



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO
EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL DE *Leucaena leucocephala* ASOCIADO A *Megathyrsus maximus* var. *Mombasa* VERSUS AGOSTADERO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

LAURA KAREN TREJO ARISTA

Bajo la supervisión de: ENRIQUE CORTÉS DÍAZ, Dr



Junio 2016

Chapingo, Estado de México

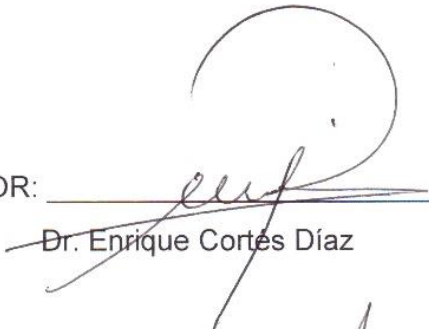
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS EN UN
SISTEMA SILVOPASTORIL DE *Leucaena leucocephala*
ASOCIADO A *Megathyrus maximus* var. Mombasa *VERSUS*
AGOSTADERO**

Tesis realizada por **LAURA KAREN TREJO ARISTA** 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

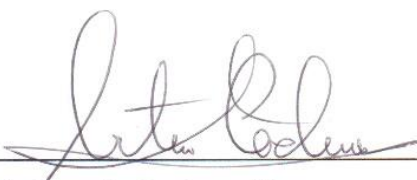
DIRECTOR:


Dr. Enrique Cortés Díaz

ASESOR:


Ph.D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR:


Dr. José Artemio Cadena Meneses

CONTENIDO

CONTENIDO.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	v
DEDICATORIAS.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	viii
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Sistemas silvopastoriles.....	3
2.1.1 Ventajas del uso de los sistemas silvopastoriles.....	4
2.2 Especies empleadas en el estudio	11
2.2.1 Guaje (<i>Leucaena leucocephala</i>)	11
2.2.2 Zacate mombasa (<i>Megathyrsus maximus</i> var. Mombasa).....	13
2.3 Especies más abundantes en El Limón, Morelos con potencial forrajero	15
2.3.1 Cubata (<i>Acacia cochliacantha</i> Humb. & Bonpl.).....	15
2.3.2 Guácima (<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.)	16
2.3.3 Guaje rojo (<i>Leucaena collinsii</i>)	17
2.4 Importancia de los minerales en la nutrición animal	19
2.4.1 Calcio	20
2.4.2 Fósforo	21
2.4.3 Potasio	22
2.4.4 Magnesio.....	22
2.4.5 Sodio	23
2.4.6 Zinc	23
2.4.7 Cobre	24
2.4.8 Hierro	24

2.5	Literatura citada	25
3	COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL DE <i>Leucaena leucocephala</i> ASOCIADO A <i>Megathyrus maximus</i> var. Mombasa <i>VERSUS</i> AGOSTADERO	35
3.1	Resumen.....	35
3.2	Abstract.....	36
3.3	Introducción	37
3.4	Materiales y métodos.....	38
3.4.1	Colecta de semilla y establecimiento del sistema silvopastoril.....	39
3.4.2	Instalación de los tratamientos y pastoreo	39
3.4.3	Variables de respuesta y análisis de la información.....	40
3.5	Resultados y discusión	41
3.6	Conclusión	56
3.7	Literatura citada	57

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidad ^z de forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y el agostadero.....	42
Cuadro 2. Asignación diaria de forraje (ADF), grado de cosecha (GC), tasa de desaparición de forraje (TD) y ganancia diaria de peso de ovinos (GDP) en el sistema silvopastoril y el agostadero ^z	43
Cuadro 3. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) de forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y el agostadero ^z	45
Cuadro 4. Contenido ^z de macrominerales (%) en el forraje ofrecido y rechazado de zacate mombasa-componente herbáceo (FOZH y FRZH respectivamente) y forraje ofrecido de guaje-componente arbóreo (FOGA).....	47
Cuadro 5. Contenido ^z de microminerales (ppm) en el forraje ofrecido y rechazado de zacate mombasa-componente herbáceo (FOZH y FRZH respectivamente) y forraje ofrecido de guaje-componente arbóreo (FOGA).....	51
Cuadro 6. Contenido ^z (mg L ⁻¹) de calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio, zinc, cobre y hierro en suero sanguíneo de ovinos al iniciar el estudio, en el sistema silvopastoril y en el agostadero.....	52
Cuadro 7. Contenido de macrominerales (%; $\pm$ error estándar) en las arbóreas más abundantes (de acuerdo a Hernández <i>et al.</i> , 2011) en El Limón, Tepalcingo, Morelos.	54
Cuadro 8. Contenido de microminerales ($\pm$ error estándar), digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) en las arbóreas más abundantes (de acuerdo a Hernández <i>et al.</i> , 2011) en El Limón, Tepalcingo, Morelos.	55

DEDICATORIAS

A mi familia y amigos, les agradezco por estar siempre incondicionalmente para mí, a todos los estudiantes, a quienes debido a la situación que se vive en México, he considerado oportuno hacerles llegar un pequeño mensaje:

El inconformismo de los estudiantes suele ser emocional (por sentimentalismo o frustración) o puramente intelectual, esto explica también el hecho de que, al término de la carrera universitaria, el inconformismo desaparezca o por lo menos se oculte y el estudiante rebelde deje de serlo para convertirse en un profesional burgués, que para comprar los símbolos de prestigio de la burguesía tiene que vender su conciencia a cambio de una elevada remuneración.

Estas circunstancias pueden ocasionar graves peligros a una respuesta madura y responsable de los estudiantes al momento histórico que está viviendo el país. La crisis económica y política se está haciendo sentir con todo el rigor sobre los obreros y campesinos. El estudiante, generalmente aislado de estos, puede creer que basta una actitud revolucionaria superficial o puramente especulativa. Esa misma falta de contacto puede hacer que el estudiante traicione su vocación histórica; que, cuando el país le exige una entrega total, el estudiante continúe con palabrería y buenas intenciones, nada más. Que cuando la clase popular les exige una presencia efectiva, disciplinada y responsable en sus filas, los estudiantes contesten con promesas vanas o disculpas.

Es necesario que la convicción del estudiante lo lleve a un compromiso real, total, irreversible, que responda a la llamada que le hace su pueblo en este momento trascendental de su historia y que para eso disponga su ánimo para oírla y seguirla con una generosidad sin límites. Adaptado de Camilo Torres.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo y Posgrado en Producción Animal, por permitir formarme en sus aulas y tener acceso a tantas enseñanzas, por el apoyo y comprensión en los momentos difíciles y la paciencia en mi aprendizaje.

A la familia Benítez Bahena, por todo el entusiasmo, disposición, apoyo y el compromiso en este trabajo, pero sobre todo por abrirnos las puertas de su hogar a quienes colaboramos en esto y hacernos sentir parte de la familia.

Al ejido El Limón, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Al Dr. Enrique Cortés, por todas las enseñanzas, su valiosa amistad y por toda la confianza, paciencia, comprensión y apoyo incondicional, muchas gracias.

Al Ph.D. Pedro Arturo Martínez Hernández, por las enseñanzas, por la confianza depositada en mí siempre, la paciencia y apoyo para la realización de este trabajo.

Al Dr. José Artemio Cadena Meneses, por el conocimiento transmitido, la buena disposición siempre y los aportes para este trabajo.

Al Sr. Fabián, Sr. José Luis, Sr. Jesús y Dra. Citlalli González por sus enseñanzas y apoyo brindado en laboratorio, así como su amistad y su buena disposición para facilitarme el área de trabajo y las condiciones adecuadas.

A todos mis compañeros del posgrado por su amistad y su ayuda en los momentos en que la requerí.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Laura Karen Trejo Arista
Fecha de nacimiento	21 de octubre de 1990
Lugar de nacimiento	Toluca, Estado de México
CURP	TEAL901021MMCRRR02
Profesión	Ingeniero en Agroecología
Cedula profesional	09660544

Desarrollo académico

Bachillerato	Escuela Preparatoria Oficial Número 43 (2005-2008)
Licenciatura	Departamento de Agroecología, Universidad Autónoma Chapingo (2008-2013)
Maestría	en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo (2014-2015)

“Un día les planteé luchar juntos por un mundo nuevo, ustedes aceptaron y desde entonces fuimos hermanos” Omar Cabezas.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

En México la ganadería extensiva es una de las principales actividades económicas y ocupa 57.3% del territorio nacional, de ello el 68.5% son áreas de pastoreo en ecosistemas naturales, las cuales sostienen a 29.4 millones de cabezas de ganado bovino, 7.3 millones de ovinos y 4.1 millones de caprinos (INEGI, 2013).

En esta actividad muchas veces no se realiza un manejo adecuado del pastoreo por lo que el impacto que éste tiene sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, la hidrología, el ciclo de nutrientes y la producción vegetal de estas áreas, ocasiona serios problemas de degradación cuya consecuencia es una reducción de los productos y servicios que se obtienen de ellas, como forraje, agua y espacios de recreación (Herrick *et al.*, 2002; Beukes y Cowling 2003; INIFAP, 2011).

Este estudio se llevó a cabo en el ejido El Limón en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos en donde una de las principales actividades económicas es la ganadería, por ello es necesario que no signifique una amenaza para los ecosistemas y a su vez sea lo más productiva posible. La problemática principal es el incremento de áreas degradadas debido a esta actividad, en las cuales la cubierta vegetal ha disminuido rápidamente.

Los sistemas silvopastoriles se presentan como una opción para incrementar la productividad ganadera y reducir el impacto negativo al implementarse en áreas degradadas por el sobrepastoreo e incorporar leñosas perennes (árboles o arbustos) en interacción con los componentes tradicionales (herbáceas y animales), en un esquema de manejo integral (Pezo e Ibrahim, 1998; Dagang y Nair, 2003; Palma, 2006).

En el mismo lugar del estudio Benítez *et al.* (2010) evaluaron un sistema silvopastoril en donde incluyeron a *Leucaena leucocephala* y *Leucaena collinsii*, la primera mostró mayor cantidad y mejor calidad de forraje, lo cual se tomó de referencia para este trabajo.

En este estudio se sustentó la propuesta mediante la evaluación de un sistema silvopastoril con dos densidades de guaje (*Leucaena leucocephala*) asociado a zacate mombasa (*Megathyrsus maximus* var. Mombasa) versus agostadero con ovinos en pastoreo.

Considerando que González y López (2008) encontraron 21 especies con alto potencial forrajero para animales domésticos y 44 especies con alto potencial forrajero para fauna silvestre en la región, se colectó material vegetal de las 9 arbóreas más abundantes en El Limón de acuerdo a lo encontrado por Hernández *et al.* (2011) para evaluar su valor nutritivo, a ellas se adicionó *Leucaena collinsii* por sus ventajas como forrajera mencionadas por Benítez *et al.* (2010).

La hipótesis fue que es diferente el comportamiento productivo de ovinos en un sistema silvopastoril de guaje que en el agostadero, debido a diferencias en la producción y calidad del forraje.

El objetivo del estudio fue comparar dos arreglos silvopastoriles de guaje (*Leucaena leucocephala*) asociado a zacate mombasa (*Megathyrsus maximus* var. Mombasa) y agostadero nativo con base en cantidad y calidad del forraje ofrecido y rechazado y cambios de peso en ovinos para generar un banco de información que permita validar la opción de los sistemas silvopastoriles como estrategias para la mejora de la productividad del agostadero tropical seco.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas silvopastoriles

El silvopastoreo es un tipo de agroforestería, la cual según Montagnini (1992), es considerada como uno de los sistemas de cultivo más antiguos del mundo y es una alternativa ecológica y productiva que permite utilizar y restaurar áreas degradadas.

Pezo e Ibrahim (1998) definieron a los sistemas silvopastoriles como una opción para la producción pecuaria en la que se combinan leñosas perenes como árboles y arbustos con los componentes tradicionales como forrajeras herbáceas y animales, los cuales interactúan bajo un esquema de manejo integral.

Fassbender (1993) definió al silvopastoreo como una práctica agroforestal diseñada para la producción ganadera y de árboles multipropósito, la cual también contempla la introducción o mejoramiento del forraje en un sistema de producción forestal.

Somarriba (1992) mencionó que en un sistema silvopastoril la intensidad de las interacciones es mayor cuando los diferentes componentes comparten simultáneamente el mismo terreno, sin embargo, esto no es imprescindible.

Delgado *et al.* (2001) reportaron que la producción basada en gramíneas da origen a una respuesta animal deficiente, lo que se refleja en indicadores productivos y reproductivos, es por ello que la introducción de arbóreas con mayor valor nutritivo en los sistemas ganaderos puede ser una opción para la mejora del comportamiento productivo animal.

Alonso (2011) comentó que el uso de árboles en la ganadería crea un sistema multiestratificado que promueve el reciclaje de nutrientes, así como el uso óptimo de la energía solar y proporciona productos y servicios múltiples.

2.1.1 Ventajas del uso de los sistemas silvopastoriles

Aporte de nutrientes al suelo

Se ha demostrado que en los sistemas silvopastoriles, la presencia de árboles puede enriquecer las condiciones del suelo a través de varios procesos biológicos que propician el aumento en la cantidad de materia orgánica mediante el desprendimiento de raíces finas y la acumulación de hojarasca en la superficie, así mismo, se incrementa la cantidad de nitrógeno en el suelo a través de la fijación del nitrógeno atmosférico por parte de las leguminosas (Nygren *et al.*, 2000). Pezo e Ibrahim (1998) mencionaron que la cantidad de nitrógeno fijado por leguminosas arbóreas puede ser hasta de 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

La inclusión de árboles en los sistemas ganaderos puede traer cambios benéficos en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo debido a la micro y macrofauna que se desarrolla alrededor de las raíces y mejora en el contenido total de nutrientes por el aporte de humus de esta fauna (Belsky *et al.*, 1993; Tornquist *et al.*, 1999).

Sánchez *et al.* (2003) encontraron una mayor densidad de individuos en la macrofauna del suelo de un sistema silvopastoril que contenía a *Leucaena leucocephala* asociada a *Cynodon nlemfuensis* que en un monocultivo del pasto, así mismo, en el sistema silvopastoril los órdenes más representativos fueron *Haplotaenidae* y *Coleoptera* los cuales son considerados de gran importancia en el reciclaje de nutrientes (Larink y Schrader, 2000).

En otros estudios, Jayasundara *et al.* (1997) determinaron que *Gliricidia sepium* puede incorporar al suelo hasta 112 kg N ha⁻¹ durante un periodo de ocho meses en Sri Lanka, gracias a la fijación de nitrógeno atmosférico que realiza. Por otra

parte, Yamamoto *et al.* (2007) mencionaron que *Leucaena leucocephala* presentó un potencial de fijación de nitrógeno de hasta 320 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Machecha *et al.* (1999) encontraron una mayor cantidad de nitrógeno y materia orgánica en suelos que contenían a la asociación *Cynodon plectostachyus* y *Leucaena leucocephala* que en el monocultivo del pasto.

En cuanto al aporte de materia orgánica por parte de los sistemas silvopastoriles, Sánchez *et al.* (2008) compararon la acumulación de hojarasca en una pradera de *Megathyrsus maximus* y en un sistema silvopastoril asociado a *Leucaena leucocephala* y encontraron una mayor acumulación de hojarasca en el sistema silvopastoril (12.5 t MS ha⁻¹ año⁻¹ comparado con 2.66 t MS ha⁻¹ año⁻¹) así como una mayor rapidez de descomposición de ésta, lo cual tuvo efectos en la mejora de la actividad biológica del suelo, ya que hubo una mayor densidad de oligoquetos, isópodos, ortópteros, dermápteros, diplópodos y coleópteros en el sistema silvopastoril (14.12 individuos m⁻² comparado con 8.48 individuos m⁻²) .

Solorio *et al.* (2011) observaron una mayor cantidad de materia orgánica en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* que en un monocultivo de *Cynodon nlemfuensis* (1000 kg ha⁻¹ año⁻¹ contra 320 kg ha⁻¹ año⁻¹), así mismo en el sistema silvopastoril se fijaron 400 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Incremento de la cantidad y calidad de forraje disponible

La introducción de leguminosas arbóreas en los sistemas silvopastoriles puede favorecer el incremento de la cantidad y la calidad de la biomasa comestible de los componentes del sistema (arbórea y herbácea) para la producción animal por unidad de área (Bacab *et al.*, 2012).

Bustamante *et al.* (1998) estudiaron el comportamiento agronómico de ocho gramíneas mejoradas asociadas a *Erythrina poeppigiana* en sistemas silvopastoriles y observaron que siete de ellas (*Brachiaria brizantha* CIAT 6780, *Brachiaria brizantha* CIAT 664, *Brachiaria humidicola* CIAT 6369, *Megathyrsus maximus* CIAT 16061, *Megathyrsus maximus* CIAT 16051, *Cynodon nlemfuensis* y *Penisetum purpureum* var. Enano) presentaron una mayor producción

acumulada de materia seca en cinco ciclos de la evaluación, así mismo, presentaron una mejor relación hoja tallo cuando se encontraban asociadas a la arbórea.

