



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

CONFORMACIÓN ESTRUCTURAL *Leucaena leucocephala* A DIFERENTE MANEJO EN VIVERO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

BELTARIO VÁZQUEZ AGUILAR

Bajo la supervisión de: PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, Ph.D.



Julio de 2010

Chapingo, Estado de México

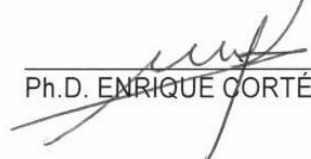
**CONFORMACIÓN ESTRUCTURAL DE *Leucaena leucocephala* A
DIFERENTE MANEJO EN VIVERO**

Tesis realizada por **BELTARIO VÁZQUEZ AGUILAR** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: 
Ph.D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: 
Ph.D. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

ASESOR: 
Ph.D. ENRIQUE CORTÉS DÍAZ

ASESOR: 
Ph.D. LUIS ALBERTO MIRANDA ROMERO

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Sistemas silvopastoriles	3
2.2. Interacciones entre los componentes de sistemas silvopastoriles	6
2.3. Factibilidad de los sistemas silvopastoriles	10
2.4. Establecimiento de un sistema silvopastoril	15
2.5. Conclusiones generales	22
2.6. Literatura citada	23
3. DESARROLLO DE <i>Leucaena leucocephala</i> CRECIDA EN VIVERO CON APLIACIÓN DE PODA Y BIORREGULADORES	29
3.1. Resumen	29
3.2. Abstract	30
3.3. Introducción	31
3.4. Materiales y métodos	32
3.4.1. Lugar y duración del experimento	32
3.4.2. Tratamientos y diseño experimental	32
3.4.3. Aplicación de tratamientos	33
3.4.4. Manejo de las plantas	33
3.4.5. Variables medidas y calculadas	34
3.4.6. Manejo y análisis estadístico de los datos	36

3.5. Resultados y discusión.....	38
3.5.1. Conformación de la estructura aérea y aporte de componentes morfológicos con aplicación de poda	38
3.5.2. Conformación de la estructura aérea y aporte de componentes morfológicos al variar la edad de la poda y aplicación de biorregulador	40
3.5.3. Conformación de la estructura aérea y aporte de componentes morfológicos al variar al variar la edad de la aplicación y el tipo de biorregulador	45
3.5.4. Dinámica de rebrote al variar la edad de poda y aplicación de biorregulador	48
3.5.5. Dinámica de rebrote al variar la edad de aplicación y tipo de biorregulador	50
3.6. Conclusiones	51
3.7. Literatura citada.....	52
4. CRECIMIENTO INICIAL DE <i>Leucaena leucocephala</i> CRECIDA EN INVERNADERO CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y FOSFATADA.....	54
4.1. Resumen	54
4.2. Abstract	55
4.3. Introducción.....	56
4.4. Materiales y métodos	57
4.4.1. Lugar y duración del experimento	57
4.4.2. Tratamientos y diseño experimental	57
4.4.3. Aplicación de tratamientos	57
4.4.4. Manejo de las plantas	58
4.4.5. Variables medidas y calculadas	58
4.4.6. Manejo y análisis estadístico de los datos	59
4.5. Resultados y discusión.....	62
4.5.1. Mortandad de plantas de <i>L. leucocephala</i> después de la fertilización	62
4.5.2. Conformación estructural aérea a diferente dosis de nitrógeno y fósforo	63

4.5.3. Aporte de componentes morfológicos a diferente dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo.....	66
4.6. Conclusiones.....	71
4.7. Literatura citada.....	72

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de leche por vaca ($L\text{ día}^{-1}$) y superficie ($L\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$) de vacas Holstein X Criollo Limonero en diferente tipo de pradera.	11
Cuadro 2. Aumento en peso ^z y ganancia diaria de peso (GDP) en ovinos en un sistema silvopastoril con diferente carga animal.....	11
Cuadro 3. Oferta de forraje ^z ($t\text{ MS ha}^{-1}$) en pradera monófitay ^y (PM) y con acceso libre (ALB) y restringido ^x (ARB) al bosque en época seca y lluviosa.	12
Cuadro 4. Producción de forraje por superficie ^z ($kg\text{ MS ha}^{-1}$) y planta (g MS) en arbustos tropicales crecidos en diferente tipo de suelo.	17
Cuadro 5. Factores antinutricionales en función al tipo de metabolito con que interacciona.....	18
Cuadro 6. Fenoles totales (FT) ^z , Taninos condensados (TC) ^z y Taninos precipitantes de proteína (TPP) en follaje de árboles forrajeros a los 90 días de edad).....	19
Cuadro 7. Consumo ($g\text{ MS kg PV}^{-1}\text{ 6h}^{-1}$) de follaje de especies arbóreas (con 90 días de rebrote) en bovinos, ovinos y caprinos.....	20
Cuadro 8. Tratamientos evaluados a partir de la combinación de aplicar o no poda a diferente edad y biorreguladores al momento de la poda.	32
Cuadro 9. Biorreguladores, principios activos y dosis empleada en el estudio.	33
Cuadro 10. Conformación estructural aérea a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham con y sin poda.....	38

Cuadro 11. Aporte de componentes morfológicos a 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham con y sin poda.....	39
Cuadro 12. Significancia de las fuentes de variación en dos atributos de la conformación estructural aérea de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham.....	63
Cuadro 13. Significancia de las fuentes de variación en los aportes de los componentes morfológicos de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham.	67
Cuadro 14. Relación tallo: hoja a 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham con diferente nivel de fertilización con nitrógeno y fosforo.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de la interrelación de componentes de un sistema silvopastoril.	7
Figura 2. Captura de carbono con diferentes usos de suelo en Costa Rica y Nicaragua.	13
Figura 3.- Conformación estructural aérea a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad y con y sin aplicación de biorregulador.	41
Figura 4. Características de raíz a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad y con y sin aplicación de biorregulador.	43
Figura 5. Características de los componentes aéreos a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad y con y sin aplicación de biorregulador.....	44
Figura 6. Conformación estructural aérea a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar a diferente edad un biorregulador.....	45
Figura 7. Características de raíz a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar a diferente edad un biorregulador.....	47
Figura 8. Características de los componentes aéreos a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar a diferente edad un biorregulador.	48

Figura 9. Características de la rama apical a 30 días después de la poda de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad, y con y sin aplicación de biorregulador.....	49
Figura 10. Características de la rama apical de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham a 30 días después de la aplicación a diferente edad de un biorregulador..	50
Figura 11. Mortandad acumulada en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham a 95 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera y 15 días de haber recibido la aplicación de N como urea, promediando las de tres dosis de P (0, 25 y 50 kg ha ⁻¹).	62
Figura 12. Atributos de la conformación estructural aérea de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham a dos niveles de fertilización nitrogenada, promediando los tres niveles de fósforo.....	64
Figura 13. Atributos de la conformación estructural aérea de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham a tres niveles de fertilización fosfatada y promediando sobre dos niveles de N agregado.	65
Figura 14. Atributos de la conformación estructural aérea de <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham a diferentes días después de la emergencia de la primer hoja verdadera.....	66
Figura 15. Aporte de componentes morfológicos a los 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham con fertilización nitrogenada.	68
Figura 16. Aporte de componentes morfológicos a los 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en <i>L. leucocephala</i> cv. Cunningham con fertilización fosfatada.	69

DEDICATORIAS

A mis padres, Ofelia y Humberto por su gran esfuerzo para brindarnos siempre lo mejor y las buenas enseñanzas que nos dan día a día.

A ti Erika por estar siempre a mi lado, inspirarme y enseñarme cosas hermosas.

A mis hermanos, Vicente y Francisco por los sueños y metas que nos unen para sacar adelante a nuestra familia.

A ti abuela (†) por las lagrimas derramadas.

A mis tíos por los buenos consejos a cada momento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo por la oportunidad de hacer los estudios de Maestría. Al Posgrado en Producción Animal por darme el privilegio de seguir formándome académicamente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamientos dado durante mis estudios de nivel Maestría.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández por la paciencia, dirección, supervisión y enseñanza en todo momento, así mismo por su muy apreciada amistad brindada durante la estancia en la maestría.

Al Dr. Enrique Cortés por darme la oportunidad de trabajar y aprender de las buenas enseñanzas para con el trabajo comunitario y de su muy valiosa amistad durante la estancia en Chapingo.

Al Dr. José Luis Zaragoza Ramírez por su muy valiosa sugerencia en el trabajo de tesis y análisis de datos. Así mismo por su amistad.

Al Dr. Miranda por sus valiosas observaciones al presente trabajo y su amistad durante la maestría.

Al Cuerpo de académicos e investigadores que forman parte del PPA por su experiencia transmitida para formarnos como profesionistas de alta calidad y enfrentar la realidad del sector agropecuario.

A Don Coty, Poly (†) y Claudio por la ayuda brinda para realizar el trabajo de campo en el Ejido “El limón”. Morelos y Doña José por los alimentos que nos proporcionaba después de las jornadas de trabajo.

Al Equipo y amigos de la Agencia Sierra de Huautla, Morelos por la ayuda en el trabajo de campo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Beltario Vázquez Aguilar

Fecha de nacimiento: 4 de febrero de 1981

Lugar de nacimiento: La Independencia, Chiapas

No. de cartilla militar: 0254076

CURP: VAAB8102049HCSZGL05

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional: 5358732



Desarrollo académico

1997-2000	Bachillerato en Ciencias económica-administrativas. Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y Servicios No. 108. Comitán, Chiapas.
2001-2006	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo Maestro en Ciencias en Innovación Ganadera
2008-2009	Posgrado en Producción Animal Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

CONFORMACIÓN ESTRUCTURAL DE *Leucaena leucocephala* A DIFERENTE MANEJO EN VIVERO

La investigación consistió de dos experimentos independientes realizados en invernadero con el objetivo general de determinar la conformación estructural aérea (CEA), aportes de componentes morfológicos (ACM) y dinámica del rebrote (DR) de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. En el primero (EXP1) se evaluaron 13 tratamientos originados de combinar la aplicación o no de poda (PD) y biorreguladores (BIO) a diferente edad de la planta. En el segundo (EXP2) fueron 9 tratamientos en factorial 3 x 3: tres dosis de nitrógeno (0, 25 y 50 kg ha⁻¹) y tres de fósforo (0, 25 y 50 kg ha⁻¹). El diseño fue completamente al azar con 18 y 10 repeticiones en EXP1 y EXP2 respectivamente; la unidad experimental fue una planta. La poda modificó la CEA y ACM aumentando ($p<0.05$) 20 veces la ramificación, reduciendo 33 cm la altura (ALT), 0.8 mm el diámetro del tallo principal (DTP), dos veces la cantidad de tallo (CT) y número de nódulos (NN) en relación con plantas sin poda. En DR, la rama apical tuvo mayor diámetro y longitud con PD a edad tardía. No hubo efecto sinérgico entre PD y BIO en CEA y ACM. La dosis de 50 kg ha⁻¹ de N ocasionó ($p<0.05$) la muerte de todas las plantas, eliminándose del análisis de los datos, quedando un factorial 2 x 3. Fertilizar con N modificó ($p<0.05$) la CEA reduciendo ALT y DPT así como ACM con menor valor en los atributos de raíz (volumen, peso y longitud) y NN; sin embargo, agregar P sólo afectó ($p<0.05$) CT, volumen de raíz y razón tallo:hoja. La poda por sí sola mejora la conformación estructural aérea, sin cambiar los atributos del aporte de los componentes morfológicos de *Leucaena leucocephala*, pero fertilizar con nitrógeno y fósforo reduce el crecimiento de las plantas, con efecto tóxico del N al aplicarlo en cantidad alta.

Palabras clave: *Leucocephala leucocephala*, poda, conformación estructural, componentes morfológicos, fertilización nitrogenada y fosfatada

GENERAL ABSTRACT

STRUCTURE OF *Leucaena leucocephala* UNDER DIFFERENT NURSERY MANAGEMENT

This research consisted of two independent experiments carried out in a greenhouse with the main objective to determine above ground structure (AGS), weights of morphological components (WMC) and regrowth pattern (RP) of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. In the first experiment (EXP1) 13 treatments derived from the combination of application or not of pruning and of two plant growth regulators at different plant age were evaluated. In the second (EXP2) there were nine treatments in a 3X3 factorial: three levels of N (0, 25 and 50 kg ha⁻¹) and three of P (0, 25 and 50 kg ha⁻¹). Experimental design was completely random with 18 and 10 replications in EXP1 and EXP2, respectively, the experimental unit was one plant. Pruning influenced AGS and WMC increasing ($p<0.05$) 20 times branching and decreasing plant height in 33 cm, diameter of main stem in 0.8 mm and two times the stem weight and nodule number in relation to plants without pruning. RP was better ($p<0.05$) in late pruning in terms of diameter and length of first emerged branch after pruning. Plant growth regulators did not improve ($p>0.05$) the response to pruning in AGS or WMC variables. Application of 50 kg N ha⁻¹ caused ($p<0.05$) the dead of all plants, the treatments with this level of N were dropped from further statistical analysis, EXP2 was then analyzed as 2X3 factorial. N fertilization affected ($p<0.05$) both AGS and WMC by decreasing plant height, diameter of main stem, root volume, weight and length and nodule number. P fertilization only affected ($p<0.05$) root volume and stem:leaf ratio. Plant pruning can improve above ground structure of *Leucaena leucocephala* without negative effect on weight of morphological components; while N and P fertilization doesn't improve plant growth in nursery and added N might be toxic and decreases plant survival.

Key words: *Leucocephala leucocephala*, pruning, plant structure, morphological components, N and P fertilization

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La ganadería basada en tecnologías silvopastoriles que involucran árboles y/o arbustos de mediana a alta calidad en praderas de gramíneas tiene beneficios en producción dentro del sistema y en el ambiente.

Los árboles y arbustos pueden hacerse crecer en vivero antes de trasplantarse en campo. El éxito en su establecimiento puede deberse al manejo que reciba el árbol durante esta fase con una forma más adecuada para el ramoneo, se ha encontrado que a una menor altura de la especie arbórea favorece la cantidad de forraje cosechado por animales, ya que la dispersión de ramas es menor y el forraje se concentra en cierto intervalo (Ortega *et al.*, 2009).

Leucaena leucocephala es una leguminosa arbórea ampliamente usada en sistemas silvopastoriles por su contenido alto de proteína cruda, capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico (N₂) y de rebrote. Poco se ha publicado sobre el impacto del manejo en la fase de vivero sobre la conformación estructural aérea y aporte de componentes morfológicos con la que llega al trasplante.

En la segunda sección esta tesis se presenta una revisión de literatura de los conceptos básicos de los Sistemas Silvopastoriles (SSP) así como las diferentes formas de distribución de las especies arbóreas y herbáceas, sus interacciones benéficas y perjudiciales para el sistema y el ambiente.

Las secciones tercera y cuarta presentan los resultados de las investigaciones realizadas con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham crecida en invernadero, donde se midieron la conformación de la estructura aérea y los aportes de componentes morfológicos a diferentes manejos agronómicos: aplicación o no

de poda y biorreguladores; y variación en los niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Sistemas silvopastoriles

Un sistema agroforestal (SA) consiste en la combinación de árboles y arbustos con cultivos creciendo en el mismo terreno; en tiempo simultáneo o en secuencia temporal, con interacciones ecológicas y económicas entre los componentes árboles, animales y pastos (Hernández y Simón, 1993; Santana, 1998).

Un sistema silvopastoril (SSP) es un modelo de los SA que integra árboles, arbustos con potencial forrajero, herbáceas comúnmente gramíneas y animales en una misma superficie y tiempo, donde los componentes y productos vegetales se usan para alimentación animal con la finalidad de incrementar la calidad de la dieta, el rendimiento de forraje, circulación de nutrientes y atenuar los efectos del estrés climático sobre las plantas y animales (Cipagauta *et al.*, s/f; Hernández y Simón, 1993; Pezó e Ibrahim, 1998; Santana y Valencia, 1998).

El SSP es considerado como un modelo ganar-ganar, por incrementar la productividad y generar servicios ambientales (Andrade *et al.*, 2008). La magnitud en la interacción de los componentes, en forma directa o indirecta dentro de los SSP ha generado diferentes modalidades.

Cipagauta *et al.* (s/f) proponen tres modalidades de SSP: árboles con regeneración natural dentro de las praderas; bancos de proteína con leguminosas; y cercas vivas. Kass (1992) luego de una revisión de literatura sobre el tema agrega pastoreo en plantaciones forestales y sistema de árboles

dispersos en el potrero de interés secundario, encaminado a la producción de sombra y refugio del ganado, madera, leña y ocasionalmente frutas. Una variante interesante de este sistema es la incorporación planificada de árboles leguminosos cuyo follaje es desramado intencionalmente para consumo del ganado o como abono orgánico rico en nitrógeno. Milera *et al.* (2006) y Arece *et al.* (2006) agrupan a los SSP en: sistemas de corte y acarreo; banco de proteína en pastoreo; combinación de pastos y árboles leguminosos y de otras familias; y sistemas de multiasociaciones de arbustos a alta densidad de población (5,000 a 25,000 individuos ha⁻¹), leguminosas rastreras y gramíneas en asociaciones bimodales.

En Tabasco, México, los SSP más comunes encontrados fueron: cercas vivas; árboles dispersos en potreros y pastoreo en plantaciones de coco, maderables, palma de aceite y cítricos (Maldonado *et al.*, 2008).

El sistema de cercas vivas se basa en la plantación de árboles y arbustos sobre el perímetro de la superficie de la unidad de producción y de todas las divisiones internas. Los árboles o arbustos se propagan por estacas con alta capacidad de rebrote. De la revisión de diferentes estudios publicados, Hernández y Simón (1993) indican que entre los objetivos más comunes para el uso del sistema de cercas vivas, es que los árboles y arbustos funcionen para proveer sombra, forraje, leña, frutos y cortina rompeviento. Galindo y Murgueitio (2003) añaden que el sistema de cercas vivas reduce la presión sobre bosques y selvas como proveedores de postes, además puede reducir el costo de cercado hasta 54%, con respecto al cercado convencional.

La asociación de gramíneas con leguminosas herbáceas ha tenido un bajo impacto en la adopción por parte de los productores, ya que es difícil mantenerlas productivas por largo tiempo debido a incompatibilidad del tipo de metabolismo fotosintético, que origina poca persistencia a presión de pastoreo y a la invasión de malezas (Galgali *et al.*, 2006). Por ello se ha planteado

únicamente el establecimiento de una o más especies de una misma familia en bancos de proteína.

El sistema de bancos de proteína consiste en la siembra de árboles y arbustos, con follaje de alto contenido de proteína, generalmente leguminosas en lotes compactos a densidades entre 10,000 y 20,000 individuos ha^{-1} , la superficie que está destinada al banco de proteína equivale al 25 ó 33% de la superficie total destinada al pastoreo (Santana, 1998). En algunos casos además del árbol o arbusto se siembran leguminosas herbáceas para protección del suelo. La forma de integración del forraje aportado por el banco de proteína puede ser por corte y acarreo o por pastoreo.

En el aprovechamiento, por pastoreo, se ha señalado como una opción la exposición de los animales pastoreando al banco de proteína por una o dos horas diarias y el resto del tiempo permanecen en la pradera de gramíneas. Hernández y Gutiérrez (s/f) enfatizan que para este sistema deben procurarse árboles y arbustos que contengan un follaje rico en proteína y muestren un rápido rebrote luego del ramoneo.

Los bancos de proteína de leguminosas tienen alta capacidad de fijar Nitrógeno atmosférico (N_2) para aprovechar este N, Hernández y Gutiérrez (s/f) proponen establecer gramíneas para corte dentro del área del banco de proteína. Milera *et al.* (2006) coinciden con otros autores al señalar que si en el área del banco de proteína los árboles o arbustos incorporados, ofrecen un follaje rico en proteína y de alta digestibilidad de la materia orgánica como en el caso de Morera (*Morus alba*) el sistema debe referirse como de banco energético-proteico y no tan solo de proteína.

