluso, una tasa de mortalidad del 40 %.

Tabla 3. Biomasa seca producida por las distintas especies según la forma de aprovechamiento, (1: un año después de la siembra, 2: dos años después de la siembra, 1+1: rebrote de un año tras haber sido cortado el primer año; 3 corta a los tres años; 1+1+1 cortas anuales). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias. WDW: Biomasa seca leñosa, TDW: Biomasa seca total.

Species	Primer año		Segundo año				Tercer año					
	1*		2*		1+1*		3		1+1+1		2+1	
	WDW	TDW	WDW	TDW	WDW	TDW	WDW	TDW	WDW	TDW	WDW	TDW
<i>L. diversifolia</i>	4.83± 0.94 b	7.45± 1.46 b	28.25± 5.33 cd	43.58± 8.22 d	28.32± 10.12 c	43.69± 15.61 c	35.18± 7.74 c	50.48± 8.64 c	28.09± 7.27 c	49.21± 8.35 c	16,17± 9.01 cd	31,12± 12.21 cd
<i>L. collinsii</i>	3.02± 0.70 ab	3.09± 1.43 ab	11.10± 4.79 b	11.35± 4.90 b	9.22± 4.58 b	9.44± 4.69 b	19.59± 7.74 b	19.84± 7.84 b	10.2± 4.13 b	10.63± 4.20 b	5,53± 2.32 b	5,74± 2.35 b
<i>L. leucocephala</i>	8.73± 1.04 c	12.87± 1.50 c	18.01± 4.62 bc	26.64± 6.88 c	35.01± 5.52 c	51.95± 8.75 c	25.62± 0.18 b	34.42± 2.1 b	31.94± 4.54 c	47.35± 5.23 c	21,13± 4.26 d	36,42± 5.26 d
<i>Ch. proliferus</i>	1.38± 0.36 ab	2.20± 0.60 a	32.12± 5.30 d	42.23± 9.03 d	1.17± 0.57 a	1.51± 0.74 a	64.27± 13.56 e	71.93± 14.54 e	2.43± 1.85 a	2.99 ± 1.90 a	6,21± 2.65 b	6,4± 5.67 b
<i>P. alba</i>	1.53± 0.29 ab	1.55± 0.30 a	22.92± 5.69 c	25.64± 7.91 c	7.55± 2.75 b	8.34± 3.19 b	49.95± 5.35 d	53.21± 5.68 d	11.78± 2.05 b	13.53± 2.13 d	14,22± 1.90 c	17,25± 2.03 c
<i>P. juliflora</i>	0.35± 0.09 a	0.35± 0.09 a	1.11± 1.00 a	1.11± 1.00 a	1.08± 0.35 a	1.08± 0.35 a	3.21± 2.06 a	3.21± 2.06 a	1.59± 1.7 a	1.59± 1.70 a	1,53± 0.11 a	1,53± 0.11 a
<i>R. monosperma</i>	0.31± 0.08 a	0.32± 0.08 a	8.34± 4.37 b	8.40± 4.40 b	0.95± 0.36 a	0.96± 0.37 a	24.41± 16.54 bc	24.72± 18.09 bc	1.70± 0.87 a	1.74± 0.87 a	11,19± 5.45 c	11,23± 5.47 c
<i>S. sesban</i>	3.32± 2.16 ab	4.86± 3.37 ab	34.07± 4.62	38.45± 5.32	14.82± 6.49	17.21± 6.54	---	----	---	---	---	----

*For the treatments 1 and 1±1 the production refers to t/ha/year, while for treatment 2 the production showed is that accumulated in two years.

La distribución de la biomasa (leñosa-no leñosa) en el momento de la corta dependía de la especie y, en menor grado, del tipo de aprovechamiento (figura 1). *Retama monosperma* y *P. juliflora* apenas poseían hojas. *L. colinsii* perdió prácticamente todas las hojas en febrero. Sin embargo, las demás especies mantuvieron la mayor parte de sus hojas (20-50% de la biomasa total). Cabe mencionar que *L. diversifolia*, *L. leucocephala*, *C. proliferus*, *R. monosperma* y *S. sesban*, a los dos años de edad, tenían una importante producción de

frutos, especialmente *L. leucocephala* que comenzó su fructificación a los 6 meses de edad.

