



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA,
INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA GUAJE-ZACATE
MOMBASA Y AGOSTADERO LOCAL PASTOREADOS POR
OVEJAS PELIBUEY EN DESARROLLO

TESIS

Que como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JULIO CÉSAR CAMPOS OJEDA

Bajo la supervisión de: ENRIQUE CORTÉS DÍAZ, DR.



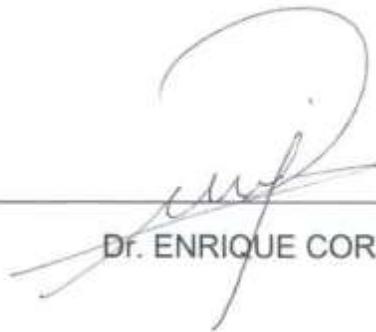
Chapingo, Estado de México, junio de 2018

**COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA GUAJE-ZACATE MOMBASA Y
AGOSTADERO LOCAL PASTOREADOS POR OVEJAS PELIBUEY EN
DESARROLLO**

Tesis realizada por **JULIO CÉSAR CAMPOS OJEDA** 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: _____



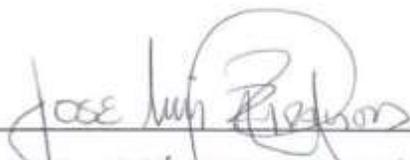
Dr. ENRIQUE CORTÉS DÍAZ

ASESOR: _____



Ph.D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: _____



Ph.D. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
AGRADECIMIENTOS	IX
DATOS BIOGRÁFICOS	X
RESUMEN GENERAL	XI
GENERAL ABSTRACT	XII
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Sistemas silvopastoriles	3
2.1.1 Influencia sobre la fertilidad del suelo	4
2.1.2 Influencia en la cantidad y calidad del forraje ofrecido	5
2.1.3 Influencia en la productividad del ganado	7
2.1.4 Influencia en bienestar animal	9
2.1.5 Influencia en la disminución de parásitos en el ganado	9
2.1.6 Influencia sobre la biodiversidad	10
2.2 Especies utilizadas en el estudio	14
2.2.1. Guaje (<i>Leucaena leucocephala</i> Lam. De Wit)	14
2.2.2. Zacate Mombasa (<i>Megathyrsus maximus</i> var. Mombasa)	16
2.3. Importancia de los minerales en el forraje	19
2.4. Literatura citada	20
3 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE DOS ESPECIES DE LEUCAENA CRECIENDO EN TRES SUSTRATOS	29
3.1 Resumen	29
3.2. Abstract	30
3.3 Introducción	31
3.4 Materiales y métodos	31
3.5 Resultados y discusión	33

3.6	Conclusiones	39
3.7	Literatura citada	40
4.	COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA GUAJE–ZACATE MOMBASA Y AGOSTADERO LOCAL PASTOREADOS POR OVEJAS PELIBUEY EN DESARROLLO	42
4.1	Resumen	42
4.3.	Introducción	44
4.4.	Materiales y métodos.....	45
4.4.1.	Localización	45
4.4.2.	Producción y trasplante de plántulas de Leucaena	45
4.4.3.	Tratamientos y diseño experimental.....	45
4.4.4.	Establecimiento de las parcelas experimentales.....	46
4.4.5.	Agostadero local.....	46
4.4.6.	Manejo del pastoreo.....	46
4.4.7.	Variables medidas y calculadas	47
4.4.8.	Análisis de suelo	48
4.6.9.	Manejo de datos y análisis estadístico	48
4.5.	Resultados y discusión	48
4.6.	Conclusiones	55
4.7.	Literatura citada	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i=ae^{(-bx_i)}$ para describir el cambio en el peso total por plántula en <i>L. leucocephala</i> y <i>L. collinsii</i> crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.....	35
Cuadro 2. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i=ae^{(-bx_i)}$ para describir el cambio en el peso de raíz por plántula en <i>L. leucocephala</i> y <i>L. collinsii</i> crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.....	36
Cuadro 3. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i=ae^{(-bx_i)}$ para describir el cambio en el peso de hojas por plántula en <i>L. leucocephala</i> y <i>L. collinsii</i> crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.....	37
Cuadro 4. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i=ae^{(-bx_i)}$ para describir el cambio en el peso de tallo en <i>L. leucocephala</i> y <i>L. collinsii</i> crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.	38
Cuadro 5. Cantidad de forraje ofrecido (FO) y forraje rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y el agostadero (kg MS ha ⁻¹).....	49
Cuadro 6. Asignación diaria de forraje (ADF), grado de cosecha (GC), tasa de desaparición de forraje (TDF) y ganancia diaria de peso de ovinos (GDP) en el sistema silvopastoril y agostadero.	51
Cuadro 7. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS), proteína cruda (PC) y materia orgánica (MO) de forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y agostadero.	52

Cuadro 8. Materia orgánica (MO), pH, nitrógeno total (N), fósforo (P), potasio (K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo del sistema silvopastoril y agostadero..... 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación taxonómica de <i>Leucaena leucocephala</i> (Orwa, Mutua, Kindt, Jamnadass & Anthony, 2009).....	14
Figura 2. Imagen y clasificación taxonómica de <i>Megathyrus maximus</i> (Cabi, 2012).....	17
Figura 3. Peso total por plántula de <i>Leucaena leucocephala</i> y <i>L. collinsii</i> crecidas en tres sustratos en los primeros 49 días luego del trasplante a bolsa de vivero.	34
Figura 4. Peso de raíz, hoja y tallo de <i>L. leucocephala</i> y <i>L. collinsii</i> creciendo en tres sustratos a los 49 días después del trasplante, donde LLS corresponde a <i>L. Leucocephala</i> en suelo (100%), LLSC <i>L. Leucocephala</i> en suelo (50%) + composta (50%) y LLSCA <i>L. Leucocephala</i> en suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%) y LCS corresponde a <i>L. Collinsii</i> en suelo (100%), LCSC <i>L. Collinsii</i> en suelo (50%) + composta (50%) y LCSCA <i>L. Collinsii</i> en suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%).	39

DEDICATORIAS

A mi compañera de vida Gabi y a mi hijo César
Daniel

A mis padres y hermanos

A mis amigos y familiares

“Somos lo que repetidamente hacemos. La excelencia entonces, no es un acto sino un hábito.” *Aristóteles*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la asignación de recursos para facilitar la presente investigación.

Al Dr. Enrique Cortés Díaz por compartir sus conocimientos, por su paciencia y por su apreciable amistad.

Al Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez por su disposición, apoyo y sugerencias para la mejora y desarrollo de esta investigación.

Al Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández por sus valiosas aportaciones para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Un agradecimiento sincero a la familia Benítez Bahena por su apreciable apoyo para realizar el trabajo de campo y por permitirme entrar en su hogar.

A José Manuel Quintero Sánchez por su amistad y por el apoyo en la realización de la presente investigación.

A Gabriela por su apoyo incondicional y por sus sabios consejos.

Y a todos aquellos que directa e indirectamente hicieron posible la culminación del presente trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre Julio César Campos Ojeda

Fecha de nacimiento 4 de julio de 1992

Lugar de nacimiento Atoyac de Álvarez, Guerrero

No. Cartilla militar D-4895287

CURP CAOJ920704HGRMJL09

Profesión Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional 9941486



Desarrollo académico

Bachillerato Preparatoria General Hermenegildo Galeana Número 6

Licenciatura Departamento de Zootecnia
Universidad Autónoma Chapingo (2011-2015)

RESUMEN GENERAL

COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA GUAJE-ZACATE MOMBASA Y AGOSTADERO LOCAL PASTOREADOS POR OVEJAS PELIBUEY EN DESARROLLO¹

Los sistemas silvopastoriles se han desarrollado de manera rápida en los últimos años, debido a los diversos beneficios que se le han atribuido en la producción ganadera. Pero también enfrentan una serie de problemas, principalmente en la etapa de establecimiento de la especie arbórea o arbustiva, ya que de ello depende el éxito o fracaso de éstos, en esta etapa las plantas compiten con una gran cantidad de especies vegetales por espacio, nutrientes e incluso por agua, por ello surge la interrogante de cómo establecer la especie arbórea, ya sea por siembra directa o trasplante y la densidad apropiada. En la presente tesis se analizó el crecimiento de plántulas de dos especies de *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* y *L. collinsii*) en tres sustratos, en condiciones de invernadero, la tasa relativa de crecimiento fue similar en *L. leucocephala* en los tres sustratos ($p \leq 0.05$) y en *L. collinsii* fue máxima ($p \leq 0.05$) en suelo solo. Además se determinó el comportamiento productivo de un sistema silvopastoril de *Leucaena*-zacate mombasa, a diferente densidad de la primera y del agostadero local. En los sistemas silvopastoriles y agostadero se determinaron ocho variables agronómicas y ganancia de peso de las borregas. Las variables agronómicas y ganancia de peso variaron ($p \leq 0.05$) por sistemas y agostadero. Con base en ganancia de peso los sistemas silvopastoriles con 10000 y 15000 plantas de *Leucaena leucocephala* por hectárea fueron los de mejor comportamiento comparados con el agostadero local. Se concluyó que la conformación del sistema silvopastoril es determinante sobre el comportamiento agronómico y el nivel de producción animal.

Palabras clave: sistema silvopastoril, *Leucaena leucocephala*, *Leucaena collinsii*, ovejas Pelibuey, zacate mombasa.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Julio César Campos Ojeda
Director de la tesis: Dr. Enrique Cortés Díaz

GENERAL ABSTRACT

PERFORMANCE OF THE GUAJE-MOMBASA GRASS SYSTEM AND LOCAL RANGE GRAZED BY PELIBUEY EWE-LAMBS²

Silvopastoral systems have developed rapidly in recent years, due to the various benefits that have been attributed in livestock production. However, failure in tree and shrub establishment has been common and then the total failure of the silvopastoral system. Tree and shrub establishment success depends on the chances plant species have to reach favorable light, mineral and moisture environments, then vigorous and hardy seedlings might show higher rate of success. In this thesis the nursery growth of seedlings of two species of *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* and *L. collinsii*) grown on three substrates was analyzed, *L. leucocephala* seedlings grew the same ($p \geq 0.05$) on all three substrates; while *L. collinsii* seedlings showed maximum growth on soil alone. Performance of Guaje-mombaza grass system at different guaje densities and of local range was compared. Eight agronomic attributes and daily weight gain of ewe-lambs were measured. Agronomic variables and daily weight gain were different ($p \leq 0.05$) among Guaje-mombaza systems and local range; based on daily weight gain the silvopastoral system with 10000 and 15000 plants of *Leucaena* ha⁻¹ were above the local range. It was concluded that conformation of the Guaje-mombaza system determines agronomic and daily weight gain performance.

Key words: silvopastoral system, *Leucaena leucocephala*, *Leucaena collinsii*, Pelibuey sheep, Mombasa grass.

² Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Julio César Campos Ojeda
Advisor: Dr. Enrique Cortés Díaz

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México el censo ovino fue de siete millones de cabezas que se mantienen mayormente del pastoreo de áreas con muy poco mejoramiento encaminado a proporcionar forraje en abundancia y de calidad (INEGI, 2013).

En algunos casos el mal manejo del pastoreo con ovinos ha ocasionado erosión, pérdida de especies vegetales, alteraciones del ciclo de nutrientes y competencia por espacios para convivencia humana (INIFAP, 2011).

En particular en el ejido “El Limón de Cuauichinola”, dentro de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla (RBSH), Morelos, la ganadería extensiva contribuye a los ingresos familiares. Pero además de la disposición de los habitantes de conservar los recursos naturales propios de la región surge la necesidad de implantar modelos ganaderos que a la vez no incrementen los riesgos de deterioro del ecosistema y que sean rentables.

Los sistemas silvopastoriles han sido señalados como parte de un modelo ganadero que puede mejorar la rentabilidad de la producción ovina y evitar los daños a los ecosistemas; entre los sistemas silvopastoriles están aquellos que se conforman con la asociación de gramíneas forrajeras y leguminosas leñosas perennes, con esta asociación se busca incrementar la cantidad de forraje de buena calidad y disminuir el costo de alimentación en comparación al uso exclusivo de gramíneas forrajeras y el agostadero natural. En asociaciones de este tipo la oferta de forraje puede alcanzar de 1.1 a 2.4 t MS ha⁻¹, con 19 a 26 y de 45 a 67% de proteína cruda y digestibilidad *in vitro*, respectivamente (Bacab, Solorio & Solorio, 2012; Trejo, 2013).

La incorporación del Guaje (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) en asociación de gramíneas forrajeras ha sido un tipo de sistema silvopastoril de elección para diferentes regiones en México y el mundo, por su respuesta en cantidad de forraje de calidad y con ello de impacto positivo en el comportamiento de los animales en pastoreo y del reciclaje de minerales en suelo; sin embargo,

existe poca información sobre la sensibilidad de este tipo de asociación a la densidad de Guaje, como opciones de manejo en vivero que aseguren plantas con mayor crecimiento al momento del trasplante. Para el caso de la RBSH donde existen de forma natural otras especies de *Leucaena*, es importante validar la superioridad de *L. leucocephala*.

Por ello, los objetivos del estudio fueron comparar el crecimiento de plántulas de *L. leucocephala* y *L. collinsii* en condiciones de invernadero con base en acumulación de materia seca, además de comparar dos densidades de *Leucaena leucocephala* asociada a zacate mombasa (*Megathyrsus maximus* var. Mombasa) y el agostadero tradicional con base en cantidad y calidad del forraje ofrecido y rechazado, y el comportamiento del peso de ovejas Pelibuey en desarrollo, con la finalidad de conocer el impacto de un sistema silvopastoril en la región y establecer estrategias de producción ovina para mejorar la productividad de esta especie ganadera.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una rama de la agroforestería, donde se asocian una o más especies en dos estratos, en el primero se establecen especies de gramíneas forrajeras; así como plantas herbáceas con potencial forrajero, mientras que en el segundo se establecen especies arbustivas o arbóreas, generalmente se siembran plantas de leguminosas u otras especies de árboles maderables o frutales. Las plantas forrajeras son aprovechadas por una especie animal, de manera que existe una interacción biológica entre especies (Alonso, 2011; Bustamante, 2004; Murgueitio et al., 2016; Russo, 2015).

Russo (2015) clasifica los sistemas silvopastoriles de acuerdo a su enfoque u objetivo: forestal, pastoreo de plantaciones, bosques naturales y huertos; ganadero, praderas con árboles o arbustos forrajeros, árboles aislados en potreros, cercas vivas, sistema mixto integrando árboles forrajeros o maderables o frutales, prácticas agroforestales en ganadería y sistemas silvopastoriles intensivos (especializados en producción animal).

Los SSP ofrecen ventajas económicas, productivas, sociales y ambientales (Russo, 2015), estas ventajas se derivan del aporte de hojarasca que mejora y protege los suelos (Sánchez, Crespo & Hernández, 2007), proveer hábitats a la fauna silvestre (Iraola, Muñoz, García & Hernández, 2015), contribuir a la recuperación de suelos y mantener o incrementar los niveles de carbono orgánico en el suelo (Crespo, 2008).

En ocasiones la implantación de SSP está limitada por investigación insuficiente para validar las mejores opciones en diseño y especies (Clavero & Suárez, 2006); los árboles en los potreros demandan mayor tiempo y riesgo para establecerse en comparación a gramíneas y otros estratos herbáceos; insuficiente educación agroforestal; falta de terrenos para su establecimiento; escaso o insuficiente financiamiento para cubrir importes en semillas de calidad, mano de obra

calificada y otros insumos; y los productores consideran que las gramíneas y otros componentes herbáceos no prosperan adecuadamente a la sombra de los árboles.

A continuación se discuten algunas de las ventajas encontradas al implantar algún SSP.

2.1.1 Influencia sobre la fertilidad del suelo

La incorporación de leñosas en los SSP puede mejorar la fertilidad del suelo mediante la capacidad de estas especies de fijación de ciertos minerales, incremento de la materia orgánica y promover el censo de la macro y microfauna del suelo, componente vital para el reciclaje de nutrientes en el ecosistema (Sánchez, Hernández & Simón, 2003).