Milera *et al.* (2006) en una pradera conformada por *Leucaena leucocephala*, *Stylosanthes guianensis*, *Neotonia wightii*, *Terammus labialis*, *Centrocema pubescens*, *Panicum máximum* y *Chloris gayana* y la densidad de *Leucaena* fue

superior a 25,000 plantas ha⁻¹, la leguminosas herbáceas mostraron un mejor comportamiento que el registrado en praderas sin *Leucaena* o a menor densidad. Este resultado puede explicarse en función de que las leguminosas herbáceas eran del metabolismo C₃, por tanto fisiológicamente más adaptadas a las condiciones de menor radicación solar presentes al crecer en el estrato inferior de un SSP (Basto y Feio, s/f).

La producción ganadera es una actividad secundaria en sistemas de pastoreo en plantaciones forestales, el pastoreo se usa como un medio de bajo costo para controlar el crecimiento de la vegetación herbácea, reduciendo la necesidad del uso de herbicidas. Como un efecto adicional de la introducción del ganado a la plantación forestal, es la adición de materia orgánica al suelo por heces y orina (Pezó e Ibrahim, 1998).

Hernández y Gutiérrez (s/f) indican que una modalidad sugerida por otros autores al pastoreo en plantaciones forestales es la siembra de leguminosas herbáceas que ofrecen un forraje de mayor calidad al animal en comparación con la vegetación espontánea y el enriquecimiento del suelo con el N fijado y que puede ser usado por el árbol. Los beneficios del sistema son incrementos en carga animal y producción.

El establecimiento de un modelo específico de SSP debe considerar la disponibilidad y tipo de gramíneas y árboles, tamaño de la propiedad, localización, desarrollo tecnológico del productor, topografía, disponibilidad de mano de obra y recursos económicos (Hernández y Simón, 1993).

2.2. Interacciones entre los componentes de sistemas silvopastoriles

La magnitud de las interacciones entre los agentes productores (árboles, gramíneas, suelo y leguminosas) y consumidores (animales herbívoros y microbiota) dependerá de las especies seleccionadas, la densidad de

plantación, el arreglo espacial y el tipo de SSP que se establezca (Bustamante y Romero, 1991; Santana, 1998).

Pezó e Ibrahim (1998) consideran que las principales entradas de un SSP son: N_2 , precipitación, radiación solar, CO_2 , O_2 , insumos agropecuarios (fertilizantes y semilla) y mano de obra; y señalan como las salidas productos cosechables : carne, leche, madera, leña, fruta y otros. El uso eficiente de los insumos y la magnitud de las salidas de un SSP dependerá de las sinergias y antagonismos que se establezcan entre los componentes del mismo (Figura 1).

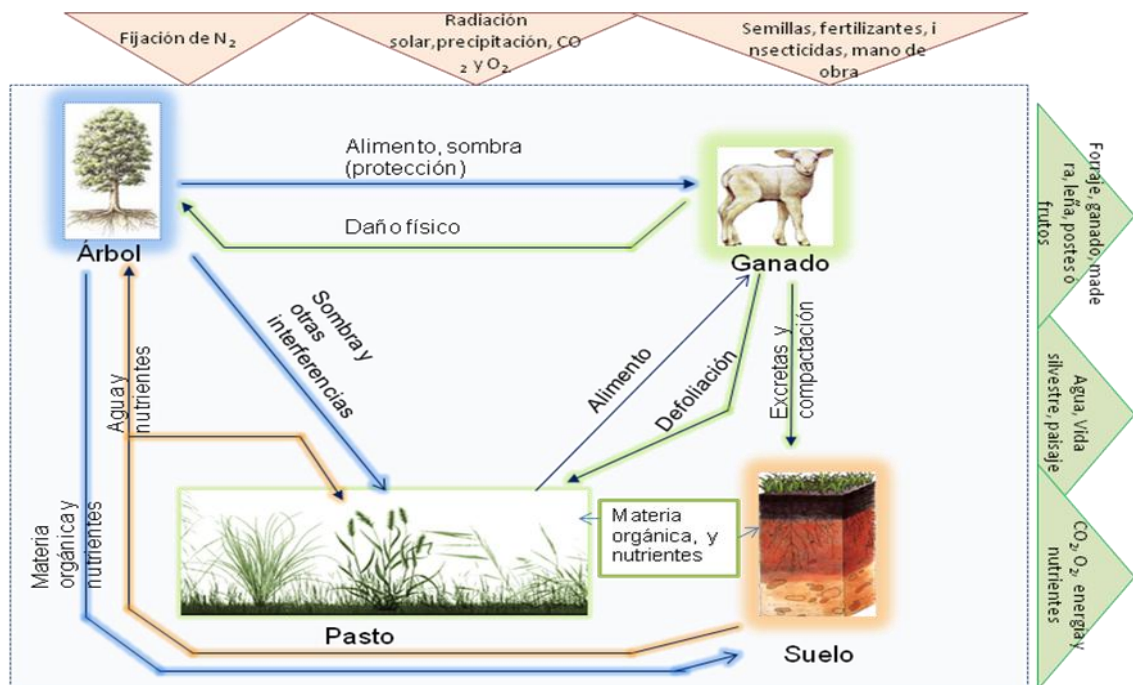


Figura 1. Diagrama de las posibles interrelaciones entre componentes de un sistema silvopastoril.

Las sinergias entre componentes de un SSP pueden originarse por sombra, reciclaje de nutrientes, forraje, disminución del viento y escorrentía; los antagonismos por defoliación, destrucción de tejido vegetal por pisoteo y compactación del suelo. Promover las sinergias y reducir los antagonismos demanda control y definición de los tiempos y momentos de descanso y el uso de cada componente en el momento oportuno (Milera *et al.*, 2006). Hernández y

Simón (1993) y Castillo *et al.* (2005) concluyen a partir de compilar varias experiencias que el dosel herbáceo de gramíneas puede favorecerse del componente árbol ya que éste puede lograr una mayor exploración del subsuelo con sus raíces, exportando nutrientes y agua de capas profundas del perfil del suelo a la superficie del mismo, esta exportación se da a través del follaje que cae al suelo ya sea de forma natural o inducida por podas intencionales promoviendo la acumulación de materia orgánica en las capas superficiales del suelo.

Cuando el componente arbóreo o arbustivo está formado por especies leguminosas, la incorporación al suelo del N obtenido por fijación simbiótica es un beneficio adicional que resultará en mayor rendimiento y calidad del forraje ofrecido a los animales del SSP (Basto y Feio, s/f).

En ambientes con limitaciones en el aporte de agua y nutrientes, el componente arbóreo puede aumentar el rendimiento de forraje de gramíneas C₄ al proveer sombra moderada que origina un microclima de mayor humedad, que a su vez promueve mayor mineralización de la materia orgánica y consecuentemente mayor disponibilidad de nitrógeno (Hernández y Gutiérrez, s/f; Guenni *et al.*, 2008).

Con el aumento en la cobertura arbórea puede haber un efecto detrimental en el rendimiento y calidad del forraje del estrato herbáceo, debido a la competencia por luz, agua y nutrientes (Plevich *et al.*, 2002; Villanueva *et al.*, 2008). La competencia por luz puede reducirse al sembrar especies herbáceas, con capacidad para adaptarse morfológica y fisiológicamente a bajos niveles de irradiación, como es el caso de las gramíneas del género *Brachiaria* tolerantes a la sombra moderada (Guenni *et al.*, 2008), por ser altamente eficientes en el uso de la luz a bajas intensidades (Andrade *et al.*, 2008).

Brachiaria brizantha creciendo bajo sombra de caucho en plantaciones de 3 x 7 m necesitó 14 días más para ser cosechado en comparación con aquellas plantas con crecimiento a pleno sol; sin diferencias en rendimiento de forraje y contenido de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio (Costa *et al.*, 2006).

Deccarett y Blydenstein (1968) observaron que gramíneas creciendo bajo coberturas de leguminosas arbóreas, a una densidad de 60 individuos ha⁻¹ y cobertura aérea de 50%, produjeron un forraje de mayor calidad nutricional, especialmente en el contenido de proteína, sin reducción en la producción de biomasa en comparación a las gramíneas crecidas a pleno sol. En plantaciones de *Pinus elliottii* con 50% de cobertura aérea, el estrato herbáceo tuvo un nivel de acumulación de biomasa aérea y composición botánica similar al estrato herbáceo crecido a pleno sol (Plevich *et al.*, 2002).

La producción animal basada en el aprovechamiento del pasto y forraje arbóreo es un proceso más eficiente de conversión de energía solar a energía vegetal y de ésta a productos pecuarios como carne y leche en comparación a solo usar pasto (Santana y Valencia, 1998). La altura del componente árbol o arbusto modifica la preferencia desarrollada por bovinos, quienes consumieron mayor follaje de *Leucaena leucocephala* cuando se mantenía a una altura de 90 en comparación con 120 cm (Ortega *et al.*, 2009). Borregos Pelibuey mostraron un máximo consumo de follaje de *L. leucocephala* cuando la altura fue de 1 m (Palma y Román, 2008).

Al analizar la información de los factores benéficos del pastoreo en praderas y SSP, Hernández y Gutiérrez (s/f), y Hernández y Simón (1993) concluyeron que la interacción árbol-animal promueve una dinámica de reciclaje de nutrientes más acelerada y superficial que otros cultivos; al favorecer una mayor tasa de renovación del tejido vegetal pero con un retorno casi inmediato de los minerales presentes en el material cosechado vía heces y orina. En un SSP ésta dinámica puede ser aún mayor al incorporar, hojas, frutos y ramas de los

árboles o arbustos sumado a que éstos desarrollan una mayor exploración del perfil del suelo por sus raíces que penetran a mayor profundidad.

La sombra de los árboles mitiga las altas temperaturas principalmente en zonas tropicales; Bustamante y Romero (1991) señalan que éste efecto favorece la reproducción de los animales. Betancourt *et al.* (2003), Restrepo *et al.* (2004) e Ibrahim *et al.* (2007a) encontraron estimaciones de incrementos de 13 y 28% en la producción de leche y carne respectivamente, en animales en potreros con sombra de árboles en comparación a los que pastoreaban a pleno sol, esto debido a una reducción en el estrés calórico y por tanto un mayor consumo voluntario de forraje.

2.3. Factibilidad de los sistemas silvopastoriles

Urbano *et al.* (2002), Ruíz y Febles (2006), y Sánchez *et al.* (2007) observaron que el SSP no necesariamente incrementa la producción individual de leche o carne, pero sí la carga animal debido a una mayor oferta de forraje de mayor contenido proteínico proveniente de las hojas de árboles leguminosos lo que a su vez promueve una digestibilidad mayor del componente herbáceo.

L. leucocephala y *Brachiaria radicans*; *Gliricidia* y *B. radicans*, y *B. radicans* fertilizada con 70 kg N ha⁻¹, mostraron una producción de leche por vaca similar; sin embargo, con el primer tipo de pradera se logró un rendimiento de leche por ha 21 y 55 % superior al de los otros dos tipos de pradera respectivamente. El uso de especies arbóreas incrementó el rendimiento de forraje, la carga animal y con ello el rendimiento de leche por ha, dado que las especies arbóreas fueron leguminosas el aumento de forraje se alcanzó sin aplicar fertilizante nitrogenado y por último la magnitud en el incremento de forraje producido en un SSP depende de la especie arbórea establecida (Urbano *et al.*, 2002). Urbano *et al.* (2006) coinciden en encontrar que el SSP puede incrementar la producción de leche por ha manteniendo similar

producción de leche por vaca que un sistema de pradera monófito de gramínea al aumentar el rendimiento de forraje y con ello la carga animal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de leche por vaca (L día⁻¹) y superficie (L ha⁻¹ año⁻¹) de vacas Holstein X Criollo Limonero en diferente tipo de pradera

Pradera	Producción de leche		Carga animal (UA ha ⁻¹)
	Por vaca	Por superficie	
Silvopastoril ^z	7.9	12,519	4.32
Monófito ^y	7.4	7,831	2.88

^zIntegrado por *Cynodon plectostachyus* y *Leucaena leucocephala*; ^y Con fertilización nitrogenada de 200 kg ha⁻¹ año⁻¹.

La carga animal debe ser adecuada al nivel de producción de forraje para evitar reducciones en el desempeño individual, compactación de suelo por pisoteo excesivo y disminución de la cobertura herbácea (Bustamante y Romero, 1991). En un SSP de pera (*Pyrus communis*), ballico anual (*Lolium multiflorum*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), Sánchez y Ojeda (2004), encontraron la máxima ganancia de peso (83.5 g ovino⁻¹ día⁻¹) con 30 ovinos ha⁻¹, aumentar o disminuir la carga animal provocó menor ganancia diaria debido a falta de forraje y sobre-maduración del mismo, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Aumento en peso^z y ganancia diaria de peso (GDP) en ovinos en un sistema silvopastoril con diferente carga animal

Carga animal (cab ha ⁻¹)	Aumento en peso (%)	GDP (g animal ⁻¹)
45	26.92	52.7
30	38.82	83.5
15	26.16	53.8

^zConsiderando como 100% el peso inicial de 22.5 kg animal⁻¹

Milera *et al.* (2006) y Olivera *et al.* (2008) señalan que el común aumento en la cantidad de forraje al compara un SSP con pradera monófito se debe a que en el SSP el forraje disponible para pastoreo proviene de hojas y frutos de los árboles forrajeros que se desarrollan en un plano superior al de las hojas y tallos del componente herbáceo. Además en épocas secas los árboles frutales benefician al sistema con la disponibilidad de frutos y hojas. Milliani *et al.* (2008)

registraron 2 y 5 veces mayor oferta de forraje en época lluviosa y seca, respectivamente en el SSP en comparación con una pradera monófitas de *Cynodon nlemfuensis* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Oferta de forraje^z (t MS ha⁻¹) en pradera monófitas^y (PM) y con acceso libre (ALB) y restringido^x (ARB) al bosque en época seca y lluviosa

Época	Sistema de producción	Gramínea	Aporte morfológico del árbol			Oferta Total
			Hojarasca	Fruto	Follaje	
Seca	PM	2.2 ^a	0.0 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	2.3 ^b
	PM + ARB	1.6 ^b	8.0 ^a	0.17 ^a	0.96 ^a	10.8 ^a
	PM+ALB	1.4 ^b	7.7 ^a	0.19 ^a	0.54 ^a	9.9 ^a
Lluviosa	PM	2.5 ^a	0.0 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	2.5 ^b
	PM+ARB	1.9 ^b	2.7 ^a	0.12 ^a	1.25 ^a	5.9 ^a
	PM+ALB	1.8 ^b	3.0 ^a	0.13 ^a	0.83 ^a	5.8 ^a

^zMedias sin una letra en común, dentro de columnas, son diferentes ($p \leq 0.05$); ^y*Cynodon nlemfuensis* en monocultivo; ^xAcceso de 11:00 a 16:00 h.

Olivera *et al.* (2008) encontraron en un SSP con *Panicum maximum* cv. Likoni y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham una mayor estabilidad morfológica, persistencia y vida útil después de 10 años de ser establecida en comparación a la pradera monófitas de gramínea al ser sometidas a un manejo de aprovechamiento intensivo, sin riego y ni fertilización.

Ibrahim *et al.* (2007b) y Zapata *et al.* (2007) concluyen que los SSP pueden ser cubiertas vegetales con mayor capacidad de almacenar CO₂ y recuperar suelos al mismo tiempo de generar beneficios ambientales como: conservación de la biodiversidad, regulación hídrica y belleza escénica. Los bosques primarios y secundarios pueden desarrollar una capacidad de captación de 25 a 230 t CO₂ ha⁻¹ muy superior a la de cultivos anuales o de praderas monófitas (Kanninen, 2001; Ruiz, 2002).

En los SSP con una cobertura aérea extensa por árboles y estrato herbáceo, el potencial para almacenar CO₂ en hojas, suelo, y en raíces profundas es alto por

un mayor intercambio de CO₂ atmosférico vía fotosíntesis, respiración y descomposición (Ibrahim *et al.*, 2007a).

Ibrahim *et al.* (2007b) encontraron que praderas nativas y mejoradas con árboles capturan hasta 2.9 veces más carbono del suelo y biomasa aérea que praderas degradadas (Figura 2), debido a que el proceso de envejecimiento y descomposición emiten carbono a la atmósfera.

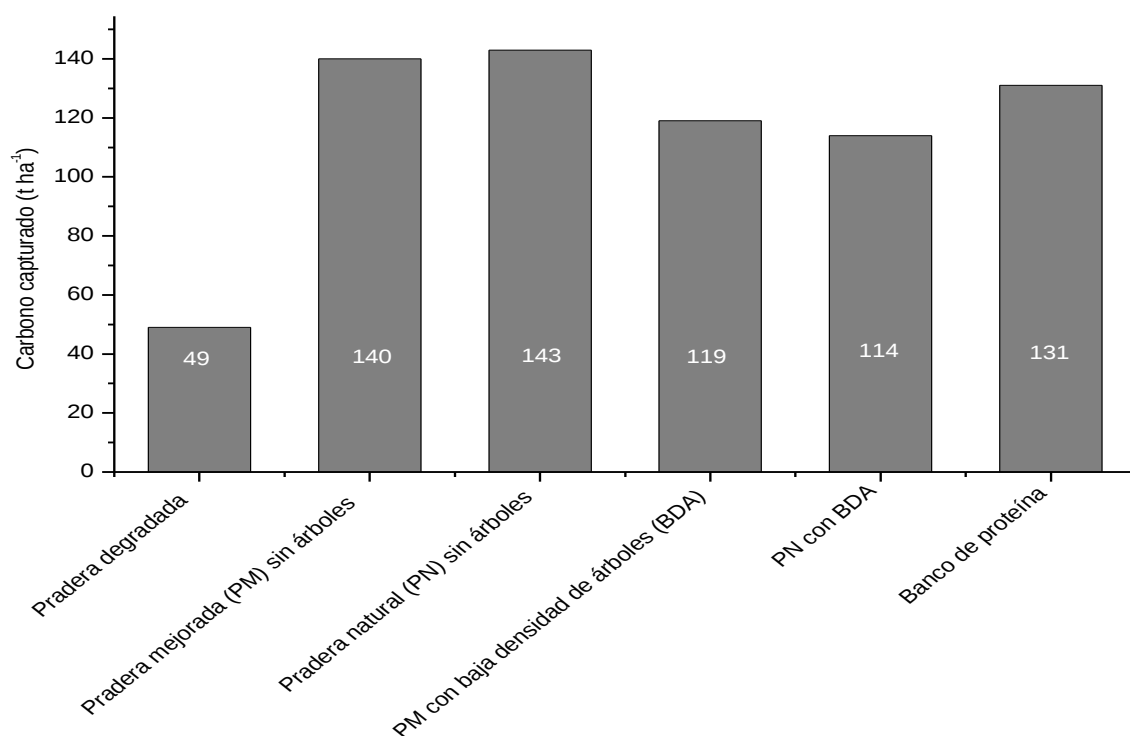


Figura 2. Captura de carbono con diferentes usos de suelo en Costa Rica y Nicaragua.

La cantidad de CO₂ almacenado dependerá de la edad y tipo de vegetación, de la densidad de árboles y factores climáticos, todos estos factores producen una variación de 8.2 a 183 t CO₂ ha⁻¹ (Ruiz, 2002; Manson *et al.*, 2008). Arias *et al.* (2001) cuantificaron en árboles de *Gliricidia sepium* dispersos en praderas hasta 309 kg ha⁻¹ de CO₂ almacenado mientras que en forma de callejones fue de 654 kg CO₂ ha⁻¹, generando además hábitat y recursos que facilitaron la

persistencia de especies de plantas y animales (Harvey, 2001). Al respecto Ibrahim *et al.* (2007b) encontraron mayor persistencia de especies forrajeras en la asociación de *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum* y cuantificaron mayor diversidad de aves migratorias, lombrices y coleópteros.