La proporción entre la parte leñosa (tallos finos y gruesos) y no leñosa (hojas y frutos) no se ve afectado por la forma de aprovechamiento (nº de cortas). Si hay diferencias significativas en la distribución por tamaños de la biomasa leñosa, la corta favorece la producción de tallos más gruesos en *L. leucocephala* (menor ramificación y mayor altura). Lo contrario ocurre en las otras dos especies.

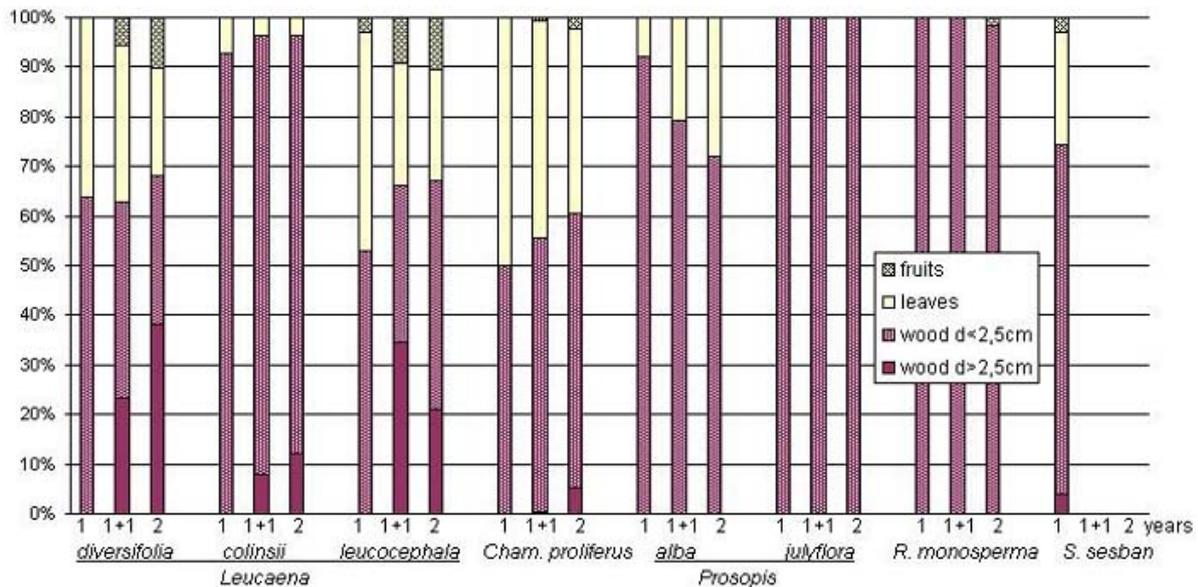


Figura 1. Distribución de la biomasa según la especie y el tipo de aprovechamiento (1: un año después de la siembra, 2: dos años después de la siembra, 1±1: rebrote de un año tras haber sido cortado el primer año).

Tabla 4. Altura y diámetros medios de las plantas y producción de biomasa leñosa y no leñosa según la especie y forma de aprovechamiento hasta el Segundo año de edad. 1: un año después de la siembra, 2: dos años después de la siembra, 1+1: rebrote de un año tras haber sido cortado el primer año). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias.

