

12

Serie Técnica
INFORME TECNICO No. 115

Centro Interamericano de
Documentación e Información
Agrícola
24 MAR 1988
C I D I A
Turrialba, Costa Rica

COMPORTAMIENTO DE LEUCAENA EN COSTA RICA

Rodolfo Salazar
Walter Picado
Luis Ugalde

Publicación patrocinada por el
Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple
CATIE-ROCAP 596-0117

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA (CATIE)
Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido
Área de Producción Forestal y Agroforestal
Turrialba, Costa Rica, 1987

INDICE

Resumen	1
Summary	2
Introducción	3
Características de clima y suelo en los sitios experimentales	6
Sobrevivencia	12
Crecimiento en altura total, dap y área basal	12
Efecto de la densidad de plantación en el desarrollo	19
Rendimiento de biomasa en peso seco	23
Efecto de la densidad de plantación en el rendimiento	27
✓ Modelos preliminares para estimar la producción por árbol	28
Manejo de rebrotes	35
Problemas fitosanitarios	38
Conclusiones y recomendaciones	39
Bibliografía	42

Rodrigo Tarté, Director General, CATIE

Oscar Fonseca, Subdirector General, CATIE

Carlos Burgos, Jefe a.i., Programa Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido

Ronnie de Camino, Jefe a.i., Area de Producción Forestal y Agroforestal

Personal profesional del Proyecto Cultivo de Arboles de Uso Múltiple (Madeña)

Ronnie de Camino, Coordinador

Carlos Trejos, Coordinador

Xinia Robles, Documentalista

Elizabeth Mora, Editora

Miguel Musálem, Silvicultor Principal

Héctor Martínez, Silvicultor

Rodolfo Salazar, Genetista Forestal

David Hughell, Sistemas de Información

Valentín Jiménez, Sistemas de Información

Thomas MacKenzie, Economista Principal

Carlos Reiche, Economista Rural

Stanley Hickadon, Científico Social

Manuel Gómez, Asistente Economía

AGRADECIMIENTO

En el proceso de investigación forestal participaron directa o indirectamente, instituciones, personal técnico y agricultores, sin cuya contribución hubiera sido imposible dar a conocer los resultados que hoy se presentan. Se agradece a la Dirección General Forestal; a la Cooperativa de Electricidad Rural de Belén en Santa Cruz, Guanacaste; al Colegio Agropecuario de Liberia; al Instituto Tecnológico de Costa Rica; al Instituto Costarricense de Electricidad; a la Universidad de Costa Rica y a la Universidad Nacional. A cada uno de los finqueros, por permitir que en terrenos de su propiedad se establecieran y manejaran parcelas de leucaena y por haber contribuido con el mantenimiento de las parcelas durante los años de investigación.

Se agradece al Ing. Valentín Jiménez, a Marcelino Montero, Hugo Brenes y Miguel Solano del Proyecto Madeleña por el apoyo en la recopilación y procesamiento de datos silviculturales. A Rita Aguilar y Adela Luna por el trabajo mecanográfico.

R.SALAZAR, Ph.D. Genética Forestal
CATIE, Costa Rica

W.PICADO, Ing. Forestal
Coordinador Nacional, Proyecto Madeleña
Costa Rica

L.UGALDE, M.S. Silvicultor, CATIE
Estudiante de doctorado
Universidad de Minnesota, USA

Resumen

Leucaena leucocephala y Leucaena diversifolia, nativas de México y América Central, son especies forestales de porte bajo aptas para producción de postes para labores agrícolas, leña y forraje en turnos cortos.

El presente trabajo es una revisión sobre el crecimiento y rendimiento que han mostrado estas dos especies durante los primeros cinco años de estudios en Costa Rica.

Los resultados indican que como especies de turno corto para productos de dimensiones menores, las dos leucaenas muestran gran potencial. L. leucocephala responde mejor en zonas abajo de 900 msnm, con una época seca definida, suelos fértiles y pH ligeramente ácido; L. diversifolia requiere condiciones de suelo similares pero se adapta mejor entre 800 y 1200 msnm, aunque todavía es necesario estudiar más la respuesta en las zonas bajas.

Es necesario continuar investigando turnos de corta para distintos productos, capacidad de rebrote, así como probar otras procedencias y variedades nuevas que están siendo descritas.

Summary

Leucaena leucocephala and Leucaena diversifolia, native of Mexico and Central America, are tree species of small size which are suitable for the production of posts, fuelwood and forage when managed under short rotations.

This work is a review of the growth and yield the two species have demonstrated in the first five years in studies in Costa Rica.

The results indicate that they have great potential as species managed under short cutting cycles for the production of small size products, L. leucocephala grows best in areas below 900 masl, with a defined dry season and in slightly acid fertile soils; L. diversifolia requires similar soil conditions, it grows best between 800 and 1200 masl, although there is a need for more study of this species growth habits at lower elevations.

It is necessary to continue studying the cutting cycles for different products, prouting capacity, as well as provenance trials and newly described varieties.

Introducción

En las últimas décadas los bosques de los países en desarrollo han sido sometidos a un proceso de destrucción fuerte, principalmente en las áreas secas y húmedas de las zonas tropicales y sub-tropicales. Esta destrucción en parte es consecuencia de la alta densidad de población y la falta de tecnología apropiada para manejar los recursos naturales en dichas áreas.

Las consecuencias de la destrucción del bosque son ampliamente conocidas. Existe una necesidad urgente de volver a reverdecer aquellas áreas que nunca debieron deforestar, y establecer plantaciones forestales tanto en zonas rurales como urbanas para suplir los recursos que el bosque genera. En los últimos años se ha dedicado gran cantidad de recursos a la búsqueda de especies forestales con potencial para distintos fines, y al desarrollo de tecnologías que permitan cultivar dichas especies en forma apropiada para lograr rendimientos mayores en el menor tiempo posible, con el fin de satisfacer la creciente demanda de productos forestales y disminuir el proceso destructivo del recurso natural. En esta búsqueda han sido sometidas al proceso de investigación un número grande de especies forestales, principalmente coníferas, eucaliptos y algunas especies leguminosas, como es el caso del género Leucaena.

En la actualidad, las leguminosas han pasado a ocupar un lugar muy importante en el campo de la investigación forestal. Esto se debe en parte a las características favorables de muchas de las especies de esta familia, como son el crecimiento rápido, facilidad de rebrote, fijación de nitrógeno, producción de madera, producción de leña y carbón de buena calidad, reproducción vegetativa fácil, producción de forraje adecuado para la alimentación de ganado y un rango amplio de adaptación. Los resultados de investigaciones recientes en Taiwán indican que L. leucocephala puede ser utilizada en la producción de pulpa química (11).

Las especies L. leucocephala y L. diversifolia, nativas desde México hasta Nicaragua, han sido diseminadas e investigadas en el trópico y sub-trópico en los últimos años, debido a las características anteriormente apuntadas. Los aspectos generales sobre clasificación, botánica, distribución y

requerimientos edafoclimáticos de estas especies no se incluyen en este documento por considerarse ya discutidos por Pound y Martínez (10) y National Research Council (6), entre otros.

En Costa Rica las primeras plantaciones de L. leucocephala a nivel experimental fueron establecidas por iniciativa de la Dirección General Forestal (DGF) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en 1979. Se utilizaron semillas de L. leucocephala variedad K-8 procedentes de Hawaii. En esa época el objetivo era estudiar el potencial de la especie para producción de madera. En la mayoría de los casos, se establecieron parcelas de 169 (13 x 13) árboles, principalmente en fincas privadas en la región del Pacífico Seco de Guanacaste.

El Proyecto Leña CATIE/ROCAP, que operó en América Central de 1980 a 1985, impulsó la investigación con estas especies. Dentro del marco del convenio CATIE/DGF se establecieron en Costa Rica parcelas bajo condiciones distintas de clima, suelo, densidad y como sombra para café. El objetivo fue analizar el crecimiento y rendimiento de las especies y su respuesta al manejo, principalmente para producción de leña. Se establecieron pequeños rodales en terrenos de finqueros deseosos de identificar especies con potencial para leña y otros usos. Otras plantaciones y ensayos fueron establecidos en fincas experimentales (Cuadro 1).

Para evaluar el crecimiento, la DGF estableció parcelas de 81 o 100 árboles en las plantaciones de 169 árboles. En los rodales pequeños el Proyecto Leña ubicó parcelas permanentes de 49 árboles. Para este estudio de crecimiento se utilizaron 22 sitios con L. leucocephala y cinco con L. diversifolia. Las evaluaciones se realizaron cada seis meses durante los primeros dos años y luego cada año. En cada medición se cuantificó la altura total (dm) y el diámetro a 1,3 m en todos los árboles de la parcela útil. En algunos casos se evaluó el número de ejes por árbol, por ser esta una característica estrechamente relacionada con la variedad y la densidad de plantación. La información recopilada forma parte del banco de datos silviculturales del Área de Producción Forestal y Agroforestal del CATIE, donde está disponible para consulta.

Cuadro 1. Datos climáticos, elevación y zonas de vida para los sitios donde se ha plantado Leucaena en Costa Rica

Sitio	Latitud (N/O)	Longitud (m/snm)	Elevación (msnm)	Precipitación anual (mm)	Meses secos/Temp. media mensual (°C)	Zona de vida (Holdridge)
L. leucocephala						
MAG, Taboga, Cañas, Guanacaste (MAG)	10°21'/85°08'		50	1846	5	bs-T *
F. Coop. Elect. Rural, Belén, Guanacaste (COO)	10°23'/85°36'		50	1927	6	bh-T **
Santa Rita, Carmona, Guanacaste (SRI)	10°01'/85°15'		60	1860	5	bh-T
La Palma, Abangares, Guanacaste (PAL)	10°16'/85°02'		70	2509	5	bh-P ***
F. Javillas, Cañas, Guanacaste (CAN)	10°24'/85°05'		110	1723	5	bs-T **
Col. Agrop. Liberia, Guanacaste (LIB)	10°37'/85°27'		150	1635	5	bh-P ***
ICR, Ciudad Quesada, Alajuela (ITC)	10°21'/84°32'		160	2943	4	bmh-P
F. Pocosol, Liberia, Guanacaste (POC)	10°55'/85°36'		270	1727	6	bh-P ***
San Gerardo, Hojancha, Guanacaste (SBE)	10°03'/85°26'		320	2223	5	bh-T
Cuesta Blanca, Hojancha, Guanacaste (CBL)	10°03'/85°25'		370	2223	5	bh-T
La Libertad, Hojancha, Guanacaste (LIH)	10°04'/85°26'		430	2223	5	bh-T
ICE, La Garita, Alajuela (ICE)	9°57'/84°21'		460	2143	4	bh-T **
Pita Rayada, Hojancha, Guanacaste (PIR)	10°03'/85°24'		460	2223	5	bh-T
Pavones, Turrialba, Cartago (TUR)	9°56'/83°37'		535	2637	1	bh-T
Ruacas, Hojancha, Guanacaste (HUC)	10°02'/85°22'		560	2223	5	bmh-T
Rfo Oro, Carmona, Guanacaste (RIO)	10°00'/85°22'		580	1860	5	bh-T
Cuesta Roja, Hojancha, Guanacaste (CRO)	9°59'/84°22'		600	2223	5	bmh-T
La Maravilla, Hojancha, Guanacaste (MAR)	10°01'/85°25'		620	2304	5	bmh-P
UMA, San Isidro, San José (SAN)	9°22'/83°42'		700	3092	0	bmh-P
Monte Romo, Hojancha, Guanacaste (MRO)	10°00'/85°23'		800	2223	5	bmh-P
UCR, La Garita, Alajuela (UCR)	10°01'/84°16'		840	1906	5	bh-P
Palmichal, Acosta, San José (PAC)	9°51'/84°13'		1160	2568	5	bmh-P
L. diversifolia						
Matambú, Hojancha, Guanacaste (MAT)	10°06'/85°26'		260	2223	5	bh-T
UCR, La Garita, Alajuela (UCR)	10°01'/84°16'		840	1906	5	bh-P
Piedades Norte, San Ramón, Alajuela (PIN)	10°09'/84°31'		1080	1926	5	bp-P
Piedades Norte, San Ramón, Alajuela (PAZ)	10°09'/84°33'		1150	1926	5	bmh-P
Piedades Sur, San Ramón, Alajuela (PIS)	10°07'/84°36'		1200	3433	4	bmh-P