En un SSP la conservación, incremento y distribución de la fauna y microfauna está asociado directamente al tipo y estructura de la vegetación dado que presenta abundante sombra, fuente de alimento, protección contra depredadores y mejoramiento del pH del suelo (Farías y Sánchez, s/f; Ramírez y Enríquez, 2003).

Las raíces de los árboles y arbustos de un SSP rompen las capas duras del suelo dando protección física al suelo, mejorando la aireación e infiltración de agua, al descomponerse aportan materia orgánica, mejoran la estructura y composición química del suelo, e incrementan el pH y reducción de la erosión del suelo; factores que son limitantes en climas tropicales para el crecimiento de raíces (Hernández y Simón, 1993).

Razz *et al.* (1992) agregan que en el diseño de cualquier SSP debe procurarse la incorporación de leguminosas ya que son la vía para mejorar la fertilidad del suelo por la incorporación al suelo del N fijado simbióticamente. Ibrahim *et al.* (2007b) lograron reducir la escorrentía superficial en 50-60 % y la pérdida de suelo en 75-90 % cuando la reforestación fue en multiestratos: árboles, arbustos y herbáceas (gramíneas y leguminosas) en comparación con la pradera monófito. Ventura y Rodríguez (2002) agregan que se debe considerar también el uso de especies de muy rápido desarrollo como *Colopogonium mucooides* que en 90 días puede dar una cobertura 77% mayor que otras especies de más lento desarrollo.

Pese a todas las mejoras en la producción dentro del sistema y los servicios ambientales generados, en México los SSP no han sido adoptados como tales.

El pago de servicios ambientales (PSA) a los agricultores por la incorporación de especies arbóreas a su sistema de producción, podría constituir una opción para mejorar el bienestar de las familias campesinas y equilibrar las interacciones entre producción pecuaria y conservación del medio ambiente (Hernández y Simón, 1993).

Pedroni (2001) afirma que el pago de servicios ambientales no es un subsidio a la producción forestal o pecuaria; sino la cantidad que la sociedad y las empresas están dispuestas a pagar por consumir combustible, agua, compensación de emisiones de carbono, disfrute de la belleza escénica e interesarse en la protección de biodiversidad. Zapata *et al.* (2007) y otros autores revisados por Ibrahim (2007a) consideran que este tipo de pago es una alternativa para incentivar el establecimiento de SSP cuando el capital es limitante.

2.4. Establecimiento de un sistema silvopastoril

En el diseño y establecimiento de un SSP deberá considerarse la adaptación fisiológica a baja intensidad de luz de la especie arbórea y/o arbustiva y espaciamiento entre individuos como especie y edad del animal (Hernández y Gutiérrez s/f; Basto y Feio, s/f). En la fase de establecimiento del SSP (siembra, emergencia, crecimiento y manejo inicial), la etapa crítica para el desarrollo de las plantas y para definir el tiempo de utilizar la pradera y prolongar su vida útil. Esto último depende de factores edáficos, climáticos (humedad, temperatura y luz) y de manejo (forma, época, profundidad y densidad de siembra) (Ruiz y Febles, 2006).

La persistencia de un SSP depende de la edad de la planta al primer pastoreo. Ruiz y Febles (2006) observaron mayor persistencia de *Leucaena leucocephala* cuando el primer pastoreo se realizó a tres años después de la siembra y

concluyeron que lo anterior dependerá de las condiciones de humedad y temperatura durante la etapa inicial de crecimiento de esta especie.

Temperaturas bajas, causan estrés fisiológico a las especies forrajeras tropicales, reducen el establecimiento de las especies arbóreas y rendimiento de forraje (Blanco, 1986). Castillo *et al.* (2005) observaron que pasturas nativas tropicales expuestas a temperaturas bajas y suelo con poca humedad en época de invierno y alta evapotranspiración redujo su establecimiento y la producción de forraje.

Las condiciones edáficas son importantes en determinar el éxito del establecimiento de un SSP; Kamprath (1967) y López *et al.* (1999) encontraron que la composición mineral del suelo puede limitar la penetración raíces, alterando la expansión de la masa radical, por ejemplo la masa radical fue menor cuando el Ca intercambiable fue menor a $0.15 \text{ c mol dm}^{-3}$, por una alta sensibilidad de las raíces a Al^{+3} . Los suelos de climas tropicales son ácidos, pobres en Ca y Mg, y una alta saturación de Al^{+3} (Esqueda *et al.*, 1995). Zapata *et al.* (2009) registraron variaciones en el rendimiento de algunos arbustos tropicales según crecieran en uno u otro tipo de suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Producción de forraje por superficie (kg MS ha⁻¹) y planta (g MS) en arbustos tropicales crecidos en diferente tipo de suelo

Especie de arbusto	Tipo de suelo		
	Cambisol Epi-léptico	Cambisol endo-esquelético	Luvisol ródico
Superficie			
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.2 ^z	0.9 ^b	0
<i>Piscidia psiculata</i>	11.0 ^a	3.4 ^b	3.5
<i>Bauhinia divaricata</i>	5.4 ^b	10.3 ^a	13.7
Planta			
<i>Leucaena leucocephala</i>	116 ^a	31.6 ^b	0
<i>Piscidia psiculata</i>	51 ^a	39.3 ^a	30.7 ^a
<i>Bauhinia divaricata</i>	19 ^a	21.4 ^a	17.6 ^a

^zMedias sin una letra en común, dentro de columnas, son diferentes ($p \leq 0.05$)

La mayor limitación para la producción de pasturas en sistemas sin riego, es la alta probabilidad de periodos secos, especialmente en lugares donde solamente cada 13 años hay una adecuada distribución de la precipitación (López *et al.*, 1999). Esqueda *et al.* (2005) y Hernández y Gutiérrez (s/f) mencionan que en la fase de establecimiento de un SSP, se requiere un balance hídrico con suelos capaces de retener el agua, para garantizar la germinación de las semillas, crecimiento de las plántulas y la asimilación de los nutrimentos en solución del suelo.

La distribución adecuada de los componentes del estrato herbáceo y arbóreo favorece una máxima intercepción de la radiación solar, conservación de la humedad en la capa superficial del suelo y el control de malezas. En la etapa de plántula del componente arbóreo la competencia por humedad puede ser muy alta en los primeros 10 cm del perfil del suelo, además en plántulas con raíz pivotante la masa radical con crecimiento lateral es muy reducida por lo que la obtención de agua y nutrimentos en esta etapa puede ser muy limitada marcando un alto riesgo de fracaso en el establecimiento (Basto y Feio, s/f; Blanco, 1986; Ruiz y Febles, 2006).

Leucaena leucocephala es una de las especies con mayor cantidad de estudios publicados como componente de SSP por la calidad del forraje producido, alto

rendimiento y rápido rebrote (Hernández *et al.*, 2003). Cameron *et al.*, (1994) mencionan que muchas especies arbóreas no son adecuadas para SSP por la pobreza nutrimental del follaje y escasa versatilidad para crecer en ambientes edáficos y climáticos diversos. En otros casos el follaje de las especies arbóreas presenta compuestos orgánicos que alteran el estado de salud del animal o de enzimas digestivas, en general estos compuestos son referidos como factores anti-nutricionales (Norton, 1998; García, 2004)

En la planta los factores anti-nutricionales (FAN) son una defensa contra depredadores, fuente de reserva para la biosíntesis de compuestos endógenos (Poulton, 1990) o forman compuestos de proteína sobrepasante útil para rumiantes ya que reducen la parasitosis y timpanismo (García *et al.*, 2008a; García *et al.*, 2008b). Kumar (1992) clasificó a los FAN por el grupo funcional y otros investigadores revisados por García (2004) lo hacen en función al tipo de metabolito (Cuadro 5).

Cuadro 5. Factores anti-nutricionales en función al tipo de metabolito con que interacciona.

Factor	Metabolito con que interacciona
Que afectan la utilización de las proteínas	Inhibidores de proteasas, Lectinas, Saponinas y Taninos
Que afecta la utilización de carbohidratos	Inhibidores de amilasas, taninos
Factores que inactivan las vitaminas	Antivitaminas

Los niveles de metabolitos varían según la parte de la planta, la familia botánica, el cultivo, la variedad, las condiciones de crecimiento y las estaciones del año (Paterson, 1993); esto coincide con los hallazgos de García *et al.* (2008b) en *Pithecellobium pedicellare* y *Leucaena leucocephala* encontrando altos porcentajes de fenoles totales, taninos condensados (TC) y taninos precipitantes de proteína (TPP) (Cuadro 6). Estos autores concluyeron que los niveles contenidos en esta especie pueden causar efectos benéficos para los rumiantes (TC<6% y TPP<2.2%).

Cuadro 6. Fenoles totales (FT), Taninos condensados (TC) y Taninos precipitantes de proteína (TPP) en follaje de árboles forrajeros a los 90 días de edad.

Especie	Compuesto anti nutricional (%) ^z		
	FT	TC	TPP
<i>Chlorophora tinctoria</i>	1.43 ^c	0.7 ^b	nd
<i>Morus alba</i>	2.21 ^b	nd ^y	nd
<i>Pithecellobium pedicellare</i>	4.35 ^a	1.88 ^a	2.32 ^b
<i>Gliricidia sepium</i>	2.01 ^b	0.45 ^c	0.15 ^d
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1.73 ^c	0.10 ^c	1.02 ^c
<i>Cordia alba</i>	3.32 ^a	nd	nd
<i>Trichanthera gigantea</i>	2.18 ^b	nd	nd
<i>Tithonia diversifolia</i>	1.49 ^c	nd	nd
<i>Leucaena leucocephala</i>	4.32 ^a	2.15 ^a	4.20 ^a
<i>Moringa oleífera</i>	3.87 ^a	1.02 ^b	0.30 ^d
<i>Azadirachta indica</i>	4.87 ^a	0.97 ^b	1.25 ^c
<i>Samanea saman</i>	4.23 ^a	0.34 ^c	2.76 ^b

^zMedias sin una letra en común, dentro de columnas, son diferentes ($p \leq 0.05$); ^yno determinado

Ibrahim *et al.* (2007b) concluyen que las especies más usadas para SSP en condiciones tropicales son: *Gliricidia sepium*, *Creatylia argentea*, *Morus alba*, *Leucaena spp*, *Guazuma ulmifolia*, *Brosimum alicastrum*, *Trichanthera gigantea* y *Erythrina berteroana*. Para Chiapas, México, Gómez *et al.* (2006) identifican 60 especies arbóreas forrajeras promisorias para el uso en SSP, destacando entre ellas a: *Guazuma ulmifolia*, *Acacia milleriana*, *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala* por ser multipropósito (forraje, leña y cerca viva).

Leucaena leucocephala se ha empleado en diferentes SSP por su valor forrajero, capacidad de fijador de nitrógeno y control de erosión (Ruiz y Febles, 2006), sin embargo, es de lento crecimiento en la fase de establecimiento, por lo que aumentan los costos y puede originar que la fase inicial sea improductiva (Basto y Feio, s/f; Cepero *et al.*, 2001).

En los SSP han implementado diferentes estrategias para asegurar el éxito de la fase de establecimiento, usando temporalmente cultivos intercalados, antecediendo a la especie de gramíneas o arbórea o bien manejo previo en vivero.

La producción de plantas en vivero puede ayudar a mejorar la arquitectura de la planta con podas y aplicación de biorreguladores para fomentar la diferenciación y desarrollo de las yemas laterales o proporcionando condiciones que ayuden a tener una planta vigorosas por aplicación de fertilizantes (Torres *et al.*, 2008). A pesar de estas ventajas posibles existe poca información al respecto en relación a árboles forrajeros.

El estudio del comportamiento del animal que integra el SSP es quizás el componente más estudiado. El comportamiento ingestivo y la aceptabilidad por parte del animal, de una especie arbórea forrajera, está asociado a compuestos secundarios, características estimuladoras del consumo, especie y edad del animal y la fenología, estructura y disponibilidad de forraje (García *et al.*, 2008a y Ortega *et al.*, 2009). Según Paterson (1993) y García *et al.* (2008a) el consumo de forraje de especies arbóreas es mayor en cabras que en ovinos y bovinos (Cuadro 7) debido a su capacidad selectiva y hábito de ramoneo diversificado.

Cuadro 7. Consumo^z (g MS kg PV⁻¹ 6h⁻¹) de follaje de especies arbóreas (con 90 días de rebrote) por bovinos, ovinos y caprinos.

Especie	Bovinos ^y	Ovinos	Caprinos
<i>Chlorophora tinctoria</i>	1.76 ^a	2.04 ^a	9.21 ^a
<i>Morus alba</i>	1.86 ^a	2.47 ^a	7.49 ^b
<i>Pithecellobium pedicellare</i>	2.08 ^a	1.98 ^a	7.04 ^b
<i>Gliricidia sepium</i>	0.69 ^b	1.07 ^b	5.05 ^c
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1.87 ^a	2.32 ^a	4.55 ^c
<i>Cordia alba</i>	1.74 ^a	1.99 ^a	4.32 ^c
<i>Trichantera gigantea</i>	0.01 ^c	0.54 ^c	4.30 ^c
<i>Tithonia diversifolia</i>	0.67 ^b	0.99 ^b	3.88 ^c
<i>Leucaena leucocephala</i>	2.07 ^a	1.98 ^a	2.18 ^d
<i>Moringa oleífera</i>	0.48 ^b	0.98 ^b	1.85 ^d
<i>Azadirachta indica</i>	0.48 ^b	0.25 ^c	0.68 ^e
<i>Samanea saman</i>	0.37 ^b	0.32 ^c	0.62 ^e

^zMedias sin una letra en común, dentro de columnas, son diferentes ($p \leq 0.05$); ^yPeso vivo fue de 157, 29 y 36 kg en bovinos, ovinos y caprinos, respectivamente.

El factor crítico en los SSP es la carga animal, esta debe ser adecuada al nivel de forraje disponible para pastoreo y mantener las plantas arbóreas y el estrato

herbáceo con una alta densidad. Un alto número de animales por área aumentan los riesgo de daño a los árboles y al suelo desequilibrando la competencia por nutrientes y agua entre las especies vegetales (Basto y Feio, s/f).

2.5. Conclusiones generales

Los sistemas silvopastoriles son una alternativa para producir alimentos de origen animal, reducir el deterioro ambiental y una opción para productores con una visión de conservar los recursos naturales.

La distribución y empleo de los componentes de árbol, arbusto y herbáceo da origen a diferentes modalidades de sistemas silvopastoriles, con manejo y resultados distintos, por lo que el empresario ganadero deberá adoptar la organización y estructura vegetal que mejor convenga a sus expectativas de producción.

Los sistemas silvopastoriles no aumentan la producción individual de leche o carne, pero si el rendimiento por superficie, con beneficios ambientales en la belleza escénica, conservación y recuperación de recurso suelo, agua, microflora y fauna.

Al establecimiento de un sistema silvopastoril debe tomarse en cuenta la relación entre el componente árbol y animal, la presencia de compuestos anti-nutricionales, los beneficios al suelo y la adaptación de las especies vegetales al suelo y clima. Para reducir el tiempo para el pastoreo es conveniente aplicar un manejo previo a las plantas en vivero.

2.6. Literatura citada

- Andrade H., J., H. Esquivel H., y M. Ibrahim. 2008. Disponibilidad de forraje en sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Zootecnia Tropical* 26(3): 289-292.
- Arece, J., C. Mazorra, A. Borroto, E. León, N. Fonseca, y Y. López. 2006. Sistemas de alimentación para pequeños rumiantes. *In: Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos*. Milera, C. R (comp). Universidad de San Carlos de Guatemala. Cuba. pp: 316-326.
- Arias S., K., C. Ruiz S., M. Milla, H. Messa F., y A. Escobar. 2001. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. *In: Potencial de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales*. CATIE, FAO y LEAD, Turrialba. pp: 73-83 .
- Basto, V. J., y D. Feio V. s/f. Sistemas silvopastoriles en la amazonia oriental. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. <ftp://ftp.fao.org/DOCREP/NONFAO/LEAD/X6343S/X6343S00.PDF>, consultado al día 24 de agosto de 2009.
- Betancourt, K., M. Ibrahim, C. Harvey, F. Jiménez, y B. Vargas. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Revista de Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 47-51.
- Blanco G., F. 1986. Cambios en interacciones de la composición botánica, el rendimiento y la calidad en tres pastos tropicales. Tesis Profesional. Doctor en Ciencias. Escuela Superior de Agricultura de Praga, Checoslovaquia. Cuba. 83 p.
- Bustamante, J., y F. Romero. 1991. Producción ganadera en un contexto agroforestal: Sistemas silvopastoriles. *Carta de RISPAL* 20: 3-5.
- Cameron, D., S. Rance, E. Charles D., y D. Jones. 1994. Árboles y pasto. Un estudio sobre efectos de espaciamento. *Revista de Agroforestería de las Américas*. <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/X6301S/X6301S00.pdf> consultado el día 14 de septiembre de 2009.
- Castillo G., E., M. Valles B., L. í t Mannetje, y S. Aluja A. 2005. Efecto de introducir *Arachis pintoí* sobre variables del suelo de pasturas de grama nativa del Trópico húmedo mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 43(2): 287-295.
- Cepero, L., R. Mesa A., G. Lajonchere, y M. Prieto. 2001. Estimulación del crecimiento de *Lecucahena leucocephla* cv. Cunningham con rayos gamma de cobalto 60. *Pastos y Forrajes* 24(3): 235-239.
- Cipagauta H., M., J. E. Velásquez E., y J. E. Gómez. E. s/f. Estrategias de implementación y experiencias agrosilvopastoriles con pequeños

- productores en el Piedemonte Amazónico Colombiano. http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AFRIS/espanol/Document/AGRO_F99/Cipagaut.htm consultado el día 12 de mayo de 2008.
- Costa N., L., R. Townsend C., A. Magalhaes J., G.A. Pereira R., y M. Azevedo D. 2006. Comportamiento forrageiro da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em sistema silvipastoril na Amazonia Brasileira. *Pasturas Tropicales* 28(3): 1-16.
- Deccarett, M., y J. Blydenstein. 1968. La influencia de los árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. Resumen. Centro de Información Tecnológica. <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ZOO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mn=000289> consultado el día 10 de noviembre de 2009.
- Esqueda C., M., H. Melgazo C., M. Sosa C., R. Carrillo R., y J. Jiménez C. 1995. Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad/sequia en tres tipos de suelos. *Técnica Pecuaria en México* 43(1): 101-115.
- Farías M., J., y A. Sánchez. s/f. Efecto del aplazamiento del uso sobre la producción de forraje, contenido de proteína bruta y digestibilidad de la asociación de Buffel y Leucaena. Instituto de investigaciones Agrícolas de Falcon, Coro, Venezuela. http://www.aida-itea.org/jornada38/sistemas/miscelanea/m5_faria.pdf consultado el día 20 de enero de 2009.
- Galgali, K. K., M. Shelton H., F. Mullen B., and C. Gutteridge R. 2006. Animal production potential of some new Leucaena accessions in the Markham Valley, Papua New Guinea. *Tropical Grasslands* 40: 70–78.
- Galindo, W., y E. Murgueitio. 2003. Herramientas de manejo sostenible para la ganadería Andina. *In*: Manejo sostenible de los sistemas ganaderos Andinos. CIPAV. Cali, Colombia. pp:19-88.
- García D., E. 2004. Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y su forma de cuantificación. *Pastos y Forrajes* 27(2): 101-116.
- García D., E., G. Medina M., L. Cova, M. Soca, P. Pizzani, A. Baldizán, y E. Domínguez A. 2008a. Aceptabilidad de forraje arbóreo tropicales para vacunos, ovinos y caprinos en el estado de Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 26(3): 191-196.
- García D., E., H. Wencomo B., E. González M., G. Medina M., J. Cova L., y I. Spengler. 2008b. Evaluación de diecinueve ecotipos de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit basada en la calidad de nutritiva de forraje. *Zootecnia Tropical* 26(1): 1-10.
- Gómez C., H., J. Nahed T., A. Tewolde, R. Pinto R., y J. López M. 2006. Áreas con potencial para establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México* 44(2): 219-230.

