

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DETERMINACION DE FACTORES LIMITANTES EN EL  
ESTABLECIMIENTO DE *Leucaena leucocephala* PARA FORRAJE  
EN TROPICO HUMEDO BAJO.

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

*Magister Scientiae*

por

JORGE PEREZ - GUERRERO ZAMORA

Departamento de Producción Animal  
Turrialba, Costa Rica  
1985

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más profundo agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que contribuyeron de una u otra manera en la consecución de sus estudios de posgrado.

Al Fondo de Garantía y Fomento para la Agricultura Ganadería y Avicultura y Fideicomisos Agrícolas del Banco de México, por su apoyo económico para la realización de los estudios de posgrado.

Al Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, por el financiamiento del trabajo de investigación.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Al Dr. Rolain Borel B., Profesor Consejero, con especial reconocimiento.

A los miembros de su Comité: Mag. Sc. Danilo Pezo Q., Mag. Sc. Roberto Díaz-Romeu y Ph. D. Ludwig Müller.

A los técnicos Ph. D. Manuel Ruíz, Ph. D. Carlos Ramírez, M. S. Myron Shenk, Mag. Sc. Carlos U. León-Velarde y Mag. Sc. Rolando Piskulich por su colaboración en este trabajo.

A los Ing. Guillermo Pérez Robledo, José A. Ramos Cabra, Juan de Dios Gallo de la Torre y M. S. Eudoro Moreno M., funcionarios del FIRA-Banco de México.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar al grado de:

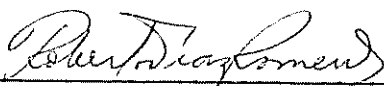
*Magister Scientiae*

Jurado:



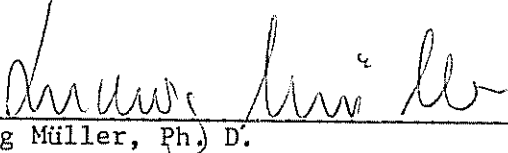
Rolain Borel B., Dr. Sc. Tech.

Profesor Consejero



Roberto Díaz-Romeu, Mag. Sc.

Miembro del Comité

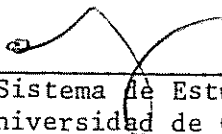


Ludwig Müller, Ph. D.

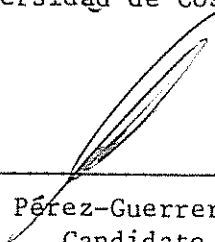
Miembro del Comité



Director del Programa de Estudios de Posgrado en  
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales  
UCR-CATIE



Decano del Sistema de Estudios de Posgrado de la  
Universidad de Costa Rica



Jorge Pérez-Guerrero Zamora  
Candidato

# CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	vi
SUMMARY.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1 Fertilización mineral.....	2
2.2 Inoculación y "peletizado".....	2
2.3 Control de malezas.....	3
2.4 Preparación del terreno.....	3
2.5 Variedades.....	3
2.6 Densidad.....	4
2.7 Asociación con cultivos.....	4
3. MATERIALES Y METODOS.....	5
3.1 Características del área experimental.....	5
3.1.1 Localización.....	5
3.1.2 Vegetación.....	5
3.1.3 Suelos.....	5
3.2 Pruebas del estudio.....	6
3.2.1 Parte I: Prueba del elemento faltante.....	6
3.2.1.1 Variedad.....	7
3.2.1.2 Preparación del terreno.....	7
3.2.1.3 Tratamiento de la semilla.....	7
3.2.1.4 Siembra.....	7
3.2.1.5 Encalado.....	8
3.2.1.6 Fósforo.....	8
3.2.1.7 Azufre.....	8
3.2.1.8 Deshierbes.....	8
3.2.2 Parte II: Prueba de optimización de niveles.....	8
3.2.2.1 Descripción de los tratamientos.....	9
3.2.2.2 Niveles de deshierbes.....	10
3.2.3 Parte III: Prueba de alternativas de producción.....	10
3.2.3.1 Densidades.....	10
3.2.3.2 Preparación del terreno.....	11
3.2.3.3 Variedades.....	11
3.2.3.4 Asocio.....	12
3.3 Integración de las tres pruebas.....	12
3.4 Diseño experimental.....	12
3.5 Area experimental.....	12
3.6 Duración del experimento.....	14

	<u>Página</u>
3.7 Parámetros medidos.....	14
3.7.1 Altura de las plantas.....	14
3.7.2 Materia seca.....	14
3.7.3 Población.....	15
3.7.4 Cobertura.....	15
3.7.5 Nodulación.....	15
3.8 Parámetros estimados.....	15
3.8.1 Materia seca.....	15
3.9 Análisis de datos.....	16
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	17
4.1 Aspectos generales.....	17
4.1.1 Clima.....	17
4.1.2 Plagas y enfermedades.....	18
4.1.3 Nodulación.....	19
4.2 Prueba del elemento faltante.....	21
4.3 Prueba de optimización de niveles.....	23
4.3.1 Niveles de encalado.....	23
4.3.2 Niveles de fósforo.....	25
4.3.3 Niveles de deshierbes.....	26
4.4 Pruebas de alternativas de producción.....	28
4.4.1 Densidades.....	28
4.4.2 Preparación del terreno.....	29
4.4.3 Variedades.....	29
4.4.4 Asociación.....	31
5. DISCUSION GENERAL.....	32
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
6.1 Conclusiones.....	34
6.2 Recomendaciones.....	34
7. LITERATURA CITADA.....	35
8. APENDICE.....	41

## RESUMEN

En Turrialba, Costa Rica, se efectuó un ensayo en la etapa de establecimiento de *Leucaena leucocephala* con los siguientes objetivos: 1) general: evaluar el comportamiento de *L. leucocephala* durante su establecimiento; 2) específicos: a) determinar los factores limitantes en su establecimiento; b) estudiar niveles de requerimientos y c) investigar alternativas en las prácticas de manejo.

Para determinar los factores limitantes se realizó una prueba del elemento faltante con los siguientes tratamientos: Optimo (Opt); sin cal (-Ca); sin fósforo (-P); sin azufre (-S); sin inoculación (-Ic); sin peletizado (-Pt); sin deshierbes (-Dh) y un testigo (test). En una segunda prueba de optimización de niveles se probaron cuatro niveles de encalado (0, 0,5, 1,0 y 2,0 ton de  $\text{CaCO}_3$ /ha); cuatro niveles de fósforo (0, 25, 50, 75 y 100 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha) y cuatro niveles de deshierbes (0, 2, 3 y 3p). En una tercera prueba de alternativas de producción se compararon dos densidades de población (100 000 y 143 000 plantas/ha); dos tipos de preparación de terreno (mecanizado y espeque); tres variedades (Perú, Cunningham y K-8) y tres formas de cultivos (monocultivo, asociación con maíz y asociación con leguminosas). En las tres pruebas se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Se detectó un efecto nocivo del peletizado con  $\text{CaCO}_3$  sobre la nodulación de leucaena, observándose nodulación efectiva sólo en el tratamiento sin peletizar. En la prueba del elemento faltante, los resultados de rendimiento de MS/planta expresados como porcentaje del tratamiento óptimo fueron: Opt (100 %); -Ca (117 %); -P (61 %); -S (58 %); -Ic (54 %); -Pt (216 %); -Dh (15 %) y test (5 %).

No se encontraron diferencias ( $P \leq 0,05$ ) en rendimiento/planta en los niveles de encalado. En los niveles de fósforo, 25 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha resultó el mejor tratamiento ( $P \leq 0,05$ ) y en la prueba de deshierbes, los niveles con tres deshierbes tuvieron los mayores rendimientos de MS/planta.

No se encontraron diferencias ( $P \leq 0,05$ ) en los tratamientos de densidades y variedades. El método mecanizado de preparación de terreno fue superior ( $P \leq 0,05$ ) al método de espeque y las asociaciones con maíz y

leguminosas fueron inferiores al monocultivo ( $P \leq 0,05$ ).

El mejor tratamiento (-Pt) y único con nodulación efectiva en el ensayo, se estableció a los cinco meses, alcanzando las plantas una altura promedio de 102 cm; con un rendimiento de 1408 y 1676 kg de MS/ha de la parte comestible y total, respectivamente.

Se concluye: a) en condiciones de trópico húmedo bajo, la productividad y crecimiento de la leucaena se ve disminuida considerablemente, aún supliendo factores nutricionales y de manejo; b) las malezas ejercen mayor restricción sobre el establecimiento y productividad de leucaena que las deficiencias nutricionales. Por otro lado la inoculación artificial es una práctica indispensable para suplir la falta de rizobios nativos y específicos; y la peletización con  $\text{CaCO}_3$  puede resultar perjudicial en la nodulación de leucaena; c) la falta de fertilización con fósforo y azufre es detrimental en el establecimiento de leucaena, mientras que la aplicación de cal no es determinante y d) la asociación con otros cultivos y el método de siembra por esquepe no constituyeron prácticas satisfactorias para el establecimiento de leucaena. El uso de otras variedades no significó ventaja alguna sobre la productividad y establecimiento de la leucaena y densidades mayores a las planeadas no fueron detrimentales en la productividad de leucaena.

## SUMMARY

Title: Determination of Limiting Factors in the Establishment of Leucaena leucocephala for Forage in the Humid Tropical Lowland.

In Turrialba, Costa Rica, an experiment was undertaken during the establishment phase of Leucaena leucocephala with the general objectives of evaluating its behavior and specifically: a) to determine the limiting factors during establishment phase, b) to study the levels of requirements and c) to investigate alternative management practices.

In the first test the missing element technique was used to identify the limiting factors with the following treatments: Optimum (Opt); without lime (-Ca); without phosphorus (-P); without pelleting (-Pt); and control. In the second test optimization was sought through four levels of each of the following factors: Liming (0, 0.5, 1.0, and 2.0 ton of  $\text{CaCO}_3$ /ha); phosphorus (0, 25, 50, 75, and 100 kg of  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha) and weed control (0, 2, 3, and 3, including pre-emergence treatment). In the third test the following production alternatives were compared: two population densities (100 000 and 143 000 plants/ha); two types of soil preparation (mechanized and handspike); three cultivars (Peru, Curringham and K-8) and three cropping patterns (monoculture, interplanting corn and mixed legumes). In the three tests a randomized block experimental design was used, with three replications.

A negative effect on leucaena nodulation was detected as a result of pelleting with  $\text{CaCO}_3$ . Effective nodulation was observed only in the treatment without pelleting. In the missing element test DM yield/plant as a percent of the optimum treatment were: Opt (100%); -Ca (117%); -P (61%); -S (58%); -Ic (54%); -Pt (216%); -Dh (15%) and test (5%).

There were no significant difference in the yield/plant in the liming levels, 25 kg of  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha was the best phosphorus treatment



(P-0,05) and in the weeding test the level with three weedings had the best DM yield/plant.

There were no significant differences among the densities and cultivars treatments. The mecanized soil preparation method was superior (P-0,05) to the handspike method. The DM yield in the associations with corn and legumes was lower than monoculture (P-0,05).

The best treatment (-Pt) and the only one with the effective nodulation in the test reached 102 cm height at fice months after sowing, with a DM yield of 1408 and 1676 kg/ha as edible food and total biomass respectively.

Conclusions: a) Even with nutritional and management supplements, the growth and yield of leucaena was considered low under the prevalent low humid tropical conditions, b) the weeds competition was more restrictive upon the establishment and productivity of leucaena than the nutrients deficiencies. The artificial inoculation appeared as an indispensable practice to supply the lack of native specific Rhizobium, while pelleting with  $\text{CaCO}_3$  could be harmful for leucaena nodulation, c) the lack of phosphorus and sulfur fertilization was detrimental for the establishment of leucaena, while lime application was not critical; d) the association with other crops and the handspike planting were unsatisfactory practices for the establishment of leucaena, whereas the use of different cultivars and higher densities than the ones planned were not detrimental for the productivity of leucaena.