I/ menos de 100 mm de lluvia por mes

* transición a húmedo

** transición a premontano

*** transición a basal

Los objetivos de este trabajo son evaluar las características de crecimiento y rendimiento de L. leucocephala y L. diversifolia en algunas de las parcelas que han sido establecidas a distintas densidades y en distintas zonas de Costa Rica; intentar el desarrollo de algunos modelos para predecir el crecimiento y rendimiento de estas especies, y ofrecer a los técnicos forestales de la región dedicados tanto a la investigación como a la extensión, información con cierto detalle sobre el rendimiento que han mostrado estas dos especies durante los primeros cinco años de estudio en Costa Rica.

Características de clima y suelo en los sitios experimentales

En sus 51 100 km², Costa Rica cuenta con una gama variada de condiciones climáticas y edáficas, por lo que es frecuente encontrar en trayectos cortos, sitios con características edafoclimáticas muy distintas. Estos aspectos deben ser considerados al interpretar el comportamiento de las especies en sitios diferentes.

Pound y Martínez (9) analizan en detalle las características de suelo y clima predominantes en los sitios de origen e introducción de Leucaena. A la vez, indican cuales son los factores que pueden limitar el desarrollo, entre los que mencionan drenaje impedido y temperaturas diurnas inferiores a 15°C. En Nueva Guinea, L. leucocephala ha sido plantada con relativo éxito hasta 1500 m de elevación. Se indica que la especie tolera un rango amplio de suelos cuando el pH es superior a 5,5. En general, por el tamaño pequeño de las hojuelas y la capacidad de estas de desprenderse, la especie puede adaptarse a sitios con precipitaciones ligeramente inferiores a 500 mm.

• L. leucocephala y L. diversifolia están siendo ampliamente estudiadas en América y Asia (1,3,6,9) y ya se han identificado una serie de factores que limitan su desarrollo. Dada la complejidad de las interacciones que se dan entre factores de clima, suelo y planta, las que en gran medida son responsa-

bles del éxito o fracaso de la especie, se consideró importante estudiar el comportamiento de estas dos especies en sitios comparativamente distintos en Costa Rica, con el fin de identificar aquellos que reúnan condiciones favorables para el desarrollo satisfactorio de las especies en una región más extensa. Igualmente es importante identificar procedencias que puedan adaptarse satisfactoriamente a condiciones específicas de clima y suelo.

Este estudio comprende el análisis de las dos especies distribuidas en 26 sitios de Costa Rica (Cuadro 1, Figura 1) con elevaciones que van desde 50 hasta 1160 msnm para *L. leucocephala*, y desde 260 hasta 1200 msnm para *L. diversifolia*. La precipitación de los sitios donde fueron estudiadas las dos especies va desde 1635 mm en Liberia, hasta 3433 mm en Ciudad Quesada. Entre las áreas de estudio hay una variación de cuatro a seis meses secos (< 100 mm/mes); en San Isidro y Turrialba la época seca prácticamente no existe (cero y un mes). La temperatura media anual varía desde 20,0°C en



Fig. 1 Localización de las parcelas de estudio de *Leucaena* en Costa Rica

Piedades Sur a 27,0°C en Guanacaste, en la mayoría de los sitios predomina una temperatura media de 27,0°C. La Figura 2 muestra la gradiente altitudinal, la precipitación y la temperatura media anual para los distintos sitios de estudio de las dos especies. Se puede observar que la temperatura media varía relativamente poco con la elevación, excepto en Turrialba y San Isidro que muestran temperaturas comparativamente menores.

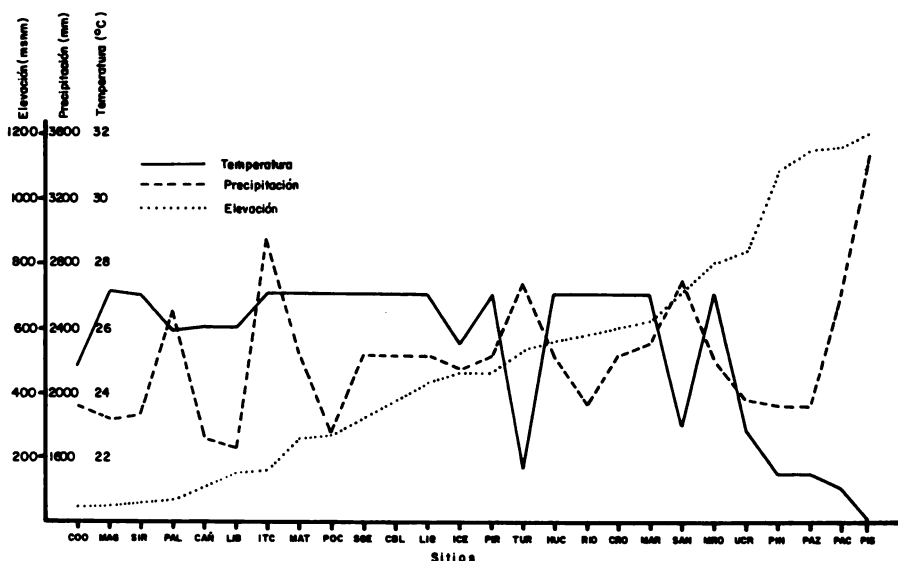


Fig. 2 Elevación (msnm), precipitación media anual (mm), temperatura media (°C) de los sitios de estudio en Costa Rica

L. leucocephala fue plantada principalmente en las zonas de vida bosque seco Tropical, bosque húmedo Tropical, bosque húmedo Premontano transición a basal y bosque muy húmedo Tropical (sistema Holdridge). A partir de 1982, L. diversifolia fue introducida en la zona de vida bosque húmedo Premontano y bosque húmedo Tropical transición a montano, como una posible alternativa para elevaciones superiores a los 800 m.

El Cuadro 2 resume algunas características de los suelos en los sitios de estudio, los cuales corresponden a una muestra por sitio tomada de 0 a 40 cm de profundidad (8). En todas las localidades estudiadas el contenido de fósforo está por debajo de 8,0 $\mu\text{g/ml}$, lo cual es muy bajo o limitante para algunos cultivos tradicionales. Las causas de retención del fósforo en estos sitios no son consideradas en este documento. El contenido de potasio (menor de 0,2 me/100 ml) también se considera limitante para el desarrollo de algunos cultivos; sólo una tercera parte de los sitios, principalmente en el Pacífico Seco, presentan niveles superiores a 0,2 me/100. Respecto del contenido de calcio, algunos sitios en San Ramón, Liberia, Matambú y San Isidro presentan niveles bajos que pueden ser limitantes; hay niveles bajos de magnesio únicamente en UCR, San Isidro, Piedades Sur y Matambú; la concentración de aluminio es alta en Turrialba y San Ramón. El contenido de materia orgánica varió desde 1,5 hasta 8,7 por ciento. El contenido relativamente bajo de materia orgánica (MO) en algunos de los suelos es en parte consecuencia del uso anterior, usualmente pastos (Cuadro 2). Se sabe que contenidos altos de MO, además de mejorar la estructura y retención de agua, estimulan la disponibilidad de nitrógeno y azufre para las plantas y mejoran la capacidad de intercambio catiónico, principalmente en suelos ácidos (10).

El pH está dentro del límite reportado como aceptable para la especie; únicamente Piedades Norte, La Garita, San Gerardo y Matambú presentan valores de pH inferiores a 5,4 considerados como limitantes.

En general la textura de los suelos estudiados hasta 40 cm de profundidad es arcillosa, franca o franca arcillosa con drenaje superficial libre. Los problemas de drenaje externo se deben principalmente a condiciones de topografía. En algunos sitios como en Pocosol, Cañas y Turrialba se detectó un drenaje interno deficiente con presencia de arcillas pesadas (Cuadro 2).

Con base en la literatura y en los resultados de los análisis de suelo y clima, los sitios San Juan, Piedades Norte, San Isidro, Pocosol, Turrialba, Liberia, San Gerardo y Matambú presentan factores limitantes para el buen desarrollo de estas dos especies; los demás sitios se consideran regulares o buenos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características principales de los suelos donde se estudió Leucaena en Costa Rica