Ribaski y Menezes (2002) realizaron un estudio en el que compararon el valor nutritivo de *Cenchrus ciliaris* asociado a *Prosopis juliflora* y en monocultivo, los resultados obtenidos mostraron que el pasto tuvo una mayor cantidad de proteína bruta al estar asociado (8.44% contra 7.43%).

Molina y Uribe (2002) compararon un monocultivo de *Cynodon plectostachyus* con un sistema silvopastoril que contenía a esta gramínea asociada a *Leucaena leucocephala*, el resultado fue que en el sistema silvopastoril hubo una mayor cantidad de materia seca disponible (29.5 t MS ha⁻¹ año⁻¹ contra 23.2 t MS ha⁻¹ año⁻¹), la cual contenía más proteína cruda (4.1 t MS ha⁻¹ año⁻¹ contra 2.5 t MS ha⁻¹ año⁻¹), energía metabolizable (70222 Mcal ha⁻¹ año⁻¹ contra 56876 Mcal ha⁻¹ año⁻¹), calcio (142.3 kg ha⁻¹ año⁻¹ contra 83.2 kg ha⁻¹ año⁻¹) y fósforo (88.8 kg ha⁻¹ año⁻¹ contra 74 kg ha⁻¹ año⁻¹) que el monocultivo.

Herrera (2014) comparó un monocultivo de *Brachiaria decumbens* y un sistema silvopastoril con la misma gramínea, en asociación con árboles dispersos de *Gmelina arborea*, *Piptadenia peregrina* y *Acacia mangium* y observó una mayor producción de forraje por unidad de área y un mayor contenido de proteína cruda en el sistema silvopastoril que en el monocultivo.

Bacab y Solorio (2011) compararon dos sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus* var. Tanzania y arboles dispersos de *Mangifera indica* con un monocultivo de *Cynodon nlemfuensis* y los resultados reportaron una mayor oferta de forraje comestible en los sistemas silvopastoriles que en el monocultivo (2470 y 2693 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹ comparado con 948 kg MS ha⁻¹ pastoreo⁻¹).

Los sistemas silvopastoriles representan una buena opción para la alimentación animal al incluir arboles con un importante valor nutritivo, Casasola *et al.* (2001) reportaron que el follaje de *Acacia pennatula* en sistemas silvopastoriles de

Nicaragua contiene de 19.5 a 22.7% de proteína cruda dependiendo de la época, así como un contenido de fibra detergente neutro del 39.3% y 24.3% de fibra detergente ácido.

En otro estudio Lamela *et al.* (2009) mencionaron que un sistema silvopastoril en Cuba que incluyó a *Leucaena leucocephala* y *Cynodon nlemfuensis* presentó una aceptable disponibilidad de materia seca ($3 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ rotación}^{-1}$) para cubrir los requerimientos de consumo de vacas Holstein, así mismo, la arbórea presentó un 20% de proteína cruda.

Por otra parte, Gaviria-Uribe *et al.* (2015) reportaron que en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus* var. Tanzania y *Cynodon plectostachyus*, la arbórea presentó un contenido de proteína cruda del 26.1%, mientras que *Megathyrsus maximus* var. Tanzania tuvo 8.7% y *Cynodon plectostachyus* 10.1%, así mismo, *Leucaena leucocephala* presentó un contenido de fibra detergente neutro del 33.6% y fibra detergente ácido de 29.3%, lo cual determinaron los autores resultó en beneficio para el consumo de los animales.

Mejora en el comportamiento productivo de los animales

Los sistemas silvopastoriles son una opción viable para mejorar la productividad de los sistemas ganaderos, ya que las especies arbóreas que se utilizan tienen un alto valor nutritivo en comparación con las gramíneas que son utilizadas tradicionalmente (Pezo e Ibrahim, 1998; Dagang y Nair, 2003; Palma, 2006).

Soca *et al.* (2000) encontraron una mayor ganancia de peso en bovinos de seis meses de edad en un sistema silvopastoril de *Albizia lebbbeck* y pastos nativos que en el monocultivo de pastos nativos, tanto en época seca ($298 \text{ g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ contra $194 \text{ g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$) como lluviosa ($360 \text{ g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ contra $272 \text{ g animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

López *et al.* (2002) determinaron que en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus* y *Cynodon nlemfuensis*, se tenían las condiciones adecuadas para que las vacas Mambí de primera lactancia pudieran mantener una condición corporal favorable (entre 3 y 3.5) para la producción de

leche, debido a la alta oferta de forraje en el sistema (3 t MS ha⁻¹ rotación⁻¹ con un contenido de proteína bruta del 11 al 25%).

Pérez *et al.* (2008) compararon un sistema silvopastoril de árboles principalmente de *Guazuma ulmifolia* y *Cordia alliodora* y otros árboles dispersos asociados a *Megathyrus maximus* var. Tanzania, con una pradera de ésta gramínea y obtuvieron mejores ganancias de peso en toretes de 157 kg de peso vivo en el sistema silvopastoril que en la pradera (486 g animal⁻¹ día⁻¹ en comparación con 369 g animal⁻¹ día⁻¹).

Bacab y Solorio (2011) compararon dos sistemas silvopastoriles de *Leucaena leucocephala*, *Megathyrus maximus* var. Tanzania y árboles dispersos de *Mangifera indica* con un monocultivo de *Cynodon dactylon* y observaron que el consumo de los bovinos de doble propósito pastoreando fue mayor en los sistemas silvopastoriles (8.25 y 11.81 kg MS animal⁻¹ día⁻¹ comparado con 3.63 kg MS animal⁻¹ día⁻¹), a su vez, la producción de leche fue similar que en el monocultivo no obstante en los sistemas sólo se ofrecieron 1.5 kg de concentrado animal⁻¹ día⁻¹, mientras que en el monocultivo se ofrecieron 8 kg de concentrado animal⁻¹ día⁻¹.

Herrera (2014) comparó un monocultivo de *Brachiaria decumbens* y un sistema silvopastoril con la misma gramínea, en asociación con árboles dispersos de *Gmelina arborea*, *Piptadenia peregrina* y *Acacia mangium* y observó una mayor ganancia de peso en bovinos jóvenes en el sistema silvopastoril que en el monocultivo.

Reducción de gases de efecto invernadero

Los sistemas silvopastoriles pueden contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y pueden colaborar de manera importante con la captura de carbono, lo cual trae beneficios al ambiente y contribuye a reducir la huella ecológica de la ganadería (Solorio *et al.*, 2011; Naranjo *et al.*, 2012; Anguiano *et al.*, 2013; Rivera *et al.*, 2015).

Solorio *et al.* (2011) observaron una mayor captura de carbono en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* que en un monocultivo de *Cynodon nlemfuensis* ($220 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ contra $120 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), así mismo el sistema silvopastoril presentó una menor emisión de metano que en el monocultivo ($68 \text{ kg animal}^{-1} \text{ año}^{-1}$ comparado con $85 \text{ kg animal}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

Naranjo *et al.* (2012) evaluaron un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* y pastos mejorados, otro que además contenía a *Eucalyptus tereticornis* y un monocultivo que sólo contenía pasturas mejoradas y reportaron que las pasturas mejoradas son emisoras de gases de efecto invernadero con $3259 \text{ kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que el sistema silvopastoril remueve el CO_2 de la atmósfera, es decir, tiene un balance positivo de 8800 y $26565 \text{ kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ sólo y asociado a *Eucalyptus tereticornis*, respectivamente.

Anguiano *et al.* (2013) estimaron el secuestro de carbono en un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115 y *Leucaena leucocephala* sembrada en densidades de 0, 40, 60 y 80 mil plantas ha^{-1} y determinaron que para las áreas con esas densidades el secuestro de carbono fue de 101.9, 109.73, 122 y $128.62 \text{ t C}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ respectivamente, lo cual demostró que a mayor densidad de la arbórea en el sistema, mayor sería el secuestro de carbono.

Rivera *et al.* (2015) realizaron una evaluación en la que incluyeron un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* asociada a pasturas mejoradas con la presencia de árboles dispersos y un monocultivo de *Cynodon plectostachyus*, en sus resultados observaron que en el sistema silvopastoril las emisiones de metano por kg de materia seca consumida eran 8% menos que en el monocultivo.

Beneficios de la sombra

La temperatura bajo los árboles en los sistemas silvopastoriles puede ser de 2 a 3 °C por debajo de la de zonas abiertas, por lo que dentro de ellos se crea un microclima favorable para el proceso de eliminación de calor por parte de los

animales, así mismo, la sombra tiene implicaciones directas sobre el comportamiento y la sobrevivencia de los animales (Pezo e Ibrahim, 1998).

Ribaski y Menezes (2002) realizaron un estudio en el que compararon las condiciones microclimáticas de un monocultivo de *Cenchrus ciliaris* con su asociación a *Prosopis juliflora*, los resultados obtenidos mostraron que en la asociación la temperatura del aire fue 1.5 °C menor que en el monocultivo, mientras que la de las hojas de la gramínea fue 2.5 °C menor en la asociación.

Solorio *et al.* (2011) compararon la temperatura ambiental al interior de un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* con la de un monocultivo de *Cynodon nlemfuensis* y esta fue 4 °C menor en el sistema silvopastoril.

Pérez *et al.* (2008) compararon un sistema silvopastoril que contenía árboles principalmente de *Guazuma ulmifolia* y *Cordia alliodora* y otros árboles dispersos asociados a *Megathyrus maximus* var. Tanzania con una pradera de esta gramínea, reportaron que dentro del sistema silvopastoril la temperatura ambiental fue 3 y 2 °C menor en la mañana y tarde respectivamente que en la pradera, así mismo observaron el comportamiento etológico de los animales y concluyeron que la incorporación de arbóreas a los sistemas de pastoreo puede mejorar el comportamiento animal en general.

Beneficios a la salud animal

Los sistemas silvopastoriles proporcionan condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de la micro y macrofauna del suelo, la cual contribuye a la rápida descomposición de las excretas y reduce el acceso del ganado a los estadios infestivos de los parásitos (Belsky *et al.*, 1993; Tornquist *et al.*, 1999; Soca *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2003).

Lo anterior lo comprobó Herrera (2014) al evaluar un monocultivo de *Brachiaria decumbens* y un sistema silvopastoril con la misma gramínea, en asociación con árboles dispersos de *Gmelina arborea*, *Piptadenia peregrina* y *Acacia mangium*

y observó una mayor diversidad de géneros de insectos coprófagos en el sistema silvopastoril que en el monocultivo.

Soca *et al.* (2000) encontraron una menor infestación de nematodos de los géneros *Haemonchus*, *Trichostrongylus*, *Oesophagostomum* y *Cooperia* en bovinos jóvenes pastoreando un sistema silvopastoril de *Albizia lebbbeck* y pastos nativos respecto a la pradera de pastos nativos, tanto en época seca (15 huevos por campo contra 18 huevos por campo) como lluviosa (16 huevos por campo contra 21 huevos por campo).

2.2 Especies empleadas en el estudio

2.2.1 Guaje (*Leucaena leucocephala*)

Descripción botánica

Zárate (1987) describió a la *Leucaena leucocephala* como una planta leñosa arbórea o arbustiva de hasta 12 m de altura, con una copa redondeada, ligeramente abierta y rala. Las hojas son alternas, bipinadas, verde grisáceas y glabras. 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 de 30 o más vainas, las cuales contienen de 15 a 30 semillas aplanadas, de un color café brillante, que se encuentran dispuestas transversalmente en la vaina.

Hábitat

Parrotta (1992) mencionó que el guaje tiene como centro de origen Guatemala, Honduras, El Salvador y el sur de México, entre la latitud 12° a 20° N, así mismo su crecimiento óptimo se da en lugares con precipitaciones anuales de 1500 mm aproximadamente y temperatura media anual de entre 25 y 30 °C.

Zárate (1999) señaló que el guaje presenta una amplia tolerancia a las condiciones de suelo, ya que puede desarrollarse tanto en suelos pedregosos

como en arcillas densas, aunque en México pueden encontrarse rodales naturales de esta especie en suelos volcánicos.

Uso en sistemas ganaderos

Se ha demostrado el mejoramiento de la ganancia de peso en ovinos (Medina y Sánchez, 2006; Madera *et al.*, 2013) y mejora del consumo (Machecha *et al.*, 2000) y producción de leche en bovinos (Hernández y Ponce, 2004; Bacab y Solorio, 2011) pastoreando sistemas en donde se ha incluido a *Leucaena leucocephala*, así mismo se han observado beneficios al ambiente al haber un mayor secuestro de carbono en las zonas en donde se encuentran las mayores densidades de esta arbórea (Naranjo *et al.*, 2012; Anguiano *et al.*, 2013).

Valor nutritivo

Para *Leucaena leucocephala* se han encontrado porcentajes de proteína cruda en follaje de 20.1% (Gómez *et al.*, 2006), 21.4 (Benítez *et al.*, 2010) y 32.2% (Palma *et al.*, 1995), fibra detergente neutra del 27.5% y fibra detergente acida del 19.1% (Gómez *et al.*, 2006), digestibilidad *in vivo* de la materia seca de 64.4% (Saavedra *et al.*, 1987) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 60% (Trejo, 2013), energía metabolizable de 2.32 Mcal EM kg MS⁻¹ (Palma *et al.*, 1995) y genera un consumo en bovinos de 61 g/kg^{0.75} (Saavedra *et al.*, 1987).

Adeneye (1979) mencionó que *Leucaena leucocephala* contuvo 2.8% de calcio, 0.26% de fósforo, 0.37% de magnesio, 1.78% de potasio, 0.21% de sodio y 0.12% de hierro en sus hojas.

Por otra parte, Román *et al.* (2014) mencionaron que ésta especie presentó en sus semillas un 31.7% de proteína cruda, 4.88% de cenizas, 10.07% de fibra cruda, 61.31% de carbohidratos, 2.11% de lípidos y 8.06% de ácidos grasos, por lo que estos autores la definieron como una especie con muy alto potencial forrajero.

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

Descripción botánica

Skerman y Riveros (1992) describieron botánicamente a *Megathyrsus maximus* como una planta perenne, que forma macollas con rizoma poco rastrero, presenta limbos foliares de hasta 35 mm de ancho que van reduciéndose para terminar en puntas finas, su 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 purpura, tiene plumas desiguales, la inferior de un tercio a un cuarto del tamaño de la espiguilla; flósculo inferior regularmente masculino, flósculo superior (semilla) con arrugas transversales muy definidas.

Hábitat

La temperatura mínima para su crecimiento en el mes más frío fluctúa entre 5.4 y 14.2 °C, no tolera fuertes heladas pero se puede recuperar al elevarse la temperatura, requiere una precipitación superior a los 1000 mm anuales, no tolera inundaciones, crece en una amplia gama de suelos, se adapta bien a los terrenos inclinados y despejados, soporta el pastoreo intensivo, tolera las condiciones de suelos ácidos y crece en un rango altitudinal desde el nivel del mar hasta los 1500 msnm (Skerman y Riveros, 1992).

Uso en sistemas ganaderos

Se consideró como una buena elección para la región de estudio debido a que Díaz y Manzanares (2006) comentaron que es muy tolerante a la sequía y con cortes de cada 30 días produce alrededor de 1775 kg MS ha⁻¹.

Por otro lado, Verdecia *et al.* (2009) mencionaron que *Megathyrsus maximus* var. Mombasa puede tener un rendimiento de hasta 9.02 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ y 4.93 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ en periodo lluvioso y poco lluvioso respectivamente a los 75 días de rebrote y que la mejor relación hoja tallo la alcanza a los 30 días de rebrote con

un rendimiento de 3.62 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ y 1.43 t MS ha⁻¹ corte⁻¹ en periodo lluvioso y poco lluvioso respectivamente.

Rodríguez (2009) encontró un rendimiento de 1218, 2629, 3815, 7242, 9104 y 10352 kg MS ha⁻¹ a edades de rebrote de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días respectivamente, es decir que el rendimiento aumenta conforme avanza en edad.

Cabrera *et al.* (2009) reportaron su uso en Quintana Roo y recomendaron realizar una suplementación con fósforo a los animales que pastorean este forraje debido a que en el estudio que realizaron, determinaron que tiene poca habilidad para obtenerlo del suelo en comparación con otros pastos como *Brachiaria brizantha*, *Cynodon plectostachyus*, *Pennisetum purpureum*, *Megathyrsus maximus* var. Tanzania y *Brachiaria mutica*.