## LISTA DE CUADROS

<u>En el texto</u>		<u>Página</u>
<u>Cuadro No.</u>		
1	Tratamientos de la prueba del elemento faltante.....	6
2	Factores y niveles en estudio de la prueba de optimización.....	9
3	Tratamientos de la prueba de alternativas de producción	11
4	Características de nodulación de algunos tratamientos muestreados (totales de cinco plantas).....	20
5	Producciones parciales y totales de materia seca (MS) y alturas de las plantas en la prueba del elemento faltante.....	22
6	Respuesta de <i>Leucaena leucocephala</i> a cuatro niveles de encalado.....	24
7	Efecto del nivel de fósforo sobre el rendimiento de <i>Leucaena leucocephala</i> .....	25
8	Efecto del número de deshierbes sobre la productividad, crecimiento y población de <i>Leucaena leucocephala</i>	27
9	Efecto de dos distanciamientos entre surcos sobre la productividad, crecimiento y población de <i>Leucaena leucocephala</i> .....	28
10	Efecto de la preparación del terreno sobre la productividad, crecimiento y población de <i>Leucaena leucocephala</i> .....	29
11	Productividad y crecimiento de tres variedades de <i>Leucaena leucocephala</i> .....	30
12	Respuesta de <i>Leucaena leucocephala</i> a la asociación con otros cultivos.....	31
 <u>En el Apéndice</u>		
1A	Cobertura y altura de las malezas durante el establecimiento de <i>Leucaena leucocephala</i> según los niveles de deshierbe.....	42
2A	Producción de materia seca de las leguminosas presentes en la asociación leucaena-leguminosas.....	43

## LISTA DE FIGURAS

<u>En el texto</u>		
<u>Figura No.</u>		<u>Página</u>
1	Integración de las tres partes del experimento.....	13
2	Distribución mensual de la precipitación (....), temperatura (----) y humedad relativa (-.-.-) durante el experimento.....	17
3	Características morfológicas y de tamaño de nódulos en el tratamiento sin peletizar (a) y otros tratamientos (b).....	19
4	Rendimientos relativos por planta de los tratamientos de la prueba del elemento faltante (Tratamiento Optimo = 100 %).....	23
 <u>En el Apéndice</u>		
1A	Distribución y tamaño de las parcelas experimentales.	42

## 1. INTRODUCCION

La leguminosa arbórea o arbustiva *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit recibe especial atención en el trópico debido a su participación directa o indirecta en la producción de alimentos, racionalización de recursos energéticos y protección del medio ambiente. La leucaena, por su distribución en los trópicos y por su versatilidad es aprovechada en múltiples usos como son: control de la erosión, reforestación, producción de madera y derivados, árbol de sombra, fertilizante orgánico y alimento para ganado y aves (46). En este último uso sobresale por sus altos valores de proteína, minerales y digestibilidad (31, 42); resalta también por su persistencia bajo pastoreo y su resistencia a la sequía (46).

La información generada en torno a leucaena proviene principalmente de zonas bajas, con elevaciones no mayores a los 500 msnm y precipitaciones entre los 600 a 1700 mm anuales (46). Bajo estas condiciones la leucaena expresa su máximo potencial.

En el trópico húmedo, durante la fase de establecimiento, la leucaena presenta restricciones de diversa índole que limitan su crecimiento como son: efecto competitivo de las malezas (10, 29); deficiente población de rizobios (44, 63) y problemas de disponibilidad o exceso de nutrientes relacionados con la acidez del suelo (23, 45). A esto hay que añadir el lento crecimiento de leucaena durante los primeros meses de desarrollo, aún en condiciones favorables.

Valorando las características deseables de leucaena como forraje, es conveniente realizar investigación que indique las posibilidades de aprovechamiento en las regiones tropicales húmedas.

Considerando lo antes expuesto se planteó el presente estudio teniendo como objetivo general evaluar el comportamiento de *L. leucocephala* durante su establecimiento, y como objetivos específicos: a) determinar los factores limitantes en el establecimiento de leucaena para considerar prioridades en su solución, b) determinar niveles óptimos de fertilización y deshierbe y c) investigar alternativas en las prácticas de manejo durante el establecimiento.

## 2. REVISION DE LITERATURA

En la presente revisión bibliográfica se enfatizan los principales factores que afectan el establecimiento de *L. leucocephala*.

### 2.1 Fertilización mineral

En suelos ácidos la leucaena responde positivamente a la aplicación de fósforo (3, 11, 32, 44) y al encalado (11, 22, 30, 34). Este último es de mayor importancia cuando el pH es inferior a 5,0.

El efecto más notorio del fósforo (P) sobre la producción de materia seca (MS) y en la concentración de nitrógeno (N) en la planta (3, 4). El fósforo es de vital importancia por el papel que juega en las reacciones que involucran transferencia de energía, y más específicamente, ATP en la actividad de la nitrogenasa (23).

Por otro lado la práctica de encalado en las leguminosas tropicales se efectúa como una medida de corrección de los problemas interactivos con el pH (acidez, fijación de fósforo, bajos niveles de calcio y exceso de aluminio y manganeso) que afectan tanto a la planta *per se* como a su eficiencia en la fijación simbiótica de nitrógeno (4, 44).

La leucaena se ha mostrado bastante sensible a la deficiencia de azufre (S) en suelos ácidos (38, 52, 59) por lo que la corrección de esta deficiencia es de importancia por sus efectos en la productividad de la planta. Otros elementos que han mostrado efectos positivos sobre la nodulación de esta especie son el molibdeno (18, 63), boro (18), hierro y cobalto (44).

### 2.2 Inoculación y "peletizado"<sup>1/</sup>

La leucaena pertenece a un grupo de leguminosas tropicales altamente específicas en sus requerimientos de *Rhizobium* (44, 62). La inoculación es más importante donde la leucaena no forma parte de la vegetación nativa, especialmente en suelos ácidos, donde la selección de la línea de rizobio adecuado puede ayudar a superar los problemas

---

<sup>1/</sup> APERDIGONADO. Consiste en el revestimiento de la semilla, después de la inoculación, con bacterias de los nódulos de las raíces, con una capa fina de polvo pegada con un engomado (12)

debidos a la acidez del suelo (14, 44).

El peletizado o recubrimiento de la semilla es una práctica recomendada para proteger el inóculo aplicado a la semilla en condiciones adversas del suelo tales como pH bajo, alta temperatura y sequía (12). En suelos ácidos, la sobrevivencia del rizobio puede ser asegurada durante el proceso de la colonización de la rizósfera, mediante el uso de cal ( $\text{Ca CO}_3$ ) como material protector (8). Este material es el más recomendado para peletizar la semilla de leucaena (47, 48). El uso de roca fosfórica como recubrimiento constituye otra alternativa en el peletizado (33, 43).

### 2.3 Control de malezas

El efecto competitivo de las malezas constituye uno de los principales factores que limitan el buen establecimiento de la leucaena (10, 17, 35, 57). Dicha competencia restringe tanto el crecimiento y la productividad de la planta como su sobrevivencia (35, 56). El efecto depresivo sobre el crecimiento es atribuido principalmente a la sombra y a la competencia por nutrimentos (17). La cobertura, altura y tipo de malezas son factores que determinan diferencias en la productividad de la leucaena.

### 2.4 Preparación del terreno

La leucaena puede establecerse en gran diversidad de condiciones de terreno; desde su siembra natural o siembra por esqueje, que implican ninguna o una mínima preparación del terreno, hasta la siembra en áreas completamente preparadas (5, 51). Los más altos rendimientos son obtenidos bajo esta última situación (7, 61).

### 2.5 Variedades

*Leucaena leucocephala* es la especie del género *Leucaena* con más ecotipos identificados (6). Entre las variedades de más alta producción de forraje se encuentran la Cunningham, la Perú y otros ecotipos utilizados para propósitos forestales. Entre estos últimos sobresale la variedad K-8 (5, 6, 7, 37).

## 2.6 Densidad

La leucaena tiene la capacidad de producir grandes cantidades de forraje (12 a 20 ton de MS/año) bajo manejo intensivo (46). Esto se puede lograr con altas densidades de población (26). En tal sentido, para propósitos forrajeros se recomienda una densidad de 75 000 a 100 000 plantas/ha (7). El distanciamiento entre surcos más utilizado varía de 0,5 a 2,5 m (7, 26).

## 2.7 Asociación con cultivos

Numerosos cultivos perennes y anuales pueden asociarse con la leucaena (16); sin embargo, durante la etapa de establecimiento esta asociación puede resultar detrimental para la leucaena, retardando más su ya lento crecimiento. El efecto de la sombra sobre leucaena puede afectar su velocidad de establecimiento (53) e incluso su sobrevivencia (28, 56).

La utilización de variedades de leucaena de crecimiento rápido, como K-8 y K-28, el suficiente distanciamiento con los cultivos en asocio, o la siembra de otro cultivo, posterior al de la leucaena, son prácticas utilizadas para evitar problemas en el establecimiento de esta leguminosa en asociación (5, 19, 25). Bajo estas condiciones el costo de establecimiento de leucaena puede ser cubierto por la utilidad obtenida en el cultivo asociado.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Características del área experimental

##### 3.1.1 Localización

El presente experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental de Producción Animal del CATIE, en Turrialba, Costa Rica, donde prevalecen las siguientes condiciones: 645 msnm, temperatura media anual de 22,5°C, precipitación anual promedio de 2600 mm y humedad relativa promedio de 87 por ciento. El área se ubica dentro de una zona tropical húmeda baja.

##### 3.1.2 Vegetación

El área experimental correspondió a una pradera natural, no fertilizada, compuesta por gramíneas de los géneros *Paspalum*, *Axonopus* y *Cynodon* (introducida) y leguminosas de los géneros *Phaseolus*, *Centrosema*, *Desmodium*, *Rhynchosia*, *Calopogonium*, *Mimosa* y *Vigna*.

Las malezas con mayor incidencia fueron: *Sida acuta*, *S. rhombifolia*, *Cassia tora*, *Hyptis capitata*, *Pseudelephantopus spicatus*, *Sclerocarpus phyllocephallus*, *Boerhaavia decumbens*, *Acalypha alopecuroides*, *Borreria laevis* y *Vernonia* sp.

##### 3.1.3 Suelos

El suelo del área en estudio corresponde a la serie colorado, un Inceptisol de origen andesítico (1), con pendientes entre 15 y 21 por ciento, pedregoso, bien drenado y de textura franco arcillo-limosa. La capa superficial de los primeros 20 cm de profundidad tiene las siguientes características químicas: pH 5,5; acidez extraíble 0,5 meq/100 ml; 4,46 por ciento de saturación de acidez; 7,4 por ciento de materia orgánica y 0,4 por ciento de N; las cantidades de P, Mn, Zn, Cu, Fe y S son de 3,9, 24,7, 3,3, 22,8, 129,3 y 4,38 µg/ml. Las de Ca, Mg y K son de 8,3, 2,08 y 0,24 meq/100 ml, respectivamente. Para la obtención de estos valores se siguió la metodología de análisis de suelo descrita por Díaz-Romeu y Hunter (13). En un estudio previo bajo condiciones de invernadero se determinó que el suelo en que se realizaría el presente trabajo presentaba serias deficiencias en P y S para leucaena (52).



### 3.2 Pruebas del estudio

El presente experimento constó de tres partes, integradas física y cronológicamente:

Parte I: Prueba del elemento faltante

Parte II: Prueba de optimización de niveles

Parte III: Prueba de alternativas de producción

#### 3.2.1 Parte I: Prueba del elemento faltante

La prueba del elemento faltante, basada en el principio de la esencialidad de los elementos, permite detectar la respuesta de las plantas a la ausencia completa o parcial de un estímulo (49). Usada en estudios de fertilidad de suelos (15, 54), la técnica comprende un tratamiento completo u "óptimo" (incluye todos los elementos), un testigo (sin ningún elemento) y una serie de tratamientos equivalentes al óptimo menos algún elemento. En el caso del presente estudio los elementos faltantes no sólo fueron nutrientes, sino también algunos componentes de manejo, de tal modo que el tratamiento óptimo consistió en la aplicación de fósforo, cal, azufre, inóculo, peletizado y deshierbes.

Los tratamientos de esta prueba así como los factores que la conforman se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de la prueba del elemento faltante.

TRATAMIENTOS	FACTORES					
OPTIMO (Opt)	Ca	P	S	Inoc.	Pelet.	Desh.
-Cal (-Ca)	- *	+	+	+	+	+
-Fósforo (-P)	+	-	+	+	+	+
-Azufre (-S)	+	+	-	+	+	+
-Inóculo (-Ic)	+	+	+	-	+	+
-Peletizado (-Pt)	+	+	+	+	-	+
-Deshierbe (-Dh)	+	+	+	+	+	-
TESTIGO (Test)	-	-	-	-	-	-

\* Signos positivos indican que se adicionó el factor de la columna correspondiente. Signos negativos indican la no aditividad del factor en estudio.

A continuación se describe en más detalle lo que constituyó el tratamiento óptimo.

#### 3.2.1.1 Variedad

Se utilizó semilla de *Leucaena leucocephala* variedad Perú proveniente de México.

#### 3.2.1.2 Preparación del terreno

El área experimental fue barbechada, rastreada dos veces y surcada mecánicamente. Dicho trabajo se realizó lo mejor posible considerando las condiciones de pedregosidad y pendiente del terreno.