SITIO	P ($\mu\text{g/ml}$)	K	Ca	Mg	Al	MO (%)	pH	Tex- tura	Uso anterior del suelo
<u>L. leucocephala</u>									
MAG	1,2	0,05	19,1	4,0	-	3,2	6,0	A	pasto
COO	2,5	0,26	25,3	6,4	-	4,9	6,6	A	pasto
SRI	2,0	0,23	31,0	7,9	0,15	8,7	6,0	FA	pasto
PAL	1,8	0,87	17,8	3,2	-	5,0	5,6	A	charral
CAR	1,2	0,18	21,6	6,7	-	2,9	5,8	A	pasto
LIB	3,1	1,07	4,7	1,0	-	1,5	6,6	F	pasto
ITC	10,6	0,60	15,0	6,1	-	4,8	6,0	FA	pasto
POC	3,1	0,27	10,8	2,4	-	3,7	5,8	A	pasto
SGE	1,0	0,04	20,3	9,6	-	-	5,1	A	cultivo de café
CBL	1,0	0,07	22,0	7,2	0,15	4,6	6,0	FA	pasto
LIH	1,0	0,15	27,0	8,2	0,20	-	5,7	F	pasto
ICE	1,6	0,20	19,8	7,7	-	5,0	5,2	A	charral
PIR	7,0	0,13	29,5	6,2	0,20	8,7	5,9	FA	cultivo de café
TUR	15,0	1,19	11,2	4,3	0,30	8,4	5,5	F	pasto y charral
HUC	2,0	0,06	13,0	3,9	0,15	4,6	5,4	A	pasto
RIO	2,0	0,07	22,5	6,0	0,20	4,1	5,7	FA	pasto
CRO	1,0	0,09	27,0	6,9	0,15	2,7	5,9	A	pasto y bosque
MAR	2,5	0,15	11,2	3,7	-	5,9	5,8	A	pasto
SAN	1,9	0,07	0,3	0,2	-	5,1	5,4	A	charral
MRO	2,0	0,04	26,5	5,1	0,15	4,7	6,3	F	pasto y café
UCR	1,8	0,71	2,3	0,8	-	4,2	4,9	A	pasto
PAC	-	-	-	-	-	-	-	-	pasto
<u>L. diversifolia</u>									
MAT	T	0,10	3,7	0,7	-	5,4	5,1		pasto
UCR	1,8	0,71	2,3	0,8	-	4,2	4,9	A	pasto
PIN	9,0	0,06	3,0	0,9	0,20	3,5	5,3	A	cultivo de café
PAZ	6,0	0,76	4,6	1,2	-	4,2	6,0	FA	cultivo de café
PIS	T	0,05	23,5	10,9	-	2,9	6,5		cultivo de café

* mezcla de suelo de 0 a 40 cm de profundidad

F = franco

A = arcilloso

T = trazas



La mayoría de los rodales de L. leucocephala presentan una gran variación diamétrica (J. Bauer)

Parcela de crecimiento de L. leucocephala con 3,5 años en un sitio con terreno compactado (L. Ugalde)



Sobrevivencia

En general la sobrevivencia en las parcelas evaluadas de las dos especies bajo las distintas condiciones de sitio en Costa Rica puede considerarse como muy buena. Las 22 parcelas de L. leucocephala al año de plantadas mostraron una sobrevivencia superior a 90 por ciento; únicamente los sitios San Isidro y Liberia presentaron sobrevivencias inferiores a 58 por ciento (Cuadro 3). Las parcelas de L. diversifolia mostraron sobrevivencias superiores a 75 por ciento.

El porcentaje bajo de sobrevivencia que presentó L. leucocephala en los sitios San Isidro, La Garita y Liberia puede ser consecuencia del efecto combinado de factores adversos, como suelos compactados por el pastoreo, drenaje impedido y encharcamiento durante el período lluvioso. Estos son unos de los factores limitantes para el crecimiento de L. leucocephala (6, 9). En el sitio UCR no se incluyeron ocho parcelas de variedades de L. leucocephala ya que presentaron mortalidad casi total, debido entre otros factores a las condiciones del sitio y a la elevación de 800 msnm.

Crecimiento en altura total, dap y área basal

Para las 30 parcelas analizadas (Cuadro 3, Figura 3) de L. leucocephala con edades entre 1,5 y 5,4 años se observó un incremento medio anual promedio (IMA) en altura total de 2,3 m (rango de 0,1 a 4,8 m); para dap el IMA fue de 1,8 cm (rango de 0,8 a 4,4 cm). El 69 por ciento de las parcelas presentaron un IMA en altura superior a 2,0 m y el 42 por ciento mostraron un IMA en dap superior a 2,0 cm. Las seis parcelas de L. diversifolia con edades de 1,0 a 2,6 años mostraron un IMA de 3,6 m (rango de 2,3 a 4,5) en altura total y 2,6 cm (rango de 3,2 a 7,8) en dap.

Cuadro 3. Crecimiento de *L. leucocephala* y *L. diversifolia* en Costa Rica

Sitio	Espacia- miento (m)	Densidad final (árbs/ha)	Edad (años)	Altura total (m)				CV (%)	dap (cm)				CV (%)	AB (m ²) IMA	
				\bar{X}	IMA	MAX	MIN		\bar{X}	IMA	MAX	MIN		(m ² /ha)	(m ² /ha)
<i>L. leucocephala</i>															
MAG	2,0 x 2,0	2407	5,4	13,6	2,5	15,0	10,7	9	9,6	1,8	22,0	6,4	17	17,4	3,2
COO	2,0 x 2,0	2431	5,4	14,7	2,7	16,0	13,6	4	11,9	2,2	16,2	8,9	14	27,0	5,0
SRI	2,0 x 2,0	2449	2,1	10,1	4,8	13,0	4,1	22	6,2	3,0	10,1	1,8	31	7,4	3,5
PAL1	2,0 x 2,0	2500	5,3	14,7	2,8	16,1	10,2	10	9,2	1,7	12,7	5,9	18	16,6	3,1
PAL2	5,0 x 5,0	400	5,3	14,8	2,8	18,7	9,2	-	12,6	2,4	17,1	6,3	-	5,1	1,0
CAR	2,0 x 2,0	2352	4,2	7,8	1,9	10,5	1,1	27	7,0	1,7	13,3	2,6	34	9,1	2,2
L1B	2,0 x 2,0	1582	3,6	0,5	0,1	1,2	0,1	44	-	-	-	-	-	-	-
ITC	2,0 x 2,0	2222	4,0	8,8	2,2	12,3	3,9	21	6,1	1,5	10,9	2,4	26	6,5	1,6
POC	2,0 x 2,0	1313	5,5	6,9	1,3	8,5	4,1	2	6,8	1,2	14,2	2,0	2	4,8	0,9
SGE	4,0 x 4,0	608	1,4	6,1	4,4	7,0	5,0	8	6,1	4,4	9,2	3,6	20	1,8	1,3
CBL	1,0 x 2,0	4184	2,5	5,9	2,4	8,2	0,9	33	4,2	1,7	8,0	2,0	33	5,8	2,3
L1H1	2,0 x 2,0	2500	3,3	9,1	2,8	10,3	7,2	7	5,7	1,7	7,8	3,3	18	6,4	1,9
L1H2	1,0 x 2,0	4592	2,6	4,7	1,8	6,3	0,7	25	3,1	1,2	5,0	1,4	26	3,5	1,3
L1H3	1,0 x 2,0	4898	2,5	4,9	2,0	7,4	3,1	19	2,7	1,1	5,0	1,3	30	2,8	1,1
ICE1	2,0 x 2,0	2344	5,4	11,5	2,1	14,9	9,2	19	7,2	1,3	13,5	4,2	24	9,5	1,8
ICE2	2,5 x 2,5	1570	4,1	11,1	2,7	14,7	5,7	10	9,1	2,2	12,6	4,1	21	10,2	2,5
ICE3	2,0 x 5,0	400	5,3	14,8	2,8	18,7	9,2	10	12,6	2,4	17,1	6,3	20	5,0	3,1
PIR	4,0 x 4,0	612	2,5	4,5	1,8	5,5	3,0	12	5,1	2,0	7,5	2,6	21	1,3	0,5
TUR1	3,0 x 3,0	1111	4,5	4,1	0,9	7,6	1,2	34	3,9	0,9	7,2	2,2	37	1,3	0,3
TUR2	2,5 x 2,5	1600	4,5	4,3	1,0	7,2	1,7	37	3,8	0,8	6,3	1,7	39	1,8	0,4
TUR3	2,0 x 2,0	2375	4,5	5,3	1,2	7,9	2,5	30	4,9	1,1	8,4	2,2	34	4,5	1,0
HUC	5,0 x 5,0	376	2,6	6,1	2,3	8,0	1,8	24	5,4	2,1	8,8	1,5	32	0,9	0,3
R10	4,0 x 6,0	383	2,5	5,8	2,3	7,8	3,8	17	6,2	2,5	9,5	3,3	25	1,2	0,5
CR0	6,0 x 6,0	258	2,7	6,5	2,4	9,2	2,0	26	5,4	2,0	0,6	1,4	36	0,6	0,2
MAR	2,0 x 2,0	2381	5,4	10,7	2,0	12,3	7,5	13	7,3	1,4	13,2	4,0	23	10,0	1,8
SAN	2,0 x 2,0	2500	2,0	0,4	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MRO	5,0 x 5,0	384	2,0	4,7	2,4	6,7	2,6	15	4,5	2,2	7,9	1,7	28	0,6	0,3
UCR1	2,0 x 2,0	1700	1,5	0,6	0,4	1,3	0,2	61	-	-	-	-	-	-	-
UCR2	2,0 x 5,0	943	5,4	12,4	2,3	15,5	4,4	20	10,9	2,0	14,4	4,1	28	8,8	1,6
PAC	2,0 x 2,0	1666	4,2	5,4	1,3	8,8	2,0	30	4,0	1,0	10,3	0,6	47	2,1	0,5
<i>L. diversifolia</i>															
MAT1	1,0 x 2,0	4388	1,0	3,9	3,9	8,7	1,4	38	2,6	2,6	4,4	1,0	34	2,3	-
MAT2	1,0 x 2,0	4898	1,0	3,8	3,8	7,5	1,8	37	2,6	2,6	4,8	1,6	37	2,6	-
MAT3	1,0 x 2,0	4796	1,0	3,6	3,6	5,2	1,4	25	2,2	2,2	4,7	1,5	30	1,8	-
UCR	2,0 x 2,0	1888	2,6	6,0	2,3	8,5	4,2	19	4,7	1,8	7,5	2,4	30	3,3	1,3
PIN	2,0 x 2,5	1700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAZ	3,7 x 3,7	730	1,2	5,4	4,5	7,3	2,5	18	3,9	3,2	6,8	2,5	29	0,9	0,7
PIS	2,5 x 3,8	1050	1,3	4,2	-	7,1	2,7	23	3,4	2,6	5,0	2,1	23	1,0	0,7

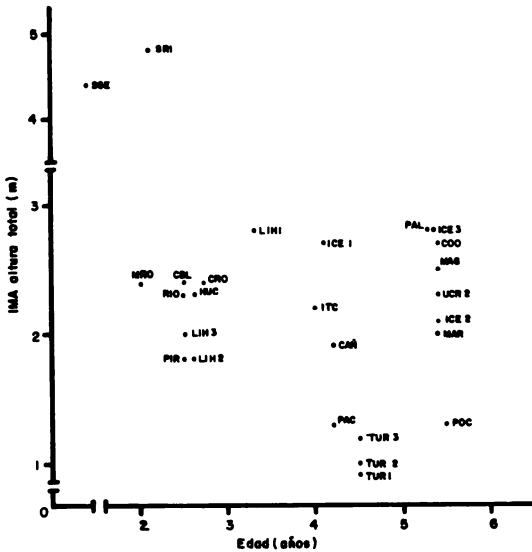


Fig. 3 Crecimiento medio anual en altura total (m) para las parcelas de Leucaena leucocephala evaluados en Costa Rica

La altura promedio observada en L. leucocephala para las parcelas de edad mayor a cinco años varió de 9,9 a 14,8 m (máxima individual 18,7 m); el dap promedio varió de 6,8 a 12 cm (máximo individual 22 cm). En L. diversifolia a los 2,6 años la altura promedio de una parcela fue 6 m (8,5 m individual máximo) y el dap promedio de 4,7 cm (7,6 cm individual máximo).