Valor nutritivo

Al tratarse de una gramínea se puede decir que tiene un valor nutritivo aceptable ya que de acuerdo a Coauro *et al.* (2004) contiene de 9 a 12% de proteína cruda y su digestibilidad *in vitro* de la materia seca es del 60%.

Rodríguez (2009) mencionó que el valor nutritivo del pasto disminuye conforme avanza en edad ya que tiene un contenido de proteína cruda de 10.5, 11, 10, 9, 8 y 6.55% y una digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 68.5, 67, 66.5, 64, 64 y 62.5% a edades de rebrote de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días respectivamente.

Cabrera *et al.* (2009) reportaron para Quintana Roo contenidos de Ca de 0.43%, P de 0.08%, K de 1.51%, Mg de 0.02%, Na de 0.07%, Cl de 0.07%, así como 244 ppm de Fe, 30 ppm de Mn, 18 ppm de Zn y 5 ppm de Cu.

Verdecia *et al.* (2012) mencionaron que la edad de rebrote y las condiciones climáticas a las que se expone el pasto tienen un efecto muy marcado en el valor nutritivo de éste en cuanto a los valores de proteína bruta, fibra detergente neutro y ácido, digestibilidad *in vitro* de la materia seca, celulosa y hemicelulosa.

2.3 Especies más abundantes en El Limón, Morelos con potencial forrajero

González y López (2008), encontraron 21 especies con alto potencial forrajero para animales domésticos en la Sierra de Huautla, por lo que se colectó material vegetal de las 9 arbóreas más abundantes en El Limón de acuerdo a lo encontrado por Hernández *et al.* (2011) para evaluar su valor nutritivo, entre ellas se encuentran especies con potencial forrajero las cuales se describen a continuación.

2.3.1 Cubata (*Acacia cochliacantha* Humb. & Bonpl.)

Acacia cochliacantha crece en la selva media y baja caducifolia y produce gomosis, es por ello que uno de los usos más estudiados de esta especie es la utilización de la goma como suplemento alimenticio por su alto contenido de carbohidratos y proteína (Sibaja *et al.*, 2015).

En Morelos, la selva baja caducifolia cubre gran parte del estado, presentando alta viabilidad para la extracción de las gomas (Martínez *et al.*, 2011). Las dispersiones de goma de *Acacia cochliacantha* reducen la tensión superficial del agua en un 34% comportándose como surfactante, su alto peso molecular le proporciona propiedades coloidales y capacidad de producir geles, que al mezclarse con agua caliente o fría producen soluciones viscosas (Pasquel, 2001), en la industria de alimentos se vuelve una excelente alternativa para mejorar las propiedades sensoriales de textura dando estabilidad y aumentando la vida de anaquel, logrando así una apariencia agradable a los consumidores (Rodríguez, 2006).

Valor nutritivo

Sibaja *et al.* (2015) mencionaron que la goma de *Acacia cochliacantha* presenta un contenido de proteína del 29.5%, un 53.12% de carbohidratos, 1.33% de lípidos, 4.93% de cenizas, 0.027% de taninos condensados y un contenido de fibra dietética de 26.57%, además presenta estabilidad en su viscosidad cuando

es sometida a cambios en el pH por lo cual podría ser utilizada como un aditivo alimentario.

En otros estudios Hernández *et al.* (2010) mencionaron que el follaje de esta especie presentó un contenido de proteína cruda del 16% y una digestibilidad *in vitro* de la materia seca del 60%, así mismo se definió que se encontraba entre las especies más preferidas por los pequeños rumiantes en la mixteca poblana.

Por otra parte Carranza *et al.* (2003) encontraron en hojas de *Acacia cochliacantha* contenidos en sus hojas de 16.91% de proteína cruda, 8.09% de cenizas, 1.67% de grasa cruda, 20.1% de fibra cruda, 53.23% de extracto libre de nitrógeno, 2.31% de calcio y 0.1% de fósforo, mientras que en vaina contiene 12.32% de proteína cruda, 7.92% de cenizas, 2.82% de grasa cruda, 9.73% de fibra cruda, 67.2% de extracto libre de nitrógeno, 2.31% de calcio y 0.1% de fósforo, lo anterior la definió como una de las especies con mayor potencial forrajero en la región de ese estudio.

2.3.2 Guácima (*Guazuma ulmifolia* Lam.)

Se ha observado que *Guazuma ulmifolia* se encuentra entre las especies arbóreas que en los trópicos son fuente importante de alimento para el ganado, debido a la preferencia que éste tiene por ella, principalmente durante la época seca, se trata de un árbol multipropósito que aporta alimento de buena calidad la mayor parte del año, mejora la dieta del animal y mediante su uso se puede reducir la utilización de concentrados en las explotaciones pecuarias (Román *et al.*, 2008).

El fruto maduro de guácima es duro y leñoso, y tiene un sabor dulce y un aroma especiado placentero, el ganado tiene amplia preferencia por su consumo, son capaces de ingerir hasta 4000 frutas en un solo día, en cuanto a la fauna silvestre los pecaríes de collar, los tapires, los venados, los agutís y las ardillas han sido observados comiendo la fruta en sus zonas de distribución (Francis, 1991).

Valor nutritivo

Para el caso del fruto de *Guazuma ulmifolia* Gómez *et al.* (2014) encontraron una digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 51%, 12.8% de proteína cruda, 63.5% de fibra detergente neutra y 54% de fibra detergente ácida, mientras que Carranza *et al.* (2003) mencionaron que contiene 6.44% de proteína cruda, 10.93% de cenizas, 2.02% de grasa cruda, 30.85% de fibra cruda, 49.76% de extracto libre de nitrógeno y 3.52% de calcio, así mismo, Román *et al.* (2008) mencionaron que contiene 7.95% de proteína cruda y 49.23% de fibra detergente neutra.

En lo que respecta al follaje Carranza *et al.* (2003) mencionaron un contenido de 12.5% de proteína cruda, 11.77% de cenizas, 0.94% de grasa cruda, 27.47% de fibra cruda, 47.32% de extracto libre de nitrógeno, 2.45% de calcio, y 0.13% de fósforo, mientras que Gómez *et al.* (2006) encontraron un 10.4% de proteína cruda, 42.5% de fibra detergente neutra y 29.5% de fibra detergente ácida.

Autores como Román *et al.* (2008) y Gómez *et al.* (2014), definieron a *Guazuma ulmifolia* como una especie con alto potencial forrajero al haber encontrado una respuesta positiva en el comportamiento productivo de los animales suplementados con el fruto de esta arbórea.

2.3.3 Guaje rojo (*Leucaena collinsii*)

Es una especie importante de los valles del interior de las zonas con estación seca de Guatemala y sur de México. Existen dos subespecies, *Leucaena collinsii* subespecie *collinsii* y *Leucaena collinsii* subespecie *zacapana*. La subespecie *collinsii* es la encontrada en la zona occidental de Guatemala y México, ambas subespecies se pueden encontrar en el interior de valles con sequías estacionales o semiáridos, libres de heladas, en remanentes de bosque seco tropical (Hughes, 2003).

Es una especie notablemente tolerante a la sequía puede establecerse con precipitaciones de los 500 a los 1000 mm anuales y con estaciones secas de 5

hasta 7 meses, se desarrolla en altitudes que van desde los 400 a los 900 msnm, la especie, y en particular la subespecie *collinsii*, es una de las especies de *Leucaena* más resistentes a psílicos, que son una de las plagas principales del género (Hughes, 2003).

Se ha evaluado su potencial como alimento para rumiantes en bancos de proteína obteniendo buenos resultados, así mismo, se ha evaluado su preferencia por ovinos y la respuesta productiva de éstos pastoreando en un sistema silvopastoril, también se ha estudiado su resistencia al ataque de psílicos, principal plaga del género, en general se han obtenido resultados positivos lo cual ha evidenciado el potencial forrajero de esta especie (Lapis y Borden, 1993; Benítez *et al.*, 2010; Pinto *et al.*, 2014).

Benítez *et al.* (2010) en el mismo lugar del presente estudio, obtuvieron ganancias de peso en ovinos pastoreando un sistema silvopastoril que contenía a esta especie de 29 g animal⁻¹ día⁻¹ con una densidad de 5000 plantas de *Leucaena collinsii* ha⁻¹.

Pinto *et al.* (2014) encontraron en un banco de proteína de esta especie que en época seca la producción de biomasa comestible es mayor si el corte se realiza a los 105 y 120 días con 2336 y 2490 kg MS ha⁻¹ respectivamente, mientras que la producción de biomasa no comestible es más alta a los 120 días de corte donde se obtienen hasta 1900 kg MS ha⁻¹, en la época de lluvias la mayor producción de biomasa comestible puede obtenerse a los 90 y 105 días de corte con 8725 y 8926 kg MS ha⁻¹ respectivamente, mientras que la producción de biomasa no comestible es más alta a los 105 días de corte donde se obtienen hasta 16219 kg MS ha⁻¹.

Lapis y Borden (1993) evaluaron su respuesta al psílido *Heteropsylla cubana* utilizando a *Leucaena leucocephala* como control susceptible y los resultados mostraron que *Leucaena collinsii* presentó un número de adultos de la plaga y un porcentaje de árboles colonizados 74 y 65% menores respectivamente que *Leucaena leucocephala*, así mismo, tuvo 46% menos huevos depositados, 90% menos eclosiones de adultos (con adultos más pequeños) y 67% menos

supervivencia de ninfas que el control, lo cual puso de manifiesto los mecanismos de resistencia de *Leucaena collinsii* al ataque de esta plaga.

Valor nutritivo

Benítez *et al.* (2010) encontraron un contenido de proteína cruda de 14.6 y 21.2% para época lluviosa y seca respectivamente.

Pinto *et al.* (2014) reportaron que tiene un contenido de proteína cruda de 21.94, 20.88, 19.38 y 17.11%, así como un 38.14, 48.18, 48.88 y 49.19% de fibra detergente neutro, 20.58, 29.59, 30.75 y 37.58 de fibra detergente ácido y 58.56, 58.09, 56.96 y 53.54 de digestibilidad *in vitro* de la materia seca a 24 hrs a los 30, 45, 60 y 75 días de corte respectivamente en un banco de proteína, a partir de esos días el valor nutritivo continúa disminuyendo para otros tiempos de corte.

2.4 Importancia de los minerales en la nutrición animal

En el cuerpo se pueden encontrar un gran número de minerales, no obstante Underwood (1981) mencionó que se consideran 22 elementos minerales como esenciales para los animales, entre ellos se pueden encontrar a los macrominerales que son calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, magnesio y azufre, y a los minerales traza o microminerales los cuales son hierro, yodo, zinc, cobre, manganeso, cobalto, molibdeno, selenio, cromo, estaño, vanadio, flúor (NRC, 1985 lo discute en el caso de ovinos por su posible toxicidad), silicio, níquel y arsénico.

La baja ingestión de minerales puede conducir a deficiencias y el exceso puede provocar intoxicaciones, en ambos escenarios se ve perjudicada la salud y la productividad de los animales (McDonald *et al.*, 2006).

McDonald *et al.* (2006) mencionaron que los minerales cumplen diferentes funciones en el cuerpo entre las que se pueden mencionar:

Estructurales: como principales componentes de los sistemas, órganos y tejidos del cuerpo.

Fisiológicas: se encuentran en los fluidos y tejidos del cuerpo manteniendo la permeabilidad de las membranas, transmisión de impulsos nerviosos, balance acido-base y como electrolitos influyendo en la presión osmótica.

Reguladoras: pueden regular la diferenciación y replicación celular.

Catalíticas: algunos actúan como catalíticos en sistemas enzimáticos y endócrinos, pueden ser componentes de las estructuras de metaloenzimas y hormonas o bien actuar como coenzimas.

2.4.1 Calcio

Es el elemento mineral más abundante en el cuerpo, el 99% de éste se encuentra en los huesos y dientes los cuales protegen órganos y tejidos y permiten el movimiento (Underwood, 1981; McDonald *et al.*, 2006; Suttle, 2010).

El 1% del calcio del cuerpo se encuentra como un ion libre unido a proteínas séricas y en complejos con ácidos orgánicos e inorgánicos, éste tiene importancia para las funciones nerviosas, regulación cardíaca y contracción muscular, los cambios en las concentraciones de los iones de calcio dentro y entre las células están reguladas por la vitamina D (Sánchez *et al.*, 2002; McDonald *et al.*, 2006; Cabo *et al.*, 2008; Quesada y Sosa, 2011).

Los signos de la deficiencia de calcio debido a una baja ingesta se desarrollan con lentitud debido a que el cuerpo puede mediar esto con la movilización del calcio en los huesos (NRC, 1985).

En las dietas altas en granos (altas en fósforo) la baja ingesta de calcio puede dar lugar a tetania o desencadenar problemas de cálculos urinarios, de igual manera si la relación Ca:P en la dieta se encuentra por debajo de 1.0:1.0 (Godoy y Chicco, 2005).

La deficiencia de este mineral reduce la resistencia de los huesos y dientes provocando que estos se desgasten, en animales jóvenes ocasiona raquitismo mientras que en adultos osteomalacia y fiebre de leche en los animales lactantes, así mismo cuando los niveles de calcio en la sangre están bajos se denomina

hipocalcemia, contrario a esto, el exceso de calcio puede provocar hipercalcemia y con ellos una calcificación de los tejidos suaves (McDonald *et al.*, 2006; NRC, 2007).

NRC (1985) comentó que el requerimiento de calcio para ovinos es de 0.20 a 0.82% de la dieta y el máximo tolerable es del 2.0%, Puls (1988) mencionó que es de 0.36 a 1.40%, Suttle (2010) mencionó que la ingesta excesiva de calcio puede no ser perjudicial si se suministra el fósforo adecuado en la dieta ya que influye en la absorción de calcio, así mismo Puls (1988) y McDowell *et al.* (1997) mencionaron que la relación Ca:P adecuada en la dieta es de 1.5:1.0 a 2.0:1.0 y la máxima tolerable es de 7.0:1.0.

2.4.2 Fósforo

Se trata del segundo mineral más abundante en el cuerpo, el 80% de éste se encuentra en los huesos y dientes, entre sus funciones más importantes están la formación y el mantenimiento de los huesos (Suttle, 2010).

El 20% del fósforo restante se distribuye en los fluidos y tejidos blandos del cuerpo donde forma parte del ADN y ARN, que son esenciales para el crecimiento y diferenciación celular, contribuye a la fluidez e integridad de las membranas celulares a través de los fosfolípidos y a la mielinización de los nervios, como fosfato ayuda a mantener el equilibrio ácido-base, así mismo es vital en una serie de funciones metabólicas como la utilización de la energía a través del AMP, ADP y ATP (Suttle, 2010).

La deficiencia de fósforo se puede reflejar en la deformación de los huesos a causa de la baja mineralización, así mismo puede causar inapetencia y pica, esto afectará la productividad y la salud del animal (Godoy y Chicco, 2005).

NRC (1985) mencionó que los requerimientos de fósforo en la dieta de ovinos fluctúan entre el 0.16 y 0.38%, mientras que Puls (1988) señaló que van del 0.25 al 0.50%.

2.4.3 Potasio

NRC (1985) mencionó que el potasio representa el 0.3% del peso seco del cuerpo por lo que es el tercer elemento más abundante, McDonald *et al.* (2006) señalaron que entre sus funciones principales están mantener la excitabilidad nerviosa y muscular, al encontrarse en los fluidos intracelulares regula la presión osmótica y el balance acido-base, así mismo, ayuda en la activación de varios sistemas enzimáticos implicados en la transferencia y utilización de la energía.

NRC (1985), García (1992) y Espinoza *et al.* (1998) comentaron que la deficiencia de este mineral en la dieta puede causar disminución en la ingesta de alimento y por consiguiente en la ganancia de peso, así como apatía y rigidez. NRC (1985) mencionó que los ovinos requieren del 0.5 al 0.8% de potasio en la dieta.

2.4.4 Magnesio

El magnesio prosigue al potasio en abundancia en los tejidos blandos, se le encuentra principalmente en proteínas, no obstante, la mayor parte de él (60-70%) se encuentra en el esqueleto (Underwood y Suttle, 1999).

El magnesio funciona como un catalizador de una amplia gama de enzimas, facilita la unión del sustrato y la enzima, se requiere para la fosforilación oxidativa que conduce a la formación de ATP, sostiene procesos tales como la bomba de iones sodio-potasio, oxidación de piruvato, entre otros, también realiza funciones no enzimáticas como unirse a los fosfolípidos para procurar la integridad de la membrana celular, participa en la contracción muscular y la conducción nerviosa (Shils, 1997; McDonald *et al.*, 2006).

La deficiencia de magnesio ocasiona pérdida de apetito y en casos más graves se puede presentar tetania hipomagnesémica en la que un ovino puede caer de lado con sus piernas rígidas y extendidas, así mismo presentará abundante salivación y posteriormente puede ocurrir la muerte (NRC, 1985; NRC, 2007).