#### 3.2.1.3 Tratamiento de la semilla

##### Escarificación:

Consistió en la inmersión de las semillas en agua corriente, a una temperatura de 80°C, durante tres minutos.

##### Inoculación y peletizado

Para la inoculación se utilizó inoculante específico para *Leucaena* (inóculo comercial Nitragin)<sup>1/</sup> con una población de 100 millones de bacterias viables de rizobios por gramo. Para recubrir la semilla inoculada se utilizó CaCO<sub>3</sub> comercial (cal fina) de grano lo suficientemente pequeño para pasar por un tamiz de malla 100.

La metodología de inoculación y recubrimiento para 1 kg de semilla escarificada fue la siguiente: se agregaron 20 ml de solución adhesiva (goma arábiga al 40 %) a las semillas, impregnándolas uniformemente; se mezclaron 100 g de inóculo con la semilla impregnada de adherente; por último se agregaron 300 g de CaCO<sub>3</sub> para cubrir completamente todas las semillas (9).

#### 3.2.1.4 Siembra

Se utilizó el equivalente a 10 kg/ha de semilla (debido a la baja germinación obtenida en el laboratorio). La distancia

---

<sup>1/</sup> The Nitragin Company, Clearwater, Fla. 33516

entre surcos fue de 1,0 m. Las semillas fueron sembradas manualmente a "chorro", después de inoculadas y peletizadas. Posteriormente se sembraron en el fondo del surco, a una profundidad de 3 cm y fueron tapadas.

#### 3.2.1.5 Encalado

Se aplicó una tonelada de  $\text{CaCO}_3$  (cal fina) por hectárea. La aplicación se hizo al voleo, un mes previo a la siembra.

#### 3.2.1.6 Fósforo

Se aplicaron el equivalente a 50 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en forma superfosfato triple (46 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). La aplicación se efectuó manualmente, ocho días después de la germinación, en banda, a un lado de las plántulas, evitando el contacto con éstas.

#### 3.2.1.7 Azufre

Se aplicó el equivalente a 20 kg/ha en forma de  $\text{CaSO}_4$ . La aplicación fue realizada conjuntamente con el superfosfato triple.

#### 3.2.1.8 Deshierbes

Se efectuaron tres deshierbes: a los 20, 50 y 90 días después de la siembra. En cada deshierbe se aplicaron 0,3 kg/ha de paraquat (Gramoxone; 1,5 l/ha)<sup>1/</sup> con auxilio de una bomba de espalda. La aspersión se efectuó entre los surcos de leucaena, aproximándose lo más posible a éstos. Se acondicionó a la boquilla una pantalla de lámina para evitar rociar las plantas de leucaena.

### 3.2.2 Parte II: Prueba de optimización de niveles

En esta prueba, complementaria a la I, se compararon diversos niveles de tres factores en estudio. Algunos tratamientos de esta prueba pertenecen a los tratamientos de la prueba I, los cuales debido a sus características son aprovechables indistintamente en ambas pruebas.

---

<sup>1/</sup> Industrias Químicas Imperial. Wilmslow, Cheshire, Inglaterra.

### 3.2.2.1 Descripción de los tratamientos

En el Cuadro 2 se presentan las comparaciones de la prueba II y sus niveles correspondientes.

Cuadro 2. Factores y niveles en estudio de la prueba de optimización.

Factor	Tratamiento	Nivel
		<u>kg <math>P_2O_5</math>/ha</u>
Fósforo (P)	*p0	0
	p1	25
	p2	50
	p3	100
		<u>kg <math>CaCO_3</math>/ha</u>
Calcio (Ca)	*Ca0	0
	Ca1	500
	Ca2	1000
	Ca3	2000
		<u>Número</u>
Deshierbes (Dh)	*Dh0	0
	Dh1	2 <sup>a</sup> /
	*Dh2	3 <sup>b</sup> /
	Dh3	3 <sup>c</sup> /

\*Tratamientos compartidos con la prueba I

a/ Deshierbes químicos a los 30 y 90 días después de la siembra

b/ Deshierbes químicos a los 20, 50 y 90 días después de la siembra

c/ Deshierbes químicos a los 2 (pre-emergente), 50 y 90 días después de la siembra.

### 3.2.2.2 Niveles de deshierbes

El nivel Dh0 corresponde al tratamiento sin deshierbe de la prueba del elemento faltante.

El nivel Dh1 comprende dos deshierbes: a los 30 y 90 días después de la siembra. En ambos casos se aplicaron 0,3 kg de paraquat/ha (Gramoxone, 1,5 l/ha).

El nivel de Dh2 corresponde al tratamiento óptimo de la prueba del elemento faltante y consistió en aplicaciones de 0,3 kg de paraquat/ha a los 20, 50 y 90 días después de la siembra.

El nivel Dh3 comprende tres aplicaciones; una pre-emergente, a los dos días después de la siembra, y dos post-emergentes, a los 50 y 90 días de la siembra. Como herbicida pre-emergente se utilizó una mezcla de DCPA + 2,4-D con dosificaciones de 6 kg/ha de DCPA y 1,1 kg/ha de 2,4-D (8 kg de Dacthal y 1,5 l de 2,4-D Amina 6-E, respectivamente). La aplicación fue uniforme en toda la parcela. Las aplicaciones post-emergentes fueron a base de paraquat (0,3 kg/ha/aplicación).

Las demás prácticas de manejo (ajenas a fósforo, encalado y deshierbes) se realizaron en todos los niveles y equivalieron a las del tratamiento óptimo de la prueba del elemento faltante.

### 3.2.3 Parte III. Prueba de alternativas de producción

Esta prueba incluye comparaciones tendientes a encontrar prácticas que representen alternativas de producción en el cultivo de la leucaena.

La descripción de los tratamientos aparece en el Cuadro 3.

#### 3.2.3.1 Densidades

Las densidades de población prefijadas en la comparación fueron de 10 000 plantas/ha (D1) y 143 000 plantas/ha (D2). La primera corresponde al tratamiento óptimo de la prueba del elemento faltante. Las diferencias en la población de ambos tratamientos se planearon mediante la variación de distanciamientos entre surcos, siendo estos de 1,0 m para la densidad de 100 000 plantas y 0,7 m para la de 143 000 plantas.

Cuadro 3. Tratamientos de la prueba de alternativas de producción

FACTOR	TRATAMIENTO	
Densidades (D)	*D1	100,000 plantas/ha
	D2	143,000 plantas/ha
Preparación del terreno (Pr)	*Pr1	siembra mecanizada
	Pr2	siembra a espeque
Variedad (V)	*V1	Perú
	V2	K-8
	V3	Cunningham
Asocio (A)	*Ao	monocultivo
	A1	con maíz
	A2	con leguminosas

\*Tratamientos equivalentes al Óptimo de la prueba I.

### 3.2.3.2 Preparación del terreno

Se probaron dos métodos de preparación de terreno: el método mecánico, tradicional para la siembra de maíz, el cual incluye barbecho, rastreo y surcado (Pr1, equivalente al óptimo de la prueba I) y el método de "espeque" (Pr2), el cual consistió en hacer hoyos con una barreta de madera sobre el terreno limpio de vegetación y sin ninguna preparación previa. La limpieza del terreno se logró mediante un deshierbe químico con glyphosato (Roundup), una semana antes de la siembra. Se hicieron hoyos de aproximadamente 6 cm de profundidad por 4 cm de diámetro en donde se depositaron seis semillas. La distancia sobre líneas fue de 40 cm y entre líneas de 100 cm. En ambos casos (Pr1 y Pr2) el manejo posterior a la siembra fue igual al óptimo de la prueba del elemento faltante.

### 3.2.3.3 Variedades

Se compararon tres variedades de *Leucaena leucocephala*: Perú (V1, equivalente al Opt.-I), K-8 (V2) y Cunningham (V3). En todos los tratamientos se siguió el manejo que en el óptimo de la prueba del elemento faltante.

### 3.2.3.4 Asocio

Los tratamientos en esta prueba fueron: Leucaena como monocultivo (A0, equivalente al Opt.-I); leucaena asociada con maíz (A1) y leucaena asociada con leguminosas (A3).

En A1 se utilizó maíz de la variedad braquítica, procedente de México, de porte bajo, sembrado a espeque (dos plantas por golpe cada 40 cm), no fertilizado y a un distanciamiento entre surcos de 100 cm, quedando a 50 cm de distancia con los surcos de leucaena. La siembra se realizó al mismo tiempo que la de leucaena y recibió los mismos beneficios por los deshierbes.

El tratamiento A2 consistió en una asociación leucaena-leguminosas forrajeras. Se sembraron al voleo las leguminosas *Pueraria phaseoloides* y *Centrosema pubescens* (4 kg/ha), ocho días después de la siembra de la leucaena. Sólo se realizó un deshierbe manual 30 días después de la siembra, dejando las leguminosas nativas. A excepción de este deshierbe los demás aspectos de manejo fueron iguales a los del tratamiento óptimo de la prueba del elemento faltante.

## 3.3 Integración de las tres pruebas

La integración de los diferentes tratamientos que conforman el experimento total se resumen en la Figura 1. Como prueba central aparece la prueba del elemento faltante (I) y como pruebas complementarias aparecen las pruebas de optimización (II) y de alternativas de producción (III). Las casillas o tratamientos unidas entre sí por una flecha indican que se trata del mismo tratamiento, el cual interviene en dos pruebas diferentes.

## 3.4 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.

## 3.5 Area experimental

El estudio comprendió una área total de 4 140 m<sup>2</sup>, divididos en tres bloques con 20 parcelas cada uno. Las parcelas midieron 63 m<sup>2</sup> (4,5 x 14 m), correspondiendo 25 m<sup>2</sup> a la parcela útil (Figura 1A).

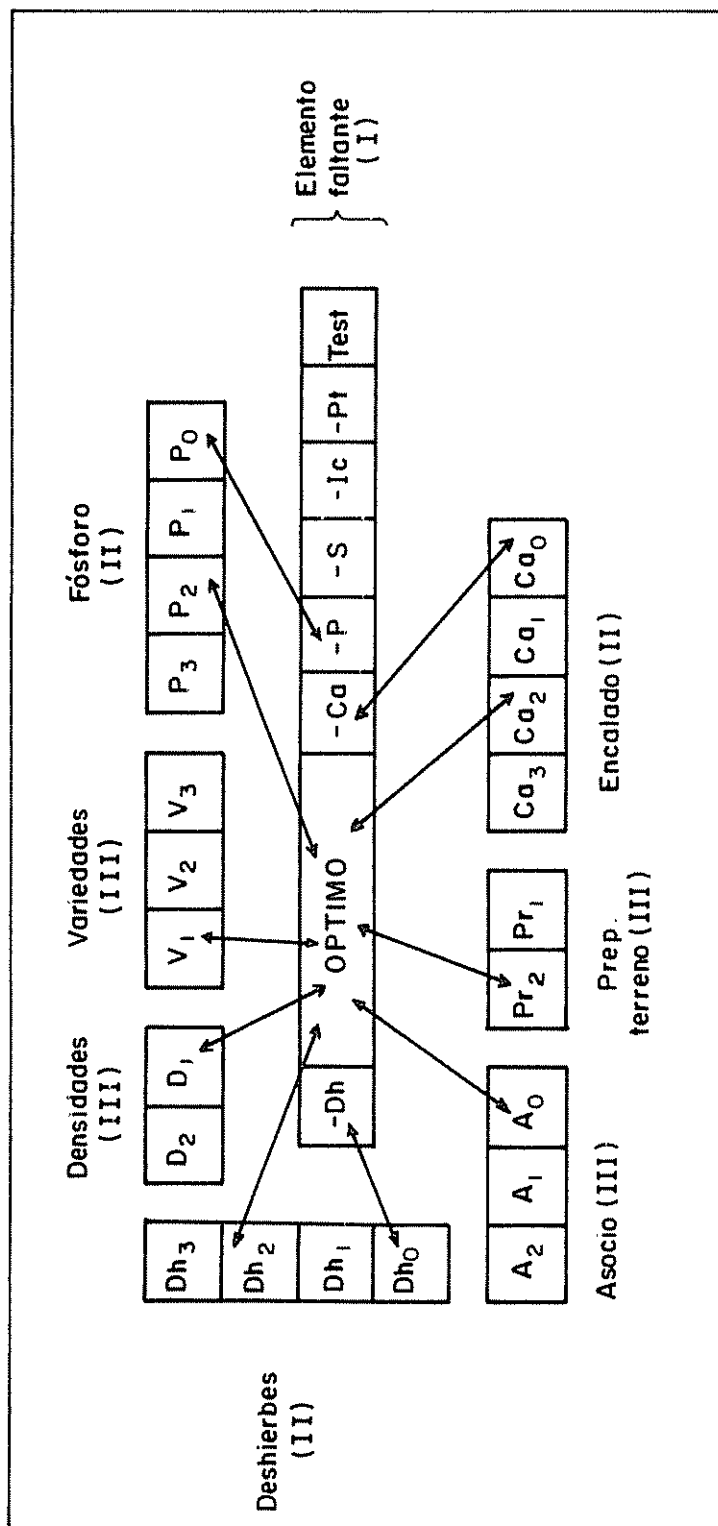


Fig. 1. Integración de las tres partes del experimento

- I Prueba del elemento faltante
- II Prueba de optimización de niveles
- III Prueba de alternativas de producción



Los tratamientos del experimento se distribuyeron aleatoriamente en cada bloque.