Caso muy particular de aumento de la fertilidad del suelo son las leñosas leguminosas, que albergan y alimentan en sus raíces bacterias del género *Rhizobium*, capaces de incorporar N₂ presente en la atmósfera a la cadena suelo-planta-animal, el potencial de incorporación de N es muy variable, algunas estimaciones están dentro del intervalo de 250 a 400 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Bacab & Solorio, 2011; Bueno & Camargo, 2015; Deise et al., 2014; Pezo & Ibrahim, 1998; Yamamoto, Dewi & Ibrahim, 2007).

Sánchez, Crespo, Hernández y García (2008) compararon la acumulación y rapidez de degradación de hojarasca en una pradera de *Megathyrsus maximus* con y sin asociación de *Leucaena leucocephala* en un arreglo silvopastoril; con la presencia de *L. leucocephala* hubo 6 veces más hojarasca (12.5 t MS ha⁻¹ año⁻¹), que se degradó con mayor rapidez que sin la incorporación de *L. leucocephala*, concluyendo estos autores que la cantidad y dinámica de la hojarasca favorece una mayor protección y fertilidad del suelo.

Crespo, Lok y Rodríguez (2004), y posteriormente Solorio, Bacab y Ramírez (2011) concuerdan en registrar mayor cantidad de hojarasca en los arreglos silvopastoriles en comparación con las áreas de solo cubierta herbácea; sin

embargo, los aumentos relativos fueron menores, no más de dos veces, lo que permite señalar que el incremento en la cantidad total de hojarasca dependerá de condiciones ambientales específicas.

Luego de implantado el arreglo silvopastoril se puede esperar un aumento en la fertilidad del suelo por aumento y mantenimiento de una alta concentración de materia orgánica, algunos estudios registraron contenidos de entre 4 y 5% de materia orgánica luego de dos a cinco años de haberse implantado el sistema silvopastoril, estas concentraciones son consideradas altas y por arriba del 1%, que es señalado como un límite mínimo para una fertilidad del suelo aceptable (Alonso, Sampaio, Febles & Achang, 2007; Lok, Fraga & Díaz, 2003; Sánchez et al., 2003).

Crespo, Rodríguez y Fraga (2000) encontraron que en un sistema silvopastoril, el balance anual registró un aumento en N (22 kg ha^{-1}) y P (1 kg ha^{-1}), sin cambio en K; mientras que en este mismo tiempo el suelo sosteniendo un monocultivo perdió N (15 kg ha^{-1}), P (6 kg ha^{-1}) y K (17 kg ha^{-1}), lo que permite afirmar que el arreglo silvopastoril es una opción en el manejo del recurso natural con mayor posibilidad de una fertilidad del suelo sustentable en el largo plazo, no así el monocultivo.

2.1.2 Influencia en la cantidad y calidad del forraje ofrecido

Los SSP al incluir árboles o arbustos forrajeros pueden proveer de un forraje ofrecido de mayor calidad en comparación al forraje proveniente únicamente de gramíneas tropicales, esto es particularmente cierto cuando se incorporan leguminosas arbóreas y al mejorarse la calidad del forraje ofrecido puede lograrse a la par una mejora en el nivel de producción animal o una reducción en costo de alimentación, al requerirse una menor complementación para el ganado (Bacab et al., 2012). Casasola, Ibrahim, Harvey y Kleinn (2001) observaron que al incorporarse *Acacia pennatula* (leguminosa arbórea) en un arreglo silvopastoril fue capaz de proveer de un forraje con no menos de 19.5% de proteína cruda y contenidos de fibras detergentes neutro y ácido de 39.3 y 24.3%,

respectivamente, lo que se señaló como un forraje de excelente calidad en comparación al forraje proveniente únicamente de gramíneas tropicales.

Gaviria, Naranjo, Bolívar y Barahona (2015) determinaron que el forraje de *Leucaena leucocephala* mostró en promedio 26.1% de proteína cruda, poco más de tres y dos veces el contenido registrado en las gramíneas acompañantes *Megathyrsus maximus* var. Tanzania y *Cynodon plectostachyus*, respectivamente; señalando con ello la importancia de los arreglos silvopastoriles como opción para mejorar la calidad del forraje ofrecido.

Ribaski y Menezes (2002) encontraron que la mejora en la calidad del forraje ofrecido de un arreglo silvopastoril no solo responde a que el árbol o arbustiva forrajera provea de un forraje de mayor calidad, sino también de una mejora en el forraje proveniente del estrato herbáceo crecido en asociación. *Cenchrus ciliaris* asociado a *Prosopis juliflora* en arreglo silvopastoril mostró 8.44% de proteína cruda, la cual cuenta con una unidad porcentual por arriba del forraje de esta gramínea crecida en monocultivo.

Campos et al. (2011) indicaron que el arreglo silvopastoril también puede mostrar una oferta de forraje mayor que praderas conformadas únicamente con gramíneas, *Brachiaria decumbens* en arreglo silvopastoril rindió 12% más (1.12 t MS ha⁻¹) que en una condición de monocultivo. Román-Miranda, Palma-García, Zorrilla-Ríos y Mora-Santacruz (2016) con *Leucaena leucocephala* crecida como banco de proteína registraron rendimientos de forraje en base seca de 6.82 a 9.10 t MS ha⁻¹ año⁻¹, lo que podría señalarse como un forraje adicional al proveniente del estrato herbáceo al ocupar la *L. leucocephala* un estrato superior.

Solorio et al. (2011) compararon la cantidad de forraje ofrecido en dos arreglos silvopastoriles uno con *Leucaena leucocephala*-*Megathyrsus maximus* y el otro con árboles dispersos de *Mangifera indica* comparado con un monocultivo de *Cynodon nlemfuensis*; encontraron que en ambos arreglos la cantidad de forraje ofrecido base seca fue de 2.6 t ha⁻¹, cerca de tres veces la cantidad de forraje ofrecido con el monocultivo.

Córdoba, Naranjo y Cuartas (2010) registraron 3.5 y 5.5 t de forraje ofrecido base seca ha^{-1} en un sistema silvopastoril con frutales y con árboles maderables respectivamente, mientras que en monocultivo la oferta de forraje base seca fue de 1.2 t ha^{-1} . Lamela, López, Sánchez, Díaz y Valdés (2009) reportaron 3.0 t de forraje base seca en oferta ha^{-1} pastoreo^{-1} , con 20% de PC en un sistema silvopastoril con una asociación de *Leucaena leucocephala* y *Cynodon nlemfuensis*; Palma (2006) registró 3.7 y 3.6 t de forraje ofrecido base seca ha^{-1} en un sistema silvopastoril *Cenchrus ciliaris* + *Gliricidia sepium* y *Cenchrus ciliaris* en monocultivo, respectivamente.

Molina y Uribe (2002) indican que la mayor oferta de forraje y de mayor calidad proveniente de un arreglo silvopastoril en comparación con monocultivo origina que el rendimiento de nutrimento por unidad de superficie también se aumente. Los rendimientos de *Cynodon plectostachyus* en arreglo silvopastoril con *Leucaena leucocephala* y en cultivo monófito, fueron, respectivamente: 4.1 y 2.5 t de proteína cruda ha^{-1} año^{-1} ; 70000 y 56000 Mcal ha^{-1} año^{-1} ; 142.3 y 83.2 kg de Ca ha^{-1} año^{-1} ; y 88.8 y 74 kg de P ha^{-1} .

2.1.3 Influencia en la productividad del ganado

Los SSP, al ofrecer forraje abundante y de buena calidad pueden ser un modelo para mejorar la productividad de la ganadería, Campos et al. (2011) registraron ganancias diarias de peso de 666 y 567 g vaquilla^{-1} con *Brachiaria decumbens* en arreglo silvopastoril y pradera monófito, respectivamente; en el arreglo silvopastoril se incorporaron árboles forrajeros, mayor oferta de forraje de calidad en el arreglo silvopastoril fue considerado como el factor principal para la mayor ganancia de peso registrada. Murgueitio (2010) concluyó que los arreglos silvopastoriles con árboles frutales o maderables promovían una ganancia diaria de peso de 1.5 a 2.6 veces mayor que la registrada en praderas monófitas de gramíneas tropicales, estos incrementos sin necesidad de proveer alimento suplementario, apuntalando que la mejora biológica puede ir acompañada de una mejora en la rentabilidad de la empresa ganadera. Espinoza, Torres y Chacón (2007) encontraron que la ganancia diaria de peso de becerros recién destetados

fue casi 9% superior cuando se expusieron a un arreglo silvopastoril de banco de proteína de *Leucaena* en comparación a la suplementación con harina de arroz, además de la mayor respuesta biológica del arreglo silvopastoril se señala la posibilidad de que es una oportunidad de mejora de la rentabilidad de la finca con base en el costo de banco de proteína y el de adquisición de la harina de arroz.

Pérez, Soca, Díaz y Corso (2008) señalan que una pradera de *Panicum maximum* var. Tanzania aumentó en 117 g diarios la ganancia de peso de bovinos machos al estar en un arreglo silvopastoril con árboles forrajeros, en comparación a la pradera en monocultivo. Hernández, Alfonso y Duquesne (1986) en un arreglo silvopastoril con el concurso de varias leguminosas, además de incrementar la ganancia diaria de peso lograron incrementar 51% la ganancia de peso por hectárea, contrastando con praderas conformadas con gramíneas nativas. Estos autores señalan que el arreglo silvopastoril además de ofrecer forraje de mayor calidad fue un medio para incrementar la oferta de forraje a los animales en pastoreo.

Un sistema silvopastoril basado en la incorporación de *Leucaena* logró incrementos de 5.3 a 17.3% de la producción individual de leche de vaca en relación a la obtenida con las vacas sin acceso a la *Leucaena* (Chacón, Marchena, Rodríguez & Alvarado, 2006), en otro estudio el incremento fue del 10% en la producción individual de leche al incorporarse *Leucaena* como fuente de forraje para las vacas (Lamela et al., 2009).

Mohammed et al. (2016) registraron un incremento del 4% en el rendimiento de queso de la leche proveniente de vacas alimentadas en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* + *Cynodon nlemfuensis* contra un monocultivo de *Cynodon nlemfuensis*; Rivera et al. (2011) lograron 36.7% más leche de las vacas pastoreando un sistema silvopastoril de gramíneas tropicales del género *Bachiaria* más el arbusto *Tithonia diversifolia* que de las que pastoreaban praderas compuestas solamente con estas gramíneas.

Medina y Sánchez (2006) confirman que la incorporación de forraje de *Leucaena* en la alimentación de ovinos puede aumentar hasta en 2.5 la ganancia diaria de peso con respecto de proveer únicamente forraje de gramíneas tropicales, agregan que además de mejorar la ganancia de peso, la adición de forrajes que contengan taninos como la *Leucaena* puede disminuir el impacto negativo de parásitos internos sobre el animal en pastoreo.

2.1.4 Influencia en bienestar animal

Las arbóreas de los sistemas silvopastoriles proporcionan sombra al animal en pastoreo, la superficie sombreada dependerá de la densidad de árboles, diámetro de copa y frondosidad. La sombra evita el calentamiento excesivo del animal por insolación directa y reduce la temperatura ambiental, ambos impactos favorecen el balance térmico del animal, en consecuencia el animal puede alcanzar un mayor consumo de forraje y posiblemente mayor producción (Russo, 2015).

Los animales en un sistema silvopastoril pastorearon y rumiaron por más tiempo y con un menor tiempo para beber que los que se encontraban en praderas monófitas de herbáceas (Córdoba et al., 2010).

La cobertura arbórea planificada dentro de los arreglos silvopastoriles, además de alimento para el animal en pastoreo puede reducir la temperatura ambiental, impacto que en condiciones tropicales o de alta carga calórica puede ser un factor ambiental conducente a mayor producción de los animales en términos de ganancia de peso y producción de leche, diferentes autores han registrado temperaturas ambientales de 2 a 4 °C menores en el sistema silvopastoril con respecto de la registrada en praderas monófitas (Baliscei et al., 2013; Pérez et al., 2008; Pezo & Ibrahim, 1998; Solorio et al., 2011), con extremos de hasta 11 °C menos (Zuluaga, Chará, Giraldo, Calle & Murgueitio, 2007).

2.1.5 Influencia en la disminución de parásitos en el ganado

Los SSP ofrecen condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la micro y macrofauna del suelo, promoviendo una mayor velocidad de

descomposición de la materia orgánica y de las excretas de los animales, y con ello se logra reducir el contacto del ganado con larvas infestantes (Belsky, Mwonga, Amundson, Duxbury & Ali, 1993; Sánchez et al., 2003; Soca, Simón & Francisco, 2000).

Soca et al. (2000) encontraron una menor infestación por nemátodos de los géneros *Haemonchus*, *Trichostrongylus*, *Oesophagostomum* y *Cooperia* en bovinos pastoreando en un sistema silvopastoril de *Albizia lebbbeck* + pastos nativos respecto de la pradera conformada únicamente por pastos nativos.

Los escarabajos estercoleros tienen un efecto indirecto sobre la regulación de las poblaciones de moscas y parásitos gastrointestinales debido a que degradan en pocos días las plastas de estiércol, destruyendo con ello el hábitat y desarrollo de estados larvarios de algunos insectos y nemátodos. La cobertura vegetal de los sistemas silvopastoriles, favorece la proliferación de estos escarabajos como de otros organismos: aves, hormigas y hongos, que actúan como predadores directos o indirectos de insectos, nematodos y garrapatas (Zuluaga, Giraldo & Chará, 2011). El impacto directo e indirecto sobre la regulación de poblaciones patógenas hacia el animal en pastoreo en sistemas silvopastoriles es un tema con demanda de mayor investigación.

2.1.6 Influencia sobre la biodiversidad

Los árboles y arbustos de los sistemas silvopastoriles son a su vez sitios para el crecimiento de musgos, líquenes, lianas y epífitas que colonizan ramas y troncos de los árboles; las praderas con herbáceas no proveen de estos sitios; además, los árboles y arbustos que conforman los sistemas silvopastoriles pueden proveer alimento, hábitat y refugio a otros organismos: aves, murciélagos, insectos, arañas, entre otros; que en conjunto, contribuyen a aumentar la biodiversidad vegetal y animal del ecosistema (Chará, Giraldo & Caro, 2011; Harvey, 2001).

A cinco años de establecido un sistema agroforestal éste contaba con 32.2% más especies animales que las originalmente presentes, con hasta 61 especies de aves que incluían especies amenazadas y en peligro de extinción. La mayor

biodiversidad se explicó con base en que el arreglo agroforestal mantuvo a lo largo del año y de los años una mayor cobertura vegetal que dio protección, refugio, hábitat y alimentación a un mayor número de especies (Fajardo, Johnston-González, Neira, Chará & Murgueitio, 2009; Fajardo & Neira, 2008).

Iraola et al. (2015) al final de cinco años de seguimiento de un sistema silvopastoril de engorda de ganado, encontraron 7% más aves que el registrado en el primer año, explican que el mantenimiento del dosel vegetal superior en el sistema silvopastoril originó el incremento en el censo de aves al existir más sitios de refugio, reproducción y percheo; Moguel y Toledo (1999) enfatizan la importancia del dosel vegetal superior al encontrar 184 especies de aves en cafetales con sombra y solo 12 especies en cafetales sin sombra.

En Costa Rica, los sistemas agrosilvopastoriles planificados han permitido mantener 50 al 66% de las especies de aves; 40 al 90% de las especies de mariposas; y 50 al 73% de las especies de árboles característicos de los bosques seco y sub-húmedo tropical presentes en el Parque Natural Santa Rosa (Ibrahim, Villanueva & Casasola, 2007). Pérez, Sotelo, Ramírez, López y Siria (2006) confirman que el uso del suelo determina el grado de biodiversidad en plantas, aves y moluscos, jugando un papel medular la conservación del dosel vegetal. La implantación de cortinas rompe-vientos puede ser una opción silvopastoril para la incorporación de diversas especies arbóreas y así asegurar la conservación de las mismas, al mismo tiempo que estas cortinas bio-diversas sean refugio y hábitat de gran variedad de aves (Harvey, 2003).

2.1.7 Influencia en la captura de carbono y reducción de gases de efecto invernadero

La captura de carbono y la reducción de gases de efecto invernadero son algunos de los servicios ambientales que han cobrado importancia en los últimos 20 años y los sistemas silvopastoriles son una de las formas para proveer estos servicios ambientales. Nair, Cumar y Nair (2009) afirman que los sistemas silvopastoriles almacenan carbono, en el corto y mediano plazos en los árboles y en el suelo, y

contribuyen indirectamente a la reducción de la emisión de los gases de efecto invernadero al contrarrestar la deforestación promovida por la agricultura.