Species	Treatment	H (m)	D (cm)	Biomass/plant (g)		
				TOTAL	no woody	woody
<i>L. diversifolia</i>	1	2.82 a	2.4 a	825.12 a	302.51	522.61
	1±1	3.48 a	3.03 a	2015.04 a	681.16 a	1333.88 a
	2	4.23 b	4.15 b	3971.91 b	1313.86 b	2658.06 b
<i>L. collinsii</i>	1	2.04 a	1.92 a	334.40	2.32	332.08
	1±1	2.56 a	2.15 a	666.76 a	84.08 a	582.68 a
	2	2.57 a	2.31 a	964.57 a	173.44 b	791.13 a
<i>L. leucocephala</i>	1	2.91 a	2.6 a	1230.53	605.13	625.40
	1±1	4.01 b	3.41 a	3147.3 b	1102.8 b	2044.5 b
	2	3.23 a	3.15 a	1775.7 a	582.5 a	1193.1 a
Tagasaste	1	1.92 a	2.04 ab	251.40	122.23	129.17
	1±1	1.80 a	1.61 a	586.1 a	248.6 a	348.7 a
	2	3.00 b	2.50 b	2900.6 b	1194.9 b	1760.6 b
<i>Prosopis alba</i>	1	1.30 a	1.10 a	112.50 a	31.60 a	80.50 a
	1±1	1.61 a	1.09 a	200.28 a	24.00 a	177.78 a
	2	2.45 b	1.50 b	452.36 b	83.88 b	368.49 b
<i>Prosopis julyflora</i>	1	0.67 a	0.62 a	42.81 a	0.00 a	42.81 a
	1±1	0.88 a	0.90 a	81.84 a	0.00 a	81.84 a
	2	0.80 a	0.85 a	68.01 a	0.00 a	68.01 a
<i>Retama monosperma</i>	1	0.54 a	0.67 a	34.52 a	0.00 a	34.52a
	1±1	0.61 a	0.71 a	40.53 a	0.00 a	40.53 a
	2	1.40 b	1.38 b	380.87 b	4.41 a	376.46 b
<i>Sesbania sesban</i> (1)	1	1.97	1.82	432.00	80.00	352.32
	1±1	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-

Tabla 5. Índice de área foliar (LAI) y Superficie foliar específica (SLA) de cada especie según el tipo de aprovechamiento. (1: un año después de la siembra, 2: dos años después de la siembra, 1+1: rebrote de un año tras haber sido cortado el primer año). Letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticamente significativas entre las medias.

Species	LAI		SLA (m ² /Kg.)
	1±1	2	
<i>Leucaena diversifolia</i>	2,95 efg	3,87 de	16.87 ab
<i>Leucaena colinsii</i>	1,17 abc	1,88 bc	16.83 ab
<i>Leucaena leucocephala</i>	3,24 g	4,06 de	16.02 ab
<i>Chamaecytisus p.</i>	1,70 bc	4,77 e	19.98 b
<i>Prosopis alba</i>	2,68 defg	3,00 cd	14.34 a
<i>Prosopis julyflora</i>	0,83 ab	1,44 ab	13.49 a
<i>Retama monosperma</i>	1,49 abc	1,19 ab	---
<i>Sesbania sesban</i>	---	---	11.35 a

Discusión

La producción de biomasa fue superior durante el segundo año de edad que durante el primero en todas las especies estudiadas, debido, posiblemente, a una pequeña ralentización del crecimiento motivada por el trasplante, hasta el momento en que las raíces se extiendan por el suelo. Cabe añadir que, al menos para *L. leucocephala*, es habitual una desaceleración del crecimiento durante los 2 ó 3 primeros meses de edad (Parotta, 1992).

El hecho anterior nos sugiere que para algunas de las especies ensayadas como *P. alba*, *C. proliferus*, *R. monosperma* sería preferible el aprovechamiento a turnos más largos que el anual. Por ejemplo, clones productivos de la primera, aprovechados a turnos cortos de tres años, puede producir hasta 39 t/ha en un lugar semiárido de Texas (Felker et al. 1989), del mismo orden de magnitud que la biomasa obtenida en nuestro ensayo con turno de 3 años. Las referencias que se tienen de turnos menores al año para tagasaste (*C. proliferus*) suelen estar destinadas al uso forrajero (Assefa, 1998), no a biomasa leñosa. En nuestro estudio, el tagasaste ha llegado a producir 42 y 72 t/ha con turno de 2 y 3 años respectivamente (2t/ha el primer año) con una gran variación entre las 4 procedencias estudiadas. Este valor está entre los más altos encontrados en la bibliografía. No obstante en nuestro ensayo no soportó bien la corta, posiblemente debido a que el punto de corte se hizo a una altura menor de 50 cm y, además, se vio perjudicado sensiblemente por los períodos de tiempo en que el suelo de las parcelas permanecía encharcado. Por su parte, tanto la especie local incluida en el ensayo, *R. monosperma*, como *P. julyflora*, no presentaron producciones que pudieran tener viabilidad económica. El caso de esta segunda especie