### 3.6 Duración del experimento

El experimento se inició en el mes de julio de 1981. El criterio de terminación del mismo fue cuando por lo menos 80 por ciento de las plantas de un tratamiento alcanzaron un metro de altura, siendo esta la condición para la finalización del experimento y altura a la cual se considera establecida la leucaena (27, 58, 61). Esto último ocurrió en diciembre de 1981.

### 3.7 Parámetros medidos

#### 3.7.1 Altura de las plantas

La medición de las plantas de leucaena se hizo desde el suelo hasta las hojas apicales. Se midieron 80 plantas por parcela útil o el equivalente a ocho plantas por cada surco de la parcela. Se siguió un muestreo secuencial midiendo una planta aproximadamente a intervalos de 31 cm en el surco.

En la medición de altura de las malezas se consideraron 10 puntos seleccionados al azar de la cubierta de malezas en cada parcela.

#### 3.7.2 Materia seca

Las mismas plantas de leucaena cuya altura fue medida en la evaluación final, fueron utilizadas para determinar materia seca. Después de medida la planta, se procedía a cortarla a una altura de 20 cm sobre el nivel del suelo y se separaban las fracciones: hojas, tallos comestibles (TC) y tallos no comestibles (TNC). Se consideraron como comestibles aquellos tallos con un diámetro menor a 6 mm (39). Las fracciones fueron secadas por separado en una estufa de ventilación forzada a una temperatura de 70°C hasta peso seco constante. Posteriormente las fracciones se pesaron para determinar materia seca.

La materia seca de las leguminosas presentes en las parcelas de la asociación leucaena-leguminosas fue obtenida mediante el corte a ras del suelo de 4 m<sup>2</sup> de la parcela útil, seleccionando para ello las áreas más representativas de la parcela. Las muestras fueron separadas por especies

y se secaron a 70°C hasta peso seco constante.

### 3.7.3 Población

Se muestreó el 10 por ciento del total de los metros lineales comprendidos en la parcela útil (25 m). El conteo de plantas se hizo cada 100 cm, muestreándose los 25 cm siguientes y llevándose esta secuencia ininterrumpidamente a través de todos los surcos, suponiendo un solo surco desde el inicio hasta la terminación de la parcela. Se contaron el número de plantas comprendidas en los 25 cm. La suma de todos estos conteos sirvió para estimar la población por hectárea.

### 3.7.4 Cobertura

Para determinar la cobertura de malezas se muestrearon 3 m<sup>2</sup> de la parcela útil, utilizándose para ello un marco de 1 m<sup>2</sup> dividido en cuatro cuadrantes. El muestreo se realizó en forma estratificada, efectuándose en las áreas más representativas de la parcela. El porcentaje de cobertura total y cobertura de malezas de hoja ancha y gramíneas fue estimado visualmente. En los primeros muestreos realizados a los 20 y 30 días del porcentaje de malezas fue determinada mediante conteos individuales.

### 3.7.5 Nodulación

Se realizaron muestreos de nodulación durante la prueba. Se escogieron aleatoriamente cinco plantas por parcela. Las plantas fueron sacadas del suelo haciendo hoyos de aproximadamente 25 cm de diámetro y 30 cm de profundidad. La tierra fue separada de las parcelas mediante lavados con agua, separando los nódulos para posteriormente ser secados y pesados.

## 3.8 Parámetros estimados

### 3.8.1 Materia seca

Para el cálculo de la materia seca/fracción/planta se consideró el peso total/fracción, producto de la cosecha de 80 plantas, dividiéndose entre este mismo valor para obtener el peso seco/fracción/planta. La suma de las fracciones/planta originó el peso total/planta.

El rendimiento por hectárea se calculó multiplicando la población estimada por la materia seca por planta.

### 3.9 Análisis de datos

La información fue analizada mediante pruebas de rango múltiple de Duncan y de diferencias mínimas significativas, DMS (60). La primera prueba fue utilizada en las comparaciones con más de dos tratamientos y la segunda donde sólo se incluyeron dos tratamientos.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 Aspectos generales

##### 4.1.1 Clima

Durante el período experimental (8 de julio a 8 de diciembre, 1981) la precipitación total fue de 1600 mm; éste representó el 53,5 por ciento de la precipitación anual (2990 mm). La temperatura y humedad relativa promedio fueron de 21,7°C y 88,2 por ciento, respectivamente.

La distribución mensual (meses-experimento) de los datos climáticos anteriores se presentan en la Figura 2.

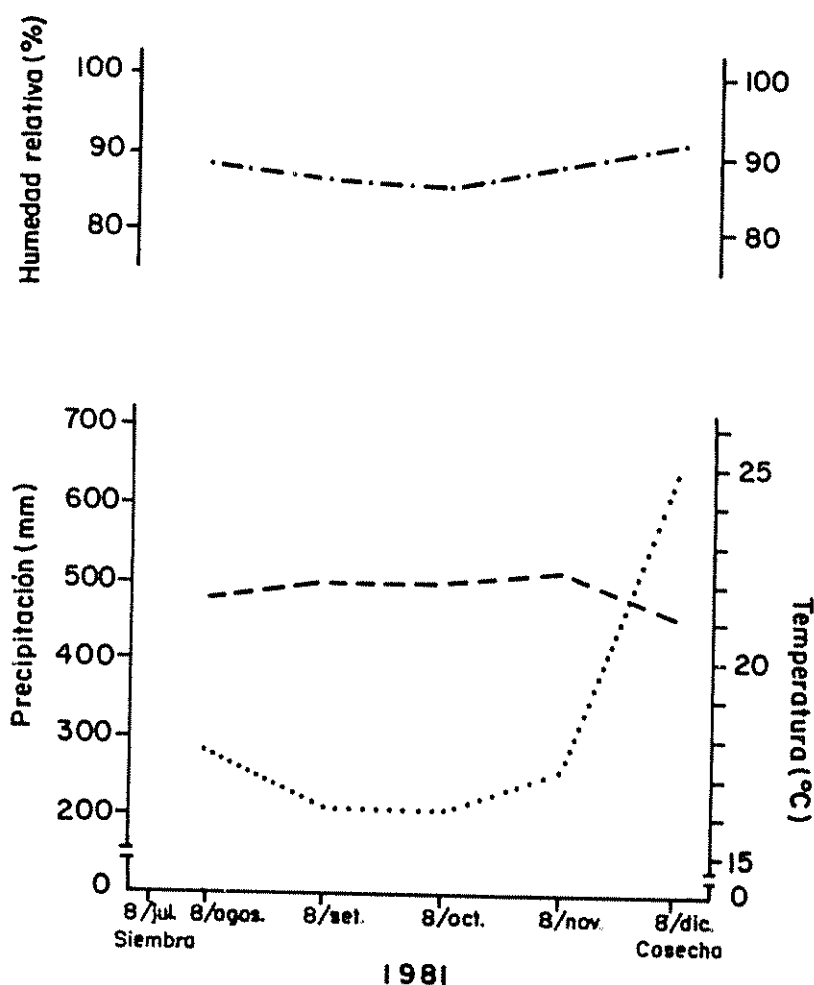


Fig. 2 Distribución mensual de la precipitación (.....), temperatura (---) y humedad relativa (-----) durante el experimento

#### 4.1.2 Plagas y enfermedades

En el transcurso del experimento se presentaron constantes invasiones de hormigas "zompopas" (*Atta cephalotes* y *Acromyrmex octospinosus*) las cuales no causaron daños importantes a la leucaena debido a su oportuno control con mirex <sup>1/</sup>.

La alta incidencia de *Ceratoma ruficornis* "vaquita" en el área experimental no representó problema para la leucaena, pues esta no fue atacada, mientras que las leguminosas naturales si lo fueron.

*Rhizoctonia solani* y *Colletotrichum* sp. fueron dos hongos que se manifestaron en Leucaena. El primero, incidió en dos ocasiones, durante los primeros dos meses de la prueba. Hubo mortalidad de plántulas pero no se cuantificaron los daños. Los surcos con mayores densidades de plantas fueron los más afectados por estas fungosis. La enfermedad se controló con una aspersión de PCNB 75<sup>2/</sup> al 2 %. *Colletotrichum* sp. se manifestó al quinto mes de establecimiento. Los daños no fueron significativos debido a su oportuno control con Dithane al 0,5 % <sup>3/</sup>.

#### 4.1.3 Población

Diversos factores afectaron la variable población, a saber; diferencias en la densidad de siembra debido al elemento humano (siembra manual por diferentes sembradores), pérdida de plántulas por efecto de desplazamiento de tierra ocasionada por fuertes lluvias, muerte de plántulas a consecuencia de fungosis y pérdida de plántulas por el contacto eventual con los herbicidas aplicados.

La heterogeneidad de población entre tratamientos debida a los aspectos antes mencionados, tiene su mayor efecto sobre el rendimiento de materia seca por hectárea. Esto complica la interpretación de los posibles efectos de los tratamientos sobre la variable población. Con base a lo anterior se le dió prioridad al parámetro de rendimiento de materia seca por planta como el mejor indicador de respuesta al tratamiento.

---

<sup>1/</sup> Mirex granulado. Fertilbrás, S. A., Sao Paulo-Brasil

<sup>2/</sup> Pentacloronitrobenzeno 75 %, polvo mojable. Químicas Kay S. A., Apdo. 1028, San José, Costa Rica.

<sup>3/</sup> Mancozeb, polvo. Rohm and Hass Centroamericana S. A., Apdo. 3908, San José, Costa Rica.

Apoyando este criterio, no se detectó efecto detrimental en la producción por planta debido a las altas densidades de población. La correlación obtenida entre la variable población y gramos por planta fue de 0,31.

#### 4.1.4 Nodulación

Al mes y medio de sembrada la leucaena, en el tratamiento sin peletizar se observó una abundancia de nódulos grandes, de forma elongada y lobulada (Figura 3a) y de coloración rojiza en el interior. En los tratamientos restantes se observaron menos nódulos que en el anterior, de tamaño más pequeño, de forma redondeada, algunas veces formando conglomerados (Figura 3b) y de color crema o blanco en su tejido nodular.

Las características de nodulación descritas para el tratamiento sin peletización corresponden a la nodulación específica y efectiva para leucaena (46), no así la observada en los tratamientos restantes (2). Posiblemente estos nódulos sean debidos a inoculación cruzada con cepas homólogas presentes en el suelo, las cuales resultaron ser infectivas pero no efectivas (44, 62).

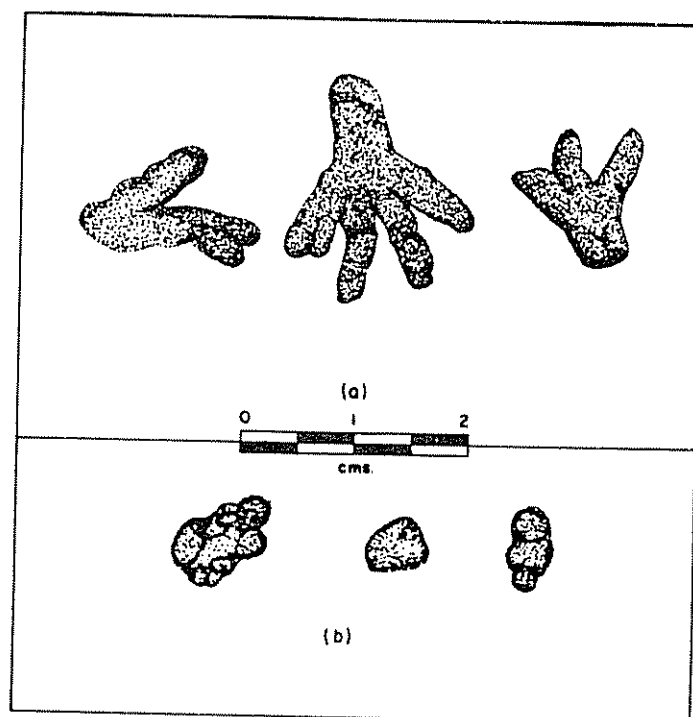


Figura 3. Características morfológicas y de tamaño de nódulos en el tratamiento sin peletizar (a) y otros tratamientos (b).