Alonso (2011) mencionó que la captura de carbono total en los sistemas silvopastoriles varía entre 68 y 204 t ha⁻¹, de esta una parte se encuentra almacenada en el suelo, mientras que los incrementos anuales varían entre 1.8 y 5.2 t ha⁻¹. Andrade (1999) determinó la fijación de carbono en diferentes arreglos silvopastoriles con *Acacia mangium*, *Eucalyptus deglupta*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens* y *Panicum maximum* que varió de 1.8 a 2.3 t de carbono ha⁻¹ año⁻¹, variación que no solo señala el potencial sino también que la captura de carbono puede ser un componente al decidir un arreglo silvopastoril específico.

Anguiano, Aguirre y Palma (2013) determinaron que la captura de carbono de un sistema silvopastoril dependió de la densidad de *Leucaena* implantada, la tendencia fue a mayor captura con incremento en la densidad hasta las 80 mil plantas de *Leucaena* por ha, con casi 129 t de carbono fijado ha⁻¹ año⁻¹. Ávila (2000) indica que la cantidad de carbono fijado en los sistemas silvopastoriles depende de las especies de árboles incorporados, ya que encontró capturas de carbono de 5.3 a 121 t ha⁻¹ según la especie de árbol; sin embargo, las condiciones ambientales también juegan un papel preponderante tanto en la elección de las especies arbóreas como en la magnitud de captura de carbono.

Castillo, Duicela y Maza (2006) concluyeron que el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en plantaciones de café y cacao dependió no tan solo del cultivo sino también de las especies de los árboles acompañantes, para el caso de los árboles acompañantes el intervalo de acumulación de carbono fue de 115 a 121 t ha⁻¹, mientras que la plantación de cacao tendió en promedio a mostrar un almacenamiento de carbono 5% mayor a la plantación de café.

En sistemas silvopastoriles con baja densidad de árboles, la captura anual de carbono puede ser similar (4.8 a 5.2 t ha) a la registrada en praderas monófitas, por lo que se debe ejercer una planificación en la incorporación de los árboles

para lograr aumentar el potencial de captura de carbono (Mora, 2001). Ruiz (2002) observó que diferentes arreglos silvopastoriles mostraban una captura anual de carbono no mayor al 8% con respecto de gramíneas tropicales en cultivo monófito, por lo que enfatizó la importancia de definir el arreglo silvopastoril si se desea incrementar la captura de carbono. Villanueva (2001) coincide en dar importancia al arreglo silvopastoril y su manejo si se desea aumentar sustancialmente la captura de carbono, el encontró que el arreglo silvopastoril *Pennisetum clandestinum* + *Alnus acuminata* solamente capturó 6% más carbono que el monocultivo de *Pennisetum clandestinum*.

Solorio et al. (2011) con un sistema silvopastoril basado en *Leucaena leucocephala* logró incrementar en 83% la captura anual de carbono comparado con praderas monófitas de gramíneas tropicales y además redujo 20% la emisión anual por animal de metano. Indicando con estos resultados que no solo se debe contabilizar la captura de carbono sino también la reducción en la emisión de metano al valorar los sistemas silvopastoriles como proveedores de servicios ambientales.

Naranjo, Cuartas, Murgueitio, Chará y Barahona (2012) encontraron que los arreglos silvopastoriles planificados complejos son una opción para incrementar la captura de carbono y alcanzar una ganadería que capture más carbono que el que libera al ambiente, en praderas de gramíneas tropicales la liberación anual al ambiente de equivalentes de carbono fue de 3259 kg ha⁻¹, mientras que en arreglos silvopastoriles con una y dos especies arbóreas se logró la captura anual de 8800 y 26565 kg CO₂ equivalentes ha⁻¹, respectivamente, ambos arreglos silvopastoriles originaron una ganadería con balance positivo al capturar más carbono que el liberado.

Cuartas et al. (2014) concluyen que los sistemas silvopastoriles planificados pueden sacar de la atmósfera hasta 26.6 toneladas de CO₂ equivalentes ha⁻¹ año⁻¹. Hess et al. (2003) agregan que el balance positivo de la ganadería en sistemas silvopastoriles en relación a gases efecto invernadero se asocia a los taninos presentes en las leguminosas, como *Calliandra calothyrsus*, que pueden

promover una reducción en la producción de metano entérico de hasta 50%, respecto de una dieta únicamente conformada de gramíneas tropicales.

2.2 Especies utilizadas en el estudio

2.2.1. Guaje (*Leucaena leucocephala* Lam. De Wit)

Clasificación taxonómica

En la Figura 1 se muestra una imagen de la planta de *L. leucocephala* y su clasificación taxonómica.



Reino	Plantae
Phyllum	Spermatophyta
Subphyllum	Magnoliophytina
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidas
Orden	Fabales
Familia	Leguminosa
Género	<i>Leucaena</i>
Especies	<i>Leucaena leucocephala</i>

Figura 1. Clasificación taxonómica de *Leucaena leucocephala* (Orwa, Mutua, Kindt, Jamnadass & Anthony, 2009).

Descripción botánica

Es una planta arbórea o arbustiva altamente ramificada, de 5 hasta 20 m de altura, diámetro de fuste de 10 a 50 cm, la corteza en las ramas jóvenes es lisa y de color gris, mientras que las ramas viejas y el tallo son de color rojo oscuro, perenne con raíces profundas, a menudo tiene una combinación de flores, vainas inmaduras y maduras presentes en el árbol al mismo tiempo. Las hojas son alternas, bipinadas y cuentan con seis a nueve pares de pinnas; el raquis es pinular de cinco a diez cm de largo, foliolos de nueve a 16 mm de largo y dos a cuatro mm de ancho. Flores de tipo cabezuelas que pueden llegar a tener de 100 hasta 180 flores blancas. Los frutos son vainas oblongas, estipitadas que se

encuentran en capítulos florales, las cuales contienen de 15 a 30 semillas aplanadas, de color café brillante (Orwa et al., 2009; Zárate, 1987).

Hábitat

Parotta (1992) propone que el guaje tiene como centro de origen Guatemala, Honduras, El Salvador y sur de México; crece entre las latitudes de 12 a 20° N, pero se desarrolla mejor en lugares con precipitaciones anuales de 1500 mm, temperatura media anual de 25 a 30 °C y elevaciones de 630 a 2080 msnm.

El guaje puede ser elemento propio del matorral xerófilo, cultivado en bordos con cauces de agua, ocasionalmente en ruderales, persiste mejor en suelos calizos, con distribución en ambas vertientes de México, principalmente en la Península de Yucatán y en el Istmo de Tehuantepec. Crece en una amplia variedad de suelos, desde neutros, hasta alcalinos, siempre y cuando sean suelos bien drenados, no compactados ni ácidos. Los mejores resultados se obtienen en suelos con pH de 6.5 a 7.5 (Grether, Martínez-Bernal, Luckow & Zárate, 2006; Zárate, 1987).

Valor nutritivo

Las hojas son de valor nutritivo alto, alta palatabilidad, buena digestibilidad (55 a 70%) contenido de PC alto (20 a 27%) y ricas en Ca, K y vitaminas, por ello al incorporarlas en la dieta de rumiantes logran incrementos de 70 a 100% en la ganancia diaria de peso en comparación con la alimentación exclusiva con gramíneas tropicales (Zárate, 1987).

Las hojas y semillas contienen mimosina, compuesto nitrogenado que puede causar daño a bovinos, otros mamíferos no rumiantes y aves de corral, ocasionando debilidad, pérdida de peso, aborto, caída de pelo y bocio (Orwa et al., 2009; Zárate, 1987).

García, Wencomo, Medina, Moratinos y Cova (2009) encontraron que el follaje de 53 accesiones de *Leucaena* analizadas cumplía con ser un excelente ingrediente para la alimentación de rumiantes, con una concentración promedio

de 25.7% de PC; 60.2% de digestibilidad; 7.5% de cenizas; y 47% de FDN. Adeneye (1979) mencionó que las hojas, las vainas y las semillas tiernas contienen más proteína cruda pero menos fibra cruda y extracto etéreo que las maduras. El porcentaje de grasa en las semillas fue 4.6 y 5.5% para las semillas verdes y maduras, respectivamente. La composición mineral de la materia seca fue de 2.8, 0.26, 0.37, 1.78, 0.21 y 0.12% de Ca, P, Mg, K, Na y Fe, respectivamente.

García, Ferguson, Neckles y Archibald (1996) estimaron la composición química de *L. leucocephala* utilizando únicamente las hojas y reportaron 4.2, 29.2, 4.3, 19.2, 10.5, 1.0, 1.9, 0.2, 0.3, 1.7% de N, PC, mimosina, FC, cenizas, taninos, Ca, P, Mg y K, respectivamente, y 238 ppm de carotenos. Mientras que la composición química promedio de hojas y tallos fue de 3.5, 22, 2.1, 3.5, 39.5, 35, 4.7, 18.3, 1.0, 0.2, 1.8, 0.3, 0.3 y 1.5% de N, PC, mimosina, FC, FDN, FDA, hemicelulosa, cenizas, taninos, S, Ca, P, Mg, K, respectivamente, y 170, 26 y 882 ppm de Zn, Cu y oxalato, respectivamente. El valor de energía digestible varió de 2.8 a 3.1 Mcal kg⁻¹ MS.

Román, García, Castillo, Sahagún y Jiménez (2014) mencionaron que en semillas encontraron 31.7% de PC, 4.9% de cenizas, 10.1% de FC, 61.3% de carbohidratos, 2.1% de lípidos y 8% de ácidos grasos, por ello la reconocen como forraje de alta calidad.

2.2.2. Zacate Mombasa (*Megathyrsus maximus* var. *Mombasa*)

Clasificación taxonómica

El zacate Mombasa es una variedad mejorada del zacate Guinea uno de los nombres comunes de esta especie, en la Figura 2 se observan las principales características del Guinea y su respectiva clasificación taxonómica, además se presenta información correspondiente a la especie Guinea y no solamente concentrada a la variedad Mombasa.



Reino	Plantae
Phyllum	Spermatophyta
Subphyllum	Magnoliophytina
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Tribu	Paniceae
Género	<i>Megathyrsus</i>
Especies	<i>Megathyrsus maximus</i>

Figura 2. Imagen y clasificación taxonómica de *Megathyrsus maximus* (Cabi, 2012).

Descripción botánica

La gramínea Guinea es una planta perenne, de crecimiento erecto, forma macollos, alcanza 1.6 a 1.9 m de altura; posee un amplio sistema radical que la hace tolerante a las sequías, presenta limbos foliares de hasta 35 mm de ancho, que van reduciéndose para terminar en puntas finas; la flor es una panícula de 12 a 40 cm de altura con espiguillas abiertas de 3 a 3.5 mm de longitud, obtusas, en su mayoría de color rojo púrpura, glumas desiguales, la inferior de un tercio a un cuarto del tamaño de la espiguilla; flósculo inferior regularmente masculino, flósculo superior con arrugas transversales (Bernal, 1994; Skerman & Riveros, 1992).

Hábitat

El Guinea se reproduce por semilla y vástagos, se desarrolla exitosamente en una amplia variedad de suelos drenados y húmedos, es tolerante al sombreado. Debido a estas características, es capaz de reproducirse exitosamente en competencia con varios cultivos (Cabrera, Sobrero, Chaila & Pece, 2015).

El continente Africano es el lugar de origen del Guinea y actualmente esta especie y la gran gama de variedades mejoradas se encuentran distribuidas y naturalizadas en los trópicos de varias partes del mundo, incluyendo América del

Sur, donde han mostrado habilidad para prosperar en suelos de mediana a alta fertilidad, bien drenados, no arcillosos y con pH de 6 a 8, desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm; con precipitaciones anuales de 900 a 2000 mm y temperatura media anual superior a 18 °C (Bernal, 1994; Izurieta, 2015).

Valor nutritivo

Coauro, González, Araujo-Febres y Vergara (2004) consideran que el Guinea es una gramínea tropical de un valor nutritivo aceptable al compararse con otras forrajeras tropicales, al presentar en estados de activo crecimiento entre 9 a 12% de PC y digestibilidad *in vitro* de 60% o un poco superior. Álvarez et al. (2016) apuntan la excelente respuesta de la gramínea al abonamiento con residuos líquidos de cerdo, pero cuidar el momento de cosecha ya que el contenido de PC puede variar de 3.8 a 9.2%; FB de 24 a 35%; y cenizas de 8.1 a 11.5%, según el estado de crecimiento de la gramínea.

Verdecia et al. (2012) mencionaron que la edad de rebrote y las condiciones climáticas a las que se expone la gramínea tienen un efecto muy marcado en el valor nutritivo. Rodríguez (2009) encontró específicamente para la variedad Mombasa cambios en el contenido de PC de 6.55 a 11% y en la digestibilidad *in vitro* de 62.5 a 68.5% con la edad del rebrote, los mejores valores con rebrotes de 20 a 30 días y los más pobres con 50 a 60 días de rebrote. Homen, Entrena, Arriojas y Ramia (2010) registraron que a rebrotes entre los 21 y 56 días el Guinea mantenía una concentración de PC de 7% o superior y la digestibilidad de la menor a la mayor edad de rebrote pasó de 71 a 54%.

Gaviria et al. (2015) apuntan que el Guinea tiene el potencial de proveer un forraje con contenidos de 10.3, 68.2, 44.8, 13.4, 0.41 y 0.22% de PC, FDN, FDA, cenizas, Ca y P, respectivamente. Cabrera, Sosa, Castellanos, Gutiérrez y Ramírez (2009) desde el punto de vista de aporte mineral consideran que el potencial del Guinea es de contar con concentraciones de 0.43, 0.08, 1.51, 0.02, 0.07 y 0.07% de Ca, P, K, Mg, Na y Cl, respectivamente, 244 ppm de Fe, 30 ppm de Mn, 18 ppm de Zn y 5 ppm de Cu.

Rendimiento de forraje

Verdecia et al. (2012) mencionaron que el Guinea tiene el potencial de rendir 9.0 y 4.9 t de forraje base seca ha⁻¹ corte⁻¹ en las épocas de lluvias abundantes y escasas, respectivamente con hasta 75 días de rebrote, reducir el tiempo de rebrote a 14 días originó rendimientos de 3.62 y 1.43 t de forraje base seca ha⁻¹ corte⁻¹ en cada una de estas dos épocas, respectivamente.

2.3. Importancia de los minerales en el forraje

El suelo, en conjunto con las especies vegetales y la falta de aplicación de fertilizantes, son los factores más comunes que afectan el contenido mineral del forraje ofrecido a los animales. La deficiencia o desbalance de minerales en el suelo se refleja en el valor nutritivo de los pastos, lo cual es una de las causas de la disminución de la productividad y de los problemas reproductivos del ganado (Garmendia, 2006).

Las plantas constituyen el principal suministro de nutrientes para los animales, es por ello que la composición de las plantas influirá directamente en el consumo de minerales por el animal. La concentración de los minerales en plantas de cultivo y forraje depende de cuatro factores básicos: el género, la especie o variedad; el tipo de suelo sobre el cual crece la planta; las condiciones climáticas o condiciones estacionales durante el crecimiento y la etapa de maduración (Greene, 2016; Underwood & Suttle, 1999).

Es importante mencionar que el estado de madurez del forraje tiene una gran influencia sobre su contenido de minerales. Las plantas contienen más minerales en las etapas iniciales de crecimiento y conforme incrementa la edad, el contenido mineral disminuye, algunos minerales como el P, Zn, Fe, Co y Mo son los más afectados por el envejecimiento de la planta. Con respecto a los minerales antes mencionados, los forrajes pueden contener de 0.25% en las etapas iniciales de crecimiento y puede bajar por debajo de 0.10% (Chicco & Godoy, 1987).

Una de las principales influencias del suelo sobre el contenido mineral es el pH, cuyo efecto difiere entre los elementos, a cierto rango de pH los minerales se encuentra en menor o mayor disponibilidad para las plantas. Por ejemplo, la absorción de molibdeno por las plantas aumenta con un aumento en el pH del suelo, pero el cobalto y manganeso disminuyen. Los principales productos de origen animal que se utilizan en la alimentación de ganado, como la harina de pescado, el suero de leche y la leche desnatada son excelentes fuentes de minerales esenciales (McDonald et al., 2011).