Según National Research Council (9), cuando L. leucocephala es plantada en sitios con condiciones de suelo y clima favorables puede alcanzar alturas hasta de 18 m y de 20 a 37 cm en dap a los ocho años. Estos datos son comparables con los observados en Costa Rica.

Si se analiza el crecimiento con respecto a la edad, se observa que el IMA en altura total para L. leucocephala es bastante regular; en la mayoría de las parcelas fluctúa entre 1,8 y 3,0 m durante los primeros cinco años de evaluación (Figura 3). Las condiciones de sitio influyen fuertemente en el comportamiento de esta especie. Así por ejemplo, las parcelas de San Gerardo

(4,0 m x 4,0 m) y Santa Rita (2,0 m x 2,0 m) presentaron IMA superiores a 4,0 m. El sitio San Gerardo es una plantación de 24 meses en suelos con drenaje bueno; en el segundo sitio se trata de árboles utilizados como sombra en cafetales con fertilización periódica, aspectos que favorecen el crecimiento. Los sitios con incrementos cercanos a un metro corresponden a zonas sin época seca y suelos compactados, condiciones que limitan el crecimiento de la especie.

Para plantaciones de L. leucocephala de cuatro a cinco años, se detectó una variación en altura total promedio (Cuadro 3) desde 4,1 hasta 14,7 m. Los crecimientos menores se encontraron en Turrialba, en suelos con problemas de compactación por efecto del pastoreo, solo un mes seco, exceso de humedad y pH 5,5. Los crecimientos mayores se dieron en la zona del Pacífico Seco que tiene una época seca de seis meses; aquí la altura máxima total a los 5,4 años alcanzó 18,0 m, principalmente en sitios con suelos bien drenados, ligeramente ácidos y con problemas menores de compactación.

En la provincia de Los Santos, Panamá (5) a 25 m de elevación, cinco meses secos, 1200 mm de precipitación, suelos franco arenosos y pH de 6,1 se reporta un IMA en altura total de 2,9 m a los dos años y una altura total máxima de 9,5 m para la variedad K-8. En La Máquina, Guatemala (7), a 100 m de elevación, seis meses secos, 1896 mm de precipitación y pH 6,5, el IMA en altura total a los 2,9 años fue de 2,8 m para la variedad K-8 y 2,0 m para una variedad tipo Hawaii, estos crecimientos son inferiores a los encontrados en Costa Rica.

El IMA en dap para L. leucocephala, analizado en 27 parcelas fue ligeramente fluctuante con respecto a la edad; las parcelas de Carmona y San Gerardo que son las más jóvenes muestran los incrementos mayores (Figura 4). Un análisis más detallado del incremento en dap para parcelas plantadas a 2,0 m x 2,0 m muestra una tendencia clara del IMA a disminuir después de cierta edad (Figura 5). Esta respuesta es parte del efecto del sitio y la densidad de plantación inicial. La reducción del incremento fue de 42 por ciento para edades de 2,0 a 5,4 años. La Figura 6 muestra el comportamiento en dap promedio para 24 de las parcelas estudiadas.

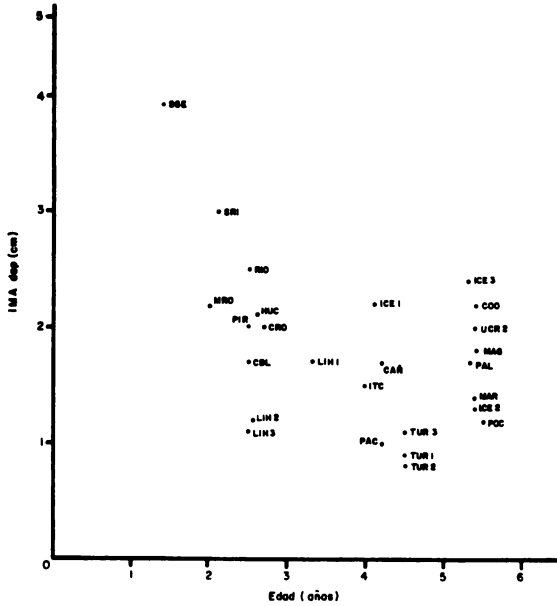


Fig. 4 Comportamiento del IMA en dap de Leucaena leucocephala con respecto a la edad en Costa Rica

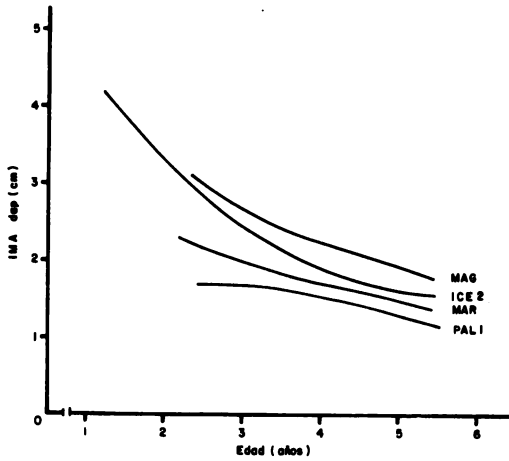


Fig. 5 Tendencia decreciente del IMA en dap en cuatro parcelas de Leucaena leucocephala plantadas a 2 x 2 m en Costa Rica

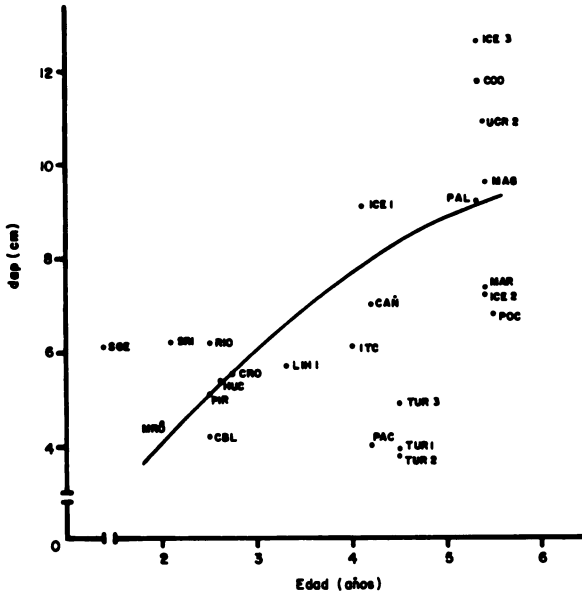


Fig.6 Comportamiento del dap promedio de Leucaena leucocephala, con respecto a la edad de las parcelas evaluadas en Costa Rica

En la región de San Ramón, Alajuela, L. diversifolia ha sido plantada principalmente en asocio con café. La parcela con mayor edad (2,6 años) en la UCR La Garita mostró un IMA en altura total de 2,3 m y 1,8 cm de IMA en dap. En este sitio también se plantaron las variedades K-8, K-72, K-67, K-72A y Guatemala de L. leucocephala y las especies L. trichodes y L. collinsii. Las variedades de L. leucocephala han sobrevivido, pero con crecimientos muy pobres y mortalidad alta y las otras dos especies no sobrevivieron por problemas de adaptación. La Figura 7 presenta la curva de crecimiento en altura para la parcela de la UCR. Los incrementos mayores se observaron en las parcelas establecidas como sombra de cafetales en San Ramón. Es probable que el crecimiento en cafetales sea influenciado por los suelos mejores, el fertilizante que se aplica periódicamente y el mantenimiento. Martínez *et al.* (7) informa para esta especie en La Máquina, Guatemala a 100 msnm, un IMA de altura total de 2,9 m a los 2,9 años, que son ligeramente inferiores a los observados en Costa Rica.

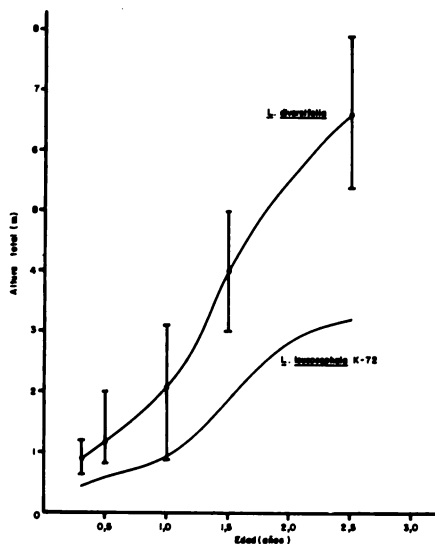


Fig. 7. Tendencia de crecimiento en altura total de *Leucaena diversifolia* y *Leucaena leucocephala* en La Berriba, Alajuela, Costa Rica

Los resultados de crecimiento indican que en Costa Rica y al menos durante los primeros años, *L. diversifolia* se adapta mejor que *L. leucocephala* a un rango de altitud mayor, por encima de 800 msnm. Para zonas entre 800 y 1300 m de elevación y especialmente con una estación seca marcada, *L. diversifolia* puede ser una especie potencial para establecer plantaciones de turno corto con fines de producción de leña, postes para cerca, postes para la producción hortícola o forraje en áreas críticas. No obstante, antes de recomendar el establecimiento de plantaciones a una escala mayor, es necesario realizar investigación complementaria sobre procedencias y silvicultura en varios sitios.

Respecto al área basal (AB) se observó que plantaciones de *L. leucocephala* de tres a cinco años y establecidas a 2,0 m x 2,0 m y 2,5 m x 2,5 m presentaron un IMA promedio de 2,4 m²/ha (rango de 0,4 a 5,0). El valor más alto fue 5,0 m² y se obtuvo en Guanacaste, en la plantación de 5,4 años de la Cooperativa de Electrificación Rural. Esta plantación está en un sitio con pH 6,6 y con suelos relativamente buenos, además fue irrigada durante el verano. En Guatemala se reporta un IMA en AB para *L. leucocephala* y *L. diversifolia* de 4,3 m²/ha en parcelas con tres años; en Panamá a los dos años se obtuvo 1,7 m²/ha (5, 7), valores comparables a los observados en Costa Rica.