Estas observaciones visuales fueron confirmadas por mediciones ulte-  
riores (segundo mes) de la masa nodular en una selección de tratamientos  
(Cuadro 4).

Cuadro 4. Características de nodulación de algunos trata-  
mientos muestreados (totales de cinco plantas).

Tratamiento	Peso nodular mg/MS	Número de nódulos	Plantas noduladas
-Cal	25	16	3
-Inóculo	21	16	3
-Peletizado	219	53	5
Testigo	30	24	5
100 kg $P_2O_5$	19	23	4
0,5 ton de cal	83	19	4
2,0 ton de cal	24	20	3
-Fósforo	4	3	1
+Leguminosas	56	19	5

Tanto el número de nódulos como la masa nodular fueron muy superio-  
res en el tratamiento sin peletizar. Esta situación prevaleció a lo  
largo del experimento.

A los tres meses del establecimiento se pretendió re-inocular las  
plantas mediante aspersiones de inóculo diluído en agua y aplicado cer-  
ca de la raíz; sin embargo, esta re-inoculación no prosperó.

Por ser el tratamiento sin peletizar el único en las tres repeticio-  
nes que mostró nodulación efectiva, se sugiere que la práctica del pele-  
tizado con  $CaCO_3$  fué la responsable de la falla en la nodulación en los  
restantes tratamientos. A pesar de que el  $CaCO_3$  es el material de recu-  
brimiento ampliamente recomendado para la leucaena (46, 47, 48), sólo al-  
gunos autores (40, 45) advierten el efecto detrimental que puede tener  
sobre la nodulación de leguminosas. Por su reacción alcalina se le atri-  
buye un efecto letal sobre los rizobios, sean estos de lento o rápido  
crecimiento (40, 45). Meisner (40) sugiere que la información controver-  
sial acerca del uso de  $CaCO_3$  se debe a las diferencias de alcalinidad de  
las fuentes de cal utilizadas.

#### 4.2 Prueba del elemento faltante

En el tratamiento =Pt se obtuvo los valores más altos de materia seca por planta ( $P < 0,05$ ) con un valor de 7,94 g de MS/planta (Cuadro 5). El valor más bajo de la prueba correspondió al tratamiento testigo con 0,18 g de MS/planta. En los tratamientos =Ca y Opt se obtuvieron los más altos valores de materia seca por planta después del tratamiento =Pt; ambos resultaron superiores ( $P < 0,05$ ) a los restantes tratamientos.

Las proporciones de las diferentes fracciones fueron similares en todos los tratamientos a excepción del tratamiento =Pt, en el cual se obtuvo un 54 por ciento de fracción foliar, el más bajo de la prueba. Se explica este comportamiento por un aumento de la fracción del tallos debido al mayor desarrollo de estas plantas.

Los valores más altos de materia seca por hectárea correspondieron a los tratamientos =Pt y Opt, con valores equivalentes de 1676 y 1288 kg de MS respectivamente, ambos diferentes ( $P < 0,05$ ) al resto de los tratamientos. No hubo proporcionalidad entre los rendimientos de MS por planta y MS por hectárea debido a las diferencias de población ya discutidas (inciso 4.1.3). Así, por ejemplo el tratamiento -Ca alcanzó un 40 por ciento del Opt en rendimiento por hectárea, mientras que superó en un 22 por ciento al Opt en materia seca por planta. La diferencia es debida a que la población de plantas fue tres veces inferior en el tratamiento -Ca que en el Optimo.

Sólo las plantas en el tratamiento =Pt superaron 1,0 m de altura, parámetro estipulado como criterio de establecimiento en esta prueba. Dicho tratamiento fue superior ( $P < 0,05$ ) a los demás.

La producción de materia seca por planta expresada como rendimiento relativo del Optimo, se grafica en la Figura 4.

De acuerdo a la Figura 4, dos tratamientos superan porcentualmente al tratamiento óptimo: =Ca y =Pt. Sin embargo, la superioridad del tratamiento -Ca no es significativa. El mayor rendimiento del tratamiento sin peletizar se basa en su eficiencia de fijación de nitrógeno, producto de su nodulación efectiva. Es evidente en la Figura 4 que el tratamiento óptimo superó a los tratamientos =P, -S, -Ic, -Dh y testigo.

Efectuando una tentativa jerarquización de los factores limitantes en esta prueba, con base a la Figura 4, se observa que el tratamiento sin



Cuadro 5. Producciones parciales y totales de materia seca (MS) y alturas de las plantas en la prueba del elemento faltante.

TRATAMIENTO	Altura (cm)	Materia seca/fracción (g)				
		Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles	MS/planta (g)	MS/ha (kg)
Optimo	62 <sup>b*</sup>	2,53 (69)**	0,84 (23)	0,31 (8)	3,38 <sup>b</sup>	1288 <sup>a</sup>
-Fósforo	52 <sup>bc</sup>	1,41 (63)	0,64 (29)	0,18 (8)	2,23 <sup>c</sup>	452 <sup>b</sup>
-Cal	67 <sup>b</sup>	2,62 (61)	1,21 (28)	0,48 (11)	4,31 <sup>b</sup>	552 <sup>b</sup>
-Azufre	49 <sup>bc</sup>	1,36 (64)	0,70 (33)	0,07 (3)	2,13 <sup>c</sup>	396 <sup>b</sup>
-Deshierbe	35 <sup>cd</sup>	0,32 (59)	0,20 (37)	0,02 (4)	0,54 <sup>d</sup>	68 <sup>b</sup>
-Inóculo	54 <sup>b</sup>	1,29 (65)	0,69 (35)	0,00 (0)	1,98 <sup>c</sup>	364 <sup>b</sup>
-Peletizado	102 <sup>a</sup>	4,31 (54)	2,34 (30)	1,29 (16)	7,94 <sup>a</sup>	1676 <sup>a</sup>
Testigo	24 <sup>d</sup>	0,11 (61)	0,07 (39)	0,00 (0)	0,18 <sup>d</sup>	24 <sup>b</sup>

\*Cifras con letras diferentes en una misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

\*\*Cifras entre paréntesis representan el porcentaje de esa fracción sobre el total de la planta.

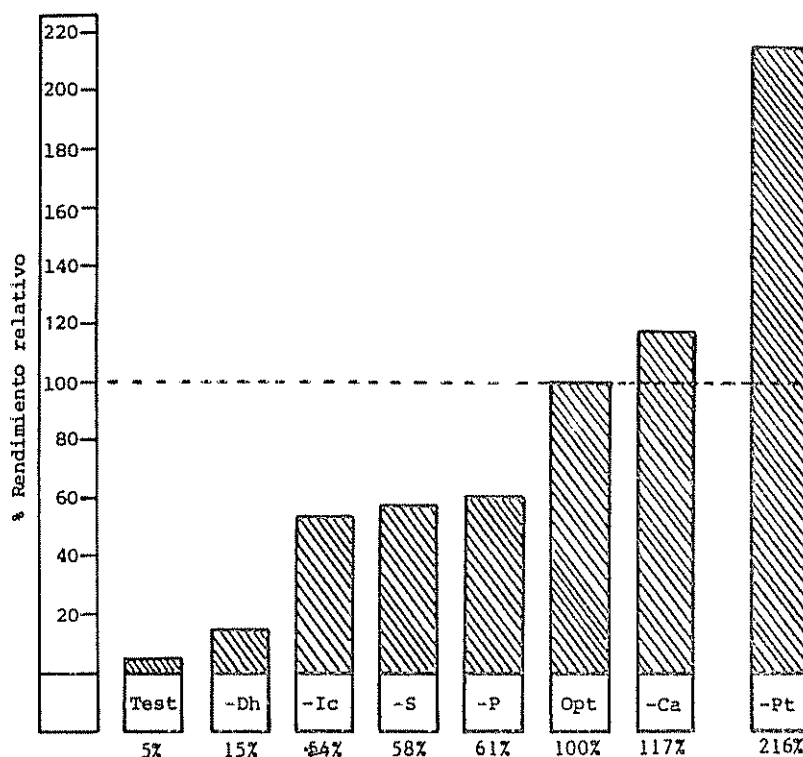


Fig. 4. Rendimientos relativos por planta de los tratamientos de la prueba del elemento faltante (Tratamiento Óptimo = 100%).

deshierbe fue el más detrimental, inferior a los tratamientos sin inóculo y menos nutrientes (-P y -S); la falta de inóculo fue más limitante que el factor nutricional (-P y -S); y por último las deficiencias de fósforo y azufre fueron las menos limitantes, aunque resultaron estadísticamente diferentes ( $P < 0,05$ ) al tratamiento Óptimo.

#### 4.3 Prueba de optimización de niveles

##### 4.3.1 Niveles de encalado

No se detectaron diferencias significativas en el rendimiento de materia seca por planta y por hectárea en los niveles de encalado estudiados (Cuadro 6). Sin embargo se observó un ligero decremento en la producción de materia seca por planta a medida que aumenta el nivel de encalado. Debido a los bajos niveles de cal aplicados es riesgoso

Cuadro 6. Respuesta de *Leucaena leucocephala* a cuatro niveles de encalado.

TRATAMIENTO	Altura (cm)	Materia seca/fracción (g)			MS/planta (g)	MS/ha (kg)
		Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles		
0 ton cal/ha	67 <sup>a*</sup>	2,62(61)**	1,21(28)	0,48(11)	4,31 <sup>a</sup>	552 <sup>a</sup>
0,5 ton cal/ha	70 <sup>a</sup>	1,96(53)	0,92(25)	0,80(22)	3,68 <sup>a</sup>	720 <sup>a</sup>
1,0 ton cal/ha	62 <sup>a</sup>	2,53(69)	0,84(23)	0,31(8)	3,68 <sup>a</sup>	1288 <sup>a</sup>
2,0 ton cal/ha	72 <sup>a</sup>	2,03(56)	1,46(40)	0,16(4)	3,65 <sup>a</sup>	764 <sup>a</sup>

\* Cifras con letras diferentes en una misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ( $P < 0.05$ ).

\*\* Cifras entre paréntesis representan el porcentaje de esa fracción sobre el total de la planta.

atribuir un efecto depresivo al encalado.

Las más altas proporciones de la fracción foliar corresponden al tratamiento de una tonelada de cal (69 %) y la mayor fracción comestible, al tratamiento de dos toneladas de cal.

No hubo diferencias significativas en la variable altura, correspondiendo el valor más alto (72 cm) al tratamiento de 2 ton cal/ha.

La falta de respuesta al encalado en esta prueba se puede explicar por los valores moderados de pH (5,5) y acidez extraíble del suelo (0,5 meq/100 ml de suelo), por el bajo porcentaje de saturación de acidez (4,5 %) y niveles adecuados de Ca (8,3 meq/100 ml de suelo). Teóricamente con estas cifras no se deben tener problemas por la acidez del suelo, y por lo tanto, con la práctica del encalado no se obtienen beneficios sustanciales en la productividad.

Los resultados de esta prueba coinciden con la información de invernadero con este mismo suelo y con la misma especie (52), en donde no se encontró diferencia significativa entre el tratamiento sin encalar y un tratamiento completo que incluía el equivalente a 1,0 ton de cal/ha. Por otro lado, la nodulación juega un papel importante en la respuesta de la planta al encalado. Informaciones al respecto indican que las respuestas al encalado en suelos ácidos son más evidentes cuando la *leucaena* ha sido inoculada con el rizobio específico o donde hay rizobio

nativo en el suelo (11, 30, 44). El efecto tóxico de la peletización impidió que hubiera una nodulación efectiva por lo que este aspecto pudo haber contribuido en los resultados obtenidos. Por otra parte los suelos que presentan alto contenido de materia orgánica y de materiales amorfos o alofánicos, ofrecen la mayor resistencia a cambios de pH y la mayor capacidad "buffer" (20). El alto contenido de materia orgánica de estos suelos pudo haber ejercido un efecto "tampón" sobre el encalado.

#### 4.3.2 Niveles de fósforo

El máximo rendimiento de materia seca por planta obtenido correspondió al nivel de 25 kg de  $P_2O_5$ /ha superior estadísticamente ( $P < 0,05$ ) al tratamiento testigo e igual a los niveles de 50 y 150 kg de  $P_2O_5$ /ha. Estos tres últimos no mostraron diferencias entre sí (Cuadro 6).