NRC (1985) señaló que el requerimiento de magnesio en la dieta de ovinos es de 0.12 a 0.18%, Puls (1988) mencionó que es de 0.20 a 0.30 %.

El potasio interfiere con la absorción del magnesio (Evans *et al.*, 1983), esto ocurre en el rumen y puede expresarse un antagonismo dependiendo del tipo de alimentación (Suttle, 2010; Sepúlveda *et al.*, 2011), es por ello que para evitar la incidencia de tetania de los pastos se debe considerar duplicar los requerimientos de magnesio cuando los forrajes contienen más del 1.0% de potasio (Suttle, 2010).

2.4.5 Sodio

El sodio se encuentra principalmente en los fluidos extracelulares, se encarga de mantener la presión osmótica, regular el balance ácido-base y equilibrar y controlar el metabolismo del agua en los tejidos (Underwood, 1981).

La deficiencia de sodio se presenta como pica, los animales que se encuentran privados de sal pueden tratar de masticar suelo y lamer suciedad o sudor, así mismo un bajo consumo de sodio puede provocar inapetencia, retraso del crecimiento, ineficiencia en la utilización del alimento y mayor consumo de agua (Underwood, 1981; Underwood y Suttle, 1999).

NRC (1985) señaló que el requerimiento de sodio en la dieta de ovinos es del 0.09 al 0.18%. Charlton y Armstrong (1989) mencionaron que el antagonismo de potasio y magnesio se agrava por la privación de sodio y Edmeades y O'Connor (2003) comentaron que los forrajes normalmente son pobres en sodio debido a que no es un elemento esencial para las plantas y otros factores del suelo como su fácil lixiviación.

2.4.6 Zinc

El zinc es importante para el funcionamiento de más de 300 enzimas y un número mayor de proteínas (Vallee y Falchuk, 1993), el zinc es necesario para la integridad estructural y funcional de más de 2000 factores de transcripción, así mismo es importante para la respuesta inmune, síntesis de proteínas y manejo del estrés (Suttle, 2010).

Su deficiencia favorece las enfermedades de la piel, provoca caída de pelo, pérdida de rizado en la lana, perjudica el crecimiento, provoca inapetencia y perjudica las funciones reproductivas especialmente en los machos (Rosa *et al.*, 2008). NRC (1985) recomendó como rango óptimo de zinc en la dieta de ovinos de 20 a 33 ppm y NRC (2007) mencionó que el máximo tolerable de este mineral es de 500 ppm.

2.4.7 Cobre

El cobre se almacena en el hígado, los riñones, el corazón, los pulmones, el páncreas y el bazo, está presente y es esencial para la actividad de numerosas enzimas, cofactores y proteínas, también es importante para la reproducción, desarrollo de los huesos, la pigmentación y el desarrollo del tejido conectivo, así mismo participa en el transporte de hierro (McDonald *et al.*, 2006; Suttle, 2010).

En los corderos la deficiencia de cobre puede causar ataxia, una falta de coordinación muscular con parálisis parcial de los miembros posteriores y degeneración de las fibras nerviosas de la medula espinal, éstos pueden nacer débiles y morir, en los adultos se presentan trastornos en la síntesis de hemoglobina y puede ocasionar anemia, se puede observar también pérdida de pigmentación en pelo y lana, así como pérdida de rizado y resistencia en ella (Quiroz y Bouda, 2001).

NRC (1985) mencionó que el nivel máximo tolerable de cobre para ovinos es de 25 ppm, mientras que el requerimiento va de 7 a 11 ppm en la dieta, Uzal *et al.* (1992) y Cantón *et al.* (1994) señalaron que los ovinos son los rumiantes más susceptibles a la intoxicación con este mineral la cual puede provocar la muerte, cuando esto ocurre su hígado se observa con un color cobrizo a negro.

2.4.8 Hierro

El hierro participa prácticamente en todos los procesos de oxidación-reducción, forma parte esencial de las enzimas del ciclo de Krebs, la respiración celular y transporta electrones en los citocromos, forma parte de 2 compartimientos: uno

funcional donde se incluyen la hemoglobina, la mioglobina, la transferrina y las enzimas que requieren hierro como cofactor o como grupo prostético, ya sea en forma iónica o como grupo hemo, y el compartimiento de depósito, constituido por la ferritina y la hemosiderina, que constituyen las reservas corporales de éste (Forrellat *et al.* 2000; Pérez *et al.*, 2005).

La deficiencia de hierro en los animales se caracteriza por un pobre crecimiento, letargo, anemia, aumento de la tasa de respiración, disminución de resistencia a infecciones y en deficiencias severas alta mortalidad (Underwood, 1981), no obstante McDonald *et al.* (2006) mencionaron que la deficiencia en animales en pastoreo es poco probable debido al generalizado exceso de hierro en los forrajes.

NRC (1985) mencionó que el requerimiento de hierro en la dieta de ovinos es de 30 a 50 ppm y el máximo tolerable es de 500 ppm, así mismo NRC (1980) mencionó que los signos de toxicidad crónica de hierro son reducción del consumo de alimento, de la tasa de crecimiento, de la eficiencia de conversión de alimento, acidosis metabólica y finalmente la muerte.

2.5 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(3): 221-225.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2): 107-115.
- Anguiano J., M., J. Aguirre, y J. M. Palma. 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(1): 149-160.
- Bacab P., H. M., F. J. Solorio S., y S. B. Solorio. 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(1): 65-77.
- Bacab P., H. M., y F. J. Solorio S. 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(1): 271-278.

- Belsky, A. J., S. M. Mwonga, R. G. Amundson, J. M. Duxbury, and A. R. Ali. 1993. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low rainfall savannas. *Journal of Applied Ecology* 30(1): 143-155.
- Benítez B., Y., A. Bernal H., E. Cortés D., G. Vera C., y F. Carrillo A. 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.
- Beukes, P. C., and R. M. Cowling. 2003. Non-selective grazing impacts on soil-properties of the Nama Karoo. *Journal of Range Management* 56(5): 547-552.
- Bustamante, J., M. Ibrahim, y J. Beer. 1998. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. *Agroforestería en las Américas* 5(19): 12-17.
- Cabo M., T., N. Alentado M., y J. Dalmau S. 2008. Nuevas recomendaciones diarias de ingesta de calcio y vitamina D: prevención del raquitismo nutricional. *Acta Pediátrica Española* 66(5): 233-236.
- Cabrera T., E. J., E. E. Sosa R., A. F. Castellanos R., A. O. Gutiérrez B., y J. Ramírez S. 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.
- Cantón C., J. G., Y. Moguel O., O. Rojas R., E. Sauri D., J. Miranda S., y A. F. Castellanos R. 1994. Estimación del daño inducido por el cobre de la pollinaza empleada en la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México* 32(2): 82-89.
- Carranza M., M. A., L. R. Sánchez V., M. R. Pineda L., y R. Cuevas G. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manantlán, México. *Agrociencia* 37(2): 203-210.
- Casasola, F., M. Ibrahim, C. Harvey, y C. Kleinn. 2001. Caracterización y productividad de sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 17-20.
- Charlton, J. A., and D. G. Armstrong. 1989. The effect of an intravenous infusion of aldosterone upon magnesium metabolism in sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 74(1): 329-337.
- Coauro, M., B. González, O. Araujo-Febres, y J. Vergara. 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.

- Dagang, A. B. K., and P. K. R. Nair. 2003. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems* 59(1): 149-155.
- Delgado, D. C., O. La O, B. Chongo, J. Galindo, Y. Obregón., y A. I. Aldama. 2001. Cinética de la degradación ruminal *in situ* de cuatro árboles forrajeros tropicales: *Leucaena leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria*, *Gliricidia sepium*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 35(2): 141-145.
- Díaz C., J. I., y E. A. Manzanares N. 2006. Producción de biomasa de "*Panicum maximum*" cv Mombaza a tres frecuencias de corte y dos condiciones ambientales (con y sin árboles), en la Hacienda "Las Mercedes". Tesis profesional. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 60 p.
- Edmeades, D. C., and M. B. O'Connor. 2003. Sodium requirements for temperate pastures in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 46(1): 37-47.
- Espinoza F., R. Tejos, E. Chacón L. Arriojas, y P. Argenti. 1998. Producción, valor nutritivo y consumo por ovinos de *Leucaena leucocephala*. II Valor nutritivo. *Zootecnia Tropical* 16(2): 163-181.
- Evans E., V. Jebelian, y W. C. Rycquart. 1983. Efectos del potasio y del magnesio sobre el rendimiento de los gazapos. *The Journal of Applied Rabbit Research* 6(1): 49-53.
- Fassbender, H. W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2a ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 491 p.
- Forrellat B., M., H. G. du Défaix G., y N. Fernández D. 2000. Metabolismo del hierro. *Revista Cubana de Hematología e Inmunología y Hemoterapia* 16(3): 149-160.
- Francis, J. 1991. *Guazuma ulmifolia* Lam. Guácima. Forest Service Department of Agriculture. New Orleans, USA. 5 p.
- García G., F. 1992. Requerimiento de calcio, fósforo, potasio y magnesio en rumiantes. In: Simulación de sistemas pecuarios. Serie: Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos. Cañas C., R., C. Aguilar G., F. García G., R. A. Quiroz, y M. E. Ruiz (eds.). IICA. Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal en Latinoamérica. San José, Costa Rica. pp: 139-151.
- Gaviria-Uribe, X., J. F. Naranjo-Ramírez, D. M. Bolívar-Vergara, y R. Barahona-Rosales. 2015. Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia* 64(245): 21-27.

- Godoy, S., y C. Chicco. 2005. Absorción del fósforo y cinética de fósforo y calcio de ovinos alimentados con diferentes fosfatos. *Revista de Ciencia y Tecnología de América* 30(7): 414-418.
- Gómez C., H., J. Nahed T., A. Tewolde, R. Pinto R., y J. López M. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México* 44(2): 219-230.
- Gómez G., A., M. Partida H., R. Ramírez D., J. C. Ramírez R., J. A. Gómez G., M. González M., y L. Sanginés G. 2014. Efecto de la inclusión del fruto de *Guazuma ulmifolia* como sustituto de maíz en la dieta sobre el comportamiento productivo y rendimiento en canal de ovinos pelibuey. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(1): 215-222.
- González B., G. T., y L. A. López A. 2008. Flora del pastizal tropical de la selva baja caducifolia. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 397 p.
- Hernández H., J. E., F. J. Franco G., J. C. Camacho R., O. A. Villareal E., M. Aguilar., y L. Aguilar. 2010. Árboles y arbustos: un forraje consumido por los pequeños rumiantes de la mixteca poblana, México. *In: Memorias de la V Reunión Nacional Sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Aguirre O., J., S. Martínez G., y A. A. Gómez D. (comps.). Nuevo Vallarta, Nayarit, México del 17 al 20 de mayo. Universidad Autónoma de Nayarit. pp: 78-83.
- Hernández R., R., y P. Ponce C. 2004. Efecto del silvopastoreo como sistema sostenible de explotación bovina sobre la composición de la leche. *Livestock Research for Rural Development* 16(6) consultado el 10 de diciembre de 2015 en: <http://www.lrrd.org/lrrd16/6/hern16043.htm>
- Hernández S., D. A., E. Cortés D., J. L. Zaragoza R., P. A. Martínez H., G. T. González B., B. Rodríguez C., y D. A. Hernández S. 2011. Hábitat del venado cola blanca en la Sierra de Huautla, Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* 27(1): 47-66.
- Herrera D., J. A. 2014. Fluctuación poblacional de nematodos gastrointestinales y pulmonares en bovinos jóvenes e indicadores productivos bajo dos sistemas de pastoreo (tradicional y silvopastoril), en el Centro de Investigación la Libertad de Corpoica – Villavicencio – Meta. Tesis de Maestría. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá, Colombia. 144 p.
- Herrick, J. E., J. R. Brown, A. J. Tugel, P. L. Shaver, and K. M. Havstad. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: Paradigms from rangeland ecology. *Agronomy Journal* 94(1): 3-11.
- Hughes, C. E. 2003. *Leucaena collinsii*. *In: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Cordero, J., y D. Boshier (eds.). CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp: 641-644.

- 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.
- Jayasundara H., P. S., M. D. Dennett, and U. R. Sangakkara. 1997. Biological nitrogen fixation in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* and transfer of fixed nitrogen to an associated grass. *Tropical Grasslands* 31(1): 529-537.
- Lamela, L., O. López, T. Sánchez, M. Díaz, y R. Valdés. 2009. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos y Forrajes* 32(2): 43-54.
- Lapis, E. B., and Borden J. H. 1993. Components of resistance in *Leucaena collinsii* (Leguminosae) to *Heteropsylla cubana* (Homoptera: Psyllidae). *Environmental Entomology* 22(2): 319-325.
- Larink, O., and S. Schrader. 2000. Rehabilitation of degraded compacted soil by earthworms. *Advances in Geoecology* 32(1): 284-294.
- López, O., L. Lamela, T. Sánchez, y M. Díaz. 2002. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Mambí en una finca lechera comercial. *Pastos y Forrajes* 25(3): 195-208.
- Machecha, L., M. Rosales, y C. H. Molina. 1999. Experiencias de un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*, *Cynodon plectostachius* y *Prosopis juliflora* en el valle del Cauca. In: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Sánchez, M., y M. Rosales (eds.). FAO. Roma, Italia. 407 p.
- Machecha, L., C. V. Durán, M. Rosales, C. H. Molina, y E. Molina. 2000. Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvopastoril. *Pasturas Tropicales* 22(1): 26-30.
- Madera S., N. B., H. M. Bacab P., y B. Ortiz de la R. 2013. Ganancia diaria de peso en ovinos por inclusión de una planta leguminosa (*Leucaena leucocephala*) en dietas basadas en pasto clon Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*). *Bioagrobiocencias* 6(1): 26-31.
- Martínez G., C., M. Osorio B., y D. Valenzuela G. 2011. Intra and inter-annual variation in seed rain in a secondary dry tropical forest excluded from chronic disturbance. *Forest Ecology and Management* 262(1): 2207-2218.

- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, y C. A. Morgan. 2006. Nutrición animal. 6a ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 587 p.
- McDowell, L. R., J. Velásquez-Pereira., y G. Valle. 1997. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. 3rd ed. Universidad de Florida. Florida, Estados Unidos. 84 p.
- Medina, R., y A. Sánchez. 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.
- Molina, C. H. y F. Uribe. 2002. Experiencias en producción limpia de ganaderías en pastoreo. *In: Memorias del III Seminario Internacional Competitividad en Carne y Leche. Cooperativa Lechera de Antioquia (COLANTA). Medellín, Colombia. pp: 333-354.*
- Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2a ed. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 622 p.
- Naranjo, J. F., C. A. Cuartas, E. Murgueitio, J. Chará, y R. Barahona. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development* 24(8) consultado el 14 de diciembre de 2015 en: <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/nara24150.htm>
- National Research Council (NRC). 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy of Sciences. Washington D.C., USA. 577 p.
- National Research Council (NRC). 1985. Nutrient Requirements of Sheep. 6th ed. National Academy Press. Washington D.C., USA. 100 p.
- National Research Council (NRC). 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academies Press. Washington D.C., USA. 345 p.
- Nygren, P., A. Lorenzo, and P. Cruz. 2000. Decomposition of woody legume nodules in two tree-grass associations under contrasting environmental conditions. *Agroforestry Systems* 48(1): 229-244.
- Palma, J. M., C. Delgado, A. Rodríguez, y A. Aguirre M. 1995. Composición química y digestibilidad de tres leguminosas arbóreas. *In: Memorias del 1er Simposium Estatal de Ciencia y Tecnología. Universidad de Colima. Colima, México. pp: 6-8.*
- 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.
- Pasquel, A. 2001. Gomas: Una aproximación a la industria de alimentos. Revista Amazónica de Investigación Alimentaria 8(1): 1-8.
- Pérez, E., M. Soca, L. Díaz, y M. Corzo. 2008. Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles en Chiapas, México. Pastos y Forrajes 31(2): 161-171.
- Pérez, G., D. Vittori, N. Pregi, G. Garbossa, y A. Nesse. 2005. Homeostasis del hierro. Mecanismos de absorción, captación celular y regulación. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana 39(3): 301-314.
- Pezo, D., y M. Ibrahim. 1998. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 258 p.
- Pinto R., R., F. J. Medina, H. Gómez, F. Guevara, y A. Ley. 2014. Caracterización nutricional y forrajera de *Leucaena collinsii* a diferentes edades de corte en el trópico seco del sur de México. Revista de la Facultad de Agronomía LUZ 31(1): 78-99.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data. Sherpa International. British Columbia, Canada. 153 p.
- Quesada G., J. M., y M. Sosa H. 2011. Nutrición y osteoporosis. Calcio y vitamina D. Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral 3(4): 165-182.
- Quiroz R., G. F., y J. Bouda. 2001. Fisiopatología de las deficiencias de cobre en rumiantes y su diagnóstico. Veterinaria México 32(4): 289-296.
- Ribaski, J., y E. de A. Menezes. 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(33-34): 8-13.
- Rivera, J. E., I. C. Molina, G. Donney's, G. Villegas, J. Chará, y R. Barahona. 2015. Dinámica de fermentación y producción de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con *L. leucocephala* y sistemas convencionales orientados a la producción de leche. Livestock Research for Rural Development 27(4) consultado el 2 de marzo de 2016 en: <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd27/4/rive27076.html>
- 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. 30 p.