- Guenni O., S. Seiter, and R. Figueroa. 2008. Growth response of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grassland* 42: 75-87.
- Harvey, C. 2001. La conservación de la biodiversidad en los sistemas silvopastoriles. *In: Potencial de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales*. CATIE, FAO y LEAD, Turrialba. pp: 23-32.
- Hernández, I., L. Simón, y P. Duquesne. 2003. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbbeck*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* asociadas con pasto bajo pastoreo. *In: Agroforestería para la Producción Animal en América Latina*. <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s00.htm#Contents> consultado al día 24 de julio de 2009.
- Hernández, I., y L. Simón. 1993. Los sistemas silvopastoriles: empleo de la agroforestería en las explotaciones ganaderas. *Pastos y Forrajes* 16(2): 99-109.
- Hernández, S., y A. Gutiérrez M. s/f. Manejo de sistemas agrosilvopastoriles. <http://www.research4development.info/PDF/Outputs/R6606q>. Consultado el día 12 de noviembre de 2009.
- Ibrahim, M., M. Chacón, C. Cuartas, J. Naranjo, G. Ponce, P. Vega, F. Casasola, y J. Rojas. 2007a. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería de las Américas* 45: 27-36.
- Ibrahim, M., P. Villanueva C., y F. Casasola. 2007b. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en centro América. *Archivos Latinoamericanos en Producción Animal* 15(1): 73-87.
- Kamprath, E. J. 1967. Soil acidity and response to liming. *International Soil Testing Agricultural Experimental* <http://www.soil.ncsu.edu/about/century/soilacidity.html> consultado el día de 14 de julio de 2009.
- Kanninen, M. 2001. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. *In: Potencial de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales*. CATIE, FAO y LEAD, Turrialba. pp: 55- 57.
- Kass, M. 1992. Experiencias del CATIE en el uso de los follajes de árboles leguminosos como suplemento proteico para los rumiantes. *In: IX Seminario Científico Nacional y I Hispanoamericano de Pastos y Forrajes de la EEPF "Indio Hatuey"*. 3 al 6 de marzo. Matanzas, Cuba. p. 138.
- Kumar, R. 1992. Antinutritional factors. The potential risks of toxicity and the methods to alleviate them. *In: Legumes trees and other fodder trees as protein source for livestock*. FAO Animal. Production and health

paper.102. 145 pp <http://www.fao.org/docrep/003/T0632E/T0632E10.htm#ch10>, consultado al día 9 de noviembre de 2009.

- López, A., M. Ayarza, y R. Thomas. 1999. Sistemas agropastoriles en las sabanas de América Latina Tropical. Lecciones de desarrollo agrícola en los cerrados de Brasil. *In: Sistemas agropastoriles en sabanas Tropicales de América Latina*. CIAT y EMBRAPA. 328 p.
- Maldonado M., N., D. Grande J., E. Fuentes E., S. Hernández, F. Pérez-Gil, y A. Gómez. 2008. Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México. El caso de Tabasco. *Zootecnia Tropical* 26(3): 305-308.
- Manson R., H., O Hernández V., S Gallina, y K. Mehlreter. 2008. Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, manejo y conservación. Instituto Nacional de Ecología. Mexico, D.F. 230 p.
- Milera, M., D. Hernández, L. Lamela, A. Senra, O. López, y G. Martín. 2006. Sistemas de producción de leche. *In: Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos*. Milera, C. R (comp). Universidad de San Carlos de Guatemala-Estación Experimental Indio Hatuey. pp: 365-366.
- Milliani, T., F. Espinoza, L. Gil J., A. Baldizan, y Y. Díaz. 2008. Oferta de forraje en un sistema silvopastoril en la región noreste del estado de Guarico, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 26(3): 297-299.
- Norton, B. W. 1998. Anti-nutritive and Toxic Factors in Forage Tree Legumes. *In Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. The Tropical Grassland Society of Australia Inc. <http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/PUBLICAT/Gutt-shel/x5556e00.htm#Contents> consultado al día 9 de noviembre de 2009.
- Olivera C., Y., T. Sánchez S., y L. Testino. 2008. Caracterización morfológica de las especies predominantes en un sistema silvopastoril con gramíneas y leguminosas mejoradas después de 10 años de explotación. *Zootecnia Tropical* 23(3): 323-326.
- Ortega R., L., J. E. Castillo H., y F. A. Rivas P. 2009. Conducta ingestiva de bovinos Cebú adultos en leucaena manejada a dos alturas diferentes. *Técnica Pecuaria en México* 47(2): 125-134.
- Palma L., M., y L. Román. 2008. Cambios en la conducta ingestiva de los ovinos al modificar la altura de pastoreo de *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical* 26 (3): 371-374.
- Paterson R., T. 1993. Use of trees by livestock. Antinutritive factors. Natural Resources Institute. 16 pp. <http://www.smallstock.info/research/reports/R5732/Anit-nutritive-factors.pdf> consultado el día 9 de noviembre de 2009.
- Pedroni, L. 2001. Oportunidades y requisitos para el pago de servicios ambientales a proyectos de desarrollo limpio. *In: Potencial de los*

- sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales. CATIE, FAO y LEAD, Turrialba: 144-156.
- Pezó, D., y M. Ibrahim. 1998. Sistemas silvopastoriles. Módulo de enseñanza agroforestal CATIE. pp: 2- 24.
- Plevich, J., C., Nuñez, J. Cantero, M. Demaestri, y S. Viale. 2002. Biomasa de pastizal bajo diferentes densidades de pino (*Pinus elliottii*). Avances de Investigación. Agroforestería de las Américas 9(33): 19-23.
- Poultton, J. E. 1990. Review: Cyanogenesis in plants. Plant physiology 94 (2): 401-405.
- Ramírez, M., y L. Enríquez M. 2003. Riqueza y diversidad de hormigas en sistemas silvopastoriles del Valle del Cauca, Colombia. Livestock Research for Rural Development 5 (1). <http://ftp.sunet.se/wmirror/www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/cont135.htm> consultado el día 14 de octubre de 2009.
- Razz R., Gonzalez R., J. Faria, D. Esparza, y N. Faria. 1992. Effect of frequency and intensity of defoliation on nutritive value of *Leucaena leucocephala*. Revista Facultad de Agronomía 9: 109-114.
- Restrepo, C., M. Ibrahim, C. Harvey, M. Harmand, y J. Morales. 2004. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en las fincas ganaderas en trópico seco en Cañas, Costa Rica. Agroforestería de las Américas 11(41): 29-36.
- Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás Nicaragua. Turrialba. CATIE. pp: 111-116.
- Ruiz, T. E., y G. Febles. 2006. Agrotecnia para el fomento de sistemas con leguminosas. In: Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. Milera, C. R (comp). Universidad de San Carlos de Guatemala. pp: 104-105.
- Sánchez, T., L. Lamela, y O. López O. 2003. Efecto de una asociación de leucaena con gramíneas mejoradas en la producción de leche. Pastos y Forrajes 26: 137-145.
- Sánchez, T., M. Milera., L. Simon L., L. Lamela, y O. López. 2007. Las potencialidades de las asociaciones de las gramíneas-leguminosas como alimento de los rumiantes. Revista electrónica Veterinaria 5(12): 1695-1704.
- Sánchez M., V., y F. Ojeda. G. 2004. Desarrollo y evaluación de un sistema integrado de producción peral-ovinos. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba. 70 p.
- Santana R., M. O. 1998. Los sistemas agroforestales y su clasificación. In: I Seminario regional "Producción Ganadera Sustentable. Silvopastoreo. 19 de Noviembre de 1998. Caucasia, Colombia. pp: 8-18.

- Santana R. M. O., y J. D. Valencia R. 1998. I Seminario regional "Producción Ganadera Sustentable. Silvopastoreo. 19 de noviembre de 1998. Cauca, Colombia. pp: 8-18.
- Torres Z., J. P., J. I. Cortés F., A. Turrent F., E. Hernández R., y A. Muratalla L. 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalado con milpa. *Tierra Latinoamericana* 26(3): 265-273.
- Urbano, D., C. Dávila., F. Castro, y P. Moreno. 2002. Efecto del tipo de pastura y suplementación sobre la producción y calidad de leche en vacas doble propósito. *Revista Científica FCV-LUZ*. XII (suplemento 2): 524-527.
- Urbano, D., C. Dávila., H. Cañas, F. Castro, y P. Moreno P. 2006. Comparación del sistema silvopastoril y gramíneas sobre la producción y calidad de leche de vacas criollo limonero. *In: Simposio-Taller: Experiencias en Agroforestería ejecutadas o en proceso por el INIA*. pp. 58-67.
- Ventura, L. M, y O. Rodríguez. 2002. Comparación entre las leguminosas maní forrajero (*Arachis pintoï*), Kudzú tropical (*Pueraria phaseooides*), Centro (*Centrosema pubescens*) y Calopogonio (*Calopogonium mucunoides*), como cobertura y mejoradoras de la fertilidad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Superior de Agricultura (ISA). Santiago de Los Caballeros, República Dominicana. 53 p.
- Villanueva, C., M. Ibrahim, J. Rios, y C. J. Suárez. 2008. Disponibilidad de *Brachiaria brizantha* en potreros con diferentes niveles de cobertura arbórea en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Zootecnia Tropical* 26 (3): 293-296.
- Zapata B., G., F. Bautista Z., y M. Astier C. 2009. Caracterización forrajera de un sistema silvopastoril de vegetación secundaria con base en la aptitud del suelo. *Técnica Pecuaria en México* 47(3): 257-270.
- Zapata, A., E. Murgueitio, C. Mejía, F. Zuluaga A., y M. Ibrahim. 2007. Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la Cuenca media del río La Vieja, Colombia. *Avances de investigación. Revista de Agroforestería de las Américas* 45: 34-40.

3. DESARROLLO DE *Leucaena leucocephala* CRECIDA EN VIVERO CON APLICACIÓN DE PODA Y BIORREGULADORES

3.1. Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la conformación estructural aérea (CEA), aporte de los componentes morfológicos (ACM) y la dinámica del rebrote (DR) en *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham crecida en invernadero, al variar la aplicación de poda y biorreguladores. Para ello se evaluaron 13 tratamientos originados de combinar la aplicación o no de poda y biorreguladores a diferente edad de la planta. El diseño fue completamente al azar con 18 repeticiones para las mediciones de CEA y DR y de tres para los de ACM, la unidad experimental fue una planta. La poda y biorreguladores se aplicaron a los 58, 88 y 116 días después de la emergencia de la primera hoja verdadera (DDPHV). Los biorreguladores fueron citoquinina, giberelina y combinación de ellos. Los análisis estadísticos fueron con ANAVA usando GLM de SAS y la comparación de medias por Tukey. Aplicar poda originó cambios en la CEA a través de incrementar ($p<0.05$) en 20 veces la ramificación y redujo en 33 cm la altura de planta y en dos veces el peso del tallo y número de nódulos con respecto de plantas sin poda. La aplicación de biorreguladores no mostró ($p>0.05$) efecto sinérgico con la aplicación de la poda en CEA y ACM. La DR en términos de longitud y diámetro del tallo apical fue mayor ($p<0.05$) cuando la poda se realiza de forma tardía. La poda es una opción que puede originar un desarrollo de *L. leucocephala* más favorable en la fase de vivero.

DEVELOPMENT OF *Leucaena leucocephala* GROWN IN A NURSERY WITH PRUNNING AND APPLICATION OF PLANT GROWTH REGULATORS

3.2. Abstract

The objective of the study was to determine above ground structure (AGS), weights of morphological components (WMC) and regrowth pattern (RP) of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham grown in a greenhouse when pruning and plant growth regulators are applied. Thirteen treatments derived from the combination of application or not of pruning and of two plant growth regulators at different plant age were evaluated under a completely random design with 18 for AGS and RP and three replicates for WMC variables, the experimental unit was a plant. Pruning and plant regulators were applied at 58, 88 and 116 days after the emergence of the first true leaf, plant growth regulators were citoquinin, gibelerin and a combination of both. Statistical analyses were by ANOVA's using GLM procedure of SAS, mean separation was by Tukey. Pruning influenced AGS and WMC increasing ($p<0.05$) 20 times branching and decreasing plant height in 33 cm, diameter of main stem in 0.8 mm and two times the stem weight and nodule number in relation to plants without pruning. RP was better ($p<0.05$) in late pruning in terms of diameter and length of first emerged branch after pruning. Plant growth regulators did not improve ($p>0.05$) the response to pruning in AGS or WMC variables. Pruning is an option to promote a better development of *Leucaena leucocephala* when growing in the nursery.

Key words: *Leucocephala leucocephala*, pruning, plant growth regulators, plant structure, morphological components.

3.3. Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) se han señalado como una opción para incrementar la producción animal por área conservando el equilibrio dinámico de los ecosistemas agropecuarios (Ibrahim *et al.*, 2007). La conformación estructural aérea del componente arbóreo de un SSP puede determinar el consumo que ejerza el animal al proveer mayor o menor accesibilidad de las hojas.

Una especie arbórea clave en el establecimiento de un SSP es *Leucaena leucocephala* por la calidad nutritiva de sus hojas, capacidad de fijar N₂, sistema radical profundo y alta capacidad de rebrotes después de ser podada o ramoneada (Ella *et al.*, 1991; Guevara y Guenni, 2004).

Para asegurar un mayor éxito en el establecimiento de *Leucaena leucocephala* se ha recomendado crecerla primero en condiciones controladas de vivero o invernadero, en donde además se podría mejorar la arquitectura de la planta mediante podas y aplicación de biorreguladores para fomentar la activación y desarrollo del mayor número de puntos de crecimiento (Torres *et al.*, 2008).

Esta investigación presentó el objetivo principal de determinar la conformación estructural aérea y aporte de componentes morfológicos de *Leucaena leucocephala* al aplicar poda y biorreguladores sintéticos durante la fase de crecimiento en vivero.

3.4. Materiales y métodos

3.4.1. Lugar y duración del experimento

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la sección de forrajes del Departamento Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. La fase experimental abarcó de enero a julio de 2009.

3.4.2. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron 13 tratamientos, que consistieron en la combinación de poda o no poda, la edad a la que se realizó la poda y la aplicación o no de biorreguladores al momento de la poda (Cuadro 8). El diseño experimental fue completamente al azar con 18 repeticiones, la unidad experimental fue una planta.

La poda y aplicación de biorreguladores se realizó a las edades de: 58 (temprana), 88 (intermedia) y 116 (tardía) días a partir de la emergencia de la primer hoja verdadera (DDPHV).

Cuadro 8. Tratamientos evaluados a partir de la combinación de aplicar o no poda a diferente edad y biorreguladores al momento de la poda.

Tratamiento	Poda				Biorregulador		
	Sin	Con (edad) ^z			Sin	Con (tipo)	
		58	88	116		Citoquinina	Giberelina
1	x				x		
2		x			x		
3		x				x	
4		x					x
5		x				x	x
6			x		x		
7			x			x	
8			x				x
9			x			x	x
10				x	x		
11				x		x	
12				x			x
13				x		x	x

^zLa edad es en días a partir de la emergencia de la primer hoja verdadera.

3.4.3. Aplicación de tratamientos

La poda se realizó cortando el tallo principal a 1.5 cm por arriba del punto de inserción de la octava hoja contando de la base al ápice; por tanto, independientemente de la edad de la poda, todas las plantas siempre quedaron con ocho hojas, esto para asegurar mantener un alto nivel de fotosíntesis, como para mantener tejido vegetal activo que recibiera la aplicación del biorregulador respectivo. La navaja usada para el corte de la poda se desinfectó con alcohol al 85% al pasar de una planta a otra.

Los biorreguladores se aplicaron con una aspersora manual de 1.5 L a la dosis recomendada comercialmente (Cuadro 9) e inmediatamente después de la poda, asegurando que todas las hojas mostraran sobre su superficie al menos una gota de la solución.

Cuadro 9. Biorreguladores, principios activos y dosis empleada en el estudio.

Biorregulador	Nombre comercial	Principio activo	Dosis empleada ^z
Citoquinina (Cit)	Biokin agro/foliar	6-benzyladenina (>1.9%)	150cc/ 100 L agua
Giberelina (AG ₃)	Activol 40%GS	Ácido giberelico	30ppm
Combinación de Cit + AG ₃	Biokin agro/foliar+Activol 40%GS	6-benzyladenina (>1.9%)+Ácido giberelico	Igual anteriores

^zDosis recomendada para el producto comercial.

3.4.4. Manejo de las plantas

Las semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham se escarificaron por inmersión en agua a 80 °C durante 7 minutos; para la inmersión todas las semillas se metieron en una manta, posteriormente se dejaron enfriar por 2 horas. Se sembraron 3 semillas a 2 cm de profundidad por bolsa de polietileno de 20 x 40 cm; las bolsas fueron identificadas individualmente y colocadas al azar en bancas del invernadero, siempre dejando una distancia de 20 cm entre bolsas contiguas.

El sustrato con el que se llenó cada bolsa de polietileno se conformó de tres capas: la primera ocupó 75% del volumen de la bolsa y fue suelo tamizado en criba de 4 mm; la segunda que se colocó sobre la primera ocupó 20% del volumen y fue el mismo suelo pero tamizado en criba de 1 mm; la última capa ocupó el resto del volumen y fue grava tamizada en criba de 6 mm.

Antes de llenar cada bolsa, el suelo fue previamente tamizado y extendido para formar una capa de 2.5 cm de espesor y de esta forma fue secado al sol dentro del invernadero por 72 h con remoción esporádica. El secado al sol fue para reducir y homogeneizar al máximo el contenido de humedad.

Desde la siembra y por toda la fase experimental se revisó diariamente cada bolsa, agregando agua si era necesario para mantener un sustrato húmedo, pero sin anegamiento y removiendo manualmente toda planta diferente a *L. leucocephala* que emergiera.

A 30 días de la siembra todas las bolsas fueron aclareadas para dejar una planta por bolsa, se procuró dejar la planta que se apreciara como más vigorosa. A la presencia de insectos se procedió a la fumigación con paratión metílico (Foley 1.5 %), insecticida organofosforado de uso agrícola.

3.4.5. Variables medidas y calculadas

Las variables medidas y calculadas se agruparon en tres grupos: la conformación estructural aérea; aporte por componente morfológico; y dinámica de rebrote.

La conformación estructural aérea se determinó mediante diámetro del tallo principal (DTP), altura de planta y número de ramas; estas mediciones se realizaron a los 145 DDPHV. El DTP se midió con vernier escala mínima de 1 mm, el punto de medición fue donde se encontraba la cicatriz de la inserción de

la hoja cotiledónea, la altura de planta se midió desde el nivel del suelo a la hoja totalmente emergida más alta.

El aporte por componente morfológico se determinó mediante las características en raíz de longitud, volumen y número de nódulos, los pesos base seca de raíz, hojas y tallo, y la razón tallo: hoja. Estas mediciones se realizaron a los 148 DDPHV de forma destructiva en 3 plantas seleccionadas al azar por tratamiento.

Una vez identificadas las tres plantas por tratamiento, con ayuda de agua corriente se lavó el sustrato de la bolsa permitiendo desenterrar la planta; con la masa radical expuesta y libre de sustrato se midió la longitud de la raíz principal desde la corona hasta el punto que presentaba un diámetro de 1 mm, el volumen de raíz se cuantificó por la cantidad de agua desplazada en un vaso de precipitado de 500 ml conteniendo 400 ml de agua; seguido fue el conteo de nódulos presentes en la masa radical, una vez registrada toda esta información se cortó la raíz, se separaron hoja y tallo y cada componente fue secado en estufa a 50 °C por 72 horas y pesado, con los pesos de tallo y hoja se calculó la razón tallo: hoja.

La dinámica de rebrote se determinó en las plantas con poda y fue el seguimiento del desarrollo de las ramas originadas medidas a los 30 días después de la poda. Las ramas se identificaron individualmente y clasificadas por orden de aparición en apical, secundaria, terciaria y así sucesivamente, se les midió longitud y diámetro; longitud fue la distancia de la inserción al tallo principal a la hoja más extrema y el diámetro se midió contiguo a este punto de inserción.