A partir del nivel de 25 kg de  $P_2O_5$ /ha la producción por planta disminuyó a medida que aumentaba el nivel de  $P_2O_5$ /ha, sin embargo el punto más bajo de estos niveles crecientes es superior al nivel de 0 kg de  $P_2O_5$ /ha.

Las proporciones de las diferentes fracciones fueron similares en todos los tratamientos, a excepción del nivel de 25 kg de  $P_2O_5$ /ha en el cual la relación hojas-tallos fue menor debido al mayor desarrollo de las plantas.

Cuadro 7. Efecto del nivel de fósforo sobre el rendimiento de *Leucaena leucocephala*

TRATAMIENTO	Altura (cm)	Hojas	Materia seca/fracción (g)		MS/planta (g)	MS/ha (kg)
			Tallos comestibles	Tallos no comestibles		
0 kg $P_2O_5$ /ha	52 <sup>b*</sup>	1,41(63)**	0,64(29)	0,18(8)	2,23 <sup>b</sup>	452 <sup>a</sup>
25 kg $P_2O_5$ /ha	70 <sup>a</sup>	2,39(53)	1,53(34)	0,58(13)	4,50 <sup>a</sup>	1052 <sup>a</sup>
50 kg $P_2O_5$ /ha	62 <sup>ab</sup>	2,53(69)	0,84(23)	0,31(8)	3,68 <sup>ab</sup>	1288 <sup>a</sup>
100 kg $P_2O_5$ /ha	59 <sup>ab</sup>	1,74(66)	0,81(31)	0,07(3)	2,62 <sup>ab</sup>	664 <sup>a</sup>

\* Cifras con letras diferentes en una misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ( $P < 0,05$ )

\*\* Cifras entre paréntesis representan el porcentaje de esa fracción sobre el total de la planta.

La producción de materia seca por hectárea no fué diferente estadísticamente en todos los tratamientos. Sin embargo la aplicación de 50 kg de  $P_2O_5$ /ha resultó en una producción por hectárea de 2 a 3 veces superior al testigo. Esta diferencia se explica por su mayor población, no atribuible a efecto de tratamiento.

En cuanto a altura, el más alto valor correspondió al tratamiento de 25 kg de  $P_2O_5$ /ha, diferente estadísticamente al nivel sin fósforo e igual a 50 y 150 kg de  $P_2O_5$ /ha.

La máxima respuesta en rendimiento obtenida en el nivel de 25 kg de  $P_2O_5$ /ha no coincide ni con los antecedentes de este suelo (inciso 3.1.3), ni con las necesidades o respuestas al fósforo de esta especie. En primer lugar la respuesta a este nivel tan bajo de fósforo (25 kg de  $P_2O_5$ /ha) no corresponde a la alta capacidad de fijación de fósforo de los suelos de esta serie (14) y en segundo lugar la leucaena no es una especie que produzca eficientemente en suelos con bajos niveles de fósforo, ocurriendo por lo general sus máximos rendimientos con fertilizaciones alrededor o por encima de los 50 kg de  $P_2O_5$ /ha (11, 32, 44). Una tendencia más clara quizá se hubiera obtenido con nodulación efectiva para todos los niveles de fósforo.

#### 4.3.3 Niveles de deshierbes

El análisis de resultados que se presentan en el Cuadro 8 enfatiza el efecto del número de deshierbes sobre la productividad de la leucaena.

La materia seca por planta fue significativamente superior en los tratamientos con tres deshierbes, por encima de los tratamientos con dos deshierbes o sin control de malezas. Entre los dos primeros la mayor productividad correspondió al tratamiento que incluye tres deshierbes post-emergentes (20, 50 y 90 días). Estos resultados demuestran por tanto una clara disminución de la materia seca por planta a medida que se reduce el número de deshierbes.

Las proporciones de las diferentes fracciones fueron similares en todos los tratamientos a excepción del tratamiento 20, 50 y 90 días que fue superior en la relación hojas-tallos. La más alta población en las

Cuadro 8. Efecto del número de deshierbes sobre la productividad, crecimiento y población de *Leucaena leucocephala*.

Tratamiento	Materia seca/fracción (g)					
	Altura (cm)	Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles	MS/planta (g)	Plantas/ha (miles)
Sin deshierbe (Dh0)	35 <sup>b*</sup>	0,32(59)**	0,20(37)	0,02(4)	0,54 <sup>b</sup>	141,2 <sup>b</sup>
30, 90 días (Dh1)	33 <sup>b</sup>	0,67(58)	0,41(35)	0,08(7)	1,16 <sup>bc</sup>	147,2 <sup>b</sup>
Pre-em 50, 90 (Dh2)	50 <sup>ab</sup>	1,56(58)	0,91(34)	0,20(8)	2,67 <sup>ab</sup>	192,8 <sup>ab</sup>
20, 50, 90 días (Dh3)	62 <sup>a</sup>	2,53(69)	0,84(23)	0,31(8)	3,68 <sup>a</sup>	336,8 <sup>a</sup>

\*Cifras con letras diferentes en una misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ( $P < 0,05$ ).

\*\*Cifras entre paréntesis representan el porcentaje de esa fracción sobre el total de la planta

parcelas se observó en este último tratamiento con 336 800 plantas/ha, valor que duplica a los obtenidos en los restantes tratamientos. Cuando se utilizó herbicida pre-emergente la población pudo haber sido reducida por el efecto nocivo del herbicida sobre la nascencia (10), mientras que en los tratamientos con dos deshierbes y sin combate de malezas, éstas provocaron la muerte de plantas por efecto de competencia, principalmente por luz (17).

La producción de materia seca por hectárea fue superior en el tratamiento con deshierbes a los 20, 50 y 90 días, esto como consecuencia de su alta población y mayor cantidad de materia seca por planta.

La variable altura fue superior en los tratamientos con tres deshierbes; sin embargo, entre el tratamiento con dos deshierbes y sin deshierbe se observaron alturas similares pero con peso seco por planta 2,1 veces mayor en el tratamiento dos deshierbes. Las plantas en el tratamiento sin deshierbar tendieron a elongarse en búsqueda de la luz (17) perdiendo al mismo tiempo vigor.

En el anexo 1A se incluye información sobre las coberturas de las malezas al momento de los deshierbes, su desglose en malezas de hoja ancha o angosta y sus alturas.

El efecto de los deshierbes sobre la productividad de la leucaena resulta evidente. Sin embargo hay que considerar algunos factores que podrían afectar la validez de estos resultados. En efecto, se reportan respuestas variables a tratamientos similares en otros experimentos (10, 24, 35, 57). Estos factores se relacionan con el tipo de malezas

presentes en el área de estudio, estacionalidad y estructura de las mismas. Con base a lo anterior, las frecuencias o tipo de deshierbes deben ir acordes a las situaciones características del área de estudio y no a fórmulas preestablecidas.

#### 4.4 Pruebas de alternativas de producción

##### 4.4.1 Densidades

El distanciamiento de 1,0 m entre surcos alcanzó los más altos valores de materia seca por planta y por hectárea, así como en altura; sin embargo estas cifras no fueron significativamente diferentes a las obtenidas en el distanciamiento de 0,7 m (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de dos distanciamientos entre surcos sobre la productividad, crecimiento y población de *Leucaena leucocephala*.

Tratamiento	Materia seca/fracción (g)						MS/ha (kg)
	Altura (cm)	Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles	MS/planta (g)	Plantas/ha (miles)	
1,0 m (D1)	62	2,53	0,84	0,31	3,68	336,8	1288
0,7 m (D2)	57	1,52	0,82	0,40	2,74	223,2	616
DMS ( $P < 0,05$ )	25	-	-	-	2,14	105,4	1028

El incremento de población por efecto de acercamiento no se logró en esta prueba. La mayor población de plantas en los surcos, obtenida en el tratamiento de 1,0 m fue lo suficientemente grande como para contrarrestar el mayor número de surcos en el tratamiento de 0,7 m.

Debido al poco desarrollo observado en ambos tratamientos es aventurado hablar de efecto de distancia entre surcos sobre la productividad de la leucaena. Sin embargo al observarse que a mayor población se logra más producción de materia seca por planta y por hectárea se infiere que no existe a estos niveles y esta etapa de establecimiento, un efecto detrimental de la población sobre la productividad de leucaena.

#### 4.4.2 Preparación del terreno

El método de espeque fue inferior al método mecanizado en todas las variables evaluadas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la preparación del terreno sobre la productividad, crecimiento y población de *Leucaena leucocephala*.

Tratamiento	Materia seca/fracción (g)						
	Altura (cm)	Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles	MS/planta (g)	Plantas/ha (miles)	MS/ha (kg)
Mecanizado	62	2,53	0,84	0,31	3,68	336,8	1288
Espeque	18	0,03	0,03	0,00	0,06	12,8	0,76
DMS ( $P < 0,05$ )	24	-	-	-	2,14	86,7	1028,0

El pobre rendimiento por planta, altura alcanzada y la sobrevivencia del cultivo fueron consecuencia directa del método practicado. La falta de laboreo del terreno en el método de espeque incidió en factores tales como: rápido rebrote de las malezas controladas previamente a la siembra, mayor compactación del terreno con la consecuente menor penetración de raíces y defectuoso drenaje, acumulación de agua en los hoyos de la siembra causando pérdidas de plántulas por fungosis. Por último la dificultad de localizar las plantas de leucaena, bajo malezas, ocasionó a veces el contacto accidental de la leucaena por el herbicida.

Tradicionalmente el método de espeque se practica en áreas con una época seca bien definida, donde es posible realizar quemas de la vegetación antes de la siembra, lo que facilita el control de las malezas (10) y la adición de minerales al suelo por las cenizas de la quema. Esta situación permite tener más éxito en áreas de baja humedad para establecer leucaena por el método de espeque.

#### 4.4.3 Variedades

Los resultados obtenidos con las tres variedades en estudio indican igualdad estadística en las variables evaluadas (Cuadro 11).



Cuadro 11. Productividad y crecimiento de tres variedades de *Leucaena leucocephala*.

TRATAMIENTO	Altura	Materia seca/fracción (g)			MS/planta (g)	MS/ha (kg)
		Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles		
Var. Perú	62 <sup>a*</sup>	2,53(69)**	0,84(23)	0,31(8)	3,68 <sup>a</sup>	1288 <sup>a</sup>
Var. K-8	60 <sup>a</sup>	2,24(61)	1,23(34)	0,18(5)	3,65 <sup>a</sup>	568 <sup>a</sup>
Var Cunningham	64 <sup>a</sup>	2,66(57)	1,51(33)	0,45(10)	4,62 <sup>a</sup>	632 <sup>a</sup>

\* Cifras con letras diferentes en una misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

\*\* Cifras entre paréntesis representan el porcentaje de esa fracción sobre el total de la planta.

Los valores más altos de materia seca por planta correspondieron a la variedad Cunningham con 4,62 g/planta, sin embargo la materia seca por hectárea fue más alta en la variedad Perú con 1288 kg, como producto de su mayor población.

La proporción de la fracción foliar fue mayor en la variedad Perú (69 %). Por otra parte los valores más altos de la fracción comestible (90 %) y de tallos (43 %) correspondieron a la variedad K-8; esta misma variedad y la Cunningham fueron superiores a la Variedad Perú en la fracción de tallos. En esta última variedad se reporta mayor desarrollo en sus ramificaciones (sobre todo basal) que la variedad Perú (37).

La mayor altura correspondió a la variedad Cunningham (64 cm). La altura de la variedad K-8 fue la menor de las tres variedades con 60 cm. Este comportamiento no es común a la variedad K-8, caracterizada por su gran desarrollo en altura (6), aunque tal vez en esa temprana etapa de establecimiento no pudo mostrar su potencial. En otras palabras esta variedad no mostró ventaja para un rápido establecimiento, como se hubiese esperado.

Los resultados de productividad de forraje de estas tres variedades coinciden con los reportados en la literatura (21, 50), los cuales indican además que no hay diferencias notables de producción de forraje.

#### 4.4.4 Asociación

El tratamiento de monocultivo fue superior ( $P \leq 0,05$ ) a los tratamientos en asocio de maíz y asociación de leguminosas en todas las variables evaluadas (Cuadro 12), pero estas no difirieron entre sí.

Cuadro 12. Respuesta de *leucaena leucocephala* a la asociación con otros cultivos.