Efecto de la densidad de plantación en el desarrollo

En Costa Rica, la mayoría de las parcelas experimentales de *leucaena* han sido establecidas en rodales pequeños, tanto puros como para sombra en cafetales. El Cuadro 3 presenta las densidades de las parcelas utilizadas en este estudio; 15 parcelas fueron plantadas a 2,0 m x 2,0 m (2500 árboles/ha) y el resto a densidades que variaron entre 400 y 5000 árboles/ha. Solamente en los sitios Turrialba, ICE y La Palma se establecieron parcelas de *L. leucocephala* con densidades variables. La Figura 8 muestra los resultados preliminares del efecto de la densidad de plantación, sobre el crecimiento en altura total de parcelas individuales a diferentes edades en los tres sitios mencionados; como era de esperarse, el efecto de la densidad sobre la altura total fue mínimo en los tres sitios hasta los 5,4 años. La diferencia mayor a los 4,5 años fue de 1,5 m en Turrialba entre las densidades de 2,0 m x 2,0 m y 3,0 m x 3,0 m (Cuadro 3). En ninguna de las tres densidades los árboles llegaron a ocupar todo el espacio disponible, lo que aumenta los costos de mantenimiento por la competencia de malezas. En los otros dos sitios los árboles sí ocuparon todo el espacio disponible, principalmente en La Palma donde los árboles desarrollaron hasta ocho metros más en altura total respecto de Turrialba. La Figura 8 muestra, como es obvio, que las diferencias observadas en crecimiento en altura total están relacionadas con calidades de sitio.

Plantación de 3,5 años de *L. leucocephala* a 1 m x 1 m; se observa el efecto de la densidad de plantación en el crecimiento en diámetro (J. Bauer)



El desarrollo lento de L. leucocephala en Turrialba no muestra diferencias grandes del crecimiento en dap para las tres densidades (Figura 9). En el sitio ICE sí se observó una diferencia en dap de 5,4 cm a los 5,4 años en el espaciamiento 2,0 m x 2,5 m respecto de 2,0 m x 2,0 m; en área basal la diferencia fue 4,5 m² entre los espaciamientos 2,0 m x 2,0 m y 2,0 m x 2,5 m, esta diferencia en AB se debe en parte al número de árboles. En el sitio La Palma a los 5,3 años con suelos de calidad mejor y sin problemas de drenaje, los árboles de la parcela plantada a 5,0 m x 5,0 m mostraron un promedio de dap superior en 3,0 cm en comparación a los árboles plantados a 2,0 m x 2,0 m, en AB la diferencia fue de 11,5 m²/ha del espaciamiento 2,0 m x 2,0 m; con respecto a 5,0 m x 5,0 m.

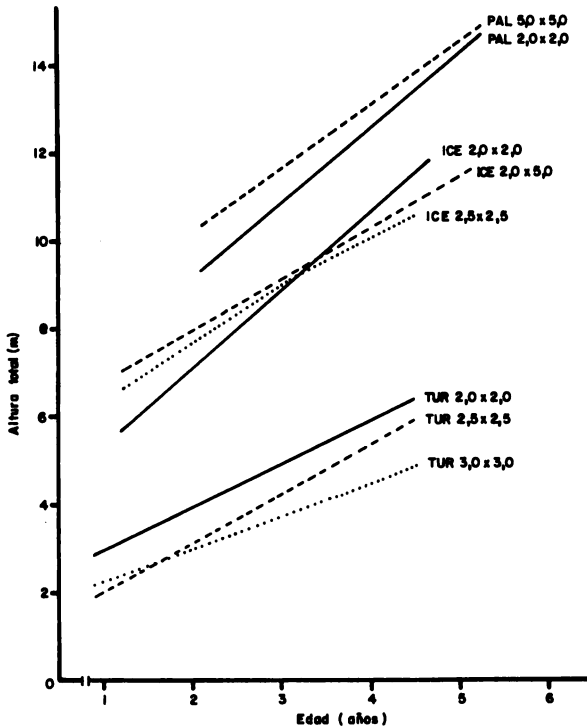


Fig. 8 Efecto de la densidad en el crecimiento en altura total de Leucaena leucocephala a diferentes edades en tres sitios de Costa Rica

En los tres sitios se observó el efecto de la densidad de plantación sobre el número de ejes por árbol: a mayor espaciamiento el número de ejes por árbol fue mayor. En el ICE al momento de la cosecha el 14 por ciento de los árboles en las tres densidades de plantación presentaron más de un eje. Comparativamente con los otros sitios, en el ICE el porcentaje de árboles con más de un eje es bajo debido al efecto de competencia por luz, provocado posiblemente por hileras de árboles de *Gmelina arborea* plantadas entre los bloques y alrededor del ensayo. En Turrialba, el desarrollo de más de un eje por árbol fue más marcado; así a 2,0 m x 2,0 m el 40 por ciento de los árboles mostraron más de un eje y a 3,0 m x 3,0 m aumentó a 65 por ciento. En La Palma, los árboles de la parcela plantada a 2,0 m x 2,0 m no mostraron bifurcaciones, como consecuencia de la rápida y fuerte competencia por luz que se estableció desde el principio. El efecto de densidad sobre el número de

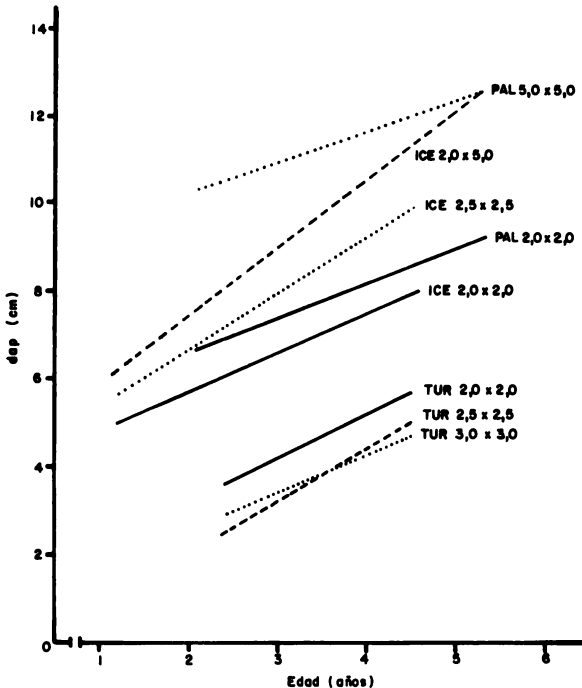


Fig.9 Efecto de la densidad en el crecimiento en dap de *Leucaena leucocephala* a diferentes edades en tres sitios de Costa Rica

ejes sí se presentó en la parcela plantada a 5,0 m x 5,0 m, donde el 88 por ciento de los árboles mostraron entre dos y cuatro ejes, y la mayoría presentaron tres ejes con desarrollo igualmente vigoroso. Pound y Martínez (9) mencionan la necesidad de plantar a densidades altas y luego practicar raleos si se quiere producir árboles rectos con poca ramificación baja. Hay que considerar también que la tendencia a bifurcarse está en parte controlada genéticamente; la variedad K-8 originaria de El Salvador es una de las que presenta esta característica de no producir muchos ejes.

Existen numerosas investigaciones sobre densidades de plantación de leucaena, principalmente por tratarse de una especie de uso múltiple. Se han investigado densidades de plantación para producción de forraje, biomasa con fines energéticos, leña, carbón, varas para actividades agrícolas y construcciones rurales. En el Cul de Sac, Haití se reporta una disminución del crecimiento en altura total y dap al aumentar la población; los volúmenes mayores se han obtenido en densidades de 10 000 a 20 000 árboles/ha, en rotaciones de tres y cuatro años para producción de forraje y leña. Para producción de pulpa las densidades de 5 000 y 10 000 árboles/ha con rotaciones de cuatro y cinco años han mostrado los rendimientos mayores (12, 13).

Los resultados anteriores refuerzan la importancia de definir con claridad las densidades de plantación en leucaena, considerando no sólo los objetivos del cultivo, sino también aspectos de clima, suelo y procedencia de las semillas. La procedencia juega un papel muy importante en la producción, en la forma del fuste y tendencia a la bifurcación. Pound y Martínez (9) indican que los usos más importantes para las tres variedades más ampliamente utilizadas son: para el tipo Hawaii, leña, carbón y sombra; para el tipo El Salvador, madera, leña y cortinas rompevientos, y para el tipo Perú, forraje.

Rendimiento de biomasa en peso seco

El peso es una de las formas más adecuadas para expresar el rendimiento parcial o total de un árbol, ya que permite una cuantificación más precisa de la producción por ser una medida directa. Además, se pueden establecer comparaciones de rendimiento entre sitios diferentes, principalmente cuando se expresa en peso seco al horno. Las cuantificaciones del rendimiento de leucaena en Costa Rica se realizaron en términos de peso seco al horno utilizando parcelas de 25 a 36 árboles, durante la época seca cuando hay menos follaje.

Para cuantificar el rendimiento se midió el crecimiento en dap, altura total y número de ejes en cada árbol de la parcela; luego se pesó separadamente el fuste hasta 2,5 cm como diámetro menor, las ramas hasta 2,0 cm de diámetro mínimo y el peso del material restante se consideró como follaje (ramas delgadas y hojas). En la parcela se tomaron muestras del fuste, ramas y follaje en cuatro o cinco árboles seleccionados al azar para determinar los contenidos de humedad a 80°C, y transformar los pesos verdes a pesos secos. Se tomaron muestras adicionales en los mismos árboles para determinar poder calórico, contenido de cenizas y gravedad específica. Una descripción en detalle de la metodología utilizada aparece en "Normas para la investigación silvicultural de especies para leña" (2).

El Cuadro 4 resume los resultados de las cuantificaciones realizadas en 13 parcelas de L. leucocephala y tres de L. diversifolia. Los rendimientos se reportan en toneladas de peso seco por hectárea para los distintos componentes del árbol. Para L. leucocephala se cuantificaron parcelas de 4,1 a 5,4 años de edad y en algunos casos se cuantificaron parcelas con menos edad; para L. diversifolia las edades eran de 1,4 a 2,6 años. Dado que los objetivos del Proyecto Leña eran determinar el potencial de las distintas especies para producción de leña, todas las evaluaciones realizadas consideraron únicamente este objetivo.

Como información preliminar dada la variación en las edades de las parcelas, se puede indicar que con base en las 13 parcelas evaluadas, se determinó que para L. leucocephala el 89 por ciento (rango de 78 a 93%) de la

biomasa total aérea puede ser utilizada como leña, y para L. diversifolia 63 por ciento (rango de 51 a 63%). Esta diferencia puede atribuirse en parte a que las parcelas de L. diversifolia eran relativamente más jóvenes. Para el sitio UCR con 2,6 años de edad el IMA en producción de leña fue de 9 tm/ha y para Piedades Norte 4 tm/ha a 1,3 años de edad. En plantaciones energéticas de L. leucocephala en Filipinas con 2,5 años de edad promedio se ha encontrado un rango de producción de 0,25-47 tm/ha/año, esta variación es reflejo del efecto de variedad, edad, densidad, sitio y manejo (3).