- Rodríguez S., V. E. 2006. Las Gomas: Excelencia en funcionalidad. *Industria Alimentaria* 2(1): 43-45.
- Román C., N., M. R. García M., A. M. Castillo G., J. Sahagún C., y A. Jiménez 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 M., M. L., J. M. Palma, J. Zorrilla, A. Mora, y A. Gallegos. 2008. Degradabilidad *in situ* de la materia seca de la harina del fruto de guácima, *Guazuma ulmifolia*, con dietas de frutos de especies arbóreas. *Zootecnia Tropical* 26(3): 227-230.
- Rosa, D. E., L. E. Fazzio, S. J. Picco, C. Furnus, y G. A. Mattioli. 2008. Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. *Analecta Veterinaria* 28(2): 34-44.
- Saavedra, C. E., N. M. Rodríguez, y N. M de Sousa Costa. 1987. Producción de forraje, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala*. *Pasturas Tropicales* 9(2): 6-10.
- Sánchez, A., R. Puche, S. Zeni, B. Oliveri, A. M. Galich, L. Maffei, y C. Bregni. 2002. Papel del calcio y de la vitamina D en la salud ósea (Parte I). *Revista Española de Enfermedades Metabólicas Óseas* 11(6): 201-217.
- Sánchez C., S. G. Crespo L., M. Hernández C., e Y. García O. 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., M. Hernández, y L. Simón. 2003. Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la empresa Nazareno. *Pastos y Forrajes* 26(2): 131-136.
- Sepúlveda, P., F. Witter, H. Böhmwald, R. G. Pulido, y M. Noro. 2011. pH ruminal y balance ácido metabólico de Mg en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con óxido de magnesio. *Archivos de Medicina Veterinaria* 43(1): 241-250.
- Shils, M. E. 1997. Magnesium. *In: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. O'Dell, B. L., and R. A. Sunde (eds.). Marcel Dekker. New York, USA. pp: 117-152.
- Sibaja H., R., E. S. Sotelo S., y O. Juárez G. 2015. Viabilidad de la extracción de gomas de *Acacia cochliacantha* y *Acacia farnesiana* en el Estado de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(1): 155-162.

- Skerman, P. J., y F. Riveros. 1992. Gramíneas tropicales. Producción y protección vegetal. Número 23. FAO. Roma, Italia. 849 p.
- Soca, M., L. Simón, y A. G. Francisco. 2000. Comportamiento de las nematodosis gastrointestinales de bovinos jóvenes en un sistema silvopastoril. Pastos y Forrajes 23(4): 122-128.
- Solorio, F. J., H. M. Bacab, y A. L. Ramírez. 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. Morelia y Tepalcatepec, Michoacán, México del 3 al 5 de marzo de 2011. Fundación Produce. pp: 17-31.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19(1): 233-240.
- Suttle, N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. 4th ed. CABI. Oxfordshire, United Kingdom. 579 p.
- Tornquist, C. G., F. M. Hons, S. E. Feagley, and J. Hagggar. 1999. Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73(1): 19-28.
- Trejo A., L. K. 2013. Producción de ovinos en un sistema silvopastoril en la Sierra de Huautla. Tesis profesional. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 71 p.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. Slough, United Kingdom. 180 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd ed. CABI. United Kingdom. 624p.
- Uzal, F. A., C. A. Robles, J. Garro, F. V. Olaechea, J. L. Arrigo, y M. Wolff. 1992. Intoxicación aguda por cobre en ovinos. *Veterinaria Argentina* 9(89): 599-603.
- Vallee, B. L., and K. H. Falchuk. 1993. The biochemical basis of zinc physiology. *Physiological Reviews* 73(1): 79-118.
- Verdecia, D. M., J. L. Ramírez, I. Leonard, y F. García. 2009. Potencialidades agroproductivas de dos cultivares de *Panicum maximum* (c.v Mombasa y Uganda) en la provincia Granma. *Revista electrónica de Veterinaria* 10(5) consultado el 12 de marzo de 2016 en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050509/050901.pdf>
- Verdecia, D. M., R. S. Herrera, J. L. Ramírez, I. Leonard, R. Bodas, S. Andrés, F. J. Giráldez, Y. Álvarez, y S. López. 2012. Valoración nutritiva del *Panicum maximum* var. Mombasa en las condiciones climáticas del Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(1): 97-101.

- Yamamoto, W., I. A. Dewi, and M. Ibrahim. 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(1): 368-375.
- Zárate, S. 1999. Ethnobotany and domestication process of *Leucaena* in México. *Journal of Ethnobiology* 19(1): 1-23.
- Zárate, S. 1987. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata*. *Phytologia* 63(4): 304-306.

3 COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE OVINOS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL DE *Leucaena leucocephala* ASOCIADO A *Megathyrsus maximus* var. Mombasa VERSUS AGOSTADERO

3.1 Resumen

Los sistemas silvopastoriles representan una opción para incrementar la productividad de la ganadería. El objetivo fue estimar la cantidad y valor nutritivo del forraje ofrecido y rechazado en un sistema silvopastoril de guaje (*Leucaena leucocephala*) asociado a zacate *Megathyrsus maximus* var. Mombasa, así como en el agostadero y su efecto en la ganancia de peso de ovinos. En El Limón, Morelos, se establecieron dos tratamientos de sistema silvopastoril con 4700 (T1) y 2383 plantas de guaje ha⁻¹ (T2) asociados a zacate mombasa y uno con el agostadero (T3). Se estimó forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) para determinar asignación diaria de forraje (ADF), grado de cosecha (GC), tasa de desaparición (TD), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína cruda (PC), Ca, P, K, Mg, Na, Zn, Cu y Fe, se pesaron y se tomaron muestras de sangre a ovinos para determinar ganancia diaria de peso (GDP) y los minerales mencionados en suero sanguíneo, se utilizó un modelo completamente al azar. El FO, FR, ADF y TD fueron mayores ($p \leq 0.05$) en un 50% en T1 y T2 que en T3, el GC fue mayor ($p \leq 0.05$) en un 10% en T1 y T3 que en T2, la GDP fue mayor ($p \leq 0.05$) en T1 y T2 que en T3 (53.7, 64.81 y -14.81 g ovino⁻¹ día⁻¹ respectivamente), la DIVMS del FO de zacate mombasa y herbáceo fue mayor ($p \leq 0.05$) en un 15% en T2 y T3 que en T1 mientras que la PC fue mayor ($p \leq 0.05$) en un 25% en T3 que en T1 y T2, la DIVMS y PC del FO de guaje y arbóreo no presentaron diferencias ($p \geq 0.05$) y oscilaron en 60% y 21% respectivamente, hubo exceso de K y Fe y se recomendó suplementar Ca, Mg, Na y Zn, se concluyó que los sistemas silvopastoriles incrementan la GDP de ovinos.

Palabras clave: *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus* var. Mombasa, forraje ofrecido, valor nutritivo, ganancia diaria de peso.

PRODUCTIVE BEHAVIOR IN A SILVOPASTORAL SYSTEM OF *Leucaena leucocephala* ASSOCIATED WITH *Megathyrsus* *maximus* var. Mombasa VERSUS RANGELAND

3.2 Abstract

Silvopastoral systems represent an option to increase livestock productivity. The objective was estimate the quantity and nutritional value of forage offered and rejected in a silvopastoral system of guaje (*Leucaena leucocephala*) associated with grass *Megathyrsus maximus* var. Mombasa, as well as the rangeland and its effect on weight gain of sheep. In El Limón, Morelos, two silvopastoral system treatments with 4700 (T1) and 2383 plants of guaje ha⁻¹ (T2) associated with mombasa grass, and the other with the rangeland (T3) were established. It was estimated the forage offered (FO) and rejected (FR) to determine daily forage allowance (ADF), degree of harvest (GC), disappearance rate (TD), *in vitro* digestibility of dry matter (DIVMS), crude protein (PC), Ca, P, K, Mg, Na, Zn, Cu and Fe. Sheep were blood sampled and weighed to determine average daily gain (GDP) and mineral content in blood serum. A completely randomized experimental design was used. Forage offered, FR, ADF and TD were 50% higher ($p \leq 0.05$) for T1 and T2 than for T3; GC was 10% higher ($p \leq 0.05$) for T1 and T3 than for T2. The GDP was higher ($p \leq 0.05$) for T1 and T2 than for T3 (53.7, 64.81 and -14.81 g sheep⁻¹ day⁻¹ respectively). The DIVMS for FO of grass and herbaceous mombasa was 15% higher ($p \leq 0.05$) for T2 and T3 than for T1; meanwhile PC was 25% higher ($p \leq 0.05$) for T3 than for T1 and T2. The DIVMS and PC of FO corresponding to guaje and arboreal were not different ($p \geq 0.05$) and oscillated at 60% and 21%, respectively. There was excess of K and Fe. It is recommended to supplement Ca, Mg, Na and Zn. The silvopastoral systems increase GDP of sheep.

Key words: *Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus maximus* var. Mombasa, forage offered, nutritional value, average daily gain.

3.3 Introducción

En el trópico mexicano gran parte de la ganadería extensiva se desarrolla en áreas con vegetación natural las cuales se han denominado como agostaderos, esta actividad ha sido fuertemente cuestionada debido a su asociación con la degradación de la cubierta vegetal, porque el pastoreo se realiza sin control alguno y las especies que el ganado consume con mayor frecuencia tienden a desaparecer, mientras que las especies no forrajeras aumentan (Giraldo, 1996; Echavarría *et al.*, 2007).

Otra consecuencia del pastoreo descontrolado es el sobrepastoreo, lo que da lugar a que se originen áreas sin cubierta vegetal, donde el suelo está expuesto a la erosión, todo esto a su vez va disminuyendo la capacidad de carga del agostadero, lo cual hace que haya una competencia importante por la alimentación entre fauna silvestre y animales domésticos (Giraldo, 1996; Echavarría *et al.*, 2007).

Los sistemas silvopastoriles se presentan como una opción para incrementar la productividad y reducir éste impacto al implementarse en áreas degradadas por el sobrepastoreo e incorporar leñosas perennes (árboles o arbustos) en interacción con los componentes tradicionales (herbáceas y animales), en un esquema de manejo integral (Palma, 2006).

El uso de árboles crea un sistema multiestratificado que promueve el reciclaje de nutrientes, así como el uso óptimo de la energía solar y proporciona productos y servicios múltiples (Alonso, 2011). En varios estudios en los que se han incluido arbóreas forrajeras se han mejorado las condiciones productivas del sistema, como incremento de materia seca disponible y forraje con mayor valor nutritivo, principalmente al incluir leguminosas (Vizcaíno *et al.*, 2001; Valle *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2008), mayor ganancia de peso (Palma *et al.*, 2003) y beneficios al ganado por la sombra proporcionada por estas especies (Palma, 2005; Palma, 2006).

Se ha demostrado el mejoramiento del consumo (Machecha *et al.*, 2000) y producción de leche en bovinos (Hernández y Ponce, 2004; Bacab y Solorio, 2011) pastoreando sistemas en donde se ha incluido a *Leucaena leucocephala*, así mismo se han observado mayores ganancias de peso en ovinos (Medina y Sánchez, 2006; Madera *et al.*, 2013) cuando se les ha suplementado con esta arbórea, cabe mencionar también los beneficios al ambiente al haber un mayor secuestro de carbono en las zonas en donde se han establecido sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* (Naranjo *et al.*, 2012; Anguiano *et al.*, 2013).

En el mismo lugar del estudio Benítez *et al.* (2010) evaluaron un sistema silvopastoril en donde incluyeron a *Leucaena leucocephala* y *Leucaena collinsii*, la primera mostró mayor cantidad y mejor calidad de forraje, lo cual se tomó de referencia para este trabajo.

El objetivo del estudio fue comparar dos arreglos silvopastoriles de guaje (*Leucaena leucocephala*) asociado a zacate mombasa (*Megathyrsus maximus* var. Mombasa) y agostadero nativo con base en cantidad y calidad del forraje ofrecido y rechazado y cambios de peso en ovinos para generar un banco de información que permita validar la opción de los sistemas silvopastoriles como estrategias para la mejora de la productividad del agostadero tropical seco.

3.4 Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el ejido El Limón, Tepalcingo, Morelos, en 2014 se efectuó el establecimiento de los tratamientos y en 2015 se realizó la fase de pastoreo y toma de datos de campo. El ejido se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, con vegetación de selva baja caducifolia, una altitud de 700 msnm, 900 mm de precipitación anual y clima tipo Awo"(w)(i)"g (Dorado, *et al.*, 2005).

3.4.1 Colecta de semilla y establecimiento del sistema silvopastoril

Durante febrero y marzo de 2014 se llevó a cabo la colecta de semilla de guaje en El Limón, Tepalcingo, Morelos, con ella se estableció el vivero de guaje en marzo y abril de 2014, el sustrato de las bolsas de vivero fue de 1.1 kg conformado por 89% de tierra y 11% de vermicomposta, se les aplicó fertilizante foliar supermagro al 5% quincenalmente, las plantas se trasplantaron en septiembre y octubre de 2014. Debido a la baja precipitación algunas plantas murieron (30%) por lo que en marzo de 2015 se estableció nuevamente el vivero con las mismas características y el trasplante se realizó en julio de 2015.

En julio de 2014 se sembró la pradera de zacate mombasa a una densidad de 5 kg de semilla ha⁻¹.

3.4.2 Instalación de los tratamientos y pastoreo

El estudio consistió en la comparación de tres tratamientos (con tres repeticiones cada uno), dos de ellos fueron arreglos del sistema silvopastoril guaje asociado a zacate mombasa y el tercero fue el agostadero nativo sin mejoramiento intencional. Los arreglos variaron en la densidad de guaje: 4700 y 2383 guajes ha⁻¹, densidades media y baja respectivamente. El agostadero contiene un componente herbáceo dominado por la familia Asteraceae, el componente arbóreo comprende especies como guácima (*Guazuma ulmifolia*), cubata (*Acacia cochliacantha*), huizache (*Acacia farnesiana*), casahuate (*Ipomoea murucoides*), tecolhuixtle (*Mimosa benthamii*) y guamúchil (*Pithecellobium dulce*) a una densidad de 300 árboles ha⁻¹.

Se manejó una densidad de carga de 200 ovinos ha⁻¹ y un periodo de ocupación de 15 días por repetición, cada repetición se cercó con malla borreguera y los animales fueron utilizándolas consecutivamente de la primera a la tercera, cada una consistió en un área de 200 m² con 4 animales raza $\frac{3}{4}$ Dorper $\frac{1}{4}$ Pelibuey.

El pastoreo se realizó de octubre a noviembre de 2015, se introdujeron a los animales cuando el pasto tenía 21 días de rebrote (antes de ello los animales se

encontraban pastoreando libremente en el agostadero del ejido El Limón), durante este periodo se muestreo el forraje existente al inicio y al final de la ocupación de cada repetición. Se pesaron a los ovinos al inicio y al final del periodo de ocupación de cada repetición (sólo se utilizaron hembras), para esto se usó una báscula de reloj con capacidad de 200 kg.

También se tomaron muestras de sangre de los ovinos al inicio y al final del pastoreo, para determinar la cantidad de calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio, zinc, cobre y hierro en suero sanguíneo, se compararon los resultados de cuatro animales muestreados al azar al inicio del pastoreo con los cuatro animales de cada uno de los tratamientos muestreados al final del pastoreo.

Considerando que González y López (2008), encontraron 21 especies con alto potencial forrajero para animales domésticos en la región, se colectó material vegetal de tres ejemplares de las nueve arbóreas más abundantes en El Limón de acuerdo a lo encontrado por Hernández *et al.* (2011), a ellas se adicionó *Leucaena collinsii* por sus ventajas como forrajera mencionadas por Benítez *et al.* (2010) para evaluar su valor nutritivo.