3.4.6. Manejo y análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de la información generada se realizó utilizando tres modelos distintos y en concordancia con las evaluaciones de las tres fuentes de variación de interés en cada caso.

El efecto de aplicar o no poda se analizó con en el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + p_i + E_{ij}$$

dónde: Y_{ij} fue el valor de la variable de conformación estructural aérea o aporte del componente morfológico; μ la media general; p_i el efecto de la i -ésima poda ($i= 1,2$); y E_{ij} el error aleatorio asociado a la i -ésima poda y j -ésima observación. Para las variables de conformación estructural y aporte de componentes morfológicos, j fue de 1 a 18 y de 1 a 3 en plantas sin poda, respectivamente; para las plantas con poda estos intervalos fueron 1 a 216 y 1 a 36.

Los análisis de varianza para determinar los efectos de edad a la poda y aplicación o no de biorregulador se hicieron con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + ep_i + cb_j + (ep*cb)_{ij} + E_{ijk}$$

dónde: Y_{ijk} fue el valor de la variable de conformación estructural, aporte del componente morfológico o dinámica del rebrote; μ la media general; ep_i el efecto de la i -ésima edad a la poda ($i= 1,...,3$); cb_j el efecto de la j -ésima opción de aplicar o no un biorregulador ($j= 1, 2$); $(ep*cb)_{ij}$ el efecto de la interacción de edad a la poda con la aplicación o no del biorregulador; y E_{ijk} el error aleatorio asociado a la i -ésima edad a la poda, j -ésima opción de aplicar o no biorregulador y k -ésima observación. Para las variables de conformación estructural y dinámica de rebrote, j fue de 1 a 18 y de 1 a 54 para plantas sin y con aplicación de biorregulador, respectivamente. En las variables de aporte de

componentes morfológicos k fue de 1 a 3 y de 1 a 9 en plantas sin y con aplicación de biorregulador, respectivamente.

Los análisis de varianza para determinar los efectos de edad a la aplicación del biorregulador y del tipo de biorregulador se hicieron bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + eab_i + tb_j + (eab*tb)_{ij} + E_{ijk}$$

dónde: Y_{ijk} fue el valor de la variable de conformación estructural, aporte del componente morfológico o dinámica de rebrote; μ la media general; eab_i el efecto de la i -ésima edad al momento de la aplicación del biorregulador ($i = 1, \dots, 3$); tb_j el efecto del j -ésimo tipo de biorregulador ($j = 1, \dots, 3$); $(eab*tb)_{ij}$ el efecto de la interacción edad a la aplicación del biorregulador con el tipo de biorregulador; y E_{ijk} el error aleatorio asociado a la i -ésima edad a la aplicación del biorregulador j -ésimo tipo de biorregulador y k -ésima observación. Para las variables de conformación estructural y dinámica de rebrote, k fue de 1 a 18 y de 1 a 3 para las variables de aporte de componentes morfológicos, respectivamente.

Todos los análisis de varianza se realizaron con GLM de SAS (SAS, 2004) usando para determinar el efecto de las fuentes de variación, la suma de cuadrados tipo III (SSIII) por contarse con diferente número de repeticiones; en caso de efecto significativo ($p < 0.05$) se procedió a la comparación múltiple de medias por Tukey (Steel y Torrie, 1998).

3.5. Resultados y discusión

3.5.1. Conformación de la estructura aérea y aporte de componentes morfológicos con aplicación de poda

La poda redujo ($p<0.05$) en 33 cm la altura de planta, 0.8 mm el DTP y aumentó ($p<0.05$) 20 veces el número de ramas (Cuadro 10).

La mayor altura mostrada en las plantas sin poda pudo favorecer el mayor DTP en comparación a las plantas podadas. Al respecto *Ella et al.* (1991) encontraron que en especies arbóreas forrajeras el engrosamiento del tallo principal inicia cuando la planta alcanza 1 m de altura y en el presente estudio las plantas alcanzaron esta altura. Sin embargo, al proveer un sustrato sin limitaciones en humedad y adecuada temperatura ambiental debido a que el estudio se realizó en invernadero, favoreció que esta diferencia en DTP fuese de poca magnitud, ya que *Angulo et al.* (1997) y *Sánchez et al.* (2003) registraron diámetros inferiores a 6.5 mm en plantas de hasta 125 días de edad, siendo estos diámetros menores a los del estudio.

Cuadro 10. Conformación estructural aérea a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham con y sin poda.

Atributo	Poda	
	Con	Sin
Altura de planta (cm)	67.9b ^z	100.9a
Diámetro del tallo principal (mm)	9.1b	9.9a
Número de ramas	6.0a	0.3b

^zMedias en igual hilera sin una letra en común, son diferentes ($p\leq 0.05$)

La poda implicó la eliminación de la yema apical y con ello de su dominancia, lo que promovió la activación y desarrollo de yemas axilares para la formación de nuevas ramas. Lo encontrado en este estudio confirma lo encontrado por *Macías et al.* (2006), en el sentido de que la eliminación controlada de la yema

apical rompe la dominancia apical y con ello se promueve una mayor ramificación; a la vez indican que una profusa ramificación favorece que la planta ejerza una mayor y mejor exploración del espacio aéreo y por lo tanto una utilización más completa de la radiación solar. Por lo tanto, la reducción de casi 33 % en altura de planta al realizar la poda podría verse compensada por el incremento de hasta 20 veces en el número de ramas en cuanto a captura y transformación de la energía solar vía fotosíntesis.

La poda solamente ocasionó menor ($p<0.05$) peso de tallo, razón tallo: hoja y presencia de nódulos en raíz (Cuadro 11). Las plantas sin poda mostraron hasta dos veces mayor peso de tallo y cantidad de nódulos que las podadas. Esta diferencia en el peso del tallo fue suficiente para dar diferencia en la razón tallo: hoja aun cuando no se registró diferencia en el peso de hoja, las plantas con poda presentaron una menor cantidad de tallos por unidad de peso de hoja. En particular esto significó una menor cantidad de componentes estructurales (tallo) para sostener una misma cantidad de tejido foliar.

Cuadro 11. Aporte de componentes morfológicos a 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham con y sin poda.

Atributo	Poda	
	Con	Sin
Volumen raíz (ml)	43.8 ^z	46.7
Longitud de la raíz (cm)	31.5	29.2
Número de nódulos planta ⁻¹	49.7b	110.0a
Raíz (g MS planta ⁻¹)	9.8	11.7
Hoja (g MS planta ⁻¹)	6.6	8.8
Tallo (g MS planta ⁻¹)	9.2b	19.3a
Razón tallo: hoja	1.4b	2.7a

^zMedias en igual hilera sin letras o con una letra en común, no son diferentes ($p\geq 0.05$)

La similitud en peso de hoja, pero con un peso menor de tallo en plantas podadas en comparación a las sin poda, implica que ambos tipo de plantas pueden tener igual capacidad para realizar fotosíntesis durante el proceso de recuperación al trasplante; sin embargo, la cantidad menor de tallos en plantas

podadas puede significar que éstas tienen una menor carga de mantenimiento de elementos estructurales; y así dirigir mayor cantidad de fotosintatos a la formación de nuevo tejido y para superar en menor tiempo al estrés del trasplante. Por otro lado, la menor cantidad de elementos estructurales en plantas podadas podría dejarlas más sensibles a una cosecha excesiva por parte de los animales; esto si no se da tiempo adecuado entre el trasplante y la aplicación del primer pastoreo.

El peso, volumen y longitud de la masa radical fueron similares entre plantas con y sin poda, indicando que la poda no ocasionará una masa radical con menor capacidad para que la planta supere el estrés del trasplante. Al respecto Ruiz y Febles (2006) afirman que en la etapa inicial después del trasplante las plantas dependen de la magnitud de la masa radical para superar el estrés, al facilitar la absorción de los macronutrientes (N, P y K) y de la humedad.

La menor cantidad de nódulos en las plantas podadas podría atribuirse a una menor cantidad de fotosintatos destinados a raíz, debido a un cambio en la dirección del movimiento de los fotosintatos (Salisbury y Ross, 2000). La eliminación de la yema apical y su dominancia, originó que los fotosintatos fueran preferentemente a yemas axilares activadas y en desarrollo; mientras que en las plantas sin poda no se dio este redireccionamiento de fotosintatos. Rincón *et al.* (2004) señalan que la magnitud de la masa radical y el envío de fotosintatos a raíz son dos factores que determinan la cantidad de nódulos.

3.5.2. Conformación de la estructura aérea y aporte de componentes morfológicos al variar la edad de la poda y aplicación de biorregulador

En la conformación de la estructura aérea solamente la interacción edad de la poda x biorregulador mostró efecto ($p < 0.05$) sobre el número de ramas; siendo a la vez éste el único componente que fue determinado por los factores en evaluación. La altura de planta y DTP se comportaron igual independientemente del nivel de cualquiera de los factores (Figura 3).

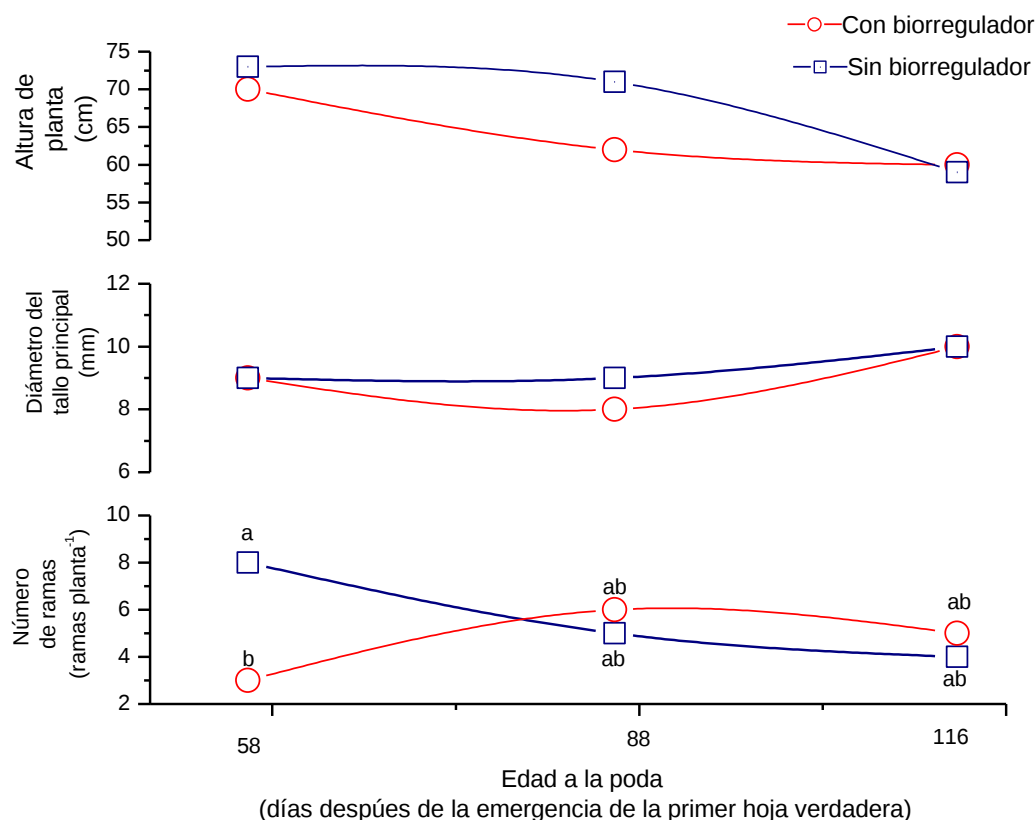


Figura 3. Conformación estructural aérea a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad y con y sin aplicación de biorregulador.

La aplicación de biorregulador no promovió mayor altura, diámetro o ramificación; indicando que no existió un efecto sinérgico entre poda y biorregulador. Por el contrario, si la poda se realiza a una edad temprana (58 DDPHV) la aplicación de un biorregulador disminuye la ramificación, mostrando una condición antagonista entre la poda y biorregulador.

El efecto antagonista del biorregulador a una edad temprana de la planta podría explicarse con base en señalado por Plaixat y Mantecón (1999) en el sentido de que la aplicación de biorreguladores puede conllevar a un desbalance hormonal, reflejándose en un menor crecimiento de la planta.

La poda tardía se realizó 116 DDPHV y el registro de ramas 29 días después; sin embargo, esta poda tardía mostró similar número de ramas que la poda

temprana e intermedia con 87 y 57 entre la poda y el registro de ramas respectivamente. Esta situación es indicativa que la activación y desarrollo de las yemas axilares es un proceso relativamente muy rápido luego de la eliminación de la yema apical. Esta rapidez en el brote de nuevas ramas podría estar asociado a que en todas las fechas de poda se dejaron 8 hojas totalmente expandidas y se mantuvieron condiciones de humedad, luz y temperaturas favorables para el crecimiento vegetal. Sánchez *et al.* (2003) señalan que la cantidad de área foliar presente y la capacidad para la captación de luz son factores que determinan la rapidez de la recuperación de la planta ante una condición de estrés.

Independientemente de la edad a la que se realizó poda, las plantas lograron igual altura al momento de medición; esto es indicativo de que el tallo principal detuvo su crecimiento en altura y el nuevo crecimiento provino de la activación y desarrollo de yemas axilares. Asociado a esta situación es importante considerar la altura a la que se hizo la poda en el presente estudio, conforme la altura sea menor, es decir, más cercana a la base del tallo, se dejará una menor cantidad de yemas axilares que potencialmente pueden ser activadas y desarrolladas y con ello se puede perder el efecto de mayor ramificación promovido por la poda.

En ninguno de los componentes morfológicos se observó efecto ($p>0.05$) de la edad de la poda y de la aplicación o no de un biorregulador ni de la interacción entre ellos (Figuras 4 y 5).

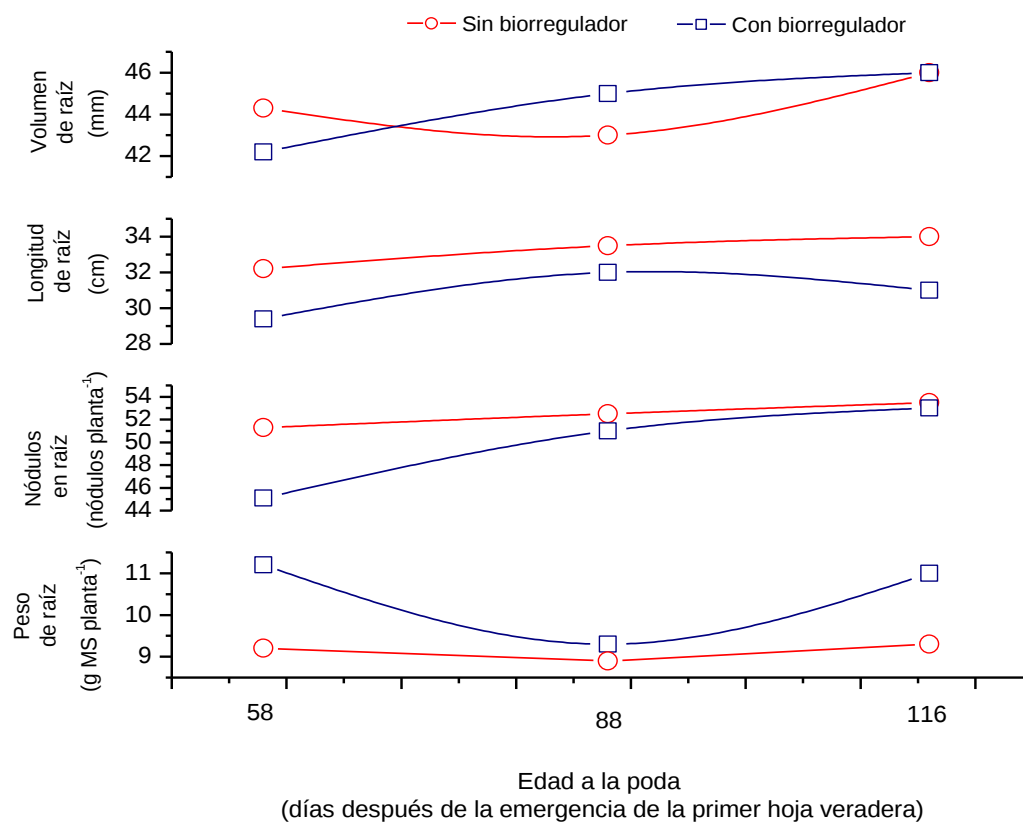


Figura 4. Características de raíz a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad y con y sin aplicación de biorregulador.

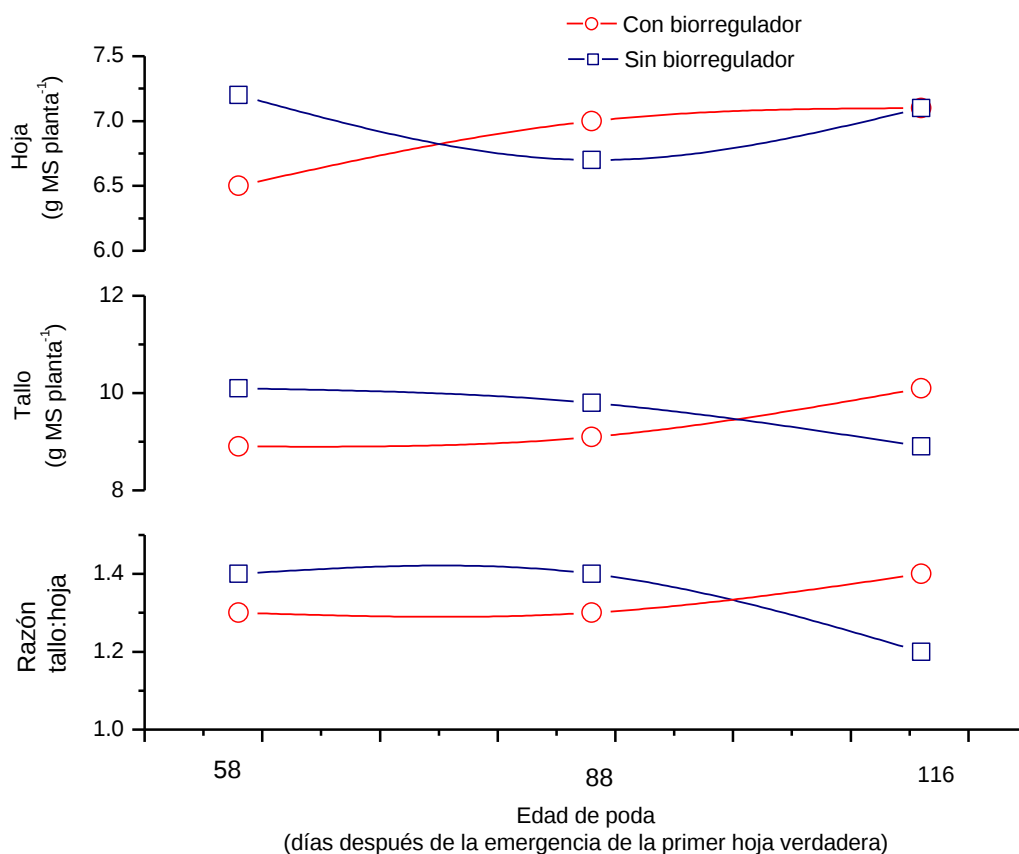


Figura 5. Características de los componentes aéreos a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad y con y sin aplicación de biorregulador.

La aplicación del biorregulador no promovió un efecto sinérgico con la poda, en cuanto a promover mayor crecimiento en componentes aéreos y subterráneos de *L. leucocephala*. Al igual que en la conformación estructural aérea, no se encontró efecto de la edad de poda en el aporte de los componentes morfológicos, indicando como ya se mencionó que dejar 8 hojas y mantener la planta en un ambiente favorable al crecimiento vegetal pudieron amortiguar el posible impacto de la edad de la poda.