Cuadro 4. Resultados de las cuantificaciones de L. leucocephala y L. diversifolia en Costa Rica

Sitio	Espaciamiento (m)	Edad (años)	Producción en peso seco (tm/ha)			Total parte aérea	Incremento (tm/ha/año)		Estéreos*	Leña del fuste		
			Fuste	Ramas	Follaje		Leña (fuste+ramas)	Biomasa total aérea		Poder calorífico (kJ/kg)**	Contenido cenizas (%)	Gravedad específica (g/cm ³)
<u>L. leucocephala</u>												
MAG	2,0 x 2,0	5,4	57,2	12,5	5,7	75,4	12,9	14,0	218	18 977	0,55	0,44
SRI	2,0 x 2,0	2,4	17,5	4,8	3,7	26,0	9,3	10,8	133	18 559	0,63	0,51
PAL1	2,0 x 2,0	5,3	74,3	9,8	5,7	89,8	15,9	17,0	288	18 455	0,72	0,64
PAL2	5,0 x 5,0	5,3	50,3	19,5	4,7	74,5	13,2	14,1	264	18 768	0,75	0,77
ITC	2,0 x 2,0	4,1	18,6	-	2,1	20,7	4,5	5,0	95	18 908	0,61	0,43
LTH	2,0 x 2,0	3,4	22,6	5,2	3,4	31,2	8,2	9,2	90	18 559	-	0,77
ICE1	2,0 x 2,0	5,3	36,6	6,5	3,6	46,7	8,1	8,8	147	17 953	0,63	0,67
ICE2	2,5 x 2,5	4,1	34,8	16,1	3,5	54,4	12,4	13,3	-	17 788	-	-
ICE3	2,0 x 5,0	5,3	36,7	20,8	4,2	61,7	10,8	11,6	197	18 663	0,62	0,71
TUR1	2,0 x 2,0	4,5	18,7	-	4,0	22,7	4,2	5,1	30	-	-	-
TUR2	2,5 x 2,5	4,5	9,7	-	2,7	12,4	2,2	2,8	30	-	-	-
TUR3	3,0 x 3,0	4,5	6,8	-	1,6	8,4	1,5	1,9	36	-	-	-
MAR	2,0 x 2,0	5,4	40,5	7,9	4,1	52,5	9,0	9,8	156	18 852	0,68	0,79
<u>L. diversifolia</u>												
UCR	2,0 x 2,0	2,6	23,4	-	13,9	37,3	9,0	14,3	83	16 804	-	-
PAZ	3,7 x 3,7	1,3	5,2	-	5,1	10,3	4,0	7,9	24	18 810	0,42	0,73
PIS	2,5 x 3,8	1,4	3,9	-	2,2	6,1	2,8	4,4	16	18 977	0,36	0,66

* un estéreo es la cantidad de leña apilada en 1 m³

** kJ/kg = kilojulios/kg; multiplíquese por 4,19 para obtener kilocalorías

Para L. leucocephala el IMA de leña en peso seco en la zona del Pacífico Seco fue de $11,1 \pm 2,7$ tm/ha, y $11,6 \pm 2,7$ tm/ha para biomasa aérea total. En las plantaciones de La Palma se reportan 15,9 y 17,0 tm/ha/año de leña y peso aéreo total respectivamente en la densidad de 2500 ejes/ha, y 13,2 y 14,0 tm/ha/año para la densidad de 1200 ejes/ha, estos incrementos son los más altos reportados para L. leucocephala en Costa Rica, y son comparativamente superiores a algunos de los reportados en otros países.

Ghatnekar et al. (4) reportan producciones de biomasa en base verde de 8,7 y 20,6 tm/ha para densidades de 2500 y 10 000 árboles/ha a los dos años en la India. Chatarvedi (3) reporta un incremento total medio anual de 11,3 tm/ha ($22,6 \text{ m}^3/\text{ha}$) en plantaciones de 25 000 árboles/ha con riego a los cuatro años en la India.

En Haití, plantaciones en suelos planos de origen aluvial, con problemas de drenaje y salinidad produjeron rendimientos de 15-20 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$ de leña seca con densidades de 1500 árboles/ha a los tres años de edad (11).

En La Máquina, Guatemala, L. diversifolia ha alcanzado rendimientos en madera para leña hasta un 40 por ciento superior a L. leucocephala K-8 en aprovechamientos anuales*. Si las diferencias entre especies persisten por períodos más largos, sería conveniente considerar la producción de forraje para alimento de ganado si el valor nutritivo del material lo amerita.

* Ing. H. Martínez, comunicación personal, silvicultor del Proyecto Madeleña, CATIE.



Rodal de L. leucocephala plantado a 2 m x 2 m en un suelo fértil y aprovechado a los 5,3 años (M. Montero)



Plantación de 5,3 años de L. leucocephala a 5 m x 5 m; predominan tres ejes por árbol (M. Montero)

Efecto de la densidad de plantación en el rendimiento

En el sitio La Palma el IMA en biomasa total para el espaciamiento 2,0 m x 2,0 m fue solo 12 por ciento superior al IMA del espaciamiento 5,0 m x 5,0 m. La similitud en rendimiento se debe a que a 5,0 m x 5,0 m solo el 12 por ciento de los árboles no se bifurcaron, el resto presentó entre dos y cuatro ejes por árbol con desarrollos muy similares. Este aspecto es importante si se enfoca desde el punto de vista de rendimiento y calidad de los productos, ya que para la densidad mayor (2,0 m x 2,0 m) el dap promedio fue 9,2 cm (12,7 cm máximo) y para la densidad menor (5,0 m x 5,0 m) el dap promedio de los ejes fue 12,6 cm (17,1 cm máximo). Esta diferencia de 3,4 cm entre espaciamientos podría significar un cambio importante en el uso final de los productos, lo que a su vez se puede traducir en precios mejores de mercado si la forma de los fustes es aceptable; a la vez significará un incremento de los rendimientos económicos por hectárea. Resultados distintos se observaron en la prueba de densidades realizada en el ICE: a los 5,3 años esta plantación produjo 43,1 y 46,7 tm/ha de leña y biomasa aérea total en el espaciamiento 2,0 m x 2,0 m, y 57,5 y 61,7 tm/ha de leña y biomasa a 2,0 m x 5,0 m.

En las plantaciones del ICE, donde los suelos son relativamente más pesados y con problemas de competencia por luz con la vegetación circundante, a los 5,3 años el espaciamiento 2,0 m x 5,0 m presentó los rendimientos mayores en términos de leña y biomasa seca total por hectárea. Estos resultados fueron distintos a los del sitio La Palma donde la producción mayor fue para el espaciamiento 2,0 m x 2,0 m. La Figura 10 muestra en forma gráfica los rendimientos en tm/ha/densidad en materia seca para los sitios ICE y La Palma.

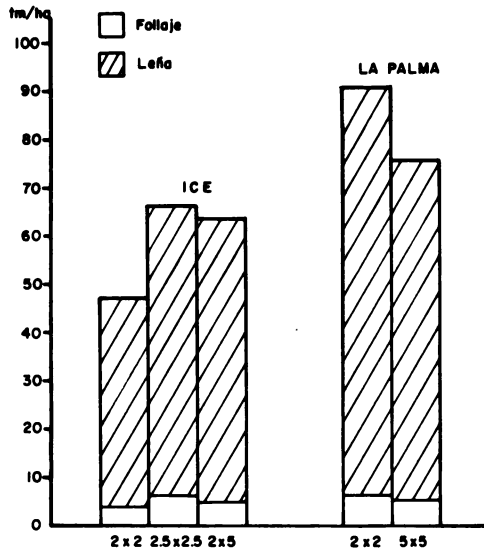


Fig. 10 Producción de follaje, leña y biomasa (área) total de Leucaena leucocephala de 5,3 años en Costa Rica

Modelos preliminares para estimar la producción por árbol

Para desarrollar modelos de predicción en producción de follaje, leña y biomasa seca aérea total por árbol, se utilizó la información de siete parcelas de L. leucocephala con densidades variables, cosechadas en los sitios La Palma, ICE, MAG y La Maravilla. Estas parcelas, se escogieron por ser las de mayor edad (>5 años). Los espaciamientos eran de 2,0 m x 2,0 m; 2,5 m x 2,5 m; 2,0 m x 5,0 m y 5,0 m x 5,0 m. Se consideraron árboles con altura total promedio de 10,1 m (rango de 3,4 a 17,1 m) y dap promedio de 13,5 cm (rango de 5,9 a 18,7 cm).

En los siete rodales de L. leucocephala se encontró una producción promedio de follaje seco de 3,0 kg/árbol (rango de 0,4 a 11,6). El peso del follaje es para las condiciones específicas del rodal al momento de la cosecha; no se trata de la producción total por año. La producción de leña seca

fue de 44,8 kg/árbol (rango de 4,4 a 145,8). La producción de biomasa aérea total seca fue de 47,9 kg/árbol (rango de 5,4 a 154,9). La Figura 11 muestra la distribución de la población total de los árboles cuantificados (160 árboles) en siete rodales con respecto al follaje, leña y biomasa total (Cuadro 4). Hubo gran variación en las dimensiones de los árboles en los rodales cosechados, pero predominaron los de dimensiones menores.

Para estimar en forma preliminar la producción del follaje, en plantaciones establecidas en las zonas secas de Guanacaste y zonas bajas secas de la Meseta Central de Costa Rica, se desarrolló la ecuación logarítmica 1 con base en el dap del eje principal.

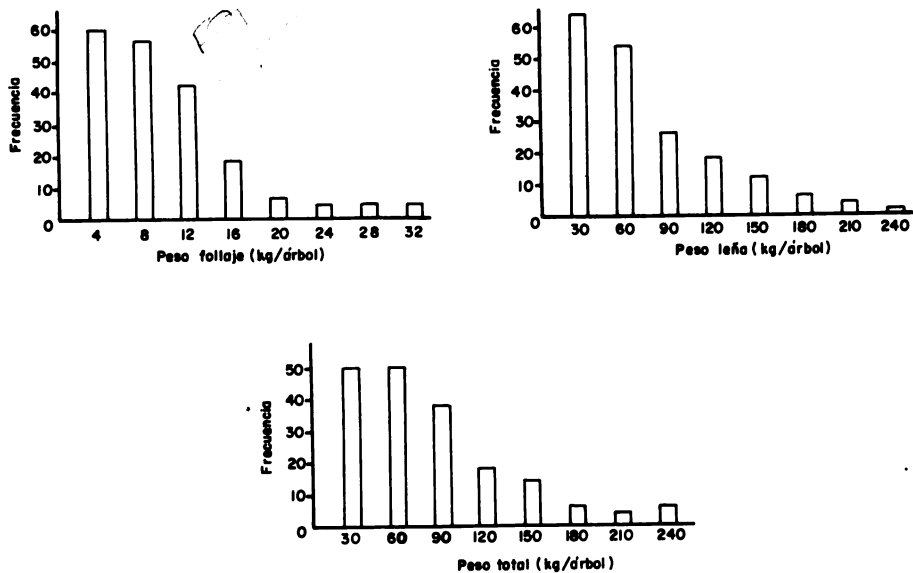


Fig. 11 Frecuencia (%) con base a 160 árboles de *Leucaena leucocephala* cosechados en Costa Rica

La ecuación 2 basada en la relación logarítmica del dap del eje principal y la altura total, permite estimar la producción de leña seca. La ecuación logarítmica 3 para estimar la producción de biomasa aérea seca total por árbol fue desarrollada con base en el dap del eje principal y la altura total. Estas ecuaciones pueden ser utilizadas en forma preliminar para plantaciones con espaciamientos entre 2,0 m x 2,0 m y 5,0 m x 5,0 m, con cinco o seis años de edad y con un crecimiento en dap y altura similares a los reportados en este estudio.