2.4. Literatura citada

- Adeneye, J. A. (1979). A note on the nutrient and mineral composition of *Leucaena leucocephala* in Western Nigeria. *Animal Feed Science and Technology*, 4, 221-225.
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115.
- Alonso, J., Sampaio, R. A., Febles, G., & Achang, G. (2007). Comportamiento de la composición química del suelo en un sistema silvopastoril leucaena-guinea. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(2), 189-192.
- Álvarez P., G. R., Vargas, B., J. C., Franco, C., F. J., Álvarez, P., P. E., Samaniego, A., M. C., Moreno, M., P. A., Chacón, M., E., García, M., A. R., Arana, M., R. S., & Ramírez de la R., J. L. (2016). Rendimiento y calidad del pasto *Megathyrsus maximus* fertilizado con residuos líquidos de cerdo. *Revista electrónica de Veterinaria*, 17(6), 1-9.
- Andrade C., H. J. (1999). *Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con Acacia mangium y Eucalyptus deglupta en el trópico húmedo*. (Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica).
- Anguiano J., M., Aguirre, J., & Palma, J. M. (2013). Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17, 149-160.
- Ávila V., G. (2000). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol*. (Tesis de maestría, CATIE, Turrialba. Costa Rica).
- Bacab P., H. M., & Solorio, S. F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 271-278.

- Bacab P., H. M., Solorio, S. F. J., & Solorio, S. B. (2012). Efecto de la altura de poda en *Leucaena leucocephala* y su influencia en el rebrote y rendimiento de *Panicum maximum*. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16, 65-77.
- Baliscei M., A., Rus, B. O., De Souza, W., Teixeira, M. A., Krutzmann, A., & Oliveira, Q. E. (2013). Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Maringá*, 35, 49-56, doi:10.4025/actascianimsci.v35i1.15155.
- Belsky A., J., Mwonga, S. M., Amundson, R. G., Duxbury, J. M., & Ali, A. R. (1993). Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology*, 30, 143-155.
- Bernal, J. (1994). Pastos y forrajes Tropicales. Santa fe de Bogotá, D.C. Colombia: Editorial Banco Ganadero. 314 p.
- Bustamante G., J. (2004). Estrategias de alimentación para la ganadería bovina en Nayarit. Nayarit, México. 101 p.
- Bueno L., L., & Camargo, G. J. C. (2015). Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles. *Acta Agronómica*, 64(4), 349-354.
- Cabi, (2012). Clasificación taxonómica de *Megathyrus maximus* var. Mombasa. Consultado en (<http://www.cabi.org/isc/datasheet/38666>).
- Cabrera D., C., Sobrero, M. T., Chaila, S., & Pece, M. (2015). Germinación y emergencia de *Megathyrus maximus* var. Maximus. *Planta Daninha, Viosa-MG*, 33(4), 663-670, doi:10.1590/S0100-83582015000400004.
- Cabrera T., E. J., Sosa, R. E. E., Castellanos, R. A. F., Gutiérrez, B. A. O., & Ramírez, S. J. (2009). Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México*, 40(2), 167-179.
- Campos P., D. S., Tavares, C. C. R., De Miranda, G. C. A., Martins, M. R., Ávila, P. M. F., Díaz, M. M., & Ferreira, X. D. (2011). Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, 141, 166-172.
- Casasola, F., Ibrahim, M., Harvey, C., & Kleinn, C. (2001). Caracterización y productividad de sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 8(30), 17-20.
- Castillo C., R., Duicela, L. A., & Maza, C. H. (2006). Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano. In *X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo* (pp. 1-15). Ecuador.
- Chacón, E., Marchena, H., Rodríguez, J., & Alvarado, A. (2006). El uso de leguminosas en sistemas de producción con bovinos doble propósito en Venezuela. In Chacón, E. & Baldizán, A. (Eds), *II Simposium en recursos*

y tecnologías alimentarias para la producción bovina a pastoreo en condiciones tropicales, San Cristóbal, estado Táchira (pp. 128-149). Venezuela.

- Chará J., D., Giraldo, C., & Caro, M. (2011). Servicios ambientales de la biodiversidad en paisajes agropecuarios. CIPAV, Cali. 76 p.
- Chicco, C. F., & Godoy, S. (1987). Suplementación Mineral de Bovinos de Carne a Pastoreo. In D. Plasse, N. Peña y R. Romero (Eds), *III Cursillo Sobre Bovinos de Carne* (pp. 47-103). Venezuela.
- Clavero, T., & Suárez, J. (2006). Limitaciones en la adopción de los sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. *Pastos y Forrajes*, 29(3), 1-6.
- Coauro, M., González, B., Araujo-Febres, O., & Vergara, J. (2004). Composición química y digestibilidad in vitro de tres cultivares de guinea (*Panicum maximum* Jacq.) a tres edades de corte en bosque seco tropical. In Arenas, S. (ed.), *Memorias del XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal* (pp. 121-122). Venezuela.
- Córdoba E., C. P., Naranjo, R. J. F., & Cuartas, C. C. A. (2010). Productividad vegetal y animal bajo sistemas de pastoreo tradicional y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en el Caribe seco colombiano. In *VI Congreso latinoamericano: agroforestería para la producción pecuaria sostenible* (1-18). Panamá.
- Crespo, G. (2008). Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4), 329-335.
- Crespo, G., Lok, S., & Rodríguez, I. (2004). Producción de hojarasca y retorno de N, P y K en dos pastizales que difieren en la composición de especies. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38, 97-101.
- Crespo, G., Rodríguez, I., & Fraga, S. (2000). Estudio de la acumulación de hojarasca y nutrientes retornados al suelo en las especies *Albizia lebbek* (L) *Benthy Cajanus cajan* (L.) Millsp. In *IV Taller Internacional Silvopastoril «Los árboles y arbustos en la ganadería tropical»* (1-47). Cuba.
- Cuartas C., C. A., Naranjo, R. J. F., Tarazona, M. A. M., Murgueitio, R. E., Chará, O. J. D., Ku, V. J., Solorio, S. F. J., Flores, E. M., Solorio, S. B., & Barahona, R. R. (2014). Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27, 76-94.
- Deise, F., Da Silva, X. F. J., Campos, P. D., Urquiaga, S., Alves, J. R. B., & Boddey, R., M. (2014). Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 99, 45-62, doi:10.1007/s10705-014-9617-x.

- Espinoza, F., Torres, A., & Chacón, E. (2007). *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) y Cují (*Acacia macracantha* y *Mimosa tenuiflora*) como aporte de proteína económica en los sistemas doble propósito. In *Simposio: Tecnologías apropiadas para la ganadería de los llanos de Venezuela* (1-24). Venezuela.
- Fajardo, D., Johnston-González, R., Neira, L., Chará, J., & Murgueitio, R. E. (2009). Influencia de los sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*, 58, 9-16.
- Fajardo, D., & Neira, L. (2008). Monitoreo de la Avifauna en los departamentos del Quindío y Valle del Cauca: Colombia. In: *Informe final proyecto GEF–Banco Mundial “Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas”* (140-149). Colombia.
- Garcia, G. W., Ferguson, T. U., Neckles, F. A., & Archibald, K. A. E. (1996). The nutritive value and forage productivity of *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 60, 29-41.
- García, D. E., Wencomo, B. H., Medina, M. G., Moratinos, P., & Cova, L. J. (2009). Caracterización de la calidad nutritiva de 53 accesiones del género *Leucaena* en condiciones tropicales. *Pastos y Forrajes*, 32, 1-16.
- Garmendia, J. (2006). Los minerales en la Reproducción Bovina. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay. Consultado en <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/minerales.pdf>
- Gaviria, X., Naranjo, J. F., & Barahona, R. (2015). Cinética de fermentación *in vitro* de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* y sus mezclas, con o sin suplementación energética. *Pastos y Forrajes*, 38, 55-63.
- Greene, L. W. (2016). BILL E. KUNKLE INTERDISCIPLINARY BEEF SYMPOSIUM: Assessing the mineral supplementation needs in pasture-based beef operations in the Southeastern United States. *Journal of Animal Science*, 94, 1-6, doi:10.2527/jas2016-0727.
- Grether, R., Martínez-Bernal, A., Luckow, M., & Zárate, S. (2006). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán* (1ª ed.). México: Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Harvey C., A. (2001). La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. In *Sinposio Internacional sobre sistemas silvopastoriles y segundo congreso sobre Agroforestería y Producción de Ganadeo en América Latina* (80-87). Costa Rica.
- Harvey C., A. (2003). La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. Curso Internacional sobre Ganadería y Medio Ambiente. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 21 p.

- Hernández C., A., Alfonso, A., & Duquesne, P. (1986). Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas herbáceas. I. Ceba inicial. *Pastos y Forrajes*, 9, 79-92.
- Hess H., D., Monsalve, L. M., Carulla, J. E., Lascano, C. E., Díaz, T. E., & Kreuzer, M. (2003). Supplementation of a tropical grass diet with forage legumes and *Sapindus saponaria* fruits: effects on in vitro ruminal nitrogen turnover and methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54, 703-713.
- Homen, M., Entrena, I., Arriojas, L., & Ramia, M. (2010). Biomasa y valor nutritivo del pasto Guinea *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & S. W. L. Jacobs. 'Gamelote' en diferentes períodos del año en la zona de bosque húmedo tropical, Barlovento, estado Miranda. *Zootecnia Tropical*, 28(2), 255-265.
- Ibrahim, M., Villanueva, C. P., & Casasola, F. (2007). Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 15, 73-87.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI; 2013). VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007: Síntesis metodológica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F. 63 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP; 2011). Ajuste de carga animal en tierras de pastoreo. Manual de capacitación. Folleto Técnico No. 4. 1a ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. SAGARPA. Toluca, Estado de México. 47 p.
- Iraola, J., Muñoz, E., García, Y., & Hernández, J. L. (2015). Caracterización faunística en un sistema silvopastoril destinado al ganado de engorde. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 418-424.
- Izurieta P., W. R. (2015). *Determinación del rendimiento forrajero y valor nutritivo del Pasto Saboya (Panicum maximum Jacq.) Sujeto a cuatro frecuencias de corte durante la época seca en Quevedo*. (Tesis profesional, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador).
- Lamela, L., López, O., Sánchez, T., Díaz, M., & Valdés, R. (2009). Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-12.
- Lok, S., Fraga, S., & Díaz, H. (2003). Efecto de la duración de la preparación del suelo y del uso de mezclas de gramíneas y leguminosas en algunos indicadores agroquímicos del suelo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(4), 445-451.

- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh D., J. F., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal Nutrition* (7^a ed.). USA: Editorial Pearson.
- Medina, R., & Sánchez, S. (2006). Efecto de la suplementación con follaje de *Leucaena leucocephala* sobre la ganancia de peso de ovinos desparasitados y no desparasitados contra estrongílicos digestivos. *Zootecnia Tropical*, 24, 55-68.
- Moguel, P., & Toledo, V. M. (1999). Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13, 11-21.
- Molina C., H., & Uribe, F. (2002). Experiencias en producción limpia de ganaderías en pastoreo. In *Memorias del III Seminario Internacional Competitividad en Carne y Leche* (333-354). Colombia.
- Mohammed M., A. H., Aguilar-Pérez, C. F., Ayala-Burgos, A. J., Bottini-Luzardo, M. B., Solorio-Sánchez, F. J., & Ku-Vera, J. C. (2016). Evaluation of milk composition and fresh soft cheese from an intensive silvopastoral system in the tropics. *Dairy Science and Technology*, 96,159-172, doi:10.1007/s13594-015-0251-4.
- Mora C., V. (2001). *Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica*. (Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica).
- Murgueitio R., E., Uribe, F., Molina, C., Molina, E., Galindo, W., Chará, J., Flores, M., Giraldo, C., Cuartas, C., Naranjo, J., Solarte, L., & González, J. (2016). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena*. In E. Murgueitio, W. Galindo, J. Chará. F. Uribe (eds). Editorial CIPAV. Cali, Colombia.
- Murgueitio R., E. (2010). Progresos en el conocimiento y aplicación de Sistemas Silvopastoriles en América Latina. In *VI Congreso latinoamericano: agroforestería para la producción pecuaria sostenible* (1-85). Panamá.
- Nair P., K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172, 10-23.
- Naranjo J., F., Cuartas, C. A., Murgueitio, R. E., Chará, J., & Barahona, R. (2012). Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 24(8), 1-13.
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R., & Anthony, S. (2009). *Agroforestree Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. 8 p.
- Palma J., M. (2006). Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3), 95-104.

- Parrotta, J. A. (1992). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit Leucaena, tantan. Forest Service. Southern Forest Experiment Station. United States Department of Agriculture. New Orleans, USA. 8 p., doi:10.13140/RG.2.1.2977.0327.
- Pérez, E., Soca, M., Díaz, L., & Corzo, M. (2008). Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles en Chiapas, México. *Pastos y Forrajes*, 31(2), 161-172.
- Pérez A., M., Sotelo, M., Ramírez, I., López, A., & Siria, I. (2006). Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de Matiguás y Rio Blanco (Matagalpa, Nicaragua). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 15(3), 125-141.
- Pezo, D., & Ibrahim, M. (1998). Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 258 p.
- Ribaski, J., & Menezes, E. de A. (2002). Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida Brasileña. *Agroforestería en las Américas*, 9(33), 8-13.
- Rivera J., E., Arenas, F. A., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Arango, O. T., Hurtado, E., Gacharma, N., Zambrano, F., & Murgueitio, R. E. (2011). Producción y calidad de leche bovina en un sistema de pastoreo en monocultivo y un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) compuesto de *Tithonia diversifolia* bajo ramoneo directo, *Brachiaria spp.* y árboles maderables en el piedemonte amazónico. Fundación CIPAV, 2 p.
- Rodríguez L., M. (2009). *Rendimiento y valor nutricional del pasto Panicum maximum cv. Mombaza a diferentes edades y alturas de corte*. (Tesis profesional, Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica).
- Román C., N., García, M. M. R., Castillo, G. A. M., Sahagún, C. J., & Jiménez, A. A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena spp.*): un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(2), 157-170.
- Román-Miranda, M. L., Palma-García, J. M., Zorrilla-Rios, J. M., & Mora-Santacruz, A. (2016). Producción de materia seca de *Leucaena leucocephala* y vegetación herbácea en un banco de proteína pastoreada por ovinos. *Revista de Sistemas Experimentales*, 3(6), 42-50.
- Ruiz G., A. (2002). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua*. (Tesis de maestría en ciencias, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica).

- Russo R., O. (2015). Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 157-161.
- Sánchez, S., Crespo, G., & Hernández, M. (2007). Acumulación de hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes*, 30(3), 357-371.
- Sánchez C., S., Crespo, L. G., Hernández, C. M., & García, O. Y. (2008). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* y en un sistema silvopastoril asociado con *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 269-273.
- Sánchez, S., Hernández, M., & Simón, L. (2003). Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la empresa Nazareno. *Pastos y Forrajes*, 26(2), 131-136.
- Skerman, P. J., & Riveros, F. (1992). Gramíneas tropicales. Producción y protección vegetal. Número 23. FAO. Roma, Italia. 849 p.
- Soca, M., Simón, L., & Francisco, A. G. (2000). Comportamiento de las nematodosis gastrointestinales de bovinos jóvenes en un sistema silvopastoril. *Pastos y Forrajes*, 23(4), 122-128.
- Solorio F., J., Bacab, H. M., & Ramírez, A. L. (2011). Los sistemas silvopastoriles intensivos: avances de investigación en el valle de Tepalcatepec, Michoacán. In *Memorias del III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la Ganadería Sostenible del siglo XXI* (17-31). México.
- Trejo A., L. A. (2013). *Producción de ovinos en un sistema silvopastoril en la sierra de Huautla*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México).
- Underwood, E. J. & Suttle, N. F. (1999.) *The Mineral Nutrition of Livestock* (3ª ed.). CABI: United Kingdom.
- Verdecia, D. M., Herrera, R. S., Ramírez, J. L., Leonard, I., Bodas, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., Álvarez, Y., & López, S. (2012). Valoración nutritiva del *Panicum maximum* var. Mombasa en las condiciones climáticas del Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46, 97-101.
- Villanueva N., C. (2001). *Ganadería y beneficios de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del Río Virilla, San José, Costa Rica*. (Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica).
- Yamamoto, W., Dewi, I. A., & Ibrahim, M. (2007). Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. *Agricultural Systems*, 94, 368-375.
- Zárate, S. (1987). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. glabrata. *Phytologia*, 63(4), 304-306.