3.5.3. Conformación de la estructura aérea y aporte de componentes morfológicos al variar la edad de la aplicación y el tipo de biorregulador

En los tres componentes de la conformación estructural aérea se encontró solamente efecto ($p < 0.05$) de la interacción edad a la aplicación del biorregulador x tipo de biorregulador. Los máximos y mínimos valores para altura de planta, DTP, y número de ramas se encontraron en diferentes tratamientos sin seguir un patrón definido. El máximo DTP se dio con la aplicación de ambos biorreguladores a 116 DDPHV, mientras que la máxima altura se registró con la aplicación de ambos biorreguladores, pero a 58 DDPHV y el máximo número de ramas fue con la aplicación de giberelina a 88 DDPHV. Esta dispersión también ocurre con los valores mínimos (Figura 6).

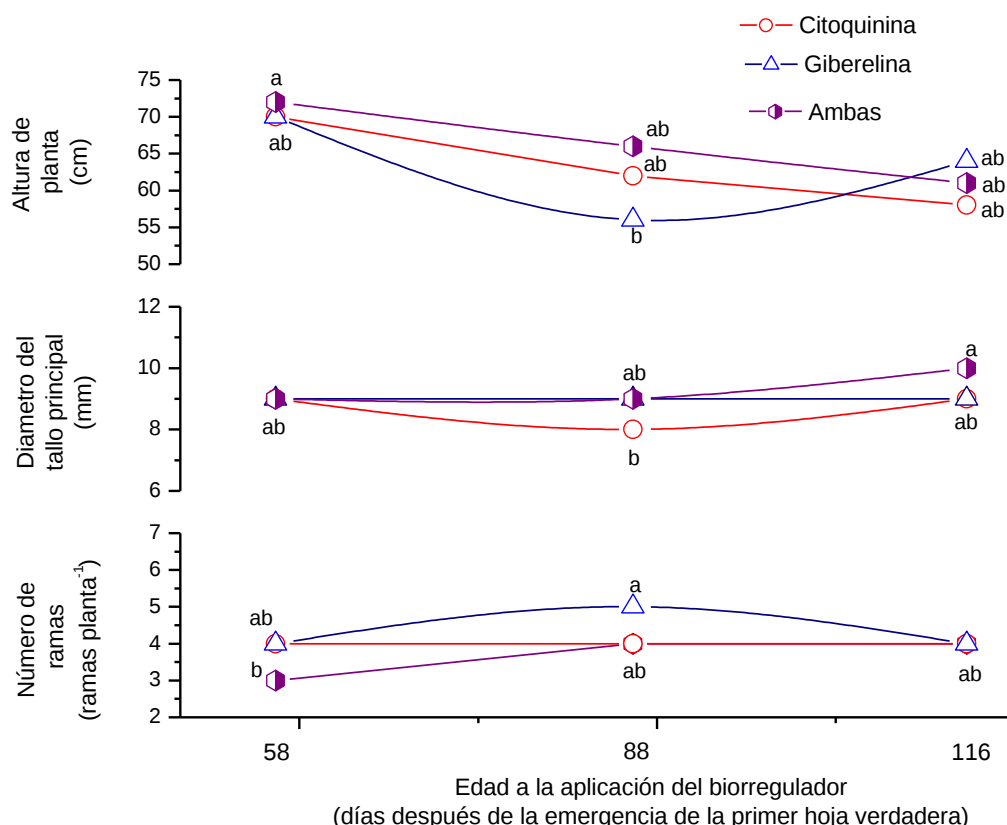


Figura 6. Conformación estructural aérea a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar a diferente edad un biorregulador.

La finalidad de aplicar los diferentes tipos de biorreguladores, fue para inducir la diferenciación e incrementar el crecimiento de yemas axilares con citoquinina y giberelina respectivamente. Sin embargo el manejo agronómico de plantas de *L. leucocephala* con poda en invernadero aplicando citoquinina, giberelina y la combinación de éstas a diferente edad, tiene efectos menores con respecto a podar únicamente eliminando la yema apical y dejando un mínimo de 8 hojas expandidas.

La citoquinina no promovió una mayor cantidad de ramas nuevas, lo que podría indicar que no se promovió la activación de nuevas yemas axilares; pero sí tendió a provocar un menor diámetro del tallo principal al aplicarse a una edad intermedia. Plaixat y Mantécon (1999) demostraron que la citoquinina sintética puede presentar efectos contrastantes según sea la dosis aplicada, cuando fue baja (10 mg Lt^{-1}) inhibió el crecimiento de *Lolium perenne*, *Festuca arundinacea* y *Trifolium repens*, pero a dosis alta (40 mg Lt^{-1}) promovió mayor crecimiento en estas mismas especies.

El impacto positivo de giberelina de promover la máxima formación de nuevas ramas a los 88 DDPHV, contrasta con lo indicado por Hernández *et al.* (1999) quienes registraron menor ramificación en árboles forestales al ser rociados con giberelina. Yanes *et al.* (2001) encontraron que la mayor concentración de giberelina (AG_3) promovió hojas más largas, pero menos anchas en vitroplantas de piña. Salisbury y Ross (2000) concluyeron que el patrón de respuesta a la aplicación de dosis y tipos de biorreguladores del crecimiento vegetal puede ser muy distinto entre especies vegetales.

En el aporte de los componentes morfológicos no se registró efecto ($p>0.05$) de los factores ni de la interacción en alguno de los componentes (Figuras 7 y 8). A diferencia de la conformación estructural aérea donde al menos se registró efecto de la interacción de los factores en las tres características con las que se definió.

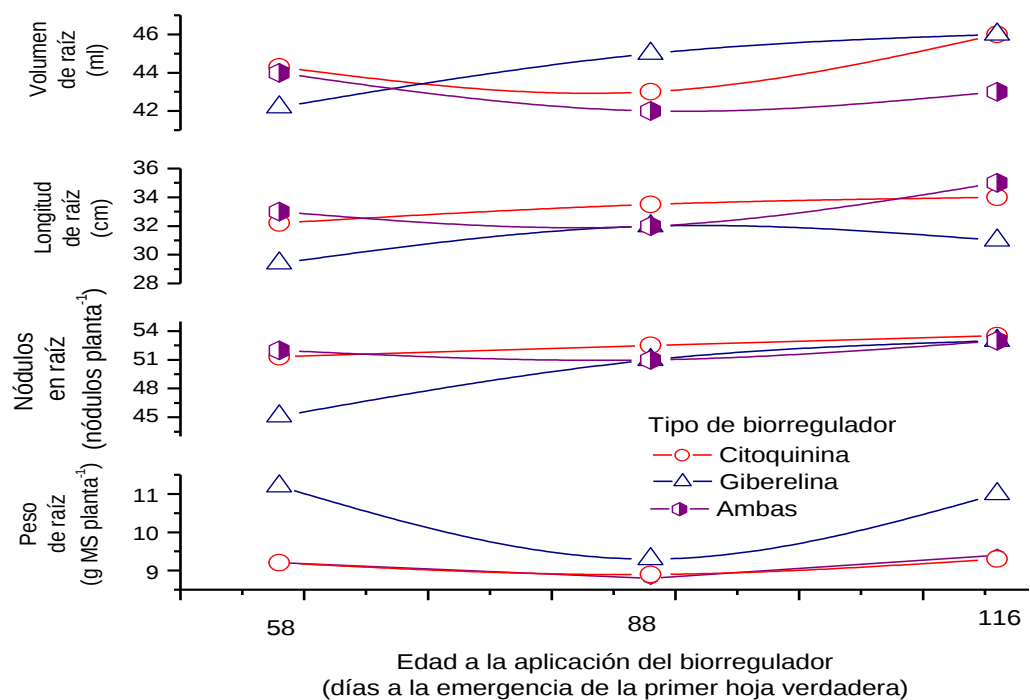


Figura 7. Características de raíz a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar a diferente edad un biorregulador.

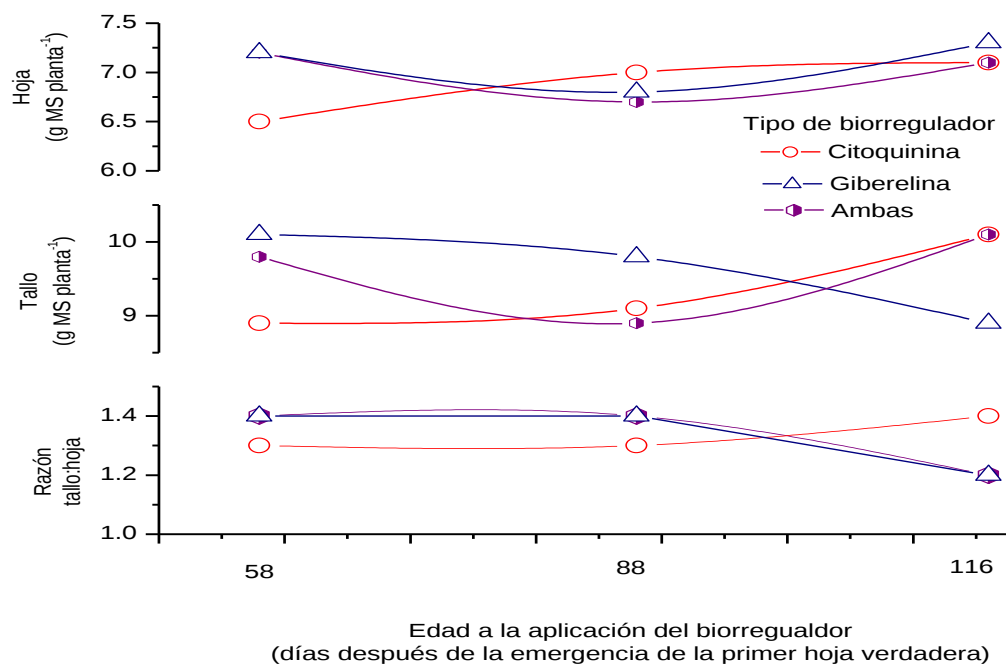


Figura 8. Características de los componentes aéreos a 145 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar a diferente edad un biorregulador.

Ninguno de los dos biorreguladores o la combinación de ambos, fue un factor de importancia en definir características del crecimiento aéreo y subterráneo de *L. leucocephala*., indicando con ello que los biorreguladores no son un factor de manejo en la fase de vivero para promover plantas de *L. leucocephala* con mayor crecimiento. Yáñez (2002) concluyó que el impacto de los biorreguladores sobre el crecimiento vegetal depende de las respuestas fisiológicas promovidas por dichos biorreguladores y que éstas son dependientes de la especie vegetal, por lo que no se puede esperar un mismo patrón de respuesta a la aplicación de biorreguladores de una a otra especie vegetal.

3.5.4. Dinámica de rebrote al variar la edad de poda y aplicación de biorregulador

De la fecha de poda a la toma de datos se desarrollaron varias ramas; sin embargo, únicamente en la rama apical se registraron efectos ($p < 0.05$) de los

factores en estudio, es por ello que sólo se presentan los datos de la rama apical.

La interacción edad de poda y aplicación de biorregulador influyó ($p<0.05$) en el diámetro y longitud de la rama apical (Figura 9). Cuando la poda se realiza en forma tardía (116 DDPHV), se genera una rama apical más gruesa y larga independientemente si se aplica o no biorregulador.

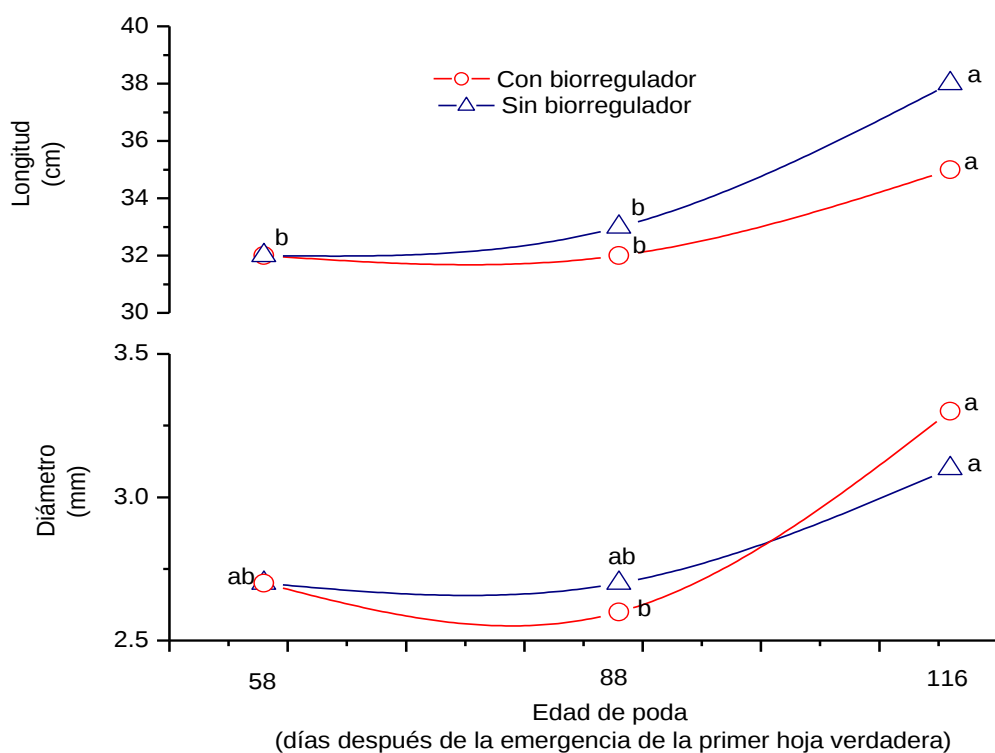


Figura 9. Características de la rama apical a 30 días después de la poda de *L. leucocephala* cv. Cunningham al aplicar poda a diferente edad, y con y sin aplicación de biorregulador.

El diámetro de la rama apical al podar a 88 DDPHV con aplicación de biorregulador tendió a ser el menor de todos, indicando que aplicar biorregulador con poda a esta edad puede ser detrimental en el desarrollo de plantas de *L. leucocephala*. Al igual que en las características aéreas y subterráneas, los biorreguladores no promovieron una mayor magnitud en la dinámica de rebrote de la rama apical.

3.5.5. Dinámica de rebrote al variar la edad de aplicación y tipo de biorregulador

El diámetro de la rama apical solamente fue afectado ($p < 0.05$) por la interacción de edad de aplicación x tipo de biorregulador, mientras que la longitud no mostró efecto ($p > 0.05$) de los factores evaluados (Figura 10).

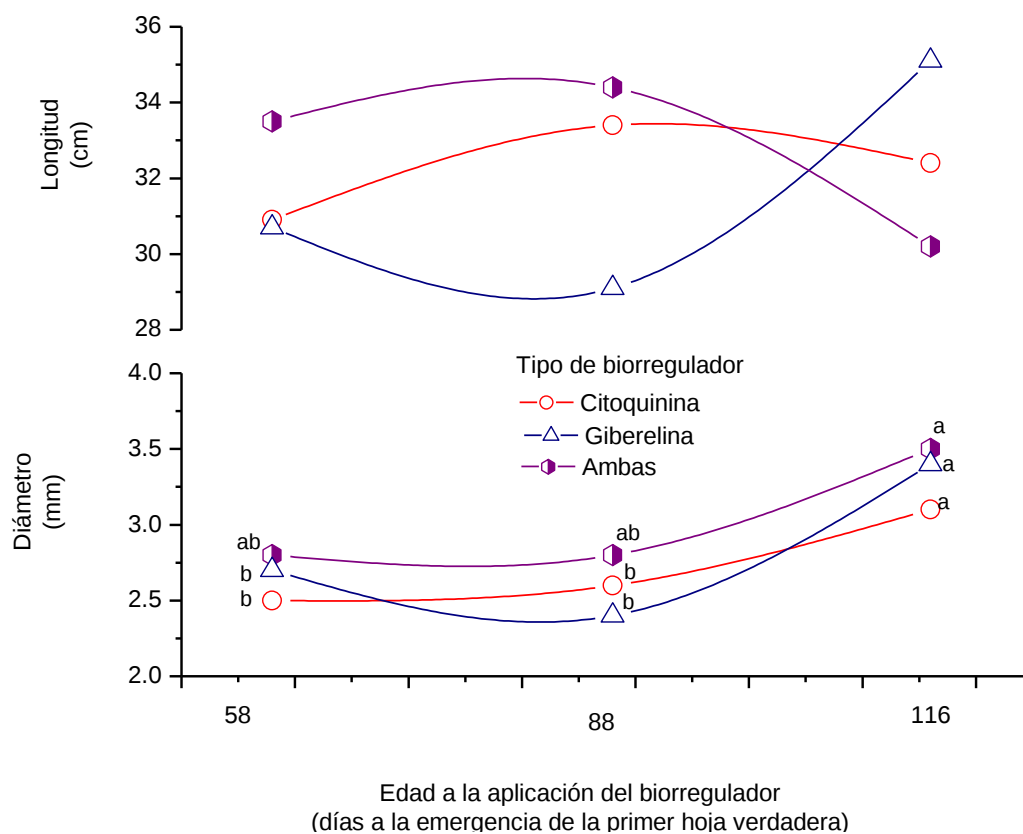


Figura 10. Características de la rama apical de *L. leucocephala* cv. Cunningham a 30 días después de la aplicación a diferente edad de un biorregulador.

El diámetro de la rama apical fue mayor cuando la poda fue tardía (116 DDPHV) independientemente del tipo de biorregulador, pero en las podas temprana e intermedia la tendencia fue a un mayor diámetro de la rama apical al aplicar la combinación de citoquinina y giberelina.

Sánchez *et al.* (2003) registró diámetros de rama apical muy similares al intervalo encontrado en este estudio; sin embargo, en longitud de rama apical estos autores registraron valores de 26 a 52% menores que los del presente estudio. Posiblemente las condiciones favorables de humedad y temperatura mantenidas dentro del invernadero promovieron estas mayores longitudes de las ramas apicales.

3.6. Conclusiones

La poda de *Leucaena leucocephala* consistente en la eliminación de la yema apical es un opción de manejo en la fase de vivero para modificar la conformación estructural aérea y el aporte en peso del tallo principal. La edad de la poda es de menor importancia en determinar cambios en la conformación estructural aérea y la aplicación de biorreguladores no presenta un efecto sinérgico con la poda.

3.7. Literatura citada

- Angulo, R., Y. Montilla, M. Rivas, T. Clavero, R. Razz y C. Castro. 1997. Efecto de diferentes aguas residuales sobre el crecimiento de la *Leucaena leucocephala* en condiciones de vivero. *Interciencia* 22(1): 28-30.
- Ella A., G. Blair, and W. Stür. 1991. Effect of age of forage tree legumes at the first cutting on subsequent production. *Tropical Grasslands* 25(3): 275-280.
- Guevara, E., y Guenni O. 2004. Acumulación de biomasa y patrón de crecimiento en *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. II. Estructura y patrón de crecimiento aéreo. *Zootecnia Tropical* 22(3): 231-240.
- Hernández I., J., E. Benavides, E. Pérez, y L. Simón. 1999. Efecto de podas combinadas en la producción de biomasa de *Leucaena leucocephala* durante el periodo seco en Cuba. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" y Universidad Agraria de La Habana, Cuba. pp 6-34.
- Ibrahim, M., P. Villanueva C., y F. Casasola. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Archivos Latinoamericanos en Producción Animal* 15(1): 73-87.
- Macías J., Arguedas M., L. Hijle, y Z. J. Cola. 2006. Plagas Forestales neotropicales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*. CATIE 78: 106-107.
- Plaixat, J., y A. R. Mantecón. 1999. Efecto de la aplicación de Citoquinina sobre la producción y evolución de la composición química de prados de siega. *Revista Información Técnica Económica Agraria* 20(2): 542-543.
- Rincón, J. J., Y. Gallardo, M. Leal, y Y. Rojas. 2004. Efectos de diferentes relaciones de calcio y fósforo en el suelo sobre la nodulación de *Acacia mangium* (Willd) y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit., en condiciones de vivero. *Zootecnia Tropical* 22(2): 167-173.
- Ruiz, T. E., y G. Febles. 2006. Agrotecnia para el fomento de sistemas con leguminosas. *In: Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos*. Milera, C.R. (comp) Universidad de San Carlos de Guatemala. pp: 104-105.
- SAS. 2004. SAS/SAT. User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC). 1-7: 5180.
- Salisbury, F. B., y C. Ross C. 2000. Fisiología Vegetal. Editorial Wadsworth Publishing. Belmont, Cal. 436 p.
- Sánchez, A., O. Miquilera, y R. Flores. 2003. Comportamiento de *Leucaena leucocephala* durante el establecimiento regada por goteo artesanal en ambientes semiárido. *Revista Facultad de Agronomía*. 20(3): 352-363.