1. Peso de follaje seco de L. leucocephala:

$$\text{Ln } Y = -3,8382 + 2,0763 \text{ Ln dap}$$

$$R^2 = 88\%$$

$$Y = \text{peso seco del follaje (kg/árbol)}$$

$$\text{dap} = \text{(cm) del eje principal}$$

2. Peso de leña seca de L. leucocephala:

$$\text{Ln } Y = -2,8343 + 2,3948 \text{ Ln dap} + 0,3375 \text{ Ln } h$$

$$R^2 = 97\%$$

$$Y = \text{peso seco leña (kg/árbol)}$$

$$h = \text{altura total (m)}$$

$$\text{dap} = \text{(cm) del eje principal}$$

3. Peso de biomasa aérea total seca de L. leucocephala:

$$\text{Ln } Y = -2,5473 + 2,3980 \text{ Ln dap} + 0,2523 \text{ Ln } h$$

$$R^2 = 97\%$$

$$Y = \text{peso seco total (kg/árbol)}$$

$$h = \text{altura total (m)}$$

$$\text{dap} = \text{(cm) del eje principal}$$

La Figura 12 muestra una familia de curvas que relacionan la producción de leña seca por árbol, con la altura total para cuatro intervalos de dap de L. leucocephala sin manejo. Las curvas siguen una tendencia logarítmica.

La Figura 13 muestra la estrecha relación entre dap y altura total para L. leucocephala con base en la información de siete sitios utilizados para

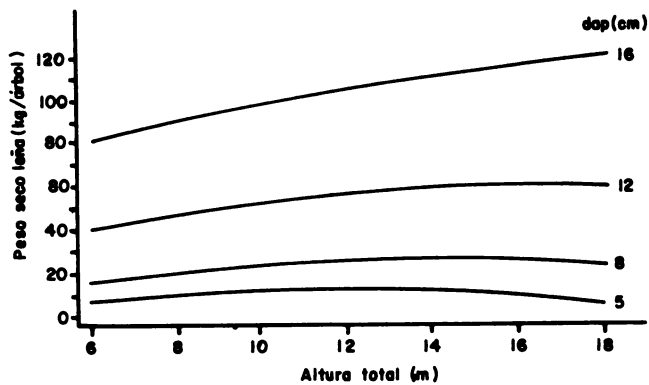


Fig.12 Relación peso seco leña de *L. leucocephala* vs altura total para cuatro clases diamétricas en Costa Rica

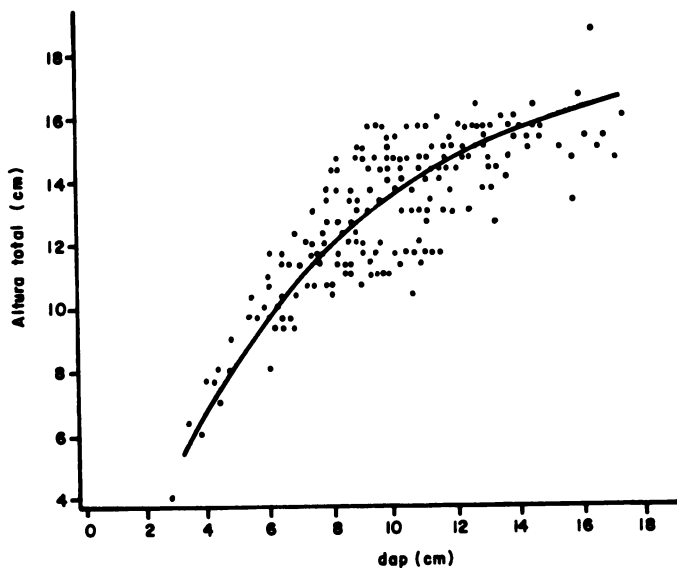


Fig.13 Relación dap/altura total de *L. leucocephala* en Costa Rica

desarrollar los modelos. Con base en las ecuaciones 2 y 3 descritas anteriormente se desarrollaron tablas de peso seco para leña y biomasa aérea total (Cuadros 5 y 6). Se utilizaron valores extremos de 4 a 20 cm en dap del eje principal y de 4 a 18 m en altura total.

La producción de leña en estéreos (leña apilada) de L. leucocephala varió entre 156 y 288 estéreos en parcelas de 5,4 años; esto representa un incremento medio anual de 40 estéreos/ha. Gutiérrez (5) reportó para Loma Larga, Panamá un incremento medio anual de 33 estéreos/ha en una parcela de 25 meses plantada a 2,0 m 2,0 m.

Cuadro 5. Tabla de rendimiento de leña seca (fuste y ramas) en kg/árbol de L. leucocephala en Costa Rica

dap* (cm)	4	6	8	Altura (m)				18
				10	12	14	16	
4	2,6							
6	6,9	7,9						
8	13,8	15,8	17,4	18,8				
10	23,5	26,9	29,7	32,0	34,0			
12	36,4	41,7	45,9	49,5	52,7	55,5		
14	52,6	60,3	66,5	71,6	76,2	80,3	83,9	
16		83,0	91,5	98,7	104,9	110,5	115,6	
18			121,3	130,8	139,1	146,6	153,3	159,5
20				168,4	179,2	188,6	197,3	205,3

* dap del eje principal

Nota: Estos resultados preliminares aplican para sitios sin factores limitantes de drenaje, compactación, acidez y bajo de 800 msnm, con más de cuatro meses secos. Se utilizó información de parcelas con 5 años de edad.



Producción de 15,8 estéreos de leña en una parcela de 800 m² de L. leucocephala con 5,4 años de edad plantada a 5 m x 5 m en un sitio fértil (M. Montero)

Cuadro 6. Tabla de rendimiento de biomasa seca aérea en kg/árbol de L. leucocephala en Costa Rica

dap* (cm)	Altura (m)							
	4	6	8	10	12	14	16	18
4	3,1							
6	8,2	9,1						
8	16,4	18,2	19,5	20,7				
10	28,0	31,0	33,4	35,3	36,9			
12	43,4	48,1	51,7	54,7	57,2	59,5		
14	62,8	69,6	74,8	79,1	82,8	86,1	89,1	
16		95,8	103,0	108,9	114,1	118,6	122,7	
18			136,6	144,6	151,4	157,9	162,8	167,7
20				186,1	194,9	202,6	209,5	215,9

* dap del eje principal

Nota: estos resultados preliminares aplican para sitios sin factores limitantes de drenaje, compactación, acidez y que estén bajo 800 msnm, con más de cuatro meses secos y para cosechas en la época seca, con defoliación. Se utilizó información de parcelas con 5 años de edad

La leña de diez de las parcelas cosechadas con edades de 2,4 a 5,4 años (Cuadro 4) presentó un poder calórico promedio de 18 548 kJ/kg (de 16 800 a 18 900). El contenido promedio de cenizas fue de 0,65 por ciento (de 0,36 a 0,72) y la gravedad específica de 0,64 g/cm³ (de 0,43 a 0,79). Esta variación en las características de la madera puede deberse a las diferencias climáticas entre sitios y a la variación entre árboles; lo que indica que hay posibilidad de mejorar la calidad de los productos a través de un proceso de selección.

Los rendimientos obtenidos con L. diversifolia son muy preliminares y se discuten en función de los resultados obtenidos en tres parcelas cuantificadas, dos en San Ramón y una en UCR La Garita, Alajuela (Cuadro 4). Las edades de las parcelas fueron 1,3, 1,4 y 2,6 años, con densidades reales de 730, 1050 y 1888 árboles/ha respectivamente, las dos primeras se plantaron como sombra en cafetales.

En UCR La Garita la especie alcanzó una producción de 23 tm/ha de leña seca al horno (9 tm/ha/año) y 37 tm/ha de biomasa seca total (14 tm/ha/año). Los incrementos son iguales o ligeramente superiores a los reportados para L. leucocephala en Guanacaste y en el ICE (Cuadro 4).

La ecuación 4 basada en el dap del eje principal puede ser utilizada en forma preliminar para estimar la producción de leña seca por árbol de L. diversifolia para la zona media alta de Alajuela, Costa Rica. La ecuación 5 permite estimar el peso seco de la biomasa aérea total por árbol.

4. Peso de leña seca de L. diversifolia:

$$\begin{aligned} \ln Y &= -1,5744 + 2,4039 \ln \text{dap} \\ R^2 &= 83\% \\ Y &= \text{peso leña seca (kg/árbol)} \\ \text{dap} &= (\text{cm}) \text{ del eje principal} \end{aligned}$$

5. Peso de biomasa aérea seca total de L. diversifolia:

$$\begin{aligned} Y &= 2,7741 + 0,0919 \text{dap} h \\ R^2 &= 74\% \\ Y &= \text{peso biomasa total seca (kg/árbol)} \\ h &= \text{altura total (m)} \\ \text{dap} &= (\text{cm}) \text{ del eje principal} \end{aligned}$$

Por ser una especie de porte mediano, L. diversifolia resulta más fácil de manejar como sombra de café que las especies utilizadas tradicionalmente (Inga densiflora y Gliricidia sepium). Además, produce una sombra menos densa que las especies apuntadas.

La leña de tres parcelas de L. diversifolia presentó un poder calorífico promedio de 18 197 kJ/kg en base seca, 0,39 por ciento de cenizas y una gravedad específica de 0,70. El poder calórico fue ligeramente más bajo al detectado en L. leucocephala, posiblemente por ser parcelas de edad menor. La densidad fue ocho por ciento más alta y el contenido de cenizas 40 por ciento más bajo que L. leucocephala. Estas comparaciones son preliminares, ya que las edades son diferentes y los datos para L. diversifolia provienen de tres parcelas únicamente. No obstante, los datos de poder calórico son ligeramente más bajos a los reportados en plantaciones jóvenes de la variedad K-28 de L. leucocephala, variedades mexicanas y leucaena gigante en Filipinas. La gravedad específica fue igual o más alta a la reportada en otros trabajos en Filipinas (1).

Manejo de rebrotes

Como las plantaciones en Costa Rica son relativamente jóvenes no hay suficiente experiencia con respecto al manejo de rebrotes para producción de leña u otros productos; las primeras parcelas de L. leucocephala cosechadas son las que se reportan en este documento. La parcela de L. diversifolia de UCR La Garita es la única que ha sido cosechada dos veces después de la primera corta. El Cuadro 7 presenta los resultados de las tres cosechas realizadas en la parcela de L. diversifolia.

El rendimiento de los rebrotes en peso seco al año de la segunda cosecha fue estimado utilizando las ecuaciones 6 y 7, desarrolladas con base en el Δp del eje principal de la primera cosecha de rebrotes.



