



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**  
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRITIVA DEL FORRAJE E  
INTERACCIONES AÉREAS ÁRBOL-GRAMÍNEA EN SISTEMAS  
SILVOPASTORILES INTENSIVOS**

**MANUEL HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE


**DOCTOR EN CIENCIAS**

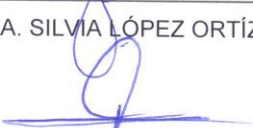
TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ


2018

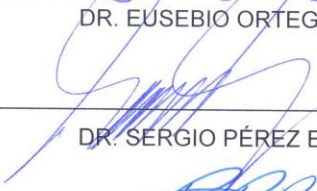
La presente tesis, titulada: **Rendimiento, calidad nutritiva del forraje e interacciones aéreas árbol-gramínea en sistemas silvopastoriles intensivos**, realizada por el alumno: **Manuel Hernández Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


DOCTOR EN CIENCIAS  
AGROECOSISTEMAS TROPICALES  
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:   
DRA. SILVIA LÓPEZ ORTÍZ

ASESOR:   
DR. JESÚS JARILLO RODRÍGUEZ

ASESOR:   
DR. EUSEBIO ORTEGA JIMÉNEZ

ASESOR:   
DR. SÉRGIO PÉREZ ELIZALDE

ASESOR:   
DR. PABLO DÍAZ RIVERA

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, 30 de agosto de 2018

# RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRITIVA DEL FORRAJE E INTERACCIONES ÁREAS ÁRBOL-GRAMÍNEA EN SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS

Manuel Hernández Hernández, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

Se investigó el efecto de la densidad de árboles y el intervalo de corte en los rendimientos y composición química del forraje en sistemas silvopastoriles. En Exp. 1 se evaluaron los intervalos de corte: 20, 30, 40 y 50 d en la asociación *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, en época de lluvias y seca. En Exp. 2 se evaluó la interacción árbol-gramínea en densidades (5000, 15000, 25000, 35000 plantas ha<sup>-1</sup>) de *L. leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha* cv. Pangola. La asociación en el Exp 1 alcanzó su mayor producción a 50 d en ambas épocas (5300 en lluvias y 1620 kg MS ha<sup>-1</sup>; seca); en lluvias, la proteína cruda (PC) de árboles fue 22% hasta 50 d, y en seca fue similar entre intervalos (28%) y la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) se mantuvo alta hasta 40 d (51%). En la gramínea, la PC (10%) y DIVMS (58%) se mantuvieron altas hasta 40 d, en ambas épocas. En Exp 2, área foliar de los árboles (0.96 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) y cobertura arbórea (67.9%) aumentaron con 35000 árboles, la radiación fotosintéticamente activa (961.3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y cobertura de gramínea (52.3%) fueron mayores con 5000 árboles. La biomasa total se mantuvo similar entre densidades (2561 kg MS ha<sup>-1</sup>), aunque la biomasa de gramínea también se mantiene similar entre densidades, aportó la mayor proporción de forraje a la biomasa total (60%). Se produjo más biomasa de árbol (1338 kg MS ha<sup>-1</sup>) con 35000 árboles. La asociación alcanzó mayor producción con mejor calidad nutritiva entre 40-50 d en ambas épocas y el aumento de densidad hasta 35000 árboles no incrementa significativamente el rendimiento, ni el aporte de biomasa de la gramínea.

**Palabras clave:** Forraje arbóreo, interacciones biológicas, biomasa.

# **YIELD, FORAGE NUTRITIVE QUALITY AND ABOVE-GROUND TREE-GRASS INTERACTIONS IN INTENSIVE SILVOPASTORAL SYSTEMS**

Manuel Hernández Hernández, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2018

The effect of pruning interval and tree density on yield and chemical composition of forage were investigated in silvopastoral systems. Four pruning intervals (20, 30, 40 and 50 days) were evaluated (Exp 1) in an association *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham and *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania (rainy and dry seasons). Tree-grass interactions were evaluated (Exp 2) at four densities of *L. leucocephala* (5000, 15000, 25000, 35000 trees ha<sup>-1</sup>) associated with *Digitaria eriantha* cv. Pangola. Forage yield in Exp 1 was greater 50 d interval during both seasons (5300 and 1620 kg DM ha<sup>-1</sup>, rainy and dry seasons, respectively). During the rainy season, the crude protein (PC) of trees was 22% at the 50 d interval, while during the dry season it was similar among intervals (28%). The *in vitro* digestibility of dry matter (DIVMS) remained high up to 40 d (51%). Grass PC (10%) and DIVMS (58%) remained high up to the 40 d interval during both seasons. In Exp 2, tree leaf area index (0.96 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>) and tree cover (67.9%) increased at 35000 trees ha<sup>-1</sup>, and the photosynthetically active radiation (RAFA, 961.3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) and grass cover (52.3%) were higher with 5000 trees ha<sup>-1</sup>. The total biomass yield remained similar among densities (2561 kg DM ha<sup>-1</sup>), grass contributed the greatest proportion of forage to the total biomass (60%). Trees produced more biomass (1338 kg DM ha<sup>-1</sup>) at 35000 trees ha<sup>-1</sup>. The association reached its highest yield and best forage nutritional quality during the pruning interval of 40 to 50 d, regardless of season. The increase in density to 35000 trees ha<sup>-1</sup> did not significantly increase grass yield or biomass contribution.

**Key words:** Above-ground forage, biological interactions, biomass.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados. Al Campus Veracruz, por permitirme realizar mis estudios y contribuir en mi formación académica y profesional.

Agradezco especialmente a mi consejo particular: Dra. Silvia López Ortíz, Dr. Jesús Jarillo Rodríguez, Dr. Eusebio Ortega Jiménez, Dr. Sergio Pérez Elizalde y Dr. Pablo Díaz Rivera por dejarme un aprendizaje, por sus consejos y paciencia durante mi estancia en el Campus Veracruz.

Al Dr. Sergio Pérez Elizalde y Dr. Pablo Díaz Rivera por su apoyo y asesoría en los análisis estadísticos. Así como también al Dr. Eusebio Ortega Jiménez por compartirme sus conocimientos.

Al Dr. Jesús Jarillo Rodríguez por su apoyo y consejos para la realización del trabajo de tesis y su más sincera amistad.

A la Dra. Silvia López Ortiz, por su amistad, por el apoyo brindado durante mi formación y transferirme sus conocimientos.

Al personal de borreguera, y laguna de Campuz Veracruz, por su apoyo y compañía cada día del periodo experimental, pero sobre todo gracias por brindarme su amistad.

A Vianeth Méndez Cortés por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, por apoyarme y aconsejarme siempre.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios, a mi familia quienes constantemente me han manifestado su ayuda y consejos, y a cada una de las personas que, a través de su amistad y credulidad, me impulsan día a día.

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
1. Situación problemática y planteamiento del problema.....	4
2. Objetivos.....	8
3. Hipótesis.....	9
4. Marco teórico conceptual.....	10
4.1. Teoría general de sistemas.....	11
4.2. Enfoque de agroecosistema.....	13
4.3. Sistemas agroforestales.....	16
4.4. Sistemas silvopastoriles.....	18
4.5. Sistemas silvopastoriles intensivos.....	19
4.6. Interacciones en sistemas agroforestales.....	21
4.7. Interacción árbol-gramíneas en sistema silvopastoriles.....	22
5. Revisión de literatura.....	25
5.1. Relación entre intervalo de corte y calidad nutritiva del forraje.....	25
5.2. Densidades de siembra de árboles forrajeros.....	28
5.3. Características morfológicas y fisiológicas de <