- Zuluaga S., A. F., Chará, J., Giraldo, C., Calle, Z., & Murgueitio, E. (2007). Influencia de la sombra de árboles y arbustos sobre el comportamiento de bovinos adultos en pastoreo. Fundación CIPAV, Colombia. 20 p.
- Zuluaga S., A. F., Giraldo, C., & Chará, J. (2011). Servicios ambientales que proveen los Sistemas Silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Colombia. 36 p.

3 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE DOS ESPECIES DE LEUCAENA CRECIENDO EN TRES SUSTRATOS³

3.1 Resumen

El objetivo fue analizar el crecimiento de plántulas de *Leucaena leucocephala* y de *Leucaena collinsii* hasta los 49 días de trasplante, en macetas con tres sustratos: suelo (100%), suelo (50%) + composta (50%) y suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%). Las semillas de *Leucaena* germinaron en almácigos y las plántulas resultantes permanecieron en este lugar hasta que formaron dos hojas verdaderas, a los 21 días. Las plántulas se trasplantaron en bolsas de polietileno con un kilogramo de sustrato. Las mediciones fueron cantidad de materia seca en plántulas completas, en hojas, en tallo y en raíces. Las mediciones se hicieron a intervalos de siete días por un periodo de 49 días. Se ajustó un modelo de crecimiento ($Y_i = ae^{-bx_i}$) con el programa CurveExpert Professional 2.5. El parámetro “b” fue tasa relativa de crecimiento (gramos de materia seca acumulada por gramo de materia seca ya existente en cada intervalo de tiempo). La mayoría de los modelos de crecimiento explicaron más del 90% de la variabilidad total observada, en la materia seca acumulada en las plántulas, en las hojas, en los tallos y en las raíces. La tasa relativa de crecimiento fue similar para plántulas de *L. leucocephala* creciendo en los tres sustratos ($p \leq 0.05$) y mayor en plántulas de *L. collinsii* creciendo en suelo puro que en suelo mezclado. Las plántulas de *L. collinsii* acumularon 19.4% más materia seca que plántulas de *L. leucocephala* en suelo puro (100%, $p \leq 0.05$). Independientemente del sustrato, la mayor cantidad de materia seca acumulada a los 49 días de trasplante fue en hojas seguida de tallo y raíces ($p \leq 0.05$).

Palabras clave: modelo de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, materia seca, *Leucaena leucocephala*, *Leucaena collinsii*.

³ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Julio César Campos Ojeda
Director de la tesis: Dr. Enrique Cortés Díaz

GROWTH ANALYSIS ON SEEDLING OF TWO LEUCAENA SPECIES GROWING IN THREE SUBSTRATES⁴

3.2. Abstract

The objective was to analyze the growth of *Leucaena leucocephala* and *Leucaena collinsii* seedlings up to 49 days after transplanting into pots with three substrates, soil (100%), soil (50%) + compost (50%) and soil (50%) + compost (25%) + sand (25%). *Leucaena* seeds were germinated in seedbeds and remained there until they had two true leaves, at 21 days. The seedlings were transplanted in the substrates contained into polyethylene bags, a kilogram. The measurements were dry matter in complete seedlings, leaves, stems and roots. Each measure was done at seven days intervals, during 49 days after transplanting. A growth model ($Y_i = ae^{-bX_i}$) was fitted using CurveExpert Professional 2.5 program. The parameter "b" was relative growth rate (grams of accumulated dry matter per gram of dry matter already existing at each interval). Most growth models explained more than 90% of total variability observed in dry matter accumulation. The relative growth rate was similar for seedlings of the *L. leucocephala* transplanted in the three substrates ($p \leq 0.05$) but seedling of the *L. collinsii* growing in 100% soil than in the mixed soil. Seedlings of the *L. collinsii* accumulated 19.4% more dry matter than seedling of the *L. leucocephala* seedlings in 100% soil alone ($p \leq 0.05$). Regardless of the type of substrate, the distribution of dry matter was following this order, leaves, stem and roots of the seedlings at 49 days after transplanting ($p \leq 0.05$).

Key words: exponential growth model, relative growth rate, dry matter, *Leucaena leucocephala*, *Leucaena collinsii*.

⁴ Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Julio César Campos Ojeda
Advisor: Dr. Enrique Cortés Díaz

3.3 Introducción

Se conoce poco sobre la fase de establecimiento de los árboles del sistema silvopastoril (Clavero & Suárez, 2006), a partir de semilla o trasplante de plántulas (Solorio & Solorio, 2008). Se señala que siembras con semillas resultan en una densidad de población variable; por el contrario, siembras a partir de trasplante de plántulas aseguran mayor número de plántulas implantadas en el suelo, una población uniforme en densidad y plantas de similar altura. Así que, las plántulas trasplantadas pueden tener mayor habilidad competitiva, un sistema de raíces más desarrollado (profundo y extenso) y mayor posibilidad para sobrevivir, consecuentemente crecerán más rápido (Munjuga et al., 2013; Dumroese & Luna, 2012; Vázquez, 2010).

Las plántulas creciendo de semillas pueden estar expuestas a estrés hídrico antes de tener un sistema radical bien desarrollado afectando su habilidad competitiva (Del Amo, Vergara, Ramos & Sainz, 2002; Munjuga et al., 2013). Las plántulas trasplantadas tendrán un sistema de vástagos y raíces bien desarrollado (Vázquez, 2010; Munjuga et al., 2013), capacitándolas para expresar mayor tasa de crecimiento. Esta cualidad junto con la distribución del peso seco en las plántulas son indicadores de la habilidad para crecer.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento de plántulas de dos especies de *Leucaena* creciendo en tres sustratos diferentes.

3.4 Materiales y métodos

El estudio se realizó en el invernadero de forrajes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Se estudiaron 162 plántulas de dos especies de *Leucaena*: *Leucaena leucocephala* y *Leucaena collinsii*, creciendo en tres sustratos: solo en suelo (100%), en suelo (50%) combinado con composta (50%) y en suelo (50%) combinado con composta (25%) y arena (25%). La preparación de las mezclas fue con base en el volumen, usando un recipiente cilíndrico previamente marcado

con las proporciones correspondiente de 0.50 y 0.25. La combinación de ambos factores, sustrato y especies de *Leucaena*, fueron los tratamientos experimentales con tres repeticiones. La combinación de las repeticiones, sustratos, especie de *Leucaena*, ocho mediciones destructivas en plántulas y siete intervalos de tiempo (7, 14, 21, 28, 36, 42 y 49 días) resultaron en 162 unidades experimentales o macetas.

Las semillas de ambas especies de *Leucaena* germinaron y las plántulas que se formaron crecieron por 21 días en un almácigo. Las plántulas fueron retiradas del almácigo para ser trasplantadas en los tres sustrato cuando tuvieron dos hojas verdaderas. Las plántulas se colocaron en bolsas de plástico de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura (1571 cm³) con aproximadamente 1 kg de sustrato. Una vez trasplantadas las plántulas de *Leucaena* se regaron inmediatamente y después cada tres días por 49 días.

En cada intervalo de tiempo, se midió la cantidad de materia seca acumulada en hojas, en tallos y raíces de las plántulas. La suma de los tres pesos secos fue la cantidad total de materia seca acumulada en cada plántula completa. Los respectivos pesos secos se midieron con una báscula analítica marca AE ADAM, con capacidad de 120 g y precisión de 0.0001 g. Cada parte de las plántulas se separó a mano y se colocó en bolsas de papel, las cuales se identificaron con el nombre del tratamiento e intervalo de medición. Las bolsas de papel con el contenido fueron expuestas a un proceso de secado a 55 °C durante 72 horas. Al terminar el tiempo de secado, se pesaron las bolsas con su contenido y por diferencia de pesos secos, peso de la bolsa con alguna parte de las plántulas menos su respectivo peso seco sin contenido, se calculó el peso seco de las hojas, tallo y raíces.

Se graficó el peso seco total, el peso de las hojas, el peso de los tallos y el peso de las raíces de las plántulas de las dos especies de *Leucaena* como función del tiempo (ocho intervalos de tiempo). Se ajustó un modelo matemático no lineal a las curvas de acumulación de peso seco total, en hojas, en tallos y en raíces con el programa CurveExpert Professional 2.5. La función matemática con mejor

ajuste, al perfil de las curvas, fue exponencial: $Y_i = ae^{-bx_i}$ (Paine et al., 2012; Pommerening & Muszta, 2015; Raymond, 1990). En este modelo la constante “b” fue la “tasa relativa de crecimiento” (gramos de materia seca acumulados por gramo de materia seca existe en cada intervalo de tiempo, “x”) y la constante “a” fue el “peso seco inicial de las plántulas” en el día de trasplante (a los 21 días post-germinación). Para cada valor del parámetro, “tasa relativa de crecimiento”, se calculó su intervalo de confianza ($b_i \pm EE_{b_i}$) a un $\alpha=0.05$, para hacer comparaciones entre tratamientos (combinación de especies de *Leucaena* con sustrato) y entre sustratos dentro de cada especie de *Leucaena*. Se declaró similitud en la tasa relativa de crecimiento cuando los intervalos de confianza se traslaparon.

3.5 Resultados y discusión

Las curvas para materia seca acumulada en las plántulas, de las dos especies de *Leucaena*, creciendo en los tres sustratos estudiados, revelaron un crecimiento de tipo exponencial con una acumulación imperceptible, caracterizado por lenta acumulación inicial de materia seca y una acelerada acumulación materia seca (Figura 3). En los primeros siete días del trasplante las plántulas, de ambas especies de *Leucaena*, prácticamente no acumularon materia seca (± 0.0979 g planta⁻¹), como previamente fue observado por Aguirre-Medina, Ley-De Coss, Velazco-Zebadúa y Aguirre-Cadena (2015), en plántulas de *Leucaena leucocephala* (0.0644 g planta⁻¹); esto se atribuyó a la prioridad del proceso de arraigamiento de las plántulas. Es decir, a la formación de un sistema de raíces que suministre suficiente agua y nutrimentos a las plantitas en crecimiento. Después de esta fase estacionaria en el crecimiento, las plántulas de *Leucaena* acumularon lentamente materia seca hasta los 28 días del trasplante, y posteriormente la acumulación de materia seca fue a mayor velocidad.

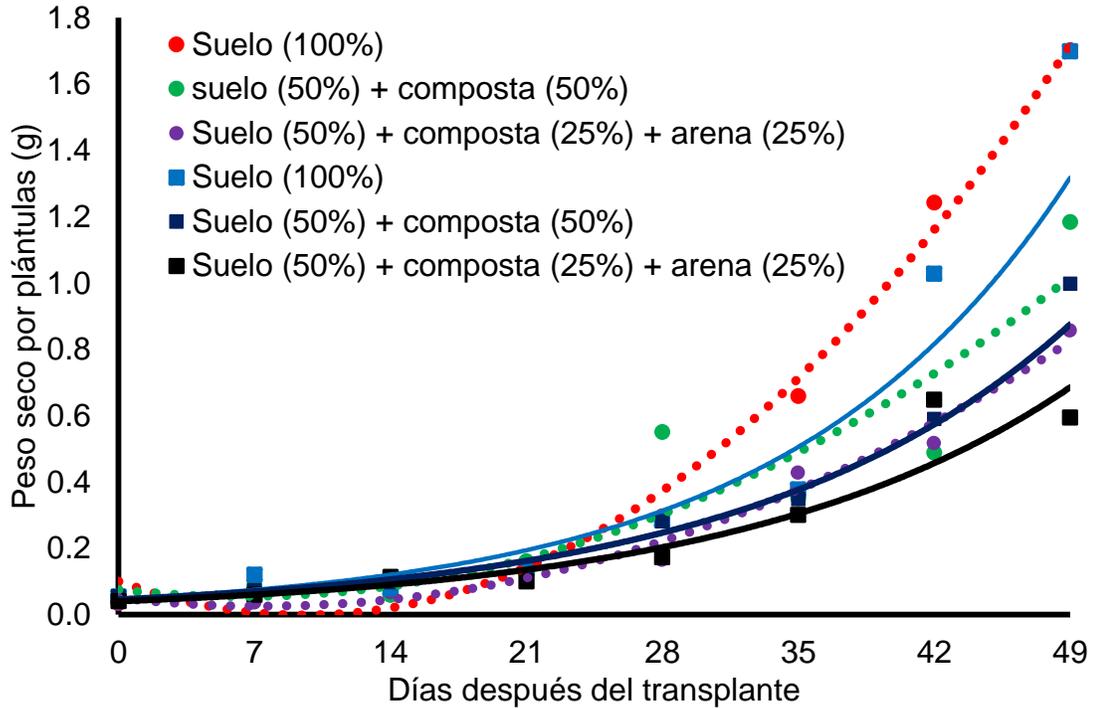


Figura 3. Peso total por plántula de *Leucaena leucocephala* y *L. collinsii* crecidas en tres sustratos en los primeros 49 días luego del trasplante a bolsa de vivero.

Los modelos de crecimiento ($Y_i = ae^{-bx_i}$) explicaron más del 86% de la variabilidad total observada en el peso seco de las plántulas. La comparación del parámetro “a” mostró que al inicio del trasplante las plántulas de ambas especies de *Leucaena* fueron del tamaño o peso similar ($p \leq 0.05$) permaneciendo así hasta los 28 días. Al comparar el parámetro para tasa relativa de crecimiento (“b”) se demostró que las plántulas de *Leucaena leucocephala* acumularon similar cantidad de materia seca por unidad de peso ya existente, en los tres sustratos ($p \leq 0.05$); y que las plántulas de *Leucaena collinsii* acumularon más materia seca cuando crecieron en suelo puro (Cuadro 1). Para esta especie de *Leucaena* la alteración de estructura del suelo, al agregar arena o materia orgánica afectan negativamente el crecimiento de sus plántulas, coincidiendo con lo observado por Solorio y Solorio (2008) y Flores et al. (2013).

En suelo puro, las plántulas de *L. collinsii* (0.0880 g MS por g MS) acumuló 19.4% más materia seca por unidad de peso seco existente que las plántulas de *L. leucocephala* ($p \leq 0.05$), esta diferencia puede interpretarse como una mayor habilidad de las plántulas de *L. collinsii* para crecer en el mismo sustrato (Flores et al., 2013; Grether, Martínez-Bernal, Luckow & Zárate, 2006; Zárate, 1987).

Cuadro 1. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_t = ae^{(-bx)^t}$ para describir el cambio en el peso total por plántula en *L. leucocephala* y *L. collinsii* crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.

Tratamiento	a* ± EE	b* ± EE	EE	CC	r ²
<i>Leucaena leucocephala</i>					
Suelo (100%)	0.048 ± 0.015x	0.073 ± 0.006x	0.097	0.98	0.97
Suelo (50%) + composta (50%)	0.041 ± 0.028x	0.066 ± 0.015x	0.150	0.93	0.87
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.033 ± 0.008x	0.066 ± 0.005x	0.043	0.99	0.98
<i>Leucaena collinsii</i>					
Suelo (100%)	0.023 ± 0.007x	0.088 ± 0.006x	0.073	0.99	0.98
Suelo (50%) + composta (50%)	0.033 ± 0.005x	0.068 ± 0.003y	0.030	0.99	0.99
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.050 ± 0.023x	0.053 ± 0.010z	0.087	0.94	0.88

* a es la tasa diaria de incremento en peso; b es la tasa diaria de incremento relativo de peso; los valores de coeficientes; x, y, z, coeficientes con al menos una letra en común no son diferentes ($p \geq 0.05$). EE: error estándar del parámetro. CC: coeficiente de correlación. r²: coeficiente de determinación.

Los modelos de crecimiento para el sistema radical, explicaron más del 90% de la variabilidad total debida a peso seco, excepto el modelo para las plántulas de *L. collinsii* creciendo en suelo mezclado con arena y composta. El crecimiento del sistema de raíces de las plántulas de *L. leucocephala* fue similar en los tres sustratos estudiados debido a no diferencias estadísticas en las tasas relativas de crecimiento ($p \geq 0.05$). En contraste, el sistema de raíces de las plántulas de *L. collinsii* creció mejor en suelo puro que en suelo mezclado con arena o composta ($p \leq 0.05$), debido a que acumuló más materia seca por unidad de peso seco existente (Cuadro 2). Esto explica el mayor crecimiento del sistema de vástagos observado en el mismo tipo de suelo.

Cuadro 2. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i=ae^{(-bx)}$ para describir el cambio en el peso de raíz por plántula en *L. leucocephala* y *L. collinsii* crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.