nos hace pensar en una mala calidad de las semillas utilizadas o una mala adaptación a las condiciones edafoclimáticas de las parcelas, puesto que es una especie altamente productiva, incluso adaptada a lugares más áridos que las demás especies.

En el caso de *L. leucocephala*, apreciamos que con un turno de corta de 2 y 3 años no se obtiene un incremento sustancial en la tasa de crecimiento anual, mientras que si se corta con un año de edad, el rebrote producido durante el segundo y tercer año incrementa notablemente la producción, llegando a alcanzar 51-47 t/ha/año. Este resultado está dentro del rango más alto en crecimiento descrito en la bibliografía (Parotta 1992, Faria-Marmol y Morillo 1997, Sánchez et al. 2003). Para esta especie se pueden utilizar turnos de cortas de hasta 3 meses (Zárate 1987), pero estos son destinados a la producción de forraje. Si el objetivo fuese la producción leñosa habría que pensar en turnos algo más largos, entre 6 y 12 meses, pudiéndose incluso realizar un doble aprovechamiento de forraje y leña. Por otro lado, *L. diversifolia*, presentó un buen comportamiento tanto para el turno de corta de 1 año como el de 2 y 3 años, superando a *L. leucocephala* en este último tipo de aprovechamiento. No obstante el crecimiento inicial desde la siembra resultó menos vigoroso que el de esta última. *L. diversifolia* se ha utilizado como alternativa a *L. leucocephala* en plantaciones de cotas altas (700-2500 m) en su hábitat natural, siempre que esté exenta de heladas, además, su menor contenido en mimosina en hojas incrementa sus posibilidades forrajeras. Por su parte, *L. colinsii* no alcanzó las cotas productivas de las otras dos especies de su género.

Las producciones anuales en materia seca más altas que hemos obtenido en el ensayo

igualan a las mayores producciones que presentan otros cultivos alternativos como kenaf, miscanto o sorgo (Montero de Espinosa 1993, Junta Extremadura 1996) en la Península Ibérica y superan las obtenidas para cultivos de especies arbóreas como chopo, robinia, sauce, eucalipto o ailanto, que en el mejor de los casos (chopo) no sobrepasan las 20 t/ha/año (Hernández et al. 1996). La particularidad de su condición de fijadoras de nitrógeno atmosférico (p.ej.: 110 kgN/ha y año para *L. leucocephala*, Parotta 1992) y su uso múltiple (p.ej. producción forrajera de hasta 15 t/ha/año para *L. leucocephala* y *L. diversifolia*, ó 10 t/ha en turnos de dos años para *C.*

proliferus) las convierte en una alternativa interesante de cultivo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Plan Nacional de I±D±i 2000-2003 (proyectos coordinados PPQ2001-2489-C03-03 y PPQ 2001-2489-C03-02) y por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (proyecto C01-121).