Tratamiento	Materia seca/fracción (g)						
	Altura (cm)	Hojas	Tallos comestibles	Tallos no comestibles	MS/planta (g)	Plantas/ha (miles)	
Monocultivo (A0)	62 <sup>a*</sup>	2,53(69)**	0,84(23)	0,31(8)	3,68 <sup>a</sup>	336,8 <sup>a</sup>	1288 <sup>a</sup>
Asocio con maíz (A1)	35 <sup>b</sup>	0,82(64)	0,47(36)	0,00(0)	1,29 <sup>b</sup>	271,2 <sup>ab</sup>	348 <sup>b</sup>
Asocio con leguminosas (A2)	41 <sup>b</sup>	0,31(52)	0,27(46)	0,01(2)	0,59 <sup>b</sup>	137,2 <sup>b</sup>	88 <sup>b</sup>

\* Cifras con letras diferentes en una misma columna son estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ )

\*\* Cifras entre paréntesis representan el porcentaje de esa fracción sobre el total de la planta.

La fracción foliar disminuye al asociarse la leucaena, correspondiendo el valor más bajo a la asociación con leguminosas, como consecuencia la fracción de tallos fue mayor en los tratamientos asociados.

De lo antes citado se infiere un efecto detrimental en la productividad de la leucaena como consecuencia de la asociación. Este efecto fue más severo cuando la asociación fue con leguminosas rastreras. Lo anterior se puede explicar por la mayor competencia por luz y nutrientes por parte de las leguminosas que por el maíz, y por el bloqueo físico que ejercieron las leguminosas al trepar sobre la leucaena.

En relación al efecto de la sombra sobre la leucaena, los resultados coinciden con los obtenidos por Egara y Jones (17) quienes encontraron una disminución en la materia seca por planta a medida que disminuía la luminosidad y un aumento en la altura a menor luminosidad. Esto es aplicable en el presente estudio si consideramos un mayor efecto del sombreo en el tratamiento asociado con maíz.

El poco distanciamiento entre surcos de maíz y la leucaena así como la proximidad de las leguminosas con la leucaena originada por el método de siembra de las primeras (al voleo), fueron factores que incidieron en el efecto competitivo sobre la leucaena.

## 5. DISCUSION GENERAL

El largo de establecimiento de la leucaena en siembra directa y el bajo rendimiento de forraje obtenidos en esta prueba demuestran la baja adaptación de esta especie a las condiciones de trópico húmedo; ésta situación ocurrió aún cuando se tomaron medidas correctivas de las principales limitantes. El crecimiento y productividad de la leucaena durante esta etapa fueron sensiblemente inferiores a las reportadas en condiciones de trópico seco (24, 53, 55) donde las limitantes para su crecimiento suelen ser menores.

Como una de las principales limitantes aparecieron las deficiencias de fósforo y azufre en el suelo, con un efecto marcadamente depresivo sobre el crecimiento de la leucaena. Estos elementos habían sido reconocidos como importantes en la nutrición mineral de esta especie; sin embargo en el caso del azufre existen todavía pocos estudios sobre las necesidades de este elemento. Las deficiencias de estos nutrimentos en el suelo en estudio fueron detectadas inicialmente mediante técnicas de laboratorio y confirmadas a nivel de prueba de invernadero (51) por medio de la técnica del elemento faltante. La información generada en ambos casos fue validada a nivel de campo a través del presente estudio. La estrecha relación entre las pruebas de campo y las de invernadero realzan la importancia de estas últimas en la determinación de deficiencias minerales para especies y suelos específicos.

El combate inadecuado de malezas aparece como otro factor negativo sobre el desarrollo y sobrevivencia de la leucaena, llegando a ser más detrimental su efecto que las mismas deficiencias nutricionales del suelo. Esto confirma una vez más la importancia del control de las malezas en el cultivo de la leucaena durante la etapa de establecimiento, aún cuando las plantas están supuestamente bien establecidas (24). Este efecto de competencia se manifiesta también con cultivos asociados a la leucaena, como maíz y leguminosas forrajeras, establecidas con miras a disminuir los costos de establecimiento o a incrementar la eficiencia de uso del suelo. Estos cultivos pueden ejercer una influencia depresiva sobre la leucaena similar al de las malezas.

La respuesta de la leucaena a la nodulación con *Rhizobium* específico, como ocurrió en el único tratamiento que no se peletizó, se manifestó en

un incremento notable de la producción de biomasa forrajera. Quedó evidente al mismo tiempo la ausencia de rizobios nativos en el área del estudio. La falla en la nodulación provocada por el peletizado con  $\text{CaCO}_3$  en todos los demás tratamientos no permitió evaluar la respuesta de la leucaena a los diversos tratamientos en presencia de nodulación efectiva, quedando la incógnita si el comportamiento de la leucaena hubiese sido el mismo bajo nodulación efectiva. En otras palabras, las respuestas observadas resultaron del efecto de los tratamientos sobre la planta misma, en ausencia de su simbiote. Este aspecto es particularmente relevante en los tratamientos de niveles de fósforo y encalado cuyos efectos deberían manifestarse sobre la simbiosis. En ausencia de ésta, la leucaena mostró comportamientos irregulares e inexplicables.

Los problemas de adaptación de leucaena a las condiciones de trópico húmedo, deben orientar la investigación hacia otros géneros (por ejemplo *Erythrina*) que puedan tal vez producir cantidades superiores de forraje con menos insumos. Además cabe pensar en la selección u obtención a futuro de variedades de leucaena para suelos ácidos; en tal caso habría que revisar las conclusiones de este trabajo.

Algunos aspectos de metodología experimental de este trabajo deben ser discutidos:

Como primera observación deben resaltarse los problemas causados por la pendiente del terreno en este experimento. A pesar que las condiciones de laderas son frecuentes en áreas ganaderas de la región, la posibilidad de acarreo de nutrientes y suelo de una parcela a otra es un criterio suficiente para no realizar este tipo de experimentos en laderas. Se sugiere que este tipo de terrenos sean utilizados sólo en etapas de comprobación de resultados experimentales.

Por otro lado, el concepto de "tallos comestibles" aplicado para la leucaena y referido a aquellos tallos menores de 6 mm de diámetro (39) debe reconsiderarse cuando las condiciones de crecimiento son limitantes y resultan en tallos lignificados precozmente. En estos casos, a pesar de cumplirse con el requisito de diámetro, la lignificación de los tallos hace prácticamente no comestible esta fracción de la planta.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Con base a los resultados del presente estudio se concluye lo siguiente:

1. Condiciones de trópico húmedo bajo, la productividad y crecimiento de la leucaena se ve disminuida considerablemente, aún supliendo factores nutricionales y de manejo.
2. Las malezas ejercen mayor restricción sobre el establecimiento y productividad de leucaena que las deficiencias nutricionales.
3. La inoculación artificial es una práctica indispensable para suplir la falta de rizobios nativos y específicos.
4. La peletización con  $\text{CaCO}_3$  puede resultar perjudicial en la nodulación de leucaena.
5. La falta de fertilización con fósforo y azufre es detrimental en el establecimiento de la leucaena, mientras que la aplicación de cal no es determinante.
6. La asociación con otros cultivos y el método de siembra por esquepe no constituyeron prácticas satisfactorias para el establecimiento de leucaena.
7. El uso de otras variedades no significó ventaja alguna sobre la productividad y establecimiento de la leucaena.
8. Densidades mayores a las planeadas no fueron detrimentales en la productividad de leucaena.

### 6.2 Recomendaciones

1. Realizar una prueba tendiente a evaluar en leucaena niveles de fósforo y encalado, con nodulación efectiva.
2. De momento, no incluir la evaluación de leucaena con sistemas de producción hasta no contar con variables adaptadas a condiciones de acidez y humedad altas.

## 7. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación CTEI, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 139 p.
2. ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. 2ed. New York, Wiley, 1977. pp. 326-328.
3. ANDREW, C. S. y ROBINS, M. F. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. II. Nitrogen, calcium, magnesium, potassium, and sodium contents. Australian Journal of Agricultural Research 20(4):675-685. 1969.
4. \_\_\_\_\_. Nutritional restraints on Legume-symbiosis. In Workshop on Exploiting the Legume-Rhizobium in Tropical Agriculture, Kahului, Maui, Hawaii, 1976. Proceedings. University of Hawaii. College of Agriculture. Miscellaneous Publication no. 145. 1977. pp. 253-257.
5. BENGE, M. D. *Leucaena leucocephala*: an excellent feed for livestock. In U. S. Agency for International Development. *Leucaena leucocephala*: a tree that defies the woodcutter. Washington, D. C., 1981. p. irr.
6. BREWBAKER, J. L., PLUCKNETT, D. L. y GONZALEZ, V. Varietal variation and yield trials of *Leucaena leucocephala* (Koa haole) in Hawaii. Hawaii Agricultural Experiment Station. Research Bulletin no. 166. 1972. 29 p.
7. \_\_\_\_\_. y HUTTON, E. M. *Leucaena*. Versatile tropical tree legume. In Ritchie, G. A., ed. New Agricultural crops. AAAS Selected Symposia Series no. 166. 1972. 29 p.
8. BROCKWELL, J. Seed pelleting as an aid to legume seed inoculation. World Crops 15(7):334-338. 1963.
9. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Metodología de inoculación con *Rhizobium* de semillas de leguminosas forrajeras por pelletización. s. l., 1981. 6 p.
10. COOKSLEY, D. G. A study of preplanting herbicides, nitrogen, burning and post-emergence cultivation on the establishment of *Leucaena leucocephala* cv. Perú. Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences 31(3):271-278. 1974.
11. CHENG, T. K., CHEE, W. C. y SIDHU, A. S. Establishment of *Leucaena leucocephala* on the acidic inland soils of Peninsular Malaysia; effects of lime, inoculation pelleting and phosphorus on the establishment of *L. leucocephala*. MARDI Research Bulletin 5(2): 10-20. 1977.

12. DIATLOOF, A. Pelleting tropical legume seed. *Queensland Agricultural Journal* 97(7):363-366. 1971.
13. \_\_\_\_\_. *Leucaena* needs inoculation. *Queensland Agricultural Journal* 99(2):642-644. 1973.
14. DIAZ-ROMEY, R. y BEJARANO, W. Estudios de invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 17 p.
15. \_\_\_\_\_. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 68 p.
16. DIJKMAN, M. J. *Leucaena*: a promising soil-erosion-control plant. *Economic Botany* 4(4):337-347. 1950.
17. EGARA, K. y JONES, R. J. Effect of shading on the seedling growth of the leguminous shrub *Leucaena leucocephala*. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 17(96): 976-981. 1977.
18. ESQUIVEL, A. C. Algunos factores que afectan la nodulación y crecimiento de las leguminosas en los trópicos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1963. 141 p.
19. FARMING SYSTEMS. In International Institute of Tropical Agriculture. Research highlights for 1979. Ibadan, Nigeria, 1980. pp. 4-8.
20. FASSBENDER, H. W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Serie de libros y materiales educativos no. 24, 1975. 194 p.
21. FERRARIS, R. Productivity of *Leucaena leucocephala* in the wet tropics of North Queensland. *Tropical Grasslands* 13(1):20-27. 1979.
22. FOX, R. L. y WHITNEY, S. A. Response of *Leucaena leucocephala* to lime applications in Hawaii (Sumario). *Leucaena Research Reports* 2:69. 1981.
23. FRANCO, A. A. Nutritional restraints for tropical grain legume symbiosis. In Workshop on Exploiting the legume-Rhizobium in Tropical Agriculture, Kahului, Maui, Hawaii, 1976. Proceedings. University of Hawaii. College of Agriculture. Miscellaneous Publication no. 145, 1977. pp. 253-274.
24. FRANCO, C. F. Combate de malezas, altura de planta e intensidad de primer corte sobre la productividad y el rebrote de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. en el período seco. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1983. 55 p.