3.4.3 Variables de respuesta y análisis de la información

Las variables incluidas en el estudio fueron forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR), para su estimación se utilizó la técnica de doble muestreo o rendimiento comparativo descrita por Gardner (1967) y Haydock y Shaw (1975), asignación diaria de forraje (ADF) se calculó de acuerdo a Hodgson (1979), grado de cosecha o defoliación (GC) se obtuvo con la ecuación de Solano y Coronado (1979), tasa de desaparición de forraje (TD) se calculó con la ecuación de Stuth *et al.* (1981), ganancia diaria de peso (GDP) se obtuvo por diferencia en peso al inicio y al final del periodo de ocupación, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se obtuvo utilizando la técnica de Tilley y Terry (1963) modificada por Barnes (1969), proteína cruda (PC) se determinó por el método de Microkjeldahl usando el factor de conversión 6.25 (AOAC, 1984) y los minerales Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe y Zn que se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica

marca Perkin Elmer y el P por colorimetría mediante el espectrómetro UV/VIS marca Perkin Elmer (Fick *et al.*, 1979), los minerales se determinaron en tejido vegetal y en suero sanguíneo de ovinos.

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 (2012), se utilizó la prueba Tukey ($\alpha=0.05$) para las comparaciones de medias.

3.5 Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de FO y FR para el zacate mombasa y guaje de los tratamientos con sistema silvopastoril y para los componentes herbáceo y arbóreo del agostadero.

El Cuadro 1 muestra que el agostadero presentó una menor cantidad ($p \leq 0.05$) de FO y FR que los tratamientos con sistema silvopastoril, tanto en el estrato herbáceo como en el arbóreo. Echavarría *et al.* (2007) mencionaron que esto suele suceder cuando se comparan agostaderos con áreas con especies forrajeras mejoradas, como en este caso el zacate mombasa, así mismo, López *et al.* (2001) propusieron la mejora de agostaderos degradados mediante la introducción de pastos mejorados.

Por otro lado, Reyna (2013) mencionó que entre las características del suelo que influyen en la productividad están la cantidad de materia orgánica y la compactación, este autor encontró una mayor cantidad de materia orgánica del suelo en un agostadero que en un área con plantación de guaje y una menor compactación de suelo en la plantación que en el agostadero.

Cuadro 1. Cantidad^z de forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y el agostadero.

Tratamiento	FO zacate mombasa-herbáceo, kg MS ha ⁻¹	FO guaje-arbóreo, kg MS ha ⁻¹	FO total, kg MS ha ⁻¹	FR zacate mombasa-herbáceo, kg MS ha ⁻¹
4700 guajes ha ⁻¹	8935.9±506.2 ^a	217.7±42.2 ^a	9153.7±534.4 ^a	2265.7±199.9 ^a
2383 guajes ha ⁻¹	7841.0±737.4 ^a	97.7±24.8 ^b	7938.7±754.6 ^a	2806.6±231.4 ^a
Agostadero	3711.9±108.8 ^b	10.4±4.5 ^c	3722.3±107.0 ^b	827.4±83.7 ^b

^zMedias (± error estándar) sin una letra en común dentro de columnas^{abc} son diferentes ($p \leq 0.05$).

La densidad de plantación de guaje utilizada en los tratamientos con sistema silvopastoril no influyó en la cantidad de FO y FR de zacate mombasa, ya que fue similar ($p \geq 0.05$) en ambos (Cuadro 1), esto coincide con lo encontrado por Benítez *et al.* (2010) quienes mencionaron que la densidad de plantación de guaje no influyó en la cantidad de FO de *Brachiaria brizantha* var. Libertad y difiere con lo encontrado por Bacab y Solorio (2011) que a mayor densidad de guaje, mayor cantidad de FO de *Megathyrsus maximus* var. Tanzania.

La cantidad de FO en el agostadero (Cuadro 1) fue mayor que la obtenida por Miliani *et al.* (2008) en un agostadero con selva baja en periodo lluvioso.

La cantidad de FO de guaje fue mayor en el tratamiento con 4700 guajes ha⁻¹ que en el de 2383 guajes ha⁻¹ ($p \leq 0.05$; Cuadro 1), el estrato arbóreo del agostadero presentó menor cantidad de forraje ofrecido que ellos ($p \leq 0.05$; Cuadro 1), otros autores (Benítez *et al.*, 2010; Bacab y Solorio, 2011; Anguiano *et al.*, 2012) encontraron la misma tendencia, a mayor densidad de guaje, mayor cantidad de materia seca de éste.

Tomando en cuenta que en otros estudios no se ha manejado la misma densidad de guaje, haciendo una extrapolación a cantidad de materia seca por planta, en este estudio fue mayor que en los de Benítez *et al.* (2010), Bacab y Solorio (2011) y Anguiano *et al.* (2012).

La cantidad de FR fue menor en el agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 1) que es el tratamiento que presentó menor cantidad de FO, esto coincide con lo encontrado por Bacab y Solorio (2011).

El Cuadro 2 muestra los resultados de ADF, GC, TD y GDP para los tres tratamientos. Cabe señalar que no hubo FR de guaje ni del componente arbóreo del agostadero por lo que el GC y la TD se calcularon en base al FR de zacate mombasa y componente herbáceo del agostadero.

La ADF fue mayor en los tratamientos con sistema silvopastoril que en el agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 2), en los cuales también se tuvo una mayor cantidad de FR ($p \leq 0.05$; Cuadro 2), con respecto a ello Minson (1971), Tergas (1982) y Milera *et al.* (1988) mencionaron que el animal que cuenta con una mayor asignación de forraje tiene más oportunidad de selección, por lo que cubre sus requisitos alimenticios más rápidamente, lo cual contribuye a que el forraje no sea cosechado en el momento adecuado y así permanece por más tiempo en la pradera envejeciendo, lo cual deriva en que sea rechazado posteriormente por el animal.

Cuadro 2. Asignación diaria de forraje (ADF), grado de cosecha (GC), tasa de desaparición de forraje (TD) y ganancia diaria de peso de ovinos (GDP) en el sistema silvopastoril y el agostadero².

Tratamiento	ADF, kg MS 100 kg PV ⁻¹ día ⁻¹	GC, %	TD, kg MS 100 kg de PV ⁻¹ día ⁻¹	GDP, g ovino ⁻¹ día ⁻¹
4700 guajes ha ⁻¹	13.6±0.4 ^a	75.1±2.4 ^a	9.9±0.6 ^a	53.70±9.4 ^a
2383 guajes ha ⁻¹	11.6±0.7 ^a	64.5±1.0 ^b	7.3±0.4 ^a	64.81±18.3 ^a
Agostadero	5.8±0.2 ^b	77.7±2.6 ^a	4.5±0.3 ^b	-14.81±5.23 ^b

²Medias (± error estándar) sin una letra en común dentro de columnas^{ab} son diferentes ($p \leq 0.05$).

La ADF (Cuadro 2) en los tratamientos con sistema silvopastoril fue mayor que la obtenida por Trejo (2013) y Amador (2009) en un sistema silvopastoril con guaje y una densidad de carga similar, quienes obtuvieron asignaciones de 4.6 y 9 kg MS 100 kg PV⁻¹ día⁻¹ respectivamente.

El GC fue menor ($p \leq 0.05$) en el tratamiento con menor densidad de guaje que en el de mayor densidad (Cuadro 2), esta misma tendencia se observó por Bacab y Solorio (2011) quienes encontraron un menor grado de cosecha de *Megathyrsus maximus* var. Tanzania en el tratamiento donde tenían menor densidad de guaje. El GC obtenido en los tres tratamientos (Cuadro 2) fue mayor a lo encontrado por

Benítez *et al.* (2010) y menor que en el estudio de Trejo (2013) quienes obtuvieron GC de 58 y 82% respectivamente.

La mayor TD se dio en los tratamientos con sistema silvopastoril, los cuales también presentaron una mayor ADF ($p \leq 0.05$; Cuadro 2), al respecto Tergas (1982), Avendaño *et al.* (1986) y Hernández *et al.* (1988) comentaron que a medida que se incrementó la ADF, el forraje en oferta por animal fue mayor por lo que el animal consumió y a su vez desperdició una mayor cantidad de forraje, es por ello que la TD incrementa.

La GDP fue mayor en los tratamientos con sistema silvopastoril que en el agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 2), esto se asocia principalmente a que la ADF fue mayor en los tratamientos con guaje respecto al agostadero ($p \leq 0.05$; Cuadro 2), esta tendencia de comportamiento productivo también fue observada por Bacab y Solorio (2011) quienes obtuvieron una mayor producción de leche en los tratamientos de sistema silvopastoril que contenían al guaje.

La mayor GDP (Cuadro 2) en los tratamientos con sistema silvopastoril es similar a lo observado en los estudios de Medina y Sánchez (2006) y Madera *et al.* (2013) quienes obtuvieron mayores ganancias de peso en los tratamientos que contenían al guaje, así mismo los primeros autores encontraron que con la inclusión de ésta arbórea también se disminuyeron los costos para el control de parasitosis en ovinos.

La GDP (Cuadro 2) fue mayor a la obtenida por Medina y Sánchez (2006) y menor a la obtenida por Trejo (2013) quienes obtuvieron ganancias en ovinos consumiendo guaje de 47.3 y 75.7 g animal⁻¹ día⁻¹ respectivamente.

El Cuadro 3 muestra los resultados de DIVMS y PC para el FO y FR del zacate mombasa y guaje de los tratamientos con sistema silvopastoril y de los componentes herbáceo y arbóreo del agostadero.

Cuadro 3. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) de forraje ofrecido (FO) y rechazado (FR) en el sistema silvopastoril y el agostadero².

Tratamiento	DIVMS FO zacate mombasa- herbáceo, %	DIVMS FO guaje- arbóreo, %	DIVMS FR, zacate mombasa- herbáceo %	PC FO zacate mombasa- herbáceo, %	PC FR zacate mombasa- herbáceo, %	PC FO guaje- arbóreo, %
4700 guajes ha ⁻¹	45.9±3.5 ^b	66.6±1.5 ^a	27.6±1.9 ^c	7.8±1.1 ^b	3.2±0.4 ^a	22.7±1.8 ^a
2383 guajes ha ⁻¹	60.7±2.4 ^a	60.6±6.6 ^a	55.9±2.2 ^a	7.0±0.3 ^b	3.6±0.7 ^a	21.6±2.8 ^a
Agostadero	60.6±6.1 ^a	56.2±4.0 ^a	47.1±1.7 ^b	11.7±0.7 ^a	7.3±3.9 ^a	19.2±2.4 ^a

²Medias (± error estándar) sin una letra en común dentro de columnas^{abc} son diferentes ($p \leq 0.05$).

La DIVMS del FO de zacate mombasa y del componente herbáceo fue mayor en el tratamiento con menor densidad de guaje y en el agostadero que en el tratamiento con mayor densidad de guaje ($p \leq 0.05$; Cuadro 3), así mismo, la PC del FO de componente herbáceo del agostadero fue mayor que la del FO de zacate mombasa en los tratamientos con sistema silvopastoril ($p \leq 0.05$; Cuadro 3), pese a que evidentemente este componente del agostadero presentó un mayor valor nutritivo, no fue suficiente para verse reflejado en la GDP (Cuadro 2) pues cabe recordar que el agostadero tuvo una menor cantidad de FO (Cuadro 1) y los componentes de la dieta que influyen en la GDP en ovinos abarcan tanto el valor nutritivo de la dieta como un mínimo consumo de materia seca (NRC, 1985).

No hubo diferencias ($p \geq 0.05$; Cuadro 3) en la DIVMS y el contenido de PC en el FO de guaje de los tratamientos con sistema silvopastoril y el componente arbóreo del agostadero, por lo que se puede decir que las arbóreas encontradas en el agostadero tienen un valor nutritivo similar al guaje, razón por la cual podrían considerarse especies con potencial forrajero susceptibles de ser incorporadas en sistemas silvopastoriles en áreas degradadas.

Lo anterior lo confirman diversos autores en referencia a lo encontrado en algunas especies que formaron parte del componente arbóreo del agostadero, Carranza *et al.* (2003) reportaron para *Guazuma ulmifolia* un contenido de PC del 12.5%, Hernández *et al.* (2010) mencionaron que *Acacia cochliacantha* tiene una DIVMS del 60% y un contenido de PC del 16%, así mismo, Gómez *et al.* (2006) mencionaron que *Acacia farnesiana* contiene un 24% de PC y *Pithecellobium dulce* contiene 19.6%, por lo que todos los autores mencionados las definieron como especies con alto potencial forrajero.

La DIVMS del FO de zacate mombasa del tratamiento con menor densidad de guaje (Cuadro 3) es similar a la que reportaron Coauro *et al.* (2004) del 60% y menor a la que mencionó Rodríguez (2009) a la misma edad de rebrote que es del 67%.

El contenido de PC del FO de zacate mombasa (Cuadro 3) es menor a lo que mencionaron Coauro *et al.* (2004) y Rodríguez (2009) quienes reportaron del 9 al 12% y 11% a la misma edad de rebrote, respectivamente, así mismo, es menor a lo encontrado por Gaviria-Urbe *et al.* (2015) quienes en *Megathyrus maximus* var. Tanzania obtuvieron un 8.7%.

La DIVMS del FO de guaje en los tratamientos con sistema silvopastoril es similar a la reportada por Trejo (2013) y a la digestibilidad *in vivo* de la materia seca encontrada por Saavedra *et al.* (1987) quienes obtuvieron valores de 60 y 64.4% respectivamente.

El contenido de PC del FO de guaje en los tratamientos con sistema silvopastoril (Cuadro 3) es menor a lo encontrado por Palma *et al.* (1995) y Gaviria-Urbe *et al.* (2015) quienes encontraron 32.2 y 26.1% respectivamente y es mayor a lo que reportaron Gómez *et al.* (2006) y Benítez *et al.* (2010) de 20.1 y 21.4% respectivamente para el follaje de esta arbórea.

El Cuadro 4 muestra los resultados de contenido de macrominerales para el FO y FR del zacate mombasa y guaje de los tratamientos con sistema silvopastoril y de los componentes herbáceo y arbóreo del agostadero.

Cuadro 4. Contenido^z de macrominerales (%) en el forraje ofrecido y rechazado de zacate mombasa-componente herbáceo (FOZH y FRZH respectivamente) y forraje ofrecido de guaje-componente arbóreo (FOGA).

Mineral	4700 guajes ha ⁻¹	2383 guajes ha ⁻¹	Agostadero	RO ^y
Ca FOZH	0.41±0.03 ^b	0.40±0.10 ^b	1.24±0.03 ^a	0.20-0.82
Ca FRZH	0.18±0.01 ^a	0.28±0.04 ^a	0.77±0.29 ^a	
Ca FOGA	1.59±0.25 ^a	1.61±0.24 ^a	1.62±0.33 ^a	
P FOZH	0.81±0.01 ^a	0.83±0.01 ^a	0.84±0.04 ^a	0.16-0.38
P FRZH	0.76±0.05 ^a	0.78±0.03 ^a	0.74±0.13 ^a	
P FOGA	0.81±0.04 ^a	0.78±0.02 ^a	0.79±0.07 ^a	
K FOZH	1.44 ±0.11 ^a	1.78 ±0.02 ^a	1.94±0.41 ^a	0.50-0.80
K FRZH	1.69 ±0.39 ^a	1.92 ±0.18 ^a	1.63±0.51 ^a	
K FOGA	1.12±0.05 ^a	1.07±0.19 ^a	0.93±0.31 ^a	
Mg FOZH	0.22±0.07 ^b	0.22±0.02 ^b	0.40±0.02 ^a	0.12-0.18
Mg FRZH	0.16±0.04 ^a	0.19±0.03 ^a	0.15±0.05 ^a	
Mg FOGA	0.46±0.05 ^a	0.40±0.12 ^a	0.37±0.04 ^a	
Na FOZH	0.009±0.002 ^a	0.009 ±0.001 ^a	0.007±0.001 ^a	0.09-0.18
Na FRZH	0.004±0.0007 ^b	0.006±0.0009 ^a	0.005±0.0007 ^{ab}	
Na FOGA	0.003±0.0007 ^a	0.004±0.001 ^a	0.004±0.0003 ^a	

^zMedias (± error estándar) sin una letra en común dentro de hileras^{ab} son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yRO = requerimientos de macrominerales para ovinos (porcentaje de la dieta en materia seca; NRC,1985).

El Cuadro 4 muestra que el FO del componente herbáceo del agostadero presentó un mayor contenido de calcio que el zacate mombasa de los tratamientos con sistema silvopastoril ($p \leq 0.05$) el cual se encuentra dentro del rango de requerimientos para ovinos.

En cuanto al FO de guaje y componente arbóreo del agostadero no hubo diferencias en el contenido de calcio ($p \geq 0.05$; Cuadro 4), tanto éstos, como el componente herbáceo, superan el rango del requerimiento, esto no es problemático si se considera que Puls (1988) mencionó que el rango adecuado del calcio en la dieta de ovinos es de 0.36 a 1.40%, NRC (1985) señaló que el máximo tolerable es del 2% en la dieta, Suttle (2010) mencionó que la ingesta excesiva de calcio puede no ser perjudicial si se suministra el fósforo adecuado en la dieta.