Los autores agradecen a M. Mar Alcuña, Manolo Blanco, Jessica Heredia Maria José Arévalo, Sonia Cruzado, Laura Oliveira, Pedro Llanes y José Ponce por su colaboración en el desarrollo del proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Assefa, G. 1998. Biomass yield, botanical fractions and quality of tagasaste, (*Chamaecytisus palmensis*) as affected by harvesting interval in the highlands of Ethiopia. *Agroforestry systems an international journal* 42 (1), pp. 13-23
- CIEMAT, 2001. *Tecnologías energéticas e impacto ambiental*. 675 pp. Ed. McGraw-Gill. Madrid
- Douglas, G.B., Woodfield, D.R., Foote, A.G. 1998. "Elite selection of tagasaste (*Chamaecytisus palmensis*) for drought-prone sites". *Proc. New Zealand Grassland Association*. 60: 181-186.
- European Commission, 1998. "A European network to coordinate information exchange between national biomass energy programmers on agricultural and forestry biomass". Office for official publications of the European Commission. Luxembourg.
- European Commission, 2003. Directorate General for Energy and Transport. European Union. *Energy & Transport in figures*. Luxembourg. 208 p.
- Faria-Marmol, J and Morillo, D. 1997. *Leucaena: Cultivo y Utilización en la Ganadería Bovina Tropical*. Corpozulia-FONAIAP-LUZ, Ed. Astro Data, S.A. 152 p.
- Felker, P., Smith, D., Wiesman, C. and Bingham, R.L. 1989. Biomass production of *Prosopis alba* clones at two non- irrigated field sites in semi-arid south Texas. *For. Ecol. Manage.* 29: 135-150.
- Fernández M., Tapias R., Alaejos J., Salvador L., González-Duque J.A., Alfaro A., García Gómez M.M., López Baldovin F., Díaz Blanco M.J. Alesso P., 2005. Leguminosas leñosas de rápido crecimiento para la producción de biomasa. *Vida Rural* , 207:58-63
- Goel, V.L., Behl, H.M. 2001. "Genetic selection and improvement of hardwood tree species for fuelwood production on sodic soil with particular reference to *Prosopis juliflora*". *Biomass and Bioenergy*, 20(1): 9-15.
- González Duque, J.A. 2000. "Estudio del tagasaste en el Suroeste de España (Huelva)". Diputación Provincial de Huelva. 145 p.
- Hassen, H., Zewda, T. 2000. "Effect of harvesting frequency on dry matter yield of tree lucerne". *AgriTopia.*, 15: 2-4, 10.
- IDAE 2005. *Boletín IDAE. Eficiencia energética y energías renovables*. Boletín nº 7. Editorial IDAE, Madrid.
- Junta de Extremadura (varios autores). 1996. *Jornadas sobre cultivos alternativos no alimentarios*. Finca La Orden, Badajoz.
- Lefroy, E.C., Pate, J.S., Stirzaker, R.J. 2001. "Growth, water use efficiency, and adaptive features of the tree legume tagasaste (*Chamaecytisus proliferus* Link.) on deep sands in south-western Australia". *Aust. J. Agr. Res.*, 52 (2): 221-234.
- Parrotta, J.A. 1992. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: leucaena, tantan. Res. Note SO-ITF-SM-52. New Orleans, LA. USDA Forest Service. Southern Forest Experiment Estation, 8 p.
- Rethman, N., Lindeque, J., Niekerk, W., West, N.E. 1996. Growth, development and nutritive value of *Leucaena leucocephala* and *Chamaecytisus palmensis* in marginal areas". *Proc. Fifth International Rangeland Congress*. Salt Lake City, Utah, USA, 23-28 July 1995.

- Rosenschein, A., Tietama, T., Hall, D.O. 1999. "Biomass measurement and monitoring of trees and shrubs in a semi-arid region of central Kenya". *Journal of Arid Environments*, 42 (2): 97-116.
- Sánchez, A., Miquilena, O. and Flores R. 2003. Comportamiento de la *Leucaena leucocephala* durante el establecimiento regada por goteo artesanal en ambiente semiárido. *Rev. Fac. Agron. (Luz)*, 20:352-363.
- Singh, V., Toky, O.P. 1995. "Biomass and net primary production in *Leucaena*, *Acacia* and *Eucalyptus*, short rotation, high density (energy) plantations in arid India". *Journal of Arid Environments*, 31 (3): 301-309.
- Zárate, S. 1987. Taxonomic identity of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit with a new combination. *Phytologia* 63(4): 304-306.
- Yamoah, E., McKenzie, B.A., Hill, G.D. 1998. "Effects of soil incorporated tagasaste herbage on the growth of maize". *Proc. Annual Conference Agronomy Society of New Zealand*, 28: 59-66.