Manejo de rebrotes de L. leucocephala (J. Bauer)

6. Peso seco de follaje de L. diversifolia:

$$\ln Y = -2,1240 + 3,4696 \ln \text{dap}$$

$$R^2 = 76\%$$

Y = peso seco follaje (kg/árbol)

dap = (cm) del eje principal

7. Peso seco de leña de L. diversifolia:

$$\ln Y = -2,4402 + 4,6615 \ln \text{dap}$$

$$R^2 = 78\%$$

Y = peso seco leña (kg/árbol)

dap = (cm) del eje principal

Cuadro 7. Crecimiento y rendimiento de rebrotes L. diversifolia en La Garita de Atajuela, Costa Rica

Variables	Primera* cosecha (2,6 años)	Rebrotes **		Producción total (4,4 años)
		1ª cosecha (0,8 años)	2ª cosecha (1 año)	
Altura total (m)	6,0	5,3	5,3	-
dap (cm) eje principal	4,7	2,9	2,8	-
Ejes/árbol	2,4	5,7	7,1	-
Peso follaje seco (tm/ha)	13,9	10,3	18,9	43,1
Peso leña seca (tm/ha)	23,4	14,9	7,6	45,9
Peso total biomasa aérea seca (tm/ha)	37,3	25,2	26,5	89,0
Estéreos/ha	83	41	40	164
Gravedad específica (g/cm ³)	0,54	0,54	-	-
Poder calórico (kJ/kg)	16 804	-	-	-

* Cosecha del rodal original

** Cosecha de rebrotes a intervalos de 10 y 12 meses

Los resultados del Cuadro 7 muestran que en un período de 4,4 años se estimó una producción de leña seca de 45,9 tm/ha y 89,0 tm/ha de biomasa seca total en tres cosechas, sin considerar el follaje perdido por defoliación. En volumen, la producción de leña fue de 164 estéreos/ha (98 m³/ha).

Si se comparan los resultados de esta parcela de L. diversifolia con los de una cosecha única de L. leucocephala para densidades similares (Cuadro 4) a 5,4 años los resultados de la última son superiores. La producción de leña de la parcela de L. diversifolia en las tres cosechas a los 4,4 años fue 52 por ciento de la producción de biomasa aérea total, el 48 por ciento restante fue follaje y material demasiado delgado para ser utilizado como leña. El aumento en el número de rebrotes de la segunda a la tercera cosecha obedece a un aumento en el diámetro del tocón.

Problemas fitosanitarios

En Costa Rica la leucaena ha sido plantada en parcelas pequeñas a nivel experimental. Hasta ahora no se han presentado mayores problemas con plagas y enfermedades, como las reportadas en las plantaciones comerciales de Filipinas y Hawaii, donde el defoliador Heteropsylla spp está provocando fuertes daños económicos*.

En los pequeños rodales en Costa Rica, se reportan daños serios provocados por la hormiga cortadora Atta spp y roedores, principalmente durante los primeros estadios de crecimiento de la plántula. En la región de Guanacaste las loras y pericos comen semillas y ocasionalmente comen también la corteza de las ramas jóvenes. También se reporta la presencia de perforaciones pequeñas en ramas jóvenes provocadas por la chicharra (Homoptera spp) para depositar los huevos. En un estudio realizado sobre plagas en especies forestales en Costa Rica, se observaron daños causados en L. leucocephala por los géneros Coleoptera, Homoptera y Hymenoptera** . Entre los coleópteros, el picudo Centrimaspis linnelus (Lenconte) es uno de los más comunes y se alimenta del follaje, sin llegar a convertirse en un problema serio. También se informa de cantidades abundantes de Heteropsylla spp, que se aloja, principalmente a lo largo del raquis en hojas inmaduras.

En las islas del Pacífico en Asia (1), se citan algunos problemas de gomosis en el tronco desde la base hacia arriba. Síntomas similares se han observado en una plantación pequeña de siete años en Guanacaste, Costa Rica. También se reportan algunos casos de hongos que provocan defoliación, pero no han sido identificados***.

En la provincia de Los Santos, Panamá, el adulto de un cerambicido se presentó en una plantación de L. leucocephala de dos años. Este insecto perfora un anillo en la albura y el duramen del árbol a 2 m de altura, lo que provoca la quebradura del fuste***.

* Comunicación escrita de Nitrogen Fixing Tree Association, 1986. Hawaii. 2 p.

** Dr. L. Ford, comunicación personal. Instituto Forestal Tropical, Río Piedras, Puerto Rico.

*** Ing. B. Morán, comunicación personal, Coordinador Proyecto Madeleña, Panamá.

Conclusiones y recomendaciones

En Costa Rica las especies más plantadas a nivel experimental son L. leucocephala variedad K-8 y L. diversifolia, esta última en menor escala por haber sido introducida recientemente. Por tratarse de una especie de porte relativamente bajo que alcanza la altura máxima a los cuatro o cinco años, las relaciones mejores entre crecimiento y rendimiento se observan con el dap.

Los resultados obtenidos de las primeras parcelas de L. leucocephala y L. diversifolia establecidas principalmente en las zonas sub-húmedas de Costa Rica indican que las especies son prometedoras, siempre y cuando se cultiven en suelos con menos problemas de acidez, drenaje bueno y no compactados, y en zonas con cuatro a seis meses secos. En zonas muy húmedas y sin época seca (2600 mm de precipitación) no se lograron resultados satisfactorios, posiblemente por saturación de agua en el suelo y acidez. L. leucocephala mostró un rango altitudinal de adaptación de 50 hasta 800 msnm.

De los 22 sitios donde se estudió L. leucocephala el 77 por ciento se encuentran entre 50 y 600 m de elevación; lo que no permite analizar con más detalle el efecto de la elevación en el comportamiento de la especie. No obstante, de la información recopilada es posible observar que en las parcelas establecidas arriba de los 800 m de elevación hubo problemas de sobrevivencia y crecimiento. Lo contrario se observó en L. diversifolia que sí mostró un desarrollo satisfactorio arriba de 800 m de elevación, principalmente en San Ramón entre 1000 y 1200 m; en estos sitios la especie está siendo utilizada como sombra para café, y es posible que exista un efecto positivo en el crecimiento del árbol por el fertilizante que se aplica al café. Estos aspectos también podrían estar afectados por la procedencia de la semilla.

Por el porte relativamente bajo y manejo fácil estas dos especies pueden ser cultivadas en plantaciones puras, como sombra en cafetales, en asocio con otros cultivos, linderos y rompevientos, ya que ejercen muy poca competencia por luz con los cultivos.

✓ L. leucocephala fracasó en sitios con drenaje impedido y suelos compactados. Se observó un efecto claro de la densidad de plantación en la tendencia a desarrollar múltiples ejes; a mayor espaciamiento el número de ejes aumentó hasta cinco. Este aspecto debe ser considerado en la determinación de la densidad según el tipo de producto que se quiere obtener.

✓ Para producción de leña para consumo doméstico o industrial puede plantarse a 2,0 m x 2,0 m ó 2,5 m x 2,5 m. Si el crecimiento es satisfactorio el primer aprovechamiento puede practicarse entre el tercero y el cuarto año. Si se quiere otro tipo de productos, como postes para galerón, se debe realizar el aprovechamiento después de los cinco años.

* Si se desea producir leños de ciertas dimensiones, como puntales o postes manejando los rebrotes, podría pensarse en eliminar ejes y dejar de dos a tres por tocón, ya que usualmente se desarrollan de cinco a diez; no obstante con la información analizada no es posible ser concluyente.

Para la región húmeda de Guanacaste y zonas bajas húmedas de la Meseta Central, las dos especies podrían ser utilizadas para producir forraje en la época seca, realizando previamente trabajos de densidad, épocas de corta y manejo de rebrotes. En la región de Cañas, Guanacaste que es azotada por vientos fuertes durante la época seca, las especies pueden plantarse a lo largo de canales de riego y cercas en líneas dobles o triples; de esta forma los árboles aprovecharán la humedad disponible durante todo el año y funcionarán como cortina rompeviento. Con un manejo adecuado se podrá producir leña, forraje y reducir el problema del viento.

● Los resultados de este estudio indican que las dos especies tienen potencial para producción de leña, varas o forraje. No obstante, los rendimientos observados podrían ser mejorados mediante la aplicación de fertilizantes en los estados iniciales de crecimiento, aspecto que debe continuar siendo investigado, así como la preparación del sitio, manejo de las plantaciones y manejo de rebrotes.

La variación de los parámetros de crecimiento y rendimiento evaluados en este trabajo, indican claramente que existe gran variabilidad genética que debe ser explotada para mejorar el rendimiento. Es necesario identificar materiales con mayor producción y establecer rodales productores de semilla de mejor calidad que permitan abastecer las necesidades futuras. Las dos especies producen semillas en gran cantidad después del segundo año de plantada; en algunos casos a partir del primer año.

Bibliografía

1. BREWBAKER, J.L. et al. 1985. Leucaena wood production and use. Waimanalo, Hawaii. Nitrogen Fixing Tree Association. 50 p.
2. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1984. Normas para la investigación silvicultural de especies para leña. Serie Técnica. Manual Técnico No.1. 115 p.
3. CHATARVEDI, A.U. 1982. Growth of Leucaena leucocephala. Indian Forester 109(1):7-9.
4. GHATNEKAR, S.; AUTI, D. y KAMAT, V. 1985. Bio-technology group, research and development. In Leucaena Research in The Asian-Pacific Region. Ottawa, IDRC. pp. 109-112.
5. GUTIERREZ, A. 1984. Crecimiento y rendimiento de Leucaena leucocephala en Loma Larga, Panamá. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Silvoenergía No.6. 4 p.
6. NATIONAL ACADEMY PRESS. 1984. Innovations in tropical reforestation. Leucaena: promising forage and tree crop for the tropics 2 ed. Washington. 100 p.
7. MARTINEZ, H. et al. 1984. Gota de las parcelas forestales de Guatemala. Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. Guatemala, CATIE/ROCAP. 279 p.
8. OBANDO, O. 1985. Estudio de suelos Proyecto de Leña y Fuentes Alternas de Energía (CATIE-DGF-ROCAP). Informe Principal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 169 p.
9. POUND, B.; MARTINEZ, L. 1983. Leucaena its cultivation and uses. London, ODA. 287 p.
10. SANCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. San José, Costa Rica, IICA. 660 p.
11. VAN DEN BELT, R. 1986. Pulp and paper uses of nitrogen fixin tree species. Taiwan. Nitrogen Fixing Tree Association. 13 p.
12. TIMYAN, J. 1984. Production analysis of a three-year old Leucaena leucocephala seedling stand in Haiti, USAID Agroforestry Outreach Project. 9 p.
13. VAN DEN BELT, R. 1985. Effect of spacing on growth of Leucaena. In Leucaena Research in the Asian-Pacific Region. Ottawa, IDRC. 103-108 pp.