25. GRANERT, W. G. Observations on a corn-ipil-ipil interplanting (Sumario). *Leucaena Newsletter* 1:22. 1980.
26. GUEVARRA, A. B., WHITHEY, A. S. y THOMPSON, J. R. Influence of intra-row spacing and cutting regimes on the growth and yield of *Leucaena*. *Agronomy Journal* 70(6):1033-1037. 1978.
27. HERRERA, P. G. Altura de corte y de planta en guandul y acacia forrajera. *Agricultura Tropical (Colombia)* 23(1):34-42. 1967.
28. HICKS, P. G. Lightning strike of cacao in New Britain. *Papua and Guinea Agricultural Journal* 20(3-4):83-84. 1969.
29. HILL, G. D. Studies on the growth of *Leucaena leucocephala*. I. Effect of clean weeding and nitrogen fertilizer on early establishment. *The Papua and New Guinea Agricultural Journal* 22(1): 29-30. 1970.
30. \_\_\_\_\_. Studies on the growth of *Leucaena leucocephala*. II. Effect of lime at sowing on production from a low calcium status soil of the Sogeri Plateau. *The Papua and New Guinea Agricultural Journal* 22(2):69-71. 1971.
31. \_\_\_\_\_. *Leucaena leucocephala* for pasture in the tropics. *Herbage Abstracts* 41(2):111-119. 1971.
32. HU, T. W. y CHENG, W. E. The growth and nutrient levels of *Leucaena leucocephala* response to lime and phosphorus on acid soil (Sumario). *Leucaena Research Reports* 2:48-49. 1981.
33. HUTTON, E. M. Breve información sobre *Leucaena*. Cali, Colombia, CIAT, s. f. 4 p.
34. \_\_\_\_\_. y ANDREW, C. S. Comparative effects of calcium carbonate on growth, nodulation, and chemical composition of four *Leucaena leucocephala* lines, *Macroptilium lathyroides* and *Lotononis bainesii*. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 18(90):81-88. 1978.
35. JONES, R. J. y ALIYU, A. S. The effect of *Eleusine indica*, herbicides and activated charcoal on the seedling growth of *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Tropical Grasslands* 10(3):195-203. 1976.
36. \_\_\_\_\_. y JONES, R. M. Agronomy of *Leucaena leucocephala*. CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures. Information Service. Sheet no. 41-1. 1979. 3 p.
37. LEUCAENA LEUCOCEPHALA (Lam.) de Wit. cv. Cunningham. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 42(4):254-255. 1976.
38. LEUCAENA NUTRITION. In Papua and New Guinea. Department of Agriculture, Stock and Fisheries. Annual Report 1963-64. Port Moresby, 1965. p. 118.



39. MANNETJE, L. 't. Measuring quantity of grassland vegetation. In. \_\_\_\_\_, ed. Measurement of grassland vegetation and animal production. CAB Bulletin no. 52. 1978. p. 81.
40. MEISNER, C. A. y GROSS, H. D. Some guidelines for the evaluation of the need for and response to inoculation of tropical legumes. North Carolina Agricultural Research Service. Technical Bulletin no. 265. 1980. p. 36.
41. MELENDEZ, F. y RIVERA, G. Efecto de la densidad y distancia de siembra de *Leucaena leucocephala* sobre la producción y calidad de forraje en el trópico húmedo. Producción Animal Tropical 6(4): 396-397. 1981.  
  
Resumen presentado en la 4a. Conferencia Anual en Producción Animal Tropical, Tabasco, México, 1981.
42. MEULEN, U. TER *et al.* Revisión sobre el valor nutritivo y aspectos tóxicos de la *Leucaena leucocephala*. Producción Animal Tropical 4(2):112-116. 1979.
43. MORALES, V. M., GRAHAM, P. H y CAVALLO, R. Influencia del método de inoculación y el encalamiento del suelo de Carimagua (Llanos orientales, Colombia) en la nodulación de leguminosas. Turrialba (Costa Rica) 23(1):52-55. 1973.
44. MORENO, O. A. Eficiencia de cepas de *Rhizobium* y efecto de P, Mo, Fe, Co y encalado en la nodulación y producción de biomasa de *Leucaena leucocephala* (Guaje) en suelos ácidos de Huimanguillo, Tabasco. Tesis Maestro en Ciencias. Chapingo, México, Colegio de Post-graduados, 1981. 127 p.
45. MUNNS, D. N. Soil acidity and related factors. In Workshop on Exploiting the Legume-Rhizobium in Tropical Agriculture, Kahului, Maui, Hawaii, 1976. Proceedings. University of Hawaii. College of Agriculture. Miscellaneous Publication no. 145. 1977. pp. 211-236.
46. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. *Leucaena*: promising forage and tree crop for the tropics. Washington, D. C., 1977. 115 p.
47. NORRIS, D. O. The intelligent use of inoculants and lime pelleting for tropical legumes. Tropical Grasslands 1(2):107-121. 1967.
48. \_\_\_\_\_. Seed pelleting to improve nodulation of tropical and sub-tropical legumes. V. The contrasting response to lime pelleting of two *Rhizobium* strains on *Leucaena leucocephala*. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 13(60):98-101. 1973.
49. PAEZ, G. y SILVA, T. Delineamento dos experimentos de adubação. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1975. pp. 4-10.

50. PARTRIDGE, I. J. y RANACOU, E. Yields of *Leucaena leucocephala* in Fiji. *Tropical Grasslands* 7(3):327-329. 1973.
51. PEREZ-GUERRERO, Z. J. *Leucaena: leguminosa tropical mexicana. Usos y potencial.* Tesis Ing. Agr. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo, 1979. 80 p.
52. \_\_\_\_\_, BOREL, R. y BERTSCH, F. Elementos prioritarios en la nutrición mineral de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. en un suelo ácido de Costa Rica. *Turrialba (Costa Rica)* 34(1):91-98. 1984.
53. POUND, B., SANTANA, A., y RUIZ, G. Efecto de la asociación de cultivos en el establecimiento y subsecuente rendimiento de *Leucaena leucocephala*. *Producción Animal Tropical* 5(3):27-251. 1980.
54. SANCHEZ, P. A. Suelos del trópico; características y manejo. Trad. del inglés por Edilberto Camacho. IICA. Serie de libros y materiales educativos no. 48, 1981. 634 p.
55. SANCHEZ, R. G. Avances en la producción de semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales en Ajuchitlán, Gro. s.l., FIRA, Banco de México, S. A., División Técnica y de Asistencia de Programas Ganaderos, 1978. 46 p.
56. SHAW, D. E. y VELSEN, R. J. VAN. Lightning strike of cacao and *Leucaena* in New Britain. *Papua and New Guinea Agricultural Journal* 20(3-4):75-82. 1969.
57. SHAW, N. H. Weed control in *Leucaena leucocephala*. In CSIRO. Division of Tropical Pastures. Annual Report 1964-1965. Brisbane, Australia, 1965. p. 42.
58. SKERMAN, P. J. Tropical Forage legumes. FAO Plant Production and Protection Series no. 2. 1977. pp. 510-519.
59. SOUTHERN, P. J. Sulphur deficiency in coconuts, a widespread field condition in Papua and New Guinea. I. The field and chemical diagnosis of sulphur deficiency in coconuts. *The Papua and New Guinea Agricultural Journal* 19(1):18-37. 1967.
60. STEEL, R. G. D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York, Mc Graw-Hill, 1968. 481 p.
61. TAKAHASHI, M. y RIPPERTON, J. C. Koa haole (*Leucaena glauca*); its establishment, culture and utilization as a forage crop. University of Hawaii Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 100. 1949. 56 p.
62. TRINICK, M. J. Nodulation of tropical legumes. I. Specificity in the Rhizobium symbiosis of *Leucaena leucocephala*. *Experimental Agriculture* 4(3):243-253. 1968.

63. WU, MING-HUEI. Effect of lime, molybdenum and inoculation of Rhizobium on the growth of *Leucaena glauca* and acid soil. Journal of the Agricultural Association of China 47(1):57-60. 1964.

### 8. A P E N D I C E

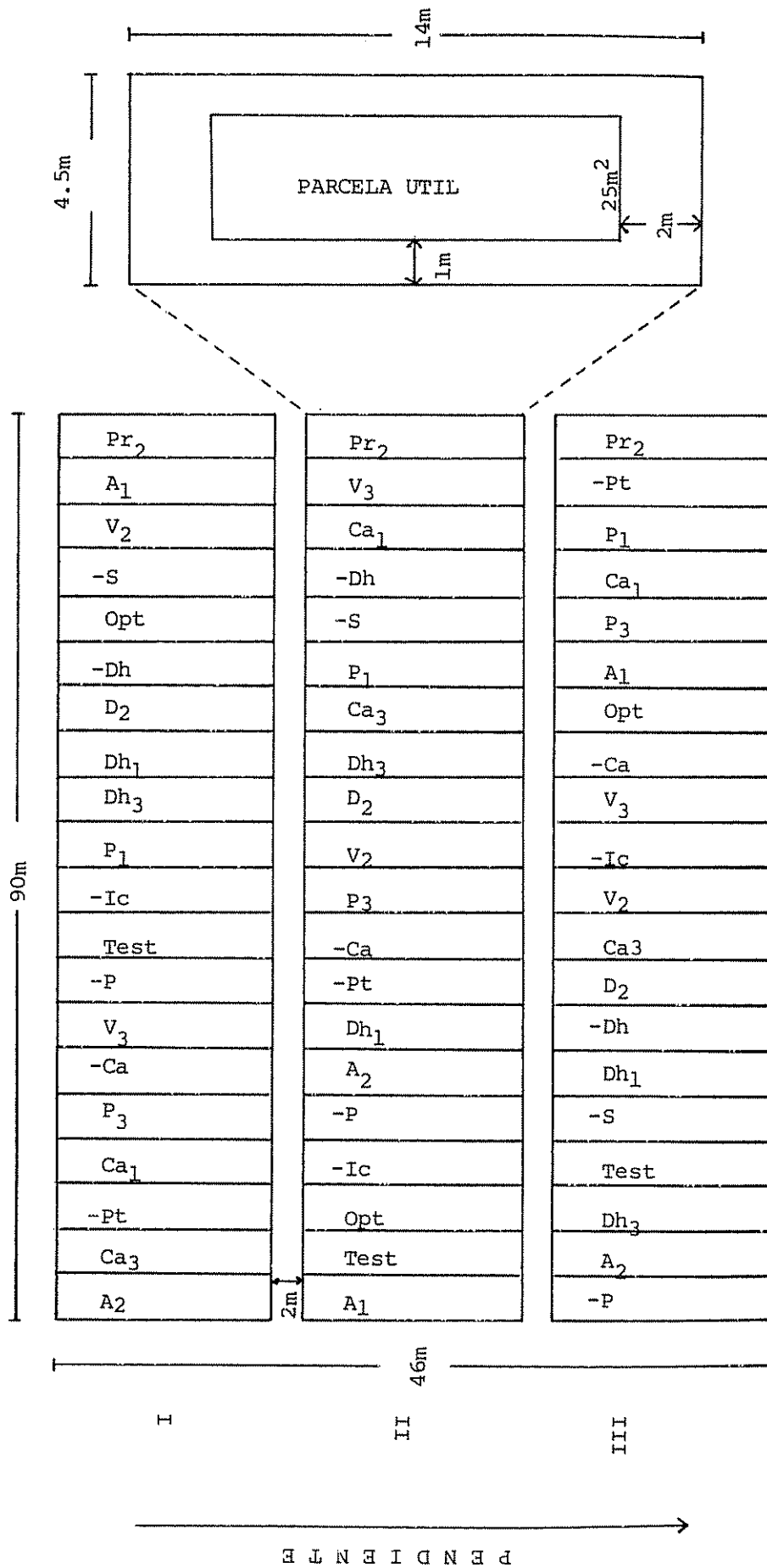


Figura 1A. Distribución y tamaño de las parcelas experimentales.

Cuadro 1A. Cobertura y altura de las malezas durante el establecimiento de *Leucaena leucocephala* según los niveles de deshierbes

Tratamiento	Días después de la siembra											
	20 días			30 días			50 días			90 días		
	Hoja ancha	Gramí- neas	Cobertura (%)	Altura (cm)	Hoja ancha	Gramí- neas	Cobertura (%)	Altura (cm)	Hoja ancha	Gramí- neas	Cobertura (%)	Altura (cm)
Sin deshierbe	27,6	2,4	30,0	5	-*	-	-	-	70,8	2,2	73,0	25
30 y 90 días	-	-	-	-	45,0	5,0	50,0	9	-	-	-	-
Pre-em 50, 90 días	-	-	-	-	-	-	-	-	31,0	2,0	33,0	15
20, 50, 90 días	17,6	0,4	18,0	5	-	-	-	-	10,3	0,7	11,0	13
									85,0	14,0	98,0	72
									61,0	8,0	69,0	42
									30,0	19,0	49,0	32
									36,0	3,0	39,0	25

\* Los guiones indican que no hubo muestreos de acuerdo a los tratamientos.

Cuadro 2A. Producción de materia seca de las leguminosas presentes en la asociación leucaena-leguminosas.

Especies	kg MS/ha
<i>Centrosema pubescens</i>	18,3
<i>Pueraria phaseoloides</i>	496,0
<i>Calopogonium mucunoides</i>	129,2
<i>Mimosa pudica</i>	114,2
<i>Teramnus</i> sp.	35,8
Otras*	26,0
Total	819,5

\*Incluye *Galactia striata*, *Stylosanthes guyanensis*, *Vigna* sp., e *Indigofera* sp.