Se observa (Cuadro 4) que no hubo diferencias en el contenido de fósforo del FO del zacate mombasa y componente herbáceo del agostadero ni en el FO del guaje y componente arbóreo del agostadero, todos ellos se encuentran prácticamente al doble del requerimiento para ovinos, lo anterior se ve reflejado en un alto contenido de fósforo en el suero sanguíneo como se muestra más adelante en el Cuadro 6.

Aun cuando el contenido de calcio se encuentra en un buen nivel en los forrajes (Cuadro 4), el Cuadro 6 que se ubica más adelante, muestra que los animales de los tres tratamientos están deficientes en este mineral, esto se puede asociar al alto contenido de fósforo en la dieta, al respecto Suttle (2010) comentó que el fósforo influye en la absorción de calcio, así mismo Puls (1988) y McDowell *et al.* (1997) mencionaron que la relación Ca:P adecuada en la dieta es de 1.5:1.0 a 2.0:1.0 y una relación inferior a ello podría causar problemas de cálculos urinarios, en este trabajo se obtuvo una relación Ca:P de 0.5:1.0 para el FO de zacate mombasa en los tratamientos con sistema silvopastoril, 1.4:1 para el FO de componente herbáceo del agostadero y de 2.0:1.0 para el FO de guaje y componente arbóreo del agostadero.

Por lo anterior se puede decir que es necesaria la suplementación con calcio en los tres tratamientos, o bien incrementar la densidad de arbóreas para que el aporte de kg de MS a la dieta de estas plantas sea mayor ya que tienen una mejor relación Ca:P.

Esta tendencia es contraria a lo propuesto por Adeneye (1979) y Cabrera *et al.* (2009) quienes recomendaron la suplementación con fósforo cuando estimaron el contenido mineral de guaje y zacate mombasa respectivamente y mencionaron la poca habilidad que tenían estos forrajes para obtener el fósforo del suelo al tener un menor contenido de éste que otras especies evaluadas en el mismo lugar.

Cabe mencionar que de acuerdo a NRC (1985) y considerando el nivel de calcio en el suero sanguíneo de ovinos (Cuadro 6), éstos podrían tener hipocalcemia

pues este autor comentó que por debajo de 90 mg L⁻¹ se puede considerar este trastorno.

El contenido de potasio no fue diferente ni en el FO de zacate mombasa de los tratamientos con sistema silvopastoril y el componente herbáceo del agostadero ni en el FO de guaje y componente arbóreo del agostadero ($p \geq 0.05$; Cuadro 4), en todos ellos se encuentra por encima del rango de requerimiento, no obstante, los ovinos no presentan exceso de potasio en suero sanguíneo (Cuadro 6), es por ello que se puede considerar la recomendación de Puls (1988) quien comentó que el rango adecuado de potasio en la dieta es de 0.8 a 2.0% así mismo NRC (1980) mencionó que el máximo tolerable es hasta del 3.0%.

El contenido de magnesio fue mayor en el FO del componente herbáceo del agostadero que en el zacate mombasa de los tratamientos con sistema silvopastoril ($p \leq 0.05$; Cuadro 4), en cambio no hubo diferencias entre el FO de guaje y el componente arbóreo del agostadero ($p \geq 0.05$; Cuadro 4), todos ellos se encontraron por encima del requerimiento sin embargo se encontraron deficiencias de este mineral en el suero sanguíneo de todos los ovinos (Cuadro 6). En este sentido, hay que considerar que el potasio interfiere con la absorción del magnesio (Evans *et al.*, 1983), esto ocurre en el rumen y puede expresarse un antagonismo dependiendo del tipo de alimentación (Suttle, 2010; Sepúlveda *et al.*, 2011), es por ello que para evitar la incidencia de tetania de los pastos se debe considerar duplicar los requerimientos de magnesio cuando los forrajes contienen más del 1.0% de potasio (Suttle, 2010).

A pesar de que la mayoría de los forrajes contenían el doble del requerimiento de magnesio (Cuadro 4) esto no fue suficiente para evitar la deficiencia de este mineral pues Charlton y Armstrong (1989) mencionaron que el antagonismo de potasio y magnesio se agrava por la privación de sodio y como se muestra en el Cuadro 4 hay una fuerte deficiencia de sodio en los forrajes (más de diez veces menos que el límite inferior del requerimiento), lo cual se refleja en el contenido de sodio del suero sanguíneo (Cuadro 6) el cual se encuentra en menos de la mitad del nivel adecuado en todos los ovinos.

Se puede decir que es necesaria la suplementación de magnesio a los ovinos en este tipo de sistemas en la Sierra de Huautla pues es probable que las bajas GDP obtenidas (Cuadro 2) sean debido a la reducción del consumo que ocasiona la deficiencia de este mineral (Puls, 1988).

El contenido de sodio no presentó diferencias ni en el FO del componente herbáceo del agostadero y el zacate mombasa, ni en el FO del guaje y componente arbóreo del agostadero ($p \geq 0.05$; Cuadro 4), la gran deficiencia de este mineral se debe a que no se suplementó durante el experimento y los forrajes normalmente son pobres en sodio debido a que no es un elemento esencial para las plantas y otros factores del suelo como su fácil lixiviación (Edmeades y O'Connor, 2003).

Se considera importante llevar a cabo la suplementación de este mineral para preservar sus niveles en el plasma y con ello el balance osmótico en el animal (Suttle, 2010), así mismo Underwood (1981) mencionó que la deficiencia de sodio puede provocar inapetencia e ineficiencia para la utilización del alimento en el animal debido a su importancia en el metabolismo, es por ello que se considera un aspecto clave para obtener buenas GDP.

El Cuadro 5 muestra los resultados de contenido de microminerales para el FO y FR del zacate mombasa y guaje de los tratamientos con sistema silvopastoril y de los componentes herbáceo y arbóreo del agostadero.

El contenido de zinc en el FO del componente herbáceo del agostadero fue mayor que el del zacate mombasa ($p \leq 0.05$; Cuadro 5) mientras que en el FO del componente arbóreo y guaje no se encontraron diferencias ($p \geq 0.05$; Cuadro 5), todos ellos estuvieron muy por debajo del requerimiento para ovinos, lo cual se vio reflejado en el contenido de este mineral en suero (Cuadro 6) el cual se encuentra por debajo del nivel adecuado, debido a ello se considera apropiado realizar una suplementación de este mineral debido a la importancia que tiene para la estimulación del apetito y el crecimiento (Ramos *et al.*, 1994; Minatel *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2008).

Cuadro 5. Contenido^z de microminerales (ppm) en el forraje ofrecido y rechazado de zacate mombasa-componente herbáceo (FOZH y FRZH respectivamente) y forraje ofrecido de guaje-componente arbóreo (FOGA).

Mineral	4700 guajes ha ⁻¹	2383 guajes ha ⁻¹	Agostadero	RO ^y
Zn FOZH	10.10±1.48 ^b	9.95±2.10 ^b	17.22±2.98 ^a	20-33
Zn FRZH	12.71±2.52 ^a	12.90±2.27 ^a	13.66±3.22 ^a	
Zn FOGA	5.76±0.27 ^a	6.17±0.56 ^a	7.88±1.66 ^a	
Cu FOZH	5.01±1.43 ^b	3.94±0.81 ^b	8.52±1.20 ^a	7-11
Cu FRZH	2.54±0.42 ^a	2.72±0.02 ^a	7.05±2.25 ^a	
Cu FOGA	4.67±0.98 ^a	5.21±1.08 ^a	5.08±1.10 ^a	
Fe FOZH	58.25±2.05 ^b	55.49±12.62 ^b	114.23±15.39 ^a	30-50
Fe FRZH	86.67±23.90 ^a	92.17±21.01 ^a	164.20±51.45 ^a	
Fe FOGA	133.17±8.58 ^a	123.36±36.60 ^a	125.72±24.86 ^a	

^zMedias (± error estándar) sin una letra en común dentro de hileras^{ab} son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yRO = requerimientos de microminerales para ovinos (ppm de la dieta en materia seca; NRC,1985).

El contenido de cobre del FO del componente herbáceo del agostadero fue el único que cumplió con el requerimiento y fue mayor que el del zacate mombasa ($p \leq 0.05$; Cuadro 5), el contenido de este mineral en el FO de guaje y componente arbóreo del agostadero no presentó diferencias ($p \geq 0.05$; Cuadro 5) y estuvo por debajo del requerimiento. Cabe resaltar que todos los ovinos no se encontraron deficientes en cobre pues el suero sanguíneo mostró resultados dentro de los niveles adecuados (Cuadro 6) pese a las deficiencias en el forraje, esto se asocia a que durante la temporada seca, cuando no se tiene acceso a forraje fresco, el manejo que se les da incluye ocasionalmente la adición de pollinaza a la dieta, para la cual se ha reportado un alto contenido de cobre (desde 23 hasta 161 ppm; Pacheco *et al.*, 2003) el cual puede llegar incluso a intoxicar a los ovinos cuando la consumen en exceso.

El contenido de hierro del FO del componente herbáceo del agostadero fue mayor que el del zacate mombasa ($p \leq 0.05$; Cuadro 5), el contenido de este mineral en el FO de guaje y componente arbóreo del agostadero no presentó diferencias ($p \geq 0.05$; Cuadro 5) y en todos los forrajes estuvo por encima del requerimiento sin llegar al máximo tolerable (500 ppm; NRC, 1985), esto se vio reflejado en el suero sanguíneo (Cuadro 6) pues el contenido de este mineral

estuvo ligeramente por encima del nivel adecuado en todos los ovinos por lo que se considera importante monitorear signos de deficiencias de cobre durante la época lluviosa en la que los animales pastorean estos forrajes (bajos en cobre y altos en hierro; Cuadro 5) pues el exceso de hierro limita la absorción de ese mineral (Forrellat *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2005).

Se puede decir que la densidad de guaje en los tratamientos con sistema silvopastoril no afectó el contenido de macro y microminerales pues en ninguno de ellos se encontraron diferencias entre estos tratamientos (Cuadro 4 y Cuadro 5) ni en el FO de zacate mombasa ni en el FO de guaje, así mismo, el FO de guaje tuvo un contenido de macro y microminerales similar al de las especies arbóreas del agostadero pues tampoco hubo diferencias entre ellos (Cuadro 4 y Cuadro 5).

El Cuadro 6 muestra los resultados de contenido de macro y microminerales en el suero sanguíneo de los ovinos, al inicio del experimento y al final, en los tres tratamientos.

Cuadro 6. Contenido^z (mg L⁻¹) de calcio, fósforo, potasio, magnesio, sodio, zinc, cobre y hierro en suero sanguíneo de ovinos al iniciar el estudio, en el sistema silvopastoril y en el agostadero.

Tratamiento	Ca	P	K	Mg	Na	Zn	Cu	Fe
Al iniciar el estudio	71.6 ±0.8 ^a	106.4 ±2.5 ^b	170.0 ±32.5 ^a	9.7 ±1.8 ^a	1461.3 ±7.5 ^a	0.282 ±0.043 ^b	0.786 ±0.099 ^a	2.1 ±0.9 ^a
4700 guajes ha ⁻¹	74.8 ±3.5 ^a	121.1 ±4.4 ^a	137.9 ±31.5 ^a	6.0 ±1.4 ^a	1471.7 ±52.6 ^a	0.557 ±0.032 ^a	0.739 ±0.074 ^a	2.9 ±0.3 ^a
2383 guajes ha ⁻¹	80.7 ±4.3 ^a	109.2 ±3.7 ^{ab}	167.5 ±36.3 ^a	7.7 ±0.5 ^a	1458.0 ±161.8 ^a	0.546 ±0.075 ^a	0.802 ±0.134 ^a	2.3 ±0.6 ^a
Agostadero	85.9 ±6.6 ^a	107.2 ±2.6 ^b	191.7 ±31.8 ^a	8.0 ±2.2 ^a	1454.1 ±75.8 ^a	0.598 ±0.014 ^a	0.776 ±0.070 ^a	2.8 ±0.7 ^a
NA ^y	90-130	40-80	156-214.5	20-35	3220-3611	0.8-1.2	0.7-2.0	1.66-2.22

^zMedias (± error estándar) sin una letra en común dentro de columnas^{ab} son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yNA = niveles adecuados (mg L⁻¹; Puls, 1988).

El único mineral en suero sanguíneo que presentó mejoría al introducir a los ovinos en los tratamientos del estudio, fue el zinc, pues al inicio del experimento

los animales presentaban menor cantidad de éste ($p \leq 0.05$; Cuadro 6) los demás permanecieron iguales, a excepción del fósforo en el que los animales del tratamiento con mayor densidad de guaje tuvieron una mayor cantidad de éste ($p \leq 0.05$; Cuadro 6) aun cuando el forraje no tuvo las mismas características por lo que esto se asocia a otros factores, cabe recordar que antes de entrar al experimento los animales se encontraban pastoreando libremente en el agostadero del ejido El Limón.

El Cuadro 7 muestra los resultados de contenido de macrominerales en las especies arbóreas más abundantes del ejido El Limón, de acuerdo a lo mencionado por Hernández *et al.* (2011).

Cuadro 7. Contenido de macrominerales (%; $\pm$ error estándar) en las arbóreas más abundantes (de acuerdo a Hernández *et al.*, 2011) en El Limón, Tepalcingo, Morelos.

Especie ^z	Ca	P	K	Mg	Na
<i>Ficus cotinifolia</i>	1.5 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.03	0.3 $\pm$ 0.06	0.05 $\pm$ 0.01
<i>Lysiloma divaricata</i> H ^y	1.5 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.1	0.6 $\pm$ 0.02	0.2 $\pm$ 0.03	0.003 $\pm$ 0.001
<i>Lysiloma divaricata</i> V ^x	0.8 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.2	1.3 $\pm$ 0.06	0.2 $\pm$ 0.02	0.002 $\pm$ 0.001
<i>Bursera glabrifolia</i>	2.7 $\pm$ 0.3	0.8 $\pm$ 0.1	0.4 $\pm$ 0.03	0.4 $\pm$ 0.1	0.004 $\pm$ 0.002
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	1.2 $\pm$ 0.1	1.0 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 0.06	0.1 $\pm$ 0.03	0.005 $\pm$ 0.001
<i>Ipomoea murucoides</i>	3.0 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.2	2.7 $\pm$ 0.1	0.5 $\pm$ 0.1	0.007 $\pm$ 0.002
<i>Quercus glaucoides</i>	1.3 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.3	0.6 $\pm$ 0.02	0.2 $\pm$ 0.03	0.005 $\pm$ 0.002
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2.3 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.03	0.2 $\pm$ 0.03	0.01 $\pm$ 0.01
<i>Acacia cochliacantha</i> H ^y	1.7 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.3	0.7 $\pm$ 0.03	0.3 $\pm$ 0.1	0.004 $\pm$ 0.002
<i>Acacia cochliacantha</i> V ^x	0.6 $\pm$ 0.1	0.8 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.1	0.2 $\pm$ 0.02	0.002 $\pm$ 0.002
<i>Amphipterygium adstringens</i>	1.0 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.03	0.006 $\pm$ 0.003
<i>Leucaena collinsii</i>	4.1 $\pm$ 0.4	1.0 $\pm$ 0.2	0.4 $\pm$ 0.03	0.5 $\pm$ 0.06	0.004 $\pm$ 0.001
RO ^w	0.20-0.82	0.16-0.38	0.50-0.80	0.12-0.18	0.09-0.18

^zLas especies se enlistan en orden de mayor a menor abundancia (de acuerdo a Hernández *et al.*, 2011).

^y H = hojas; ^xV = vainas

^wRO = requerimientos de macrominerales para ovinos (porcentaje de la dieta en materia seca; NRC,1985).

El Cuadro 8 muestra los resultados de contenido de microminerales, DIVMS y PC en las especies arbóreas más abundantes del ejido El Limón, de acuerdo a lo mencionado por Hernández *et al.* (2011).

Cuadro 8. Contenido de microminerales ($\pm$ error estándar), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y proteína cruda (PC) en las arbóreas más abundantes (de acuerdo a Hernández *et al.*, 2011) en El Limón, Tepalcingo, Morelos.