- Steel, R. G., y J. H. Torrie. 1998. Bioestadística: principios y procedimientos. 2ª Ed. Mc Graw Hill. México. 622 p.
- Torres Z., J. P., J. I. Cortés F., A. Turrent F., E. Hernández R., y A. Muratalla L. 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalado con milpa. *Tierra Latinoamericana* 26(3): 265-273.
- Yanes P., E., J. González O., y R. Rodríguez S. 2001. Empleo de giberelinas y fertilización foliar durante la aclimatización de vitroplantas de piña Cayena lisa cv. Serrana. *Biotecnología Vegetal* 1: 23-28.
- Yáñez R., J. N. 2002. Nutrición y regulación de crecimiento en hortalizas y frutales WATTS. Tecnología, Comercio y servicios agrícolas mundiales, Saltillo, Coahuila. <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia03.pdf>. Citado al día 23 de febrero de 2010.

4. CRECIMIENTO INICIAL DE *Leucaena leucocephala* CRECIDA EN INVERNADERO CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y FOSFATADA

4.1. Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la conformación estructural aérea (CEA) y aportes de componentes morfológicos (ACM) en *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham crecida en invernadero bajo la aplicación de nueve tratamientos en un factorial 3 x 3: tres dosis de nitrógeno (0, 25 y 50 kg ha⁻¹) y tres de fósforo (0, 25 y 50 kg ha⁻¹) en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones para las mediciones de CEA y de tres para los de ACM, siendo la unidad experimental una planta. La fertilización se aplicó a 80 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera. A 15 días de la fertilización se registró una alta mortalidad acumulada de plantas, por análisis de X^2 se detectó que esta muerte sólo se dio a la dosis de 50 kg de N ha⁻¹, por lo que los tratamientos que incluyeran este nivel fueron excluidos de los análisis estadísticos realizados por ANAVA'S usando GLM de SAS, comparación de medias por Tukey para efectos principales y la opción de LSMEANS/pdiff para las interacciones. No fertilizar con N ocasionó 16, 27,13, 52, 27, 136 y 100% mayor ($p<0.05$) altura de planta, diámetro del tallo principal, peso del tallo y raíz, volumen y longitud de raíz y nódulos, respectivamente que el fertilizar con N. La adición de P no fue un factor que determinara ($p>0.05$) cambios en CEA y ACM. La fertilización nitrogenada y fosfatada no es necesariamente una opción para fomentar mayor crecimiento inicial de *Leucaena leucocephala*.

Palabras clave: crecimiento inicial, fertilización, nitrógeno, fósforo, *L. leucocephala*.

4.2. Abstract

INITIAL GROWTH OF *Leucaena leucocephala* GROWN IN A GREENHOUSE WITH N AND P FERTILIZATION

The objective of the study was to determine above ground structure (AGS), and weights of morphological components (WMC) in *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham grown in a greenhouse under the application of nine treatments arranged in a 3X3 factorial: three levels of N (0, 25 and 50 kg ha⁻¹) and three of P (0, 25 and 50 kg ha⁻¹) in a completely random design with 10 and three replicates for AGS and WMC variables respectively, the experimental unit was one plant. Fertilization was done 80 d after the emergence of the first true leaf. Fifteen d after fertilization there were many dead plants and by a χ^2 analysis it was found that dead plants were only at the 50 kg N ha⁻¹, then all treatments that had this N level were dropped from further statistical analyses that were done by ANOVA's using GLM procedure of SAS, main effects were compared by Tukey and interactions by the LSMEANS/pdiff option of SAS. Without N fertilization there were 16, 27, 13, 52, 27, 136 and 100% higher ($p < 0.05$) plant height, diameter of main stem, stem and root weight, root volume, length and nodule number respectively than plants with N fertilization. P was not a factor that influenced ($p > 0.05$) AGS and WMC variables. N and P fertilization is not an option to promote higher initial growth of *Leucaena leucocephala*

Keywords: initial growth, fertilization, nitrogen, phosphorus *Leucaena leucocephala*.

4.3. Introducción

Leucaena leucocephala es un componente excelente en la conformación de sistemas silvopastoriles; sin embargo, el crecimiento y desarrollo inicial de esta especie en campo pueden ser lentos por limitaciones ambientales, ataques de plagas y enfermedades, lo que retarda el establecimiento y con ello el tiempo para estar lista para el consumo por los animales. En ocasiones este tiempo puede ser de hasta tres años (Ruiz y Febles, 2006).

Una alternativa para reducir el tiempo y riesgo del establecimiento es llevar a cabo la fase de crecimiento inicial de las plantas de *L. leucocephala* en invernadero o vivero; empero la escasa masa radical en esta fase inicial puede reducir la colonización por bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (N₂) y limitar una de las principales fuentes potenciales de N para la planta (Peoples y Herridge, 1990).

La fertilización nitrogenada pudiera reemplazar al *Rhizobium* en esta fase inicial como fuente de N y fomentar un mayor crecimiento de las plantas. Además la fertilización fosfatada podría ejercer una acción sinérgica con el N agregado para promover todavía un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas en fase de vivero (Squire *et al.*, 1987; Segura *et al.*, 2006).

La investigación tuvo como objetivo principal determinar las características del crecimiento inicial de *Leucaena leucocephala* al aplicar fertilización nitrogenada y fosfatada durante la fase de vivero.

4.4. Materiales y métodos

4.4.1. Lugar y duración del experimento

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la sección de forrajes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. La fase experimental duró de febrero a julio de 2009.

4.4.2. Tratamientos y diseño experimental

La investigación consistió en evaluar nueve tratamientos de fertilización en arreglo factorial 3 x 3: tres dosis de nitrógeno (N: 0, 25 y 50 kg ha⁻¹) y tres de fósforo (P: 0, 25 y 50 kg ha⁻¹). El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones y una planta en bolsa de polietileno de 20 x 40 cm fue la unidad experimental.

4.4.3. Aplicación de tratamientos

Como fuentes de N y P se usaron urea y superfosfato triple, respectivamente; la cantidad de cada fuente por planta provino de dividir la cantidad respectiva entre 5000 por ser esta una de las densidades de población recomendada para *L. leucocephala* por ha, aplicando 11 y 22 g planta⁻¹ de urea en la dosis de 25 y 50 kg ha⁻¹ y 7 y 14 g planta⁻¹ de superfosfato triple en la dosis 25 y 50 kg ha⁻¹ respectivamente, en cada caso. Para determinar la cantidad de cada fuente por dosis en evaluación se consideró que urea contenía 46% de N y el superfosfato triple 68.5% de P.

La fertilización se hizo a los 80 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera (DDPHV) en una sola aplicación, el fertilizante se colocó a 5 cm de la base del tallo y a 4 cm de profundidad tapando con sustrato para reducir la pérdida de N por volatilización. En los tratamientos que implicaron ambos fertilizantes éstos se mezclaron antes de colocarlos en la bolsa.

4.4.4. Manejo de las plantas

El sustrato con el que se llenó cada bolsa de polietileno se conformó de tres capas: la primera ocupó 75% del volumen de la bolsa y era suelo tamizado en criba de 4 mm; la segunda que se colocó sobre la primera ocupó 20% del volumen y era el mismo suelo pero tamizado en criba de 1 mm; la última capa ocupó el resto del volumen y fue grava tamizada en criba de 6 mm. Antes de colocar el suelo en cada bolsa fue tamizado y extendido a una capa de 2.5 cm de espesor y secado de esta forma al sol dentro del invernadero por 72 h con remoción esporádica. El secado al sol fue para reducir y homogeneizar al máximo el contenido de humedad.

Las semillas de *L. leucocephala* cv. Cunningham se escarificaron por inmersión en agua a 80 °C durante 7 minutos, para la inmersión todas las semillas se metieron en una manta, posteriormente se dejaron enfriar por 2 horas. Se sembraron 3 semillas a 2 cm de profundidad por bolsa que fue identificada individualmente con un número y colocando las bolsas al azar sobre las mesas del invernadero, dejando una separación de 20 cm entre bolsas contiguas.

A partir de la siembra diariamente se revisó cada bolsa para asegurarse que mantuviera el sustrato húmedo pero sin anegamiento, en caso necesario se agregaba agua. Toda planta distinta a *L. Leucocephala* fue removida manualmente al momento de la emergencia. Treinta días después de la siembra se aclareó y dejó la planta con apariencia física más vigorosa. Ante la presencia de insectos se asperjó con paratión metílico (Foley 1.5%).

4.4.5. Variables medidas y calculadas

Para medir y evaluar el impacto de los tratamientos se consideraron dos grupos de variables: el primero fue el de la conformación estructural aérea y el segundo los aportes de componentes morfológicos. El primer grupo consistió en

mediciones de altura de planta y diámetro del tallo principal (DTP) a 95, 110, 125 y 140 DDPHV.

El diámetro del tallo principal se midió con vernier con escala mínima de 1 mm, el lugar de medición fue la cicatriz de la inserción de la hoja cotiledónea. La altura de planta se midió desde el nivel del suelo a la hoja totalmente emergida más alta sin estirar la planta.

Los aportes de componentes morfológicos consistieron en la medición de longitud, volumen, número de nódulos y peso seco de la raíz, además del peso seco de la hoja y tallo, y de la razón tallo: hoja. Las mediciones se realizaron a los 148 DDPHV de forma destructiva en 3 plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento.

Una vez identificadas las plantas sujetas a medición con ayuda de agua corriente se lavó el suelo de la bolsa permitiendo desenterrar la planta; a la masa radical expuesta y libre de suelo se le midió la longitud de la raíz desde la corona hasta el ápice de la raíz principal, luego la masa radical fue sumergida en un vaso de precipitado de volumen 500 ml conteniendo 400 ml de agua anotando el desplazamiento de agua ocasionado y se siguió con el conteo de nódulos una vez registrada toda esta información se cortó la raíz, se separaron hoja y tallo, posteriormente fueron secados en estufa a 50 °C por 72 horas y finalmente pesados, con los pesos de tallo y hoja se calculó la razón tallo: hoja.

4.4.6. Manejo y análisis estadístico de los datos

Debido a que se registró una mortandad alta de plantas, se realizó un análisis de X^2 (Pagano, 2006) para determinar si la mortandad acumulada a 95 DDPHV se debió al nivel de fertilización con nitrógeno, para ello se consideró como única fuente de variación el nivel de N agrupando los niveles de P.

La mortandad de plantas se debió al nivel de N, siendo el de 50 kg N ha⁻¹ el que originó la máxima mortandad, por lo que los tratamientos con este nivel fueron excluidos de los análisis estadísticos de conformación estructural aérea y de aportes de componentes morfológicos; para ambos grupos de variables el modelo estadístico fue para un factorial 2 x 3 (dos niveles de N y los tres de P).

La conformación estructural aérea se analizó con un modelo estadístico de medidas repetidas incorporando como fuentes de variación la dosis de nitrógeno (N), de fósforo (P), y las interacciones resultantes. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + N_i + P_j + Edad_k + (N*P)_{ij} + (N*Edad)_{ik} + (P*Edad)_{jk} + N*P*Edad_{ijk} + E_{ijkl}$$

dónde: Y_{ijkl} fue el valor de la variable conformación estructural aérea; μ la media general; N_i el efecto de la i -ésima dosis de nitrógeno ($i = 0$ y 25 kg N ha⁻¹); P_j , el efecto de la j -ésima dosis de fósforo ($j = 0, 25$ y 50 kg P ha⁻¹); $Edad_k$, el efecto aleatorio de la k -ésima edad de la planta ($k = 95, 110, 125$ y 140 DDPHV); $N*P$, el efecto de la interacción de la dosis de nitrógeno y la de fósforo; $N*Edad$, el efecto de la interacción de la dosis de nitrógeno y la edad de la planta; $P*Edad$, el efecto de la interacción de la dosis de fósforo y la edad de la planta, $N*P*Edad$, el efecto conjunto de la dosis de nitrógeno, la de fósforo y edad de la planta; y E_{ijkl} , el error aleatorio asociado a la i -ésima dosis de nitrógeno, j -ésima dosis de fósforo, k -ésima edad de la planta y l -ésima observación ($l=1, \dots, 10$).

El análisis estadístico de los aportes de componentes morfológicos se realizó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + N_i + P_j + (N*P)_{ij} + E_{ijk}$$

dónde: Y_{ijk} , fue el valor del aporte del componente morfológico; μ , la media general; N_i , el efecto de i -ésima dosis de nitrógeno ($i = 0$ y 25 kg N ha⁻¹); P_j , el efecto de la j -ésima dosis de fósforo ($j = 0, 25$ y 50 kg P ha⁻¹); $N*P$, el efecto de

la interacción de la i -ésima dosis de nitrógeno y j -ésima dosis de fósforo; y ε_{ijk} , el error aleatorio asociado a la i -ésima dosis de nitrógeno; j -ésima dosis de fósforo y k -ésima observación ($k= 1, \dots, 3$).

Todos los cálculos asociados a los análisis de varianza se realizaron por el procedimiento GLM del paquete estadístico de SAS (SAS, 2004). En caso de efecto significativo con $p \leq 0.05$ de algún factor principal se procedió a la comparación múltiple de medias por Tukey (Steel y Torrie, 1998) y para el caso de interacciones significativas ($p \leq 0.05$) se usó la opción LSMEANS/ PDIFF para la comparación de dos medias en cada momento (SAS, 2004).

4.5. Resultados y discusión

4.5.1. Mortandad de plantas de *L. leucocephala* después de la fertilización

La mortandad de las plantas a 95 DDPHV fue determinada ($p < 0.05$) por el nivel de N, la máxima (100 %) fue con 50 kg de N ha^{-1} (Figura 11).

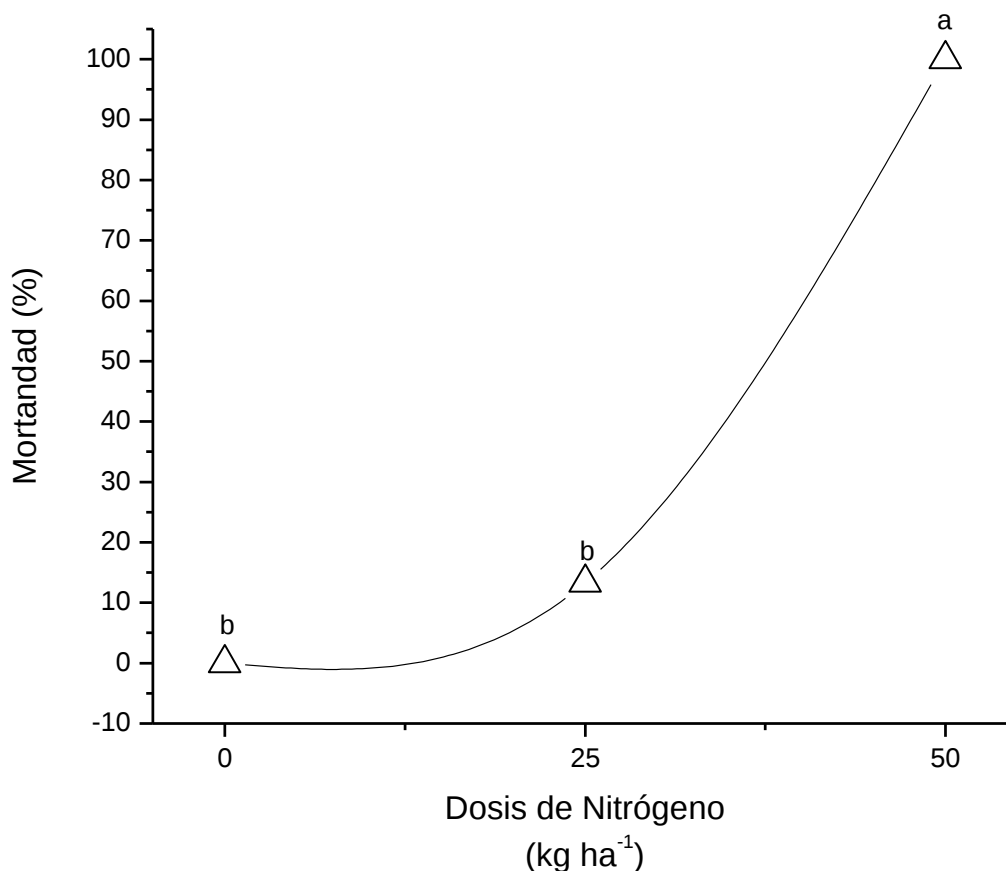


Figura 11. Mortandad acumulada en *L. leucocephala* cv. Cunningham a 95 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera y 15 días de haber recibido la aplicación de N como urea, promediando las de tres dosis de P (0, 25 y 50 kg ha^{-1}).

La mortandad del 100% se encuentra al aplicar urea a una dosis de 50 kg ha^{-1} , lo cual es indicativo de un efecto tóxico hacia la planta de *L. leucocephala*. Landis (1989) señala que la adición de altas cantidades de fertilizantes nitrogenados puede promover la muerte de plantas al darse una alta liberación

del amonio que se convierte en tóxico. La aplicación del equivalente a 50 kg N ha⁻¹ es una cantidad excesiva al aplicarse por planta contenida en bolsa.

4.5.2. Conformación estructural aérea a diferente dosis de nitrógeno y fósforo

Solamente la dosis de nitrógeno, edad y la interacción de ambas influyeron ($p < 0.01$) en la altura de planta y diámetro del tallo principal (Cuadro 12).

Cuadro 12. Significancia de las fuentes de variación en dos atributos de la conformación estructural aérea de *L. leucocephala* cv. Cunningham.

Atributo	Fuente de variación						
	N ^z	P ^y	Edad ^x	N*P	N*Edad	P*Edad	N*P*Edad
Altura de planta	**	ns	**	ns	**	ns	ns
Diámetro del tallo principal	**	ns	**	ns	**	ns	ns

^{ns} efecto no significativo ; **efecto significativo a $p \leq 0.05$.

La interacción de N x edad se atribuyó a que a partir de los 110 DDPHV, las plantas que no recibieron N mostraron mayor altura y DTP que las plantas que recibieron N; además para el caso de DTP a 125 DDPHV, no se registró diferencia entre las plantas con y sin N adicional. En la última medición realizada a 140 DDPHV las plantas sin N mostraron 82 cm y 9.1 mm de altura y DTP, respectivamente lo que significa un incremento del 16 y 27% con respecto de las plantas que recibieron N (Figura 12).