Tratamiento	a* ± EE	b* ± EE	EE	CC	r ²
<i>Leucaena leucocephala</i>					
Suelo (100%)	0.007 ± 0.003x	0.075 ± 0.011x	0.025	0.97	0.94
Suelo (50%) + composta (50%)	0.003 ± 0.001x	0.077 ± 0.011x	0.013	0.96	0.93
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.007 ± 0.002x	0.059 ± 0.006x	0.010	0.98	0.96
<i>Leucaena collinsii</i>					
Suelo (100%)	0.002 ± 0.009x	0.093 ± 0.009x	0.010	0.98	0.97
Suelo (50%) + composta (50%)	0.003 ± 0.007x	0.073 ± 0.004y	0.004	0.99	0.98
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.004 ± 0.003x	0.061 ± 0.019y	0.017	0.89	0.79

* a es la tasa diaria de incremento en peso; b es la tasa diaria de incremento relativo de peso; los valores de coeficientes; x, y, z, coeficientes con al menos una letra en común no son diferentes ($p \geq 0.05$). EE: error estándar del parámetro. CC: coeficiente de correlación. r²: coeficiente de determinación.

El crecimiento inicial de las hojas las plántulas de *Leucaena leucocephala*, parámetro “a” del modelo, fue mayor en suelo puro y suelo con composta ($p \leq 0.05$). Las hojas de *Leucaena collinsii* crecieron más rápido en las plántulas crecieron en suelo puro ($p \leq 0.05$). La tasa relativa de crecimiento (parámetro “b”) de las hojas plántulas de *Leucaena leucocephala* fue similar en los tres sustratos ($p \leq 0.05$). Las plántulas de *Leucaena collinsii* acumularon más materia seca en las hojas cuando crecieron en suelo puro (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i = ae^{-bx_i}$ para describir el cambio en el peso de hojas por plántula en *L. leucocephala* y *L. collinsii* crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.

Tratamiento	a* ± EE	b* ± EE	EE	CC	r ²
<i>Leucaena leucocephala</i>					
Suelo (100%)	0.103 ± 0.046x	0.034 ± 0.004x	0.41	0.95	0.91
Suelo (50%) + composta (50%)	0.068 ± 0.031x	0.036 ± 0.025x	0.32	0.95	0.91
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.033 ± 0.015y	0.043 ± 0.004x	0.26	0.97	0.94
<i>Leucaena collinsii</i>					
Suelo (100%)	0.003 ± 0.001x	0.083 ± 0.006x	0.04	0.99	0.98
Suelo (50%) + composta (50%)	0.006 ± 0.001y	0.065 ± 0.003y	0.02	0.99	0.99
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.012 ± 0.007y	0.051 ± 0.009z	0.05	0.94	0.90

* a es la tasa diaria de incremento en peso; b es la tasa diaria de incremento relativo de peso; los valores de coeficientes; x, y, z, coeficientes con al menos una letra en común no son diferentes ($p \geq 0.05$). EE: error estándar del parámetro. CC: coeficiente de correlación. r²: coeficiente de determinación.

Los modelos de crecimiento para los tallos de las plántulas explicaron más del 85% de la variabilidad total debida a peso seco. El crecimiento de los tallos de las plántulas de las dos especies fue similar en los tres sustratos estudiados debido a que no se encontraron diferencias estadísticas en las tasas diarias de crecimiento ($p \geq 0.05$). La tasa relativa de crecimiento de los tallos de *L. leucocephala* fue similar en los tres sustratos ($p \geq 0.05$). El crecimiento relativo de los tallos de *L. collinsii* fue mayor en suelo puro ($p \leq 0.05$), seguido de suelo con composta y finalmente en sustrato de suelo + composta + arena (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores y estadísticos de los coeficientes a y b de la función $y_i = ae^{-bx_i}$ para describir el cambio en el peso de tallo en *L. leucocephala* y *L. collinsii* crecidas en tres sustratos durante los primeros 49 días del trasplante a bolsa de vivero.

Tratamiento	a* ± EE	b* ± EE	EE	CC	r ²
<i>Leucaena leucocephala</i>					
Suelo (100%)	0.021 ± 0.008x	0.046 ± 0.003x	0.16	0.98	0.96
Suelo (50%) + composta (50%)	0.011 ± 0.007x	0.048 ± 0.006x	0.16	0.96	0.92
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.008 ± 0.005y	0.051 ± 0.006x	0.14	0.97	0.94
<i>Leucaena collinsii</i>					
Suelo (100%)	0.004 ± 0.003x	0.099 ± 0.010x	0.02	0.98	0.97
Suelo (50%) + composta (50%)	0.001 ± 0.005x	0.076 ± 0.007y	0.01	0.98	0.97
Suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%)	0.003 ± 0.002x	0.052 ± 0.010z	0.01	0.94	0.88

* a es la tasa diaria de incremento en peso; b es la tasa diaria de incremento relativo de peso; los valores de coeficientes; x, y, z, coeficientes con al menos una letra en común no son diferentes ($p \geq 0.05$). EE: error estándar del parámetro. CC: coeficiente de correlación. r²: coeficiente de determinación.

Las plantas de *L. leucocephala* y *L. collinsii* creciendo en suelo puro acumularon aproximadamente 1.8 g de peso seco a los 49 días de trasplante (Figura 4). En general, ambas especies de *Leucaena* fueron de mayor tamaño cuando crecieron en suelo puro (100%) que en suelo combinado con composta o arena, quizás debido a mayor retención agua por más tiempo y al suministró de nutrimentos a las plántulas (Flores et al., 2013).

Independientemente del sustrato, las plántulas de *Leucaena* acumularon más materia seca en las hojas dando prioridad al órgano fotosintético, enseguida en el órgano de sostén y conducción (el tallo) y en último lugar en el órgano de anclaje y absorción de agua y nutrimentos, la raíz (Figura 4, Azcón-Bieto & Talón, 2000). La materia seca total acumulada en las plántulas se distribuyó de la siguiente manera, del 61.27 a 65.51% en hojas de *L. leucocephala* y del 56.94 a 67.09% en hojas de *L. collinsii*, del 21.06 a 24.83% en tallos de *L. leucocephala* y 20.84 a 26.88% en tallo de *L. collinsii*, del 10.89 a 15.61% en raíces de *L. leucocephala* y de 12.07 a 16.67% en raíces de *L. collinsii*.

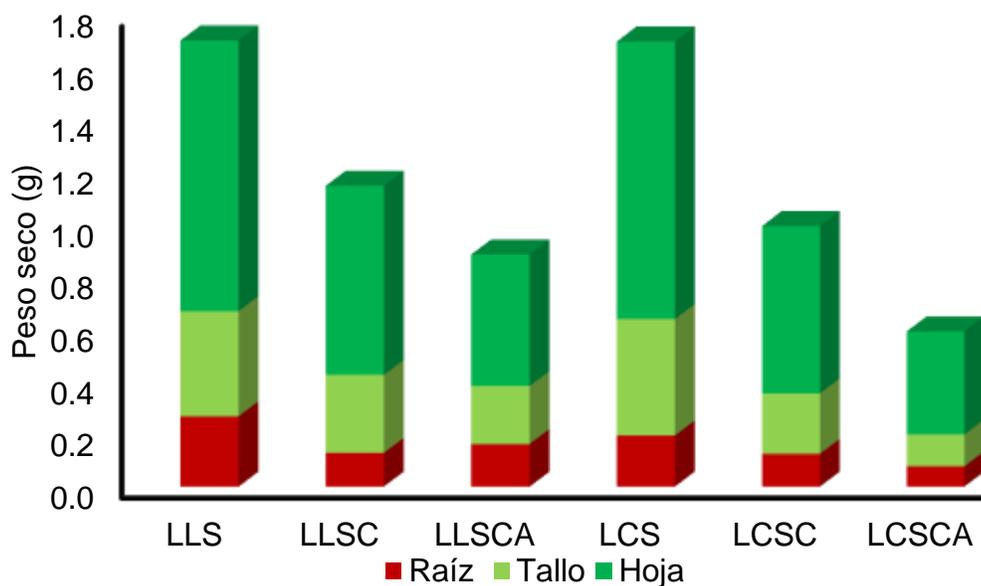


Figura 4. Peso de raíz, hoja y tallo de *L. leucocephala* y *L. collinsii* creciendo en tres sustratos a los 49 días después del trasplante, donde LLS corresponde a *L. Leucocephala* en suelo (100%), LLSC *L. Leucocephala* en suelo (50%) + composta (50%) y LLSCA *L. Leucocephala* en suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%) y LCS corresponde a *L. Collinsii* en suelo (100%), LCSC *L. Collinsii* en suelo (50%) + composta (50%) y LCSCA *L. Collinsii* en suelo (50%) + composta (25%) + arena (25%).

La relación hoja:tallo fue de 2.8:1 en *L. leucocephala* y de 2.6:1 en *L. collinsii*. se produjo menos hojas en comparación del trabajo de Maya, Durán y Ararat (2005), quienes reportaron una relación 11:1 para hoja a tallo, a los 28 días de trasplantar plántulas de *Leucaena leucocephala*.

3.6 Conclusiones

El mejor sustrato para trasplantar plántulas de *Leucaena* fue suelo solo. Alterar la naturaleza del suelo limitó el crecimiento de las plántulas de ambas *Leucaenas*. Independientemente del sustrato las *L. leucocephala* y *L. collinsii* acumulan mayor peso en las hojas, seguido del tallo y por último en la raíz.

3.7 Literatura citada

- Aguirre-Medina, J. F., Ley-De Coss, A., Velazco-Zebadúa, M. E., & Aguirre-Cadena, J. F. (2015). Crecimiento de *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit inoculada con hongo micorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Quehacer Científico en Chiapas*, 10(1), 15-22.
- Axcón-Bieto, J., & Talón, M. (2000). Fundamentos de fisiología vegetal (1ª ed.). España: McGraw-Hill.
- Clavero, T., & Suárez, J. (2006). Limitaciones en la adopción de los sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. *Pastos y Forrajes*, 29(3), 1-6.
- Del Amo R., S., Vergara, T. M., Ramos, P. J., & Sainz, C. C. (2002). Germinación y manejo de especies forestales tropicales. México.
- Dumroese R., K., & Luna, T. D. (2012). Raising Native Plants in Nurseries: Basic Concepts. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service. Rocky Mountain Research Station. *General Technical Report*, 274.
- Flores M., J. P., Valero, C.C., Osuna, A. P., Corral, D. B., Shukla, M. K., & Salazar, S. E. (2013). Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 211-220.
- Grether, R., Martínez-Bernal, A., Luckow, M., & Zárate, S. (2006). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. México: Instituto de biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maya M., G. E., Durán, C. C., & Ararat, J. E. (2005). Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja-tallo del pasto estrella solo y asociado con *Leucaena*. *Acta Agronómica*, 54(2), 1-7.
- Munjuga, M. R., Gachuri, A. N., Ofori, D. A., Mpanda, M. M., Muriuki, J. K., & Jamnadass, R. H. (2013). Nursery management, tree propagation and marketing: A training manual for smallholder farmers and nursery operators. Nairobi, Kenia.
- Paine C., E. T., Marthews, T. R., Vogt, D. R., Rees, D. P., Hector, A., & Turnbull, L. A. (2012). How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 12 (3), 245–256.
- Pommerening, A., & Muszta, A. (2015). Methods of modelling relative growth rate. *Forest Ecosystems*, 2(5), 2-9. Consultado en: https://pub.epsilon.slu.se/12470/7/pommerening_a_muszta_a_150804.pdf.
- Raymond H., M. (1990). *Classical and modern regression with applications* (2ª ed.). United States of America: PWS-KENT.
- Solorio S., F., & Solorio, S. B. (2008). Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*: *Leucaena leucocephala* (Guaje), una opción

forrajera en los sistemas de producción animal en el trópico. Michoacán, México.

Vázquez, A. B. (2010). *Conformación estructural Leucaena leucocephala a diferente manejo en vivero*. (Tesis de maestría, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México).

Zárate, S. (1987). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata*. *Phytologia*, 63(4), 304-306.

4. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA GUAJE-ZACATE MOMBASA Y AGOSTADERO LOCAL PASTOREADOS POR OVEJAS PELIBUEY EN DESARROLLO⁵

4.1 Resumen

Los sistemas silvopastoriles son una opción para mejorar la productividad de la ganadería pastoril. El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento productivo de ovejas Pelibuey en desarrollo pastoreando un sistema silvopastoril *Leucaena*-Mombasa y agostadero local, para lo cual se estableció un experimento con tres tratamientos: dos sistemas silvopastoriles *Leucaena*-Mombasa con 10000 y 15000 *Leucaenas* ha⁻¹ y un tercero de agostadero local en El Limón, Morelos bajo un diseño completamente al azar con dos repeticiones. Para caracterizar el recurso forrajero en los tres tratamientos se determinaron ocho variables, cinco en el suelo y ganancia diaria de peso (GDP) en las ovejas. Los dos sistemas silvopastoriles mostraron 29 y 15% mayor ($p \leq 0.05$) oferta y asignación diaria de forraje, respectivamente, que el agostadero local, sin diferencia entre ellos. El sistema con mayor densidad de *Leucaena* registró 22 y 50% mayores ($p \leq 0.05$) grado de cosecha y tasa de desaparición de forraje, respectivamente, que el otro sistema y el agostadero local. La proteína cruda del estrato herbáceo fue 40% mayor ($p \leq 0.05$) en el agostadero local que en los sistemas silvopastoriles, sin embargo, la digestibilidad *in vitro* del follaje arbóreo de ambos sistemas fue 32% mayor ($p \leq 0.05$) que la del agostadero local, sin diferencia ($p \geq 0.05$) entre tratamientos en los contenidos de proteína cruda y materia orgánica en el follaje del estrato arbóreo. Solamente el contenido de N en suelo mostró efecto ($p \leq 0.05$) de tratamiento, el agostadero mostró 58% más N en suelo que ambos sistemas. Los sistemas silvopastoriles favorecieron una ganancia diaria de peso en las ovejas 1.5 veces mayor a la del agostadero local. Se concluyó que los sistemas silvopastoriles son una opción para fomentar una mayor producción animal que el agostadero local a través de ofrecer mayor cantidad de oferta de forraje de mayor calidad.

Palabras clave: *Leucaena leucocephala*, *Megathyrus maximus*, ganancia diaria de peso, ovejas Pelibuey, sistema silvopastoril.

⁵ Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Julio César Campos Ojeda
Director de la tesis: Dr. Enrique Cortés Díaz

PERFORMANCE OF THE GUAJE-MOMBASA GRASS SYSTEM AND LOCAL RANGE GRAZED BY PELIBUEY EWE-LAMBS ⁶

4.2. Abstract

The silvopastoral systems are an option to improve the productivity of pastoral livestock. The objective of the study was to analyze the productive performance of Pelibuey sheep in development pasturing a *Leucaena*-Mombasa silvopastoral system and local pasture for which an experiment was established with three treatments: two *Leucaena*-Mombasa silvopastoral systems with 10000 and 15000 *Leucaenas* ha⁻¹ and a third of local groves in El Limón, Morelos under a completely random design with two repetitions. To characterize the forage resource in the three treatments, eight variables were determined, five in the soil and daily weight gain (ADG) in the sheep. The two silvopastoral systems showed 29 and 15% higher ($p \leq 0.05$) supply and daily allocation of forage, respectively, than the local pasture, with no difference between them. The system with the highest density of *Leucaena* registered 22 and 50% higher ($p \leq 0.05$) grade of harvest and rate of disappearance of forage, respectively, than the other system and the local pasture. The crude protein of the herbaceous stratum was 40% higher ($p \leq 0.05$) in the local pasture than in the silvopastoral systems, however, the *in vitro* digestibility of the arboreal foliage of both systems was 32% higher ($p \leq 0.05$) than that of the local pasture, without difference ($p \geq 0.05$) between treatments in the contents of crude protein and organic matter in the foliage of the arboreal stratum. Only the N content in soil showed an effect ($p \leq 0.05$) of treatment, the pasture showed 58% more N in soil than both systems. The silvopastoral systems favored a daily weight gain in sheep 1.5 times greater than that of the local pasture. It was concluded that the silvopastoral systems are an option to encourage greater animal production than the local pasture by offering a greater quantity of forage offer of higher quality.

Key words: *Leucaena leucocephala*, *Megathyrus maximus*, daily weight gain, Pelibuey sheep, silvopastoral system.