Especie ^z	Zn, ppm	Cu, ppm	Fe, ppm	DIVMS, %	PC, %
<i>Ficus cotinifolia</i>	4.2 $\pm$ 0.1	3.3 $\pm$ 0.2	90.9 $\pm$ 2.1	36.5 $\pm$ 2.1	10.2 $\pm$ 0.3
<i>Lysiloma divaricata</i> H ^y	5.8 $\pm$ 0.8	4.5 $\pm$ 0.3	138.4 $\pm$ 3.5	77.3 $\pm$ 3.2	16.2 $\pm$ 1.1
<i>Lysiloma divaricata</i> V ^x	8.3 $\pm$ 0.2	7.1 $\pm$ 0.3	56.5 $\pm$ 3.3	45.3 $\pm$ 1.4	16.4 $\pm$ 0.5
<i>Bursera glabrifolia</i>	4.8 $\pm$ 0.3	3.7 $\pm$ 0.4	276.2 $\pm$ 7.5	33.1 $\pm$ 1.7	8.3 $\pm$ 0.3
<i>Euphorbia schlechtendalii</i>	12.3 $\pm$ 1.1	4.4 $\pm$ 0.5	107.7 $\pm$ 5.1	77.0 $\pm$ 0.3	12.2 $\pm$ 0.5
<i>Ipomoea murucoides</i>	8.3 $\pm$ 0.2	7.6 $\pm$ 1.3	124.6 $\pm$ 8.1	77.3 $\pm$ 3.2	15.4 $\pm$ 0.2
<i>Quercus glaucoides</i>	8.9 $\pm$ 1.0	6.3 $\pm$ 0.3	210.2 $\pm$ 7.4	47.4 $\pm$ 2.6	15.3 $\pm$ 1.0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	8.9 $\pm$ 1.6	11.5 $\pm$ 0.4	713.6 $\pm$ 3.4	50.3 $\pm$ 2.3	13.6 $\pm$ 0.3
<i>Acacia cochliacantha</i> H ^y	4.5 $\pm$ 0.3	2.7 $\pm$ 0.2	261.4 $\pm$ 9.1	52.1 $\pm$ 1.8	20.3 $\pm$ 0.5
<i>Acacia cochliacantha</i> V ^x	5.8 $\pm$ 0.1	2.4 $\pm$ 0.4	57.2 $\pm$ 9.8	32.5 $\pm$ 0.5	12.3 $\pm$ 0.3
<i>Amphipterygium adstringens</i>	5.2 $\pm$ 0.1	6.6 $\pm$ 0.3	150.0 $\pm$ 5.2	48.0 $\pm$ 0.2	15.8 $\pm$ 0.4
<i>Leucaena collinsii</i>	3.2 $\pm$ 0.4	1.8 $\pm$ 0.2	245.6 $\pm$ 8.5	66.8 $\pm$ 1.3	14.2 $\pm$ 0.6
RO ^w	20-33	7-11	30-50		

^zLas especies se enlistan en orden de mayor a menor abundancia (de acuerdo a Hernández *et al.*, 2011).

^yH = hojas; ^xV = vainas

^wRO = Requerimientos de microminerales para ovinos (ppm de la dieta en materia seca; NRC,1985).

Entre las arbóreas colectadas hay varias que llaman la atención por el valor nutritivo que presenta, entre ellas se puede mencionar a *Lysiloma divaricata* la cual tiene la ventaja de encontrarse entre las tres más abundantes y presenta un buen contenido de PC y DIVMS (Cuadro 8), así como de calcio y magnesio (Cuadro 7), minerales que eran necesarios de suplementar a los ovinos en este estudio.

Otra arbórea que es digna de mención es *Ipomoea murucoides* la cual por su contenido de calcio y magnesio (Cuadro 7), así como de cobre, su alta DIVMS y PC (Cuadro 8) se presenta como una opción viable para incorporarse a sistemas silvopastoriles con animales con las deficiencias aquí mencionadas.

Guazuma ulmifolia y *Acacia cochliacantha* presentaron un importante contenido de calcio y un buen contenido de magnesio, mientras que su contenido de potasio no es tan alto (Cuadro 7), además tienen una DIVMS y contenido de PC (Cuadro 8) importantes por lo que también pueden considerarse como buenas opciones para estos sistemas, así mismo *Leucaena collinsii* se presenta prometedora pues su alto contenido de calcio y magnesio (Cuadro 7) así como su DIVMS pueden ser importantes para corregir algunas deficiencias en el ganado de El Limón (Cuadro 8).

Una de las mayores ventajas de estas arbóreas es su abundancia en el agostadero, lo cual puede facilitar su introducción a sistemas ganaderos intensivos como es el caso de los sistemas silvopastoriles.

3.6 Conclusiones

En los tratamientos con sistema silvopastoril la cantidad total de forraje ofrecido y rechazado y la ganancia diaria de peso de ovinos son similares indistintamente de la densidad de guaje, y mayores que en el agostadero, así mismo, en el tratamiento con mayor densidad de guaje hay mayor cantidad de forraje ofrecido de éste.

El sistema silvopastoril es una oportunidad de mejora del agostadero al superar las limitaciones en cantidad de forraje para los ovinos que presenta el agostadero nativo; sin embargo, el agostadero nativo ofrece forraje de calidad suficiente por lo que no es necesario una sustitución total de un sistema por otro sino más bien una complementación.

La densidad de guaje no afecta el contenido de macro y microminerales en los tratamientos con sistema silvopastoril, pues en ambos es similar.

El valor nutritivo del guaje es similar al del componente arbóreo del agostadero.

Independientemente del aporte forrajero vía un sistema silvopastoril o agostadero nativo, no se cubren totalmente las demandas minerales para un adecuado nivel de producción de los ovinos por lo que la suplementación con minerales como Ca, Mg, Na y Zn debe tenerse como un componente adicional para el mejor aprovechamiento del recurso forrajero.

En El Limón se pueden encontrar distintas arbóreas con un valor nutritivo importante por lo que se les puede considerar con alto potencial forrajero.

3.7 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(3): 221-225.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2): 107-115.
- Amador, S. F. 2009. Producción de ovinos en un sistema silvopastoril de guaje y zacate libertad. Tesis profesional. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 103 p.
- Anguiano J., M., J. Aguirre, y J. M. Palma. 2012. Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(1): 103-107.
- Anguiano J., M., J. Aguirre, y J. M. Palma. 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(1): 149-160.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 14th ed. Arlington, Virginia, USA. pp: 153-156.
- Avendaño, J. C., R. Borel, y G. Cubillos. 1986. Periodo de descanso y asignación de forraje en la estructura y utilización de varias especies de una pradera naturalizada. *Turrialba* 36(2): 137-148.
- Bacab P., H. M., y F. J. Solorio S. 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(3): 271-278.
- Barnes, R. F. 1969. Collaborative research with the two stage *in vitro* rumen fermentation technique. In: *Proceedings of the National Conference of*

Forage Quality Evaluation and Utilization. Nebraska Center for Continuing Education. Lincoln, Nebraska, USA. pp: 2-20.

- Benítez B., Y., A. Bernal H., E. Cortés D., G. Vera C., y F. Carrillo A. 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.
- Cabrera T., E. J., E. E. Sosa R., A. F. Castellanos R., A. O. Gutiérrez B., y J. Ramírez S. 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.
- Carranza M., M. A., L. R. Sánchez V., M. R. Pineda L., y R. Cuevas G. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manantlán, México. Agrociencia 37(2): 203-210.
- Charlton, J. A., and D. G. Armstrong. 1989. The effect of an intravenous infusion of aldosterone upon magnesium metabolism in sheep. Quarterly Journal of Experimental Physiology 74(1): 329-337.
- Coauro, M., B. González, O. Araujo-Febres, y J. Vergara. 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.
- Dorado, O., B. Maldonado, D. Arias, V. Sorani, R. Ramírez, E. Leyva, y D. Valenzuela. 2005. Programa de Conservación y Manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. CONANP – SEMARNAT. México, Distrito Federal. 202 p.
- Echavarría C., F. G., A. Serna P., y R. Bañuelos V. 2007. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido Zacatecano: II Cambios en el suelo. Técnica Pecuaria en México 45(2): 177-194.
- Edmeades, D. C., and M. B. O'Connor. 2003. Sodium requirements for temperate pastures in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research 46(1): 37-47.
- Evans E., V. Jebelian, y W. C. Rycquart. 1983. Efectos del potasio y del magnesio sobre el rendimiento de los gazapos. The Journal of Applied Rabbit Research 6(1): 49-53.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Universidad de Florida. Florida, Estados Unidos. 90 p.

- Forrellat B., M., H. G. du Défaix G., y N. Fernández D. 2000. Metabolismo del hierro. *Revista Cubana de Hematología e Inmunología y Hemoterapia* 16(3): 149-160.
- Gaviria-Urbe, X., J. F. Naranjo-Ramírez, D. M. Bolívar-Vergara, y R. Barahona-Rosales. 2015. Consumo y digestibilidad en novillos cebuínos en un sistema silvopastoril intensivo. *Archivos de Zootecnia* 64(245): 21-27.
- Gardner, A. L. 1967. Estudio sobre los métodos agronómicos para la evaluación de las pasturas. IICA – Zona Sur. Montevideo, Uruguay. 80 p.
- Giraldo V., L. A. 1996. Potencial de la arborea guácimo (*Guazuma ulmifolia*), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*. Medellín, Colombia. pp: 201-215.
- Gómez C., H., J. Nahed T., A. Tewolde, R. Pinto R., y J. López M. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México* 44(2): 219-230.
- González B., G. T., y L. A. López A. 2008. Flora del pastizal tropical de la selva baja caducifolia. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 397 p.
- Haydock, K. P., and N. H. Shaw. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15: 663-670.
- Hernández H., J. E., F. J. Franco G., J. C. Camacho R., O. A. Villareal E., M. Aguilar., y L. Aguilar. 2010. Árboles y arbustos: un forraje consumido por los pequeños rumiantes de la mixteca poblana, México. *In: Memorias de la V Reunión Nacional Sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Aguirre O., J., S. Martínez G., y A. A. Gómez D. (comps.). Nuevo Vallarta, Nayarit, México del 17 al 20 de mayo. Universidad Autónoma de Nayarit. pp: 78-83.
- Hernández M., J., E. López J., y A. Morgado J. 1988. Efecto de la asignación de forraje sobre la utilización y estructura de una pradera asociada gramínea (*Dactylis glomerata* var. Potomac) y leguminosa (*Medicago sativa* var. Valenciana). Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 57 p.
- Hernández R., R., y P. Ponce C. 2004. Efecto del silvopastoreo como sistema sostenible de explotación bovina sobre la composición de la leche. *Livestock Research for Rural Development* 16(6): 2-4.
- Hernández S., D. A., E. Cortés D., J. L. Zaragoza R., P. A. Martínez H., G. T. González B., B. Rodríguez C., y D. A. Hernández S. 2011. Hábitat del venado cola blanca en la Sierra de Huautla, Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* 27(1): 47-66.

- Hodgson, J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science* 34: 11-18.
- López C., M., G. Jiménez F., B. de Jong, S. Ochoa G., y J. Nahed T. 2001. El sistema ganadero en la región norte-tzotzil de Chiapas, México. *Veterinaria México* 32(2): 93-102.
- Machecha, L., C. V. Durán, M. Rosales, C. H. Molina, y E. Molina. 2000. Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvopastoril. *Pasturas Tropicales* 22(1): 26-30.
- Madera S., N. B., H. M. Bacab P., y B. Ortiz de la R. 2013. Ganancia diaria de peso en ovinos por inclusión de una planta leguminosa (*Leucaena leucocephala*) en dietas basadas en pasto clon Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*). *Bioagrociencias* 6(1): 26-31.
- McDowell, L. R., J. Velásquez-Pereira., y G. Valle. 1997. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. 3rd ed. Universidad de Florida. Florida, Estados Unidos. 84 p.
- Medina, R., y A. Sánchez. 2006. Efecto de la suplementación con follaje de *Leucaena leucocephala* sobre la ganancia de peso de ovinos desparasitados y no desparasitados contra estrongílidos digestivos. *Zootecnia Tropical* 24(1): 55-68.
- Milera, M., E. Pereira, y L. Lamela. 1988. Manejo y explotación de los pastos para la producción de leche. *In: Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Asociación Latinoamericana de Producción Animal* (ed.). 18 al 25 de abril La Habana, Cuba. pp: 101-114.
- Miliani, T., F. Espinoza, J. L. Gil, A. Baldizán, e Y. Díaz. 2008. Oferta de forraje en un sistema silvopastoril en la región noreste del estado Guarico, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 26(3): 297-299.
- Minatel, L., M. A. Buffarini, E. F. Scarlata, M. E. Dallorso, y J. C. Carfagnini. 2004. Niveles de cobre, hierro, zinc y selenio de bovinos del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. *Revista Argentina de Producción Animal* 24(1): 225-235.
- Minson, D. J. 1971. The nutritive value of tropical pastures. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 37(1): 255-263.
- Naranjo, J. F., C. A. Cuartas, E. Murgueitio, J. Chará, y R. Barahona. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. *Livestock Research for Rural Development* 24(8): 2-16.

- National Research Council (NRC). 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy of Sciences. Washington D.C., USA. 577 p.
- National Research Council (NRC). 1985. Nutrient Requirements of Sheep. 6th ed. National Academy Press. Washington D.C., USA. 100 p.
- Pacheco A., J. A., J. L. Rosciano G., W. A. Villegas C., V. M. Alcocer V., y A. F. Castellanos R. 2003. Cuantificación del contenido de cobre y otros minerales en pollinazas producidas en el estado de Yucatán. *Técnica Pecuaria en México* 41(2): 197-207.
- Palma, J. M., L. Díaz., y J. Hummel. 2003. Pasturing behaviour of pre-weaned calves on a protein bank of *Gliricidia sepium*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 3: 131-134.
- Palma, J. M., C. Delgado, A. Rodríguez, y A. Aguirre M. 1995. Composición química y digestibilidad de tres leguminosas arbóreas. *In: Memorias del 1er Simposium Estatal de Ciencia y Tecnología*. Universidad de Colima. Colima, México. pp: 6-8.
- Palma, J. M. 2005. Los árboles en la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 9(1): 1-9.
- Palma, J. M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 14(3): 95-104.
- Pérez, G., D. Vittori, N. Pregi, G. Garbossa, y A. Nesse. 2005. Homeostasis del hierro. Mecanismos de absorción, captación celular y regulación. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 39(3): 301-314.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data. Sherpa International. British Columbia, Canada. 153 p.
- Ramos, J. J., A. Fernández, M. C. Marca, M. C. Sanz, M. T. Verde, T. Sáez, y A. Blanco. 1994. Niveles plasmáticos de zinc en ganado ovino de la provincia de Zaragoza. *Medicina Veterinaria* 11(11): 610-614.
- Reyna G., L. N. 2013. Cambios estacionales en propiedades de suelos bajo diferentes usos. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 37 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. 30 p.

- Rosa, D. E., L. E. Fazzio, S. J. Picco, C. Furnus, y G. A. Mattioli. 2008. Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. *Analecta Veterinaria* 28(2): 34-44.
- Saavedra, C. E., N. M. Rodríguez, y N. M de Sousa Costa. 1987. Producción de forraje, valor nutritivo y consumo de *Leucaena leucocephala*. *Pasturas Tropicales* 9(2): 6-10.
- Sánchez C., S, G. Crespo L., M. Hernández C., e Y. García O. 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.
- SAS 9.3. 2012. © SAS Institute Inc. SAS Campus Drive, Cary, North Carolina, USA.
- Sepúlveda, P., F. Witter, H. Böhmwald, R. G. Pulido, y M. Noro. 2011. pH ruminal y balance ácido metabólico de Mg en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con óxido de magnesio. *Archivos de Medicina Veterinaria* 43(1): 241-250.
- Solano V., V. J., y E. Coronado G. 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. Chapingo, México. 132 p.
- Stuth, J. K., D. R. Kirby, and R. E. Chmielewsky. 1981. Effect of herbage allowance on the efficiency of defoliation by the grazing animal. *Grass and forage science* 36(1): 9-15.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th ed. CABI. Oxfordshire, United Kingdom. 579 p.
- Tergas, I. E. 1982. Efecto del manejo del pastoreo en la utilización de la pradera tropical. *In: Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodologías de evaluación. Memorias de la Reunión de Trabajo*. Paladines, O., y O. Lascano (eds.). Cali, Colombia 22 al 24 de septiembre. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. pp: 65-80.
- Tilley J., M. A., and A. Terry R. 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. K. 2013. Producción de ovinos en un sistema silvopastoril en la Sierra de Huautla. Tesis profesional. Departamento de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 71 p.

- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. Slough, United Kingdom. 180 p.
- Valle, J., L., J. M. Palma., y L. Sanginés. 2004. Biomasa y composición nutricional de la asociación *Cenchrus ciliaris* - *Gliricidia sepium* al establecimiento. Avances en Investigación Agropecuaria 8(2): 79-85.
- Vizcaíno, A., J. M. Palma., y T.E. Ruiz. 2001. Asociación de *Gliricidia sepium* con gramíneas y leguminosas en el trópico seco de México. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 35(2): 175-181.