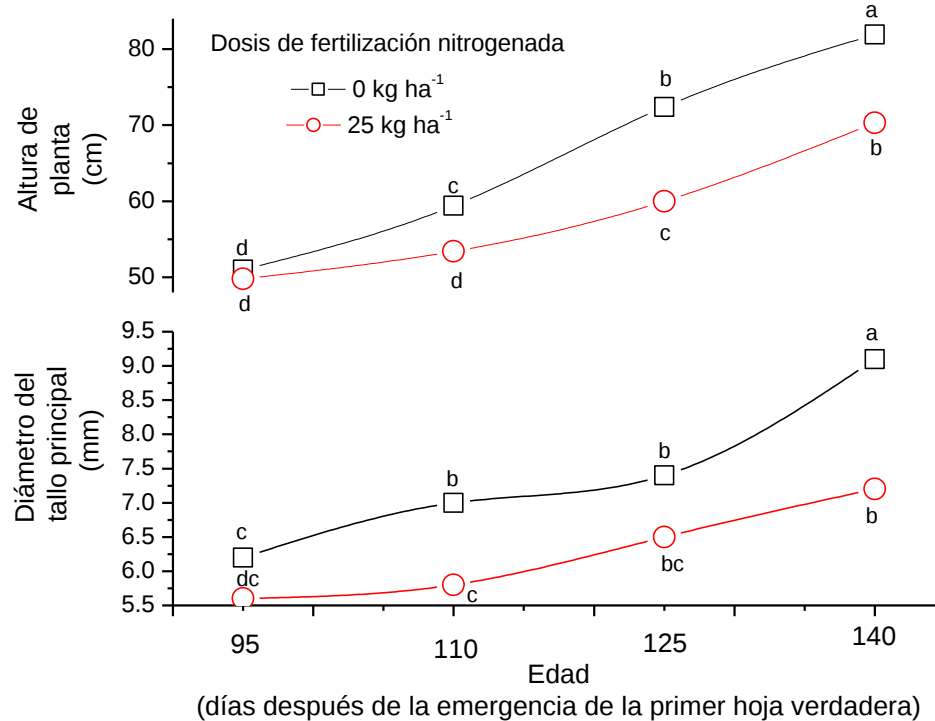


Figura 12. Atributos de la conformación estructural aérea de *L. leucocephala* cv. Cunningham a dos niveles de fertilización nitrogenada, promediando los tres niveles de fósforo.

Dosificar 25 kg ha⁻¹ de N no ocasionó mayor mortandad de plantas pero sí redujo el desarrollo de la parte aérea de las plantas. Landis (1989) menciona que concentraciones altas de algún nutrimento como el N puede ocasionar una reducción en el crecimiento de las plantas al tener estos nutrimentos un efecto de toxicidad.

La adición o no de P no originó cambios en la magnitud de la conformación estructural aérea (Figura 13). El N no promovió un mayor desarrollo aéreo por lo que la planta no mostró a su vez una mayor demanda de P.

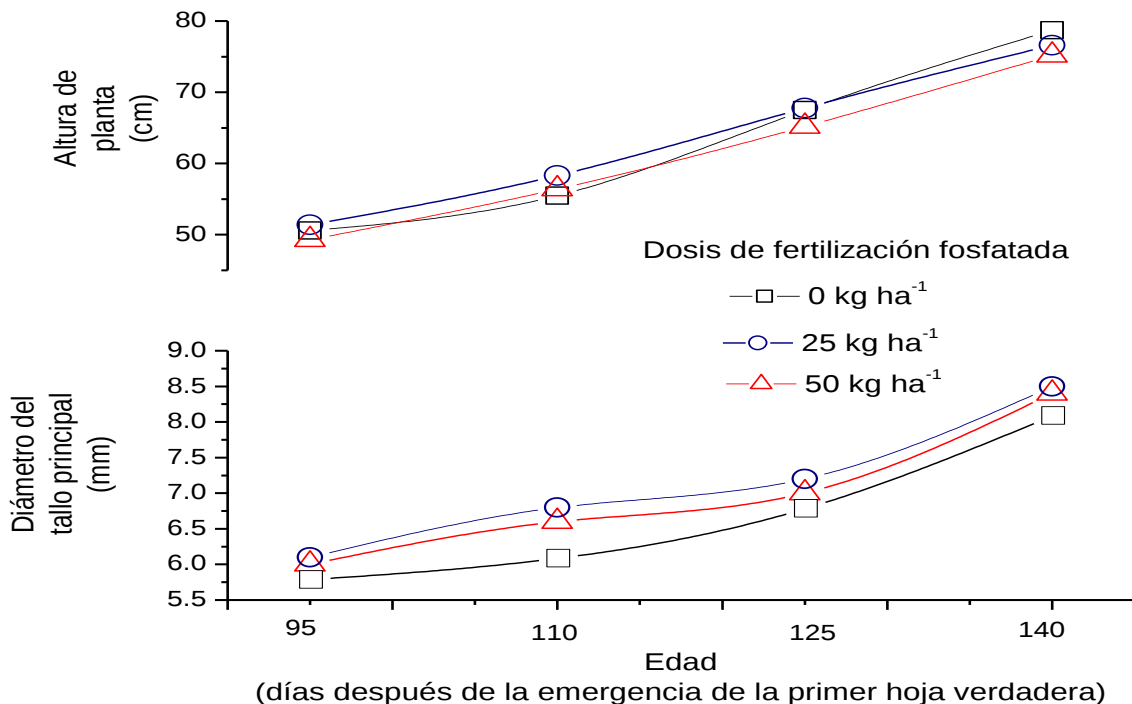


Figura 13. Atributos de la conformación estructural aérea de *L. leucocephala* cv. Cunningham a tres niveles de fertilización fosfatada y promediando sobre dos niveles de N agregado.

El corto intervalo de tiempo (68 días, a partir del momento de la fertilización hasta los 140 DDPHV) y la poca movilidad del P en el sustrato, pudieron ser factores probables que influyeron en la nula respuesta en conformación estructural aérea de *L. leucocephala*, al aumentar el nivel de P agregado. Molina *et al.* (1993) concluyeron que el P tiene poca movilidad en los suelos por lo que recomendaron no fraccionarlo. Navarro y Torres (2005) registraron diámetros del tallo principal de *Albizia lebbbeck* similares al aplicar 0, 40 y 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Sin embargo, la respuesta al P podría estar relacionada con la forma de aplicación. En una revisión de investigaciones por Santos y Aguilar (1999) indican que la movilidad y velocidad de absorción del fósforo vía foliar es 50% después de 8 días de ser aplicado.

L. leucocephala independientemente de la dosis de fertilización nitrogenada y fosfatada siempre mostró ($p < 0.05$) un incremento en los atributos de la conformación estructural aérea conforme avanzó en edad, en promedio la altura

y DTP fueron de 76.8 cm y 8.3 mm, respectivamente a los 140 DDPHV (Figura 14).

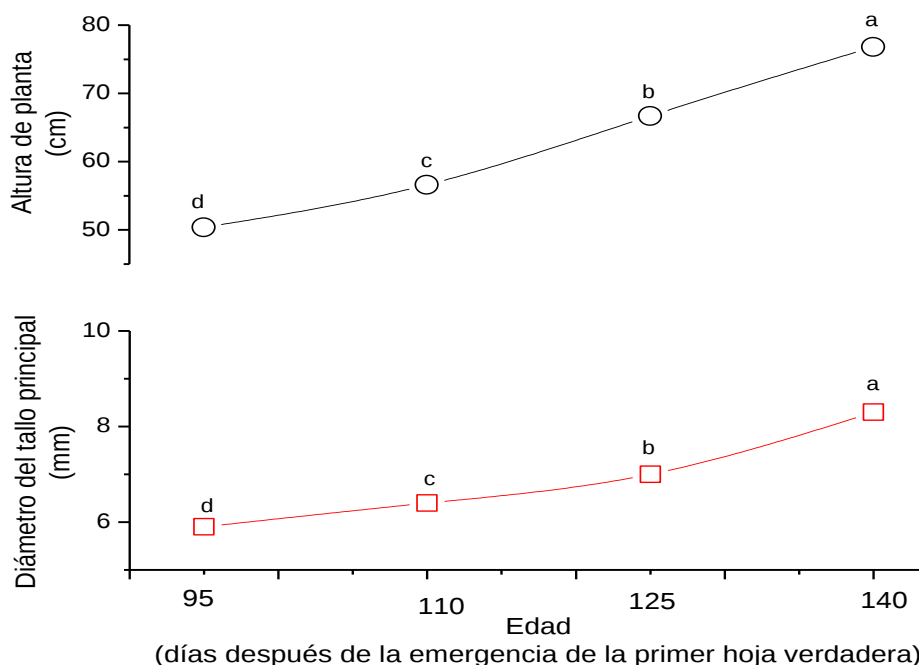


Figura 14. Atributos de la conformación estructural aérea de *L. leucocephala* cv. Cunningham a diferentes días después de la emergencia de la primer hoja verdadera.

Las condiciones de humedad y temperatura favorables al crecimiento contribuyeron a que las plantas mostraran un mejor desarrollo de la conformación estructural aérea. Sánchez *et al.* (2003) con plantas de *L. leucocephala* de hasta 140 DDPHV registraron 23.4 cm y 3.2 mm de altura de planta y diámetro del tallo principal, respectivamente, magnitudes inferiores a las registradas en presente estudio.

4.5.3. Aporte de componentes morfológicos a diferente dosis de fertilización con nitrógeno y fósforo

Solamente en peso de la hoja no se encontró ($p>0.05$) efecto de nivel de N, mientras que el P mostró efecto ($p<0.05$) en peso de tallo y en la razón tallo:

hoja. La interacción de estos dos factores solamente influyó ($p < 0.05$) en la razón tallo: hoja (Cuadro 13).

Cuadro 13. Significancia de las fuentes de variación en los aportes de los componentes morfológicos de *L. leucocephala* cv. Cunningham.

Atributo	Fuente de variación		
	N	P	NxP
Longitud de raíz(cm)	*	ns	ns
Volumen de raíz,(ml)	**	ns	ns
Raíz (g MS planta ⁻¹)	*	ns	ns
Hoja (g MS planta ⁻¹)	ns	ns	ns
Tallo (g MS planta ⁻¹)	**	*	ns
Razón tallo:hoja	**	*	*
Número de nódulos	**	ns	ns

^{ns} efecto no significativo; * efecto significativo a $p \leq 0.05$; ** efecto significativo a $p \leq 0.001$.

La adición de N puede reducir la razón tallo: hoja solamente si se adiciona 25 kg de P ha⁻¹, de no existir P adicional el N no provoca cambios en la razón tallo: hoja; además el aumentar la dosis de P a 50 kg ha⁻¹ no implicó una mayor reducción en la razón tallo: hoja (Cuadro 14).

Cuadro 14. Relación tallo: hoja a 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham con diferente nivel de fertilización con nitrógeno y fósforo.

Nivel de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Nivel de fósforo (kg ha ⁻¹)		
	0	25	50
0	1.37a ^z	1.31a	1.30a
25	1.23a	0.83b	0.83b

^z Medias sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$)

Las plantas sin N mostraron 13, 52, 27, 136 y 100% mayor peso del tallo y raíz, volumen y longitud de raíz y nódulos que las plantas con N agregado, respectivamente (Figura 15).

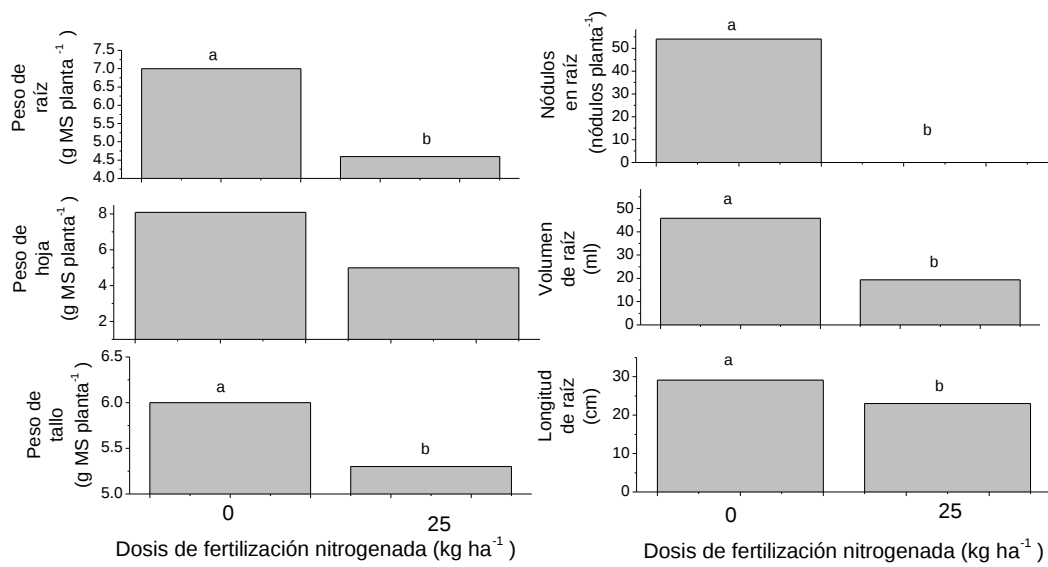


Figura 15. Aporte de componentes morfológicos a los 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham con fertilización nitrogenada.

Agregar 25 ó 50 kg de P ha⁻¹ implicó una reducción de 15% en el peso del tallo con respecto a las plantas sin P adicional; mientras que en el volúmen de la masa radical aplicar la máxima dosis de P evaluado ocasionó una reducción de 20% con respecto al volumen radical registrado a las dosis de 0 y 25 kg de P ha⁻¹ que no mostraron diferencia entre ellas (Figura 16).

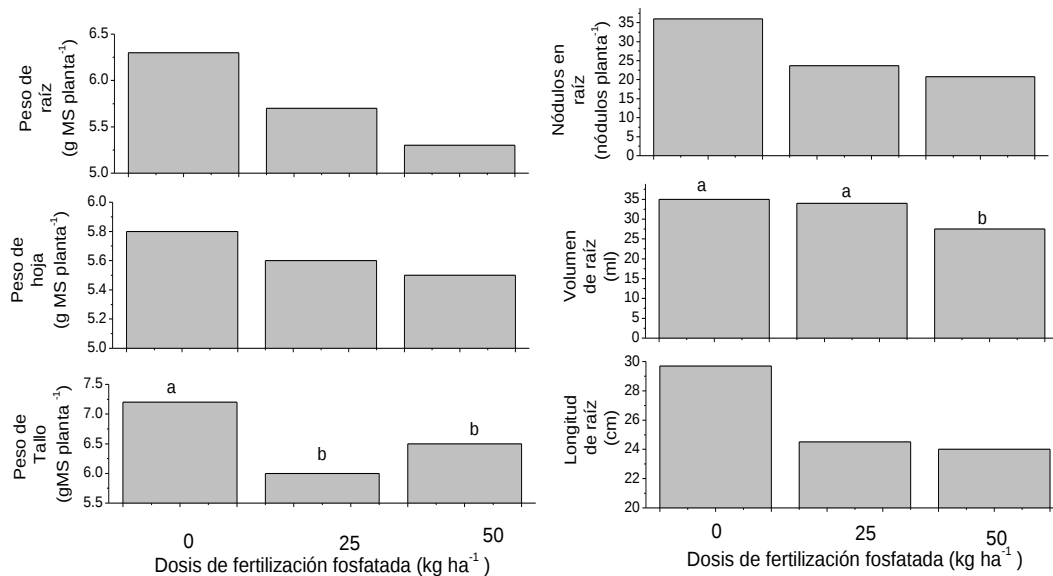


Figura 16. Aporte de componentes morfológicos a los 148 días después de la emergencia de la primer hoja verdadera en *L. leucocephala* cv. Cunningham con fertilización fosfatada.

La mayor razón tallo: hoja encontrada en las plantas sin fertilizarse puede explicar por el impacto que mostró tanto el N como el P en reducir el peso del tallo al ser aplicados como fertilizantes, sin tener ninguno de ellos efecto en el peso de la hoja. Sin embargo, Navarro y Torres (2005) registraron mayor rendimiento de MS en plantas de *Albizia lebbeck* al agregar 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en época de lluvias y concluyeron que las leguminosas podrían incrementar el rendimiento de MS con la fertilización de P, contrario a lo encontrado en este estudio.

El enriquecimiento del suelo con N y P en general ocasionó un menor desarrollo y crecimiento de la parte aérea como subterránea de *L. leucocephala* y aplicar 50 kg ha⁻¹ de N resultó tóxico para las plantas.

El impacto detrimental del N agregado podría explicarse con base en lo señalado por Timmer y Armstrong (1987) en el sentido de que un ambiente edáfico muy rico en amonio puede ocasionar un efecto tóxico en raíces.

También es conocido el efecto negativo sobre la formación y desarrollo de nódulos cuando existe alta disponibilidad de N amoniacal en el suelo (Razz *et al.*, 1992; Pérez *et al.*, 1996; Segura *et al.*, 2006).

La reducción en los atributos de raíz (peso, volumen y longitud) se pueden explicar con base en que la concentración de N y P en una parte del suelo por efecto de la fertilización, redujo el potencial de exploración del suelo por parte de la raíz. Mayerling y Ramírez, (2000) concluyeron que con deficiencias de P hay mayor formación de pelos radicales y longitud de la raíz principal, esto con la intención de abarcar mayor área superficial de absorción.

4.6. Conclusiones

El crecimiento inicial de *L. leucocephala* puede afectarse negativamente al enriquecer el suelo con fertilización nitrogenada y fosfatada, en particular el N puede producir un nivel tan alto de toxicidad que ocasione la muerte de las plantas. La fertilización con N y P puede no ser una opción para fomentar un mayor crecimiento inicial de *L. leucocephala* en la fase de vivero

4.7. Literatura citada

- Landis, T. D. 1989. Fertilización y riego. *In*: Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Ed. Agricultural Hnadbbk. Washington, D.C: US. Tomo 4. 71 p.
- Mayerling F., S., y R. Ramírez. 2000. Efecto de la fuente de fósforo sobre la morfología radical y la acumulación de siete líneas de maíz. *Bioagro* 12(2): 41-46. [http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/Rev1_2\(2\)/2.%20Efecto%20de%20la%20fuente%20de%20fósforo.pdf](http://cdcht.ucla.edu.ve/bioagro/Rev1_2(2)/2.%20Efecto%20de%20la%20fuente%20de%20fósforo.pdf) consultado al día 26 de enero de 2010.
- Molina, E., R. Salas, y A. Castro. 1993. Fertilización fosfórica de la fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Fraijanes, Alajuela. *Agronomía Costarricense* 17(1): 61-66.
- Navarro D., L., y A. Torres. 2005. Efecto de la fertilización fosfórica y cálcica sobre el crecimiento, producción de biomasa y proteína cruda en *Albizia lebbbeck* cultivada en condiciones de sabana. *Zootecnia Tropical* 23(4): 363-372.
- Pagano R., R. 2006. Estadística para las ciencias del comportamiento. 7ª. Edición. Thompson, México D.F. 564 pp.
- Peoples, M. B., and D. F. Herridge. 1990. Nitrogen fixation by legumes in Tropical and subtropical agriculture. *Advances in Agronomy* 44: 155-223.
- Pérez, J. J., T. Clavero, R. Razz, Z. García, L. González, y C.C. de Rincón. 1996. Efecto de la fertilización sobre la nodulación y crecimiento radicular en *Acacia mangium* Willd en condiciones de vivero. *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ* 13: 161-167.
- Razz R., Gonzalez R., J. Faria, D. Esparza, y N. Faria. 1992. Effect of frequency and intensity of defoliation on nutritive value of *Leucaena leucocephala*. *Revista Facultad de Agronomía LUZ* 9: 109-114.
- Ruiz, T. E., y G. Febles. 2006. Agrotecnia para el fomento de sistemas con leguminosas. *In*: Recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. Milera, C. R (comp). Universidad de San Carlos de Guatemala. pp: 104-105.
- Sánchez, A., O. Miquilera y R. Flores. 2003. Comportamiento de *Leucaena leucocephala* durante el establecimiento regada por goteo artesanal en ambientes semiárido. *Revista Facultad de Agronomía LUZ* 20(3): 352-363.
- Santos, A. T., y D. Aguilar. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17 (3): 247-255. www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art247-255.pdf. Consultado el día 25 de enero de 2010.
- SAS. 2004. SAS/SAT. User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC). 1-7: 5180.

- Segura, M., A. Castillo, y A. Alvarado. 2006. Efecto de la fertilización con fósforo sobre la nodulación de Frankia en plantaciones de *Alnus acumata* en andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(1): 43-52.
- Squeire, R. D., P. Attiwill M., y F. Neals T. 1987. Effects of changes of available water and nutrients on growth, root development, and water use in *Pinus radiata* seedlings. *Australian Forest Research* 17 (1): 99-111.
- Steel, R. G., y J. H. Torrie. 1998. Bioestadística: principios y procedimientos. 2ª Ed. Mc Graw Hill. México. 622 p.
- Timmer, V. R., y G. Armstrong. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1082-1086.