⁶ Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Julio César Campos Ojeda
Advisor: Dr. Enrique Cortés Díaz

4.3. Introducción

Los sistemas silvopastoriles asocian una o más especies de gramíneas con especies arbóreas forrajeras, las cuales son aprovechadas por una especie animal (Murgueitio et al., 2016) y han mostrado ser una opción para la mejora de la ganadería pastoril a través de aumentar la cantidad y calidad del forraje ofrecido al animal en pastoreo, lo que a su vez ha promovido ganancias de peso en condiciones donde el agostadero local no es capaz de mantener el peso de los animales (Bacab & Solorio, 2011; Medina & Sánchez, 2006; Trejo, 2013).

En el diseño de un sistema silvopastoril existen varias decisiones que deben tomarse, entre ellas los componentes específicos y la densidad de ellos, en este sentido la conformación de sistemas silvopastoriles con base en *Leucaena leucocephala* y gramíneas tropicales han sido validados por diferentes autores como sistemas que mejoran la productividad ganadera (Martínez & Reyes, 2013; Murgueitio et al., 2016; Trejo, 2016). La densidad de plantación de la *L. leucocephala* debe ser tal favorezca la sinergia con la gramínea acompañante para asegurar la mayor cantidad y calidad de forraje. Trejo (2016) encontró que la densidad de *L. leucocephala* no fue determinante para marcar diferencias en la ganancia de peso de borregos.

La producción ovina de México no ha sido capaz de cubrir la demanda nacional por carne de ovino, entre los puntos débiles está el pobre desarrollo de los reemplazos y su capacidad de reproducción. Por esta razón, se ha enfatizado la necesidad de validar opciones de manejo que puedan favorecer un mejor desarrollo de las borregas de reemplazo que se refleje en la capacidad de criar un mayor número de corderos y de mayor peso al destete (Esqueda & Gutiérrez, 2009).

El objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento productivo de ovejas Pelibuey en desarrollo pastoreando sistemas silvopastoriles de *Leucaena-Mombasa* de diferente densidad de *L. leucocephala* y un agostadero local.

4.4. Materiales y métodos

4.4.1. Localización

El estudio se realizó de mayo de 2016 a octubre de 2017 en el Ejido “El Limón de Cuauchichinola”, Tepalcingo, Morelos, ubicado en una porción perteneciente a la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBSH), con vegetación de selva baja caducifolia, altitud de 1220 m, con precipitación media anual de 900 mm y clima tipo Aw0”(w)(i)”g (CONANP, 2005; Dorado, Arias, Alonso & Maldonado, 2002; INEGI, 2010).

4.4.2. Producción y trasplante de plántulas de *Leucaena*

Las plantas de *Leucaena* usadas en el estudio fueron producidas en vivero dentro del invernadero de forrajes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. En bolsas negras de polietileno de 10 x 20 cm, con aproximadamente 1.0 kg de sustrato, compuesto de una mezcla de 30 y 70% (v/v) de composta y suelo, respectivamente, el suelo fue secado y tamizado en una malla de 5 mm. Las semillas se escarificaron sumergiéndolas en agua a 80 °C durante 5 minutos, posteriormente se dejaron enfriar 2 h y se sembraron cuatro semillas por bolsa a 2 cm de profundidad.

Desde la siembra se hizo una revisión diaria, se regó cada tercer día y se aclaró según fuera necesario para dejar dos plántulas de *Leucaena* por bolsa. Al mes de edad se aplicó 5 g de fertilizante granular Triple 17 y 30 días después se realizó una aplicación de fertilizante foliar supermagro al 5%. Luego de dos meses en vivero las plantas fueron trasplantadas en julio y agosto de 2016.

4.4.3. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron tres: dos sistemas silvopastoriles *Leucaena*-Mombasa uno con 10000 y otro con 15000 *Leucaenas* ha⁻¹, el tercero fue el agostadero local. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones.

4.4.4. Establecimiento de las parcelas experimentales

Todos los tratamientos se establecieron en unidades experimentales con una superficie de 190 m², el trasplante fue en hileras a una distancia de 2 m entre ellas en los tratamientos con sistema silvopastoril y a 50 y 33 cm de separación entre plantas para los tratamientos con 10000 y 15000 Leucaenas ha⁻¹, respectivamente.

La preparación del terreno para la siembra del zacate Mombasa consistió en chapoleo para retirar la maleza y en hacer surcos con un pico, la siembra fue en hileras a una distancia de 1 m, la semilla se colocó a chorillo a una profundidad de 2 cm, el tapado se realizó con ayuda de un rastrillo. La densidad de siembra fue de 8 kg de semilla ha⁻¹, no se hizo prueba de germinación

4.4.5. Agostadero local

El agostadero local está compuesto principalmente de las familias Fabaceae (85 especies), Poaceae (55 especies) y Asteraceae (46 especies; González & López, 2008).

4.4.6. Manejo del pastoreo

Para el pastoreo se manejó una densidad de carga de 158 ovinos ha⁻¹, un periodo de ocupación de 14 días, cada repetición se delimitó con malla borreguera y los animales se fueron rotando consecutivamente de la primera a la tercera repetición, en cada una se introdujeron tres ovinos de la raza Pelibuey. Después del pastoreo se dejó un periodo de recuperación de 28 días y se realizó un segundo pastoreo, con ciclos de 42 días.

El pastoreo se realizó de julio a septiembre de 2017, el primer pastoreo se llevó a cabo cuando la pradera tenía 20 días de acumulación de forraje, al momento de introducir los ovinos en las unidades experimentales se muestreó el forraje ofrecido y al momento de retirarlos se muestreó el forraje rechazado, lo anterior se realizó en cada repetición, para ello se tomaron tres muestras de forma

aleatoria, donde la muestra uno corresponde a una cantidad baja de forraje, la dos a una cantidad media y la tercera a una cantidad alta (Gutierrez, 1996; Haydow & Shaw, 1975). Por otro lado, se pesaron los ovinos al inicio y al final del periodo de ocupación de cada repetición, con una báscula electrónica con capacidad de 400 kg.

4.4.7. Variables medidas y calculadas

Las variables estudiadas fueron forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR), para su estimación se utilizó la técnica de doble muestreo descrita por Gardner (1967) y Haydock y Shaw (1975), la cual consiste en cortar tres muestras de forraje en 0.25 m², con calificaciones que representan estimaciones visuales en una escala del uno al tres (en donde el uno representa la menor cantidad de forraje y tres la mayor). Las tres muestras de forraje se cortaron a ras de suelo, al mismo tiempo se colectó el forraje de tres árboles de *Leucaena* que representaran el promedio de cada unidad experimental, este se colectó con los dedos, simulando el ramoneo de los ovinos con la técnica hand plucking.

Después de la colecta de las muestras de forraje se procedió a realizar el secado en una estufa de aire forzado a temperatura de 55 °C durante 48 horas hasta llegar a peso constante, para después pesarlas con una báscula analítica marca AE ADAM, capacidad de 120 g y precisión de 0.0001 g, posteriormente se molieron en un molino tipo Wiley N° 4 con criba de 0.1 mm para determinar el valor nutritivo del forraje, que se estimó con la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) utilizando la técnica de Tilley y Terry (1963) modificada por Barnes (1969) y la proteína cruda (PC) por el método de Microkjeldahl usando el factor de conversión 6.25 (AOAC, 1984).

También se estimó la asignación diaria de forraje (ADF) por el método de Hodgson (1979); grado de cosecha (GC) con la ecuación de Solano y Coronado (1979); tasa de desaparición de forraje (TD) calculada con la ecuación de Stuth, Kirby y Chmielewsky (1981) y la ganancia diaria de peso (GDP) estimada por diferencia entre peso inicial y peso final del periodo de ocupación.

4.4.8. Análisis de suelo

Para el análisis de suelo se tomaron cinco muestras en forma de cinco de oros en cada unidad experimental, a una profundidad de 10 cm. Una vez colectadas todas las muestras se procedió a realizar un mezclado para obtener una muestra compuesta por pradera, posteriormente se tomó 1.0 kg de la muestra y se colocaron en una bolsa de plástico, previamente identificadas para trasladarla al laboratorio. En el laboratorio, las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 55°C durante 48 horas y se procedió a determinar la cantidad de N con el método Microkjeldahl (modificado por Bremner, 1965), P soluble con el método de Bray y Kurtz (1945), K y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) con el método AS-13 de la NOM-021-RECNAT-2000, la materia orgánica (MO) a través del contenido de carbono orgánico con el método Walkley y Black, y el pH con el método potenciométrico (Bates, 1973).

4.6.9. Manejo de datos y análisis estadístico

Para analizar la información se utilizó un diseño completamente al azar: $Y_{ij} = \mu + T_i + \xi_{ij}$, donde: Y_{ij} =valor de la variable de respuesta, μ = media general de la población, T_i = efecto del i -ésimo tratamiento y ξ_{ij} = error experimental asociado con la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento. Se analizó con el procedimiento para el modelo lineal general (PROC GLM) del paquete estadístico SAS 9.3 (SAS, 2012), se utilizó la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) para las comparaciones de medias.

4.5. Resultados y discusión

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de forraje ofrecido (FO) de zacate mombasa (del sistema silvopastoril) y del estrato herbáceo (del agostadero), de Leucaena (del sistema silvopastoril) y del estrato arbóreo (del agostadero), así como de forraje rechazado (FR) de zacate mombasa y/o estrato herbáceo.

Respecto al FO del zacate mombasa de los tratamientos con sistema silvopastoril no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$), pero ambos tratamientos

ofrecieron una mayor cantidad de forraje comparado con el estrato herbáceo del agostadero ($p \leq 0.05$), lo cual indica que la densidad de plantación de *Leucaena* utilizada no influyó en la cantidad de FO de la gramínea (Cuadro 5), lo anterior coincide con lo reportado por Trejo (2016), quien evaluó una asociación de *Leucaena leucocephala* con zacate mombasa variando la densidad de la especie arbórea, pero difiere con lo reportado por Bacab y Solorio (2011) quienes encontraron una tendencia ascendente de la cantidad de FO del zacate *Megathyrsus maximus* var. *Tanzania* al incrementar la densidad de *Leucaena* en un sistema silvopastoril.

Cuadro 5. Cantidad de forraje ofrecido (FO) y forraje rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y el agostadero (kg MS ha⁻¹).

Tratamiento	FO zacate mombasa-herbáceo	FO <i>Leucaena</i> -arbóreo	FO total	FR zacate mombasa-herbáceo
10000*	3088.8 ± 254.4 ^{ab}	1662.2 ± 254.4 ^a	4751.0 ± 508.8 ^a	2095.5 ± 254.4 ^a
15000*	3662.2 ± 254.4 ^a	1846.6 ± 254.4 ^a	5508.8 ± 508.8 ^a	1724.4 ± 254.4 ^a
Agostadero	2717.7 ± 254.4 ^b	1253.3 ± 440.7 ^b	3971.0 ± 695.1 ^b	1784.4 ± 254.4 ^a

Medias sin una letra en común por columna son diferentes ($p \leq 0.05$)

*Plantas de *Leucaena* ha⁻¹

Para el caso de la cantidad de FO de *Leucaena* y/o estrato arbóreo se encontró una mayor oferta en los tratamientos con sistema silvopastoril comparado con el agostadero ($p \leq 0.05$). Algunos autores como Benítez, Bernal, Cortés, Vera y Carrillo (2010), Bacab y Solorio (2011), Anguiano, Aguirre y Palma (2012) y Trejo (2016) reportaron resultados similares, donde a mayor densidad de *Leucaena* mayor cantidad de materia seca de éste. Pero al comparar los tratamientos con sistema silvopastoril no se encontraron diferencias ($p \geq 0.05$; Cuadro 5).

Respecto al FO total, los tratamientos del sistema silvopastoril presentaron una mayor cantidad de forraje comparado con el agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 5). Lo anterior coincide con Trejo (2016) quien encontró la misma tendencia en cuanto al FO al evaluar dos densidades de *Leucaena* (2383 y 4700 pl ha⁻¹) asociados a zacate mombasa vs agostadero. El FR de los tres tratamientos fue similar

($p \geq 0.05$), lo cual difiere con Trejo (2016), ya que dicho autor encontró diferencias a favor del sistema silvopastoril.

El Cuadro 6 muestra los resultados de asignación diaria de forraje (ADF), grado de cosecha (GC), tasa de desaparición de forraje (TDF) y ganancia diaria de peso (GDP) de los tratamientos estudiados. Cabe señalar que no hubo FR de *Leucaena* ni del componente arbóreo del agostadero, por lo que el GC y la TD se calcularon en base al FR de zacate mombasa del sistema silvopastoril y al componente herbáceo del agostadero.

La ADF fue mayor en los tratamientos con sistema silvopastoril comparado con el agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 6), en promedio la ADF del sistema fue 1.95 kg MS 100 kg PV⁻¹ d⁻¹ mayor que el agostadero, al respecto en diferentes sistemas silvopastoriles Trejo (2016), Peñate (2015), Trejo (2013) y Amador (2009) encontraron una ADF de 12.6, 6.07, 4.59 y 8.85 kg MS 100 kg PV⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Todas las ADF fueron menores a las reportadas en el presente estudio, lo cual se podría explicar por la densidad de la especie arbórea utilizada, ya que en los estudios de dichos autores fueron densidades menores.

El GC fue similar en los tres tratamientos del estudio ($p \leq 0.05$; Cuadro 6). En promedio los GC del presente estudio son menores a los reportados por Trejo (2016), Peñate (2015) y Trejo (2013), quienes encontraron 73.75, 71.28 y 82.72%, respectivamente, pero mayor al GC reportado por Benítez et al. (2010; 58%) y Amador (2009; 35.4%). Lo anterior puede indicar que a mayor ADF menor GC en un sistema silvopastoril, Bacab y Solorio (2011) encontraron un menor grado de cosecha de *Megathyrsus maximus* var. *Tanzania* en el tratamiento donde tenían menor densidad de guaje, lo cual indica la misma tendencia.

Cuadro 6. Asignación diaria de forraje (ADF), grado de cosecha (GC), tasa de desaparición de forraje (TDF) y ganancia diaria de peso de ovinos (GDP) en el sistema silvopastoril y agostadero.

Tratamiento	ADF (kg MS 100 kg PV ⁻¹ d ⁻¹)	GC (%)	TDF (kg MS 100 kg PV ⁻¹ d ⁻¹)	GDP (g ovino ⁻¹ d ⁻¹)
10000*	14.0 ± 0.6 ^a	57.3 ± 10.3 ^a	7.8 ± 1.1 ^b	22.7 ± 15.0 ^a
15000*	15.5 ± 0.6 ^a	70.4 ± 10.3 ^a	10.6 ± 1.1 ^a	30.3 ± 15.0 ^a
Agostadero	12.8 ± 0.6 ^b	57.6 ± 10.3 ^a	7.0 ± 1.1 ^b	-39.9 ± 15.0 ^b

Medias sin una letra en común por columna son diferentes (p≤0.05)

*Plantas de *Leucaena* ha⁻¹

La mayor TDF se encontró en el tratamiento de sistema silvopastoril con 15000 plantas de *Leucaena* ha⁻¹ (p≤0.05; Cuadro 6), la cual fue 2.8 kg MS 100 kg PV⁻¹ d⁻¹ mayor respecto a la densidad de 10000 plantas de *Leucaena* ha⁻¹ y 3.6 kg MS 100 kg PV⁻¹ d⁻¹ mayor al agostadero, la misma tendencia fue reportada por Trejo (2016) quien encontró una TDF de 8.6 kg MS 100 kg PV⁻¹ d⁻¹, cabe mencionar que fue menor que la reportada en el presente estudio.

La GDP fue mayor en los tratamientos con sistema silvopastoril comparados con el agostadero (p≤0.05; Cuadro 6), incluso en el agostadero los ovinos perdieron peso. Al respecto Medina y Sánchez (2006) reportaron ganancias de peso de ovinos de 32.6 g animal⁻¹ d⁻¹ en un sistema silvopastoril, la cual fue similar al obtenido en el presente estudio en los tratamientos con sistema silvopastoril, pero dicha ganancia fue inferior a la reportada por Peñate (2015), Trejo (2013) y Trejo (2016) con 97.8, 75.7 y 59.26 g animal⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Cabe mencionar que el último autor utilizó dos densidades de *Leucaena* menor a la utilizada en el estudio actual y una carga animal mayor. La pérdida de peso de los ovinos que pastaron en el agostadero se puede explicar por la baja ADF, comparada con la del sistema.

El Cuadro 7 muestra los resultados de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína cruda (PC) y materia orgánica indigestible (MOI) para el FO y FR del zacate mombasa y *Leucaena* de los tratamientos con sistema silvopastoril y de los componentes herbáceo y arbóreo del agostadero.

Cuadro 7. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína cruda (PC) y materia orgánica (MO) de forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y agostadero.

Determinación	Tratamiento		
	10000*	15000*	Agostadero
DIVMS, FO Mombasa-herbáceo (%)	67.5 ± 2.4 ^a	63.9 ± 2.4 ^a	64.1 ± 2.4 ^a
DIVMS, FO Leucaena-arbóreo (%)	54.9 ± 2.4 ^a	52.3 ± 2.4 ^a	40.5 ± 4.1 ^b
DIVMS, FR mombasa-herbáceo (%)	67.4 ± 2.4 ^a	67.1 ± 2.9 ^a	66.6 ± 2.7 ^a
PC, FO Mombasa-herbáceo (%)	13.1 ± 0.6 ^b	12.4 ± 0.6 ^b	17.5 ± 0.6 ^a
PC, FO Leucaena-arbóreo (%)	19.1 ± 0.6 ^b	21.3 ± 0.6 ^a	20.9 ± 1.0 ^b
PC, FR mombasa-herbáceo (%)	9.8 ± 0.7 ^b	9.5 ± 0.8 ^b	13.9 ± 0.7 ^a
MOI, FO Mombasa-herbáceo (%)	79.3 ± 1.6 ^a	77.7 ± 1.6 ^a	78.0 ± 1.7 ^a
MOI, FO Leucaena-arbóreo (%)	87.0 ± 1.6 ^a	84.3 ± 1.6 ^a	86.0 ± 2.8 ^a
MOI, FR mombasa-herbáceo (%)	77.8 ± 1.8 ^b	85.5 ± 2.0 ^a	79.8 ± 1.8 ^b

Medias sin una letra en común por fila son diferentes ($p \leq 0.05$)

*Plantas de Leucaena ha⁻¹

La DIVMS del FO de zacate mombasa y del componente herbáceo fue similar en los tres tratamientos ($p \geq 0.05$; Cuadro 7). Lo cual indica que la densidad de Leucaena no afectó la DIVMS del zacate mombasa, esa misma tendencia fue reportada por Peñate (2015), Trejo (2013) y Amador (2009), pero difiere con lo reportado por Trejo (2016), quien mencionó que la DIVMS del zacate mombasa fue menor en un sistema silvopastoril con 4700 plantas de Leucaena ha⁻¹ (45.9%) comparada con una densidad de 2383 plantas de Leucaena ha⁻¹ (60.7%) y un agostadero (60.6%).

La DIVMS del FO de zacate mombasa de los dos tratamientos con sistema silvopastoril es mayor a la que reportaron Coauro, González, Araujo-Febres y Vergara (2004) del 60%, Trejo (2016) del 45.9 y 60.7%, Trejo (2013) quien evaluó tres densidades de Leucaena 2050, 3928 y 6250, reportando DIVMS del zacate massai de 56.9, 55 y 55%, respectivamente. Pero Rodríguez (2009) reportó resultados similares (67%) en un estudio con la edad de rebrote de la gramínea similar al presente estudio.

Para el caso del FO de Leucaena, los tratamientos con sistema silvopastoril fueron más digestibles que el estrato arbóreo del agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 7), lo cual difiere con lo encontrado por Trejo (2016) quien reportó similitudes entre los tratamientos con sistema silvopastoril y el agostadero, cabe decir que dicho autor utilizó densidades de Leucaena menores a las establecidas en el presente trabajo.

Los valores encontrados son menores a los expuestos por González y Guerrero (2014) quienes reportaron DIVMS de Leucaena a los 35 días de rebrote de 59.72% y a los reportados por Esteban y Galicia (2013) quienes encontraron un valor de 58.3% a la misma edad de rebrote.

Por otro lado la DIVMS del FR del zacate mombasa y del estrato herbáceo no presentó diferencias entre tratamientos ($p \geq 0.05$; Cuadro 7), lo cual muestra que la densidad de la leguminosa no influyó en la DIVMS del FR de la gramínea, lo anterior coincide con los resultados de Trejo (2013) y Amador (2009), quienes tampoco encontraron diferencias, pero difiere con lo reportado por Trejo (2016) quien mencionó que la mayor DIVMS del FR del zacate mombasa se encontró en la menor densidad de Leucaena evaluada (2383 vs 4700 pl ha⁻¹).

La PC del FO y FR del sistema silvopastoril fue menor al comparar el zacate mombasa con el estrato herbáceo ($p \leq 0.05$; Cuadro 7), lo cual se puede justificar por la mayor cantidad de especies de plantas que habitan en el estrato herbáceo del agostadero. En el lugar de estudio (Ejido El Limón) destacan las familias Fabaceae (85 especies), Poaceae (55 especies) y Asteraceae (46 especies; González & López, 2008).

El contenido de PC del FO de zacate mombasa (Cuadro 7) es mayor a lo encontrado por Trejo (2016) con dos densidades menores de Leucaena a las utilizadas en el presente estudio, con lo cual se puede decir que a mayor densidad de la leguminosa mayor contenido de PC en el FO de la gramínea asociada, así mismo es mayor a lo encontrado por Gaviria-Uribe, Naranjo-

Ramírez, Bolívar-Vergara y Barahona-Rosales (2015) quienes en *Megathyrsus maximus* var. Tanzania obtuvieron un contenido de 8.7%.

Al comparar la Leucaena del sistema silvopastoril se encontró que el tratamiento con 15000 pl ha⁻¹ presentó mejor contenido de PC que el tratamiento con 10000 pl de Leucaena ha⁻¹ y que el estrato arbóreo del agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 7), lo anterior indica que a mayor densidad de Leucaena en un sistema silvopastoril mayor contenido de PC en esta especie, lo cual difiere con Trejo (2016) quien no encontró diferencias al evaluar dos densidades de la misma leguminosa, lo mismo ocurrió en un estudio realizado por Benítez y Bernal (2009) al evaluar el contenido de PC en Leucaena de un sistema silvopastoril con tres densidades de la leguminosa (2500, 3333 y 5000 pl ha⁻¹), reportando un contenido de 17.4, 21.4 y 22.09% de PC, respectivamente.

El contenido de PC del FO de Leucaena en los tratamientos con sistema silvopastoril (Cuadro 7) es menor a lo encontrado por Gaviria-Urbe et al. (2015), quienes encontraron un contenido de 26.1% y es similar a lo que reportaron Gómez, Nahed, Tewolde, Pinto y López (2006), Benítez et al. (2010), Martínez y Reyes (2013) y Trejo (2016) con 20.1, 21.4, 19.19 y 21.6%, respectivamente.

La materia orgánica indigestible del FO del zacate mombasa fue similar en los tres tratamientos ($p \geq 0.05$; Cuadro 7), mientras que el FR presentó un mayor contenido en el tratamiento del sistema silvopastoril con la mayor densidad de plantas de Leucaena ha⁻¹ que los otros dos tratamientos ($p \leq 0.05$; Cuadro 7).

El análisis químico del suelo de las unidades experimentales reveló mejoras en pH, contenido de MO, fósforo y potasio, el contenido de nitrógeno total fue mayor en el agostadero comparado con los tratamientos con sistema silvopastoril ($p \leq 0.05$) y entró de un rango medio en los tres tratamientos, la capacidad de intercambio catiónico fue mejor ($p \leq 0.05$) en el tratamiento con 15000 Leucaenas ha⁻¹ respecto del tratamiento con 10000 Leucaenas ha⁻¹ y del agostadero (Cuadro 8).

Cuadro 8. Materia orgánica (MO), pH, nitrógeno total (N), fósforo (P), potasio (K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo del sistema silvopastoril y agostadero.

Determinación	Tratamiento		
	10000*	15000*	Agostadero
pH	6.633 ± 0.139 ^a	6.650 ± 0.139 ^a	6.343 ± 0.139 ^a
MO (%)	2.163 ± 0.470 ^a	2.686 ± 0.470 ^a	3.696 ± 0.470 ^a
N (%)	0.117 ± 0.021 ^b	0.140 ± 0.021 ^b	0.193 ± 0.021 ^a
P (mg kg ⁻¹)	6.493 ± 1.481 ^a	6.450 ± 1.481 ^a	7.756 ± 1.481 ^a
K (mg kg ⁻¹)	165.333 ± 27.760 ^a	211.333 ± 27.760 ^a	227.333 ± 27.760 ^a
CIC (Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	23.666 ± 0.760 ^b	27.666 ± 0.760 ^a	26.233 ± 0.760 ^b

Medias sin una letra en común por fila son diferentes ($p \leq 0.05$)

*Plantas de *Leucaena* ha⁻¹

El pH del suelo en los dos tratamientos con sistema silvopastoril se clasificó como neutro, el cual es adecuado para el crecimiento de la *Leucaena leucocephala*, ya que algunos autores como Grether, Martínez-Bernal, Luckow y Zárate (2006) y Zárate (1987) recomiendan un rango de pH óptimo entre 6.5 a 7.5., mientras que en el tratamiento con agostadero el pH fue ligeramente ácido. Por otro lado, el contenido de materia orgánica en los tres tratamientos se encontró en un rango con alta disponibilidad, lo cual es favorable para el desarrollo de las plantas presentes tanto en la asociación como en el agostadero (Cuadro 8; Andrades & Martínez, 2014).

El contenido de fósforo se encontró en un rango bajo en los tres tratamientos, el potasio se encontró en un rango normal en los tres tratamientos (150-250 mg kg⁻¹; Castellanos, Uvalle & Aguilar, 2000).

4.6. Conclusiones

El comportamiento productivo de las ovejas Pelibuey medido como ganancia diaria de peso está determinado por la densidad de *Leucaena* en el sistema silvopastoril *Leucaena*-Mombasa.

La cantidad de forraje ofrecido y rechazado, así como la ganancia diaria de peso de ovejas Pelibuey en desarrollo son similares indistintamente de la densidad de guaje en el sistema silvopastoril, pero mayores que en el agostadero local.

La cantidad de forraje ofrecido total dentro de un sistema silvopastoril está determinada por la densidad de plantación de la *Leucaena*, pero no afecta la cantidad de macrominerales en el suelo del sistema silvopastoril.

4.7. Literatura citada

- Andrades, M., & Martínez, M. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3ª edición. Universidad de la Rioja. Madrid, España. 35 p.
- Amador F., A. (2009). *Producción de ovinos en un sistema silvopastoril de guaje y zacate Libertad*. (Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Anguiano J., M., Aguirre, J., & Palma, J. M. (2012). Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(1), 103-107.
- AOAC (1984). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (14ª ed.). New York: Arlington.
- Bacab P., H. M., & Solorio, S. F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 271-278.
- Barnes R., F. (1969). Collaborative research with the two stage in vitro rumen fermentation technique. In: *Proceedings of the National Conference of 58 Forage Quality Evaluation and Utilization*, 2-20. Lincoln, Nebraska, USA.
- Bates R., G. (1973). *Determination of pH. Theory and Practice* (2ª ed.). New York: Arlington.
- Benítez B., Y., & Bernal, H., A. (2009). *Producción de forraje de guaje (Leucaena spp.) asociado con zacate Brachiaria brizantha var. Libertad para ovejas en pastoreo*. (Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Benítez B., Y., Bernal, H. A., Cortés, D. E., Vera, C. G., & Carrillo, A. F. (2010). Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), 397-411.
- Bray R., H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Science*, 59, 360-361.
- Bremner J., M. (1965). Nitrogen availability indexes. In C.A. Black *et al.* (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2. Agronomy*, 9, 1324-1345.

- Castellanos, J., Uvalle, J., & Aguilar, S. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelo y aguas. 2da edición. Editorial INCAPA. Celaya, Guanajuato México. 226 p.
- Coauro, M., González, B., Araujo-Febres, O., & Vergara, J. (2004). Composición química y digestibilidad in vitro de tres cultivares de guinea (*Panicum maximum* Jacq.) a tres edades de corte en bosque seco tropical. In: Memorias del XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. Arenas, S. (comp.). Maracay, Aragua, Venezuela del 22 al 25 de noviembre. Asociación Venezolana de Producción Animal. pp: 121-122.
- CONANP (2005). *Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas* (1ª ed.). México, D. F.
- Dorado, O., Arias D., M., Alonso, G., & Maldonado, B. (2002). Educación ambiental para la biodiversidad en el trópico seco, Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. Morelos, México. *Tópicos en Educación Ambiental*, 4(12), 23-33.
- Esqueda C., M. H., & Gutiérrez, R. E. (2009). Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo extensivo en el norte de México. Chihuahua, Chih., México. 157 p.
- Esteban B., E., & Galicia, C. A. (2013). *Fermentación ruminal in vitro de Leucaena leucocephala asociada a Cynodon nlemfuensis en un sistema silvopastoril intensivo*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Gaviria-Uribe, X., Naranjo-Ramírez, J. F., Bolívar-Vergara, D. M., & Barahona-Rosales, R. (2015). Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia*, 64(245), 21-27.
- Gómez C., H., Nahed, T. J., Tewolde, A., Pinto, R. R., & López, M. J. (2006). Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México*, 44(2), 219-230.
- González G., D., & Guerrero, R. J. (2014). *Efecto de la edad de rebrote en la fermentación in vitro de Leucaena leucocephala y Cynodon nlemfuensis cultivados en un sistema silvopastoril*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México).
- González B., G. T., & López, A. L. A. (2008). *Flora del pastizal tropical de la selva baja caducifolia*. (Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).

- Grether, R., Martínez-Bernal, A., Luckow, M., & Zárate, S. (2006). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán* (1ª ed.). México: Instituto de biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gutiérrez O., M. A. (1996). Métodos para determinar disponibilidad de pasto. In: pastos y forrajes en Guatemala, su manejo y utilización. Universidad de San Carlos, Guatemala. Pp. 279-287.
- Haydock, K. P., & Shaw, N. H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15, 663-670.
- Hodgson, J. (1979). Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*, 34, 11-18.
- INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tepalcingo, Morelos, 27 p.
- Martínez M., M., & Reyes, C., A. (2013). *Composición nutricional de la Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit asociada con pasto estrella (Cynodon nlemfuensis Vanderyst) en San Luis Potosí*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Medina, R., & Sánchez, A. (2006). Efecto de la suplementación con follaje de *Leucaena leucocephala* sobre la ganancia de peso de ovinos desparasitados y no desparasitados contra estrongílicos digestivos. *Zootecnia Tropical*, 24(1), 55-68.
- Murgueitio R., E., Uribe, F., Molina, C., Molina, E., Galindo, W., Chará, J., Flores, M., Giraldo, C., Cuartas, C., Naranjo, J., Solarte, L., & González, J. (2016). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena*. In E. Murgueitio, W. Galindo, J. Chará, F. Uribe (eds). Editorial CIPAV. Cali, Colombia.
- NOM-021-RECNAT-2000 (2002). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México, D.F. 73 p.
- Peñate A., J. (2015). *Productividad del sistema guaje-zacate massaipastoreado por ovinos a tres cargas animales*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Rodríguez L., M. (2009). *Rendimiento y valor nutricional del pasto Panicum maximum cv. Mombaza a diferentes edades y alturas de corte*. (Tesis profesional, Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica).
- SAS. (2012). © SAS Institute Inc. SAS Campus Drive, Cary, North Carolina, USA.

- Solano V., V. J., & Coronado, G., E. (1979). *Efecto de la asignación de forraje sobre la producción, utilización y selectividad en una pradera permanente bajo riego en Chapingo, México*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Stuth, J. K., Kirby, D. R., & Chmielewsky, R. E. (1981). Effect of herbage allowance on the efficiency of defoliation by the grazing animal. *Grass and Forage Science*, 36, 9-15.
- Tilley J., M. A., & Terry, R., A. (1963). A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, 18(2), 105-111.
- Trejo A., L. A. (2013). *Producción de ovinos en un sistema silvopastoril en la sierra de Huautla*. (Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Trejo A., L. A. (2016). *Comportamiento productivo de ovinos en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* asociado a *Megathyrsus maximus* var. *Mombasa* versus agostadero*. (Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. Mex.).
- Zárate, S. (1987). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata*. *Phytologia*, 63(4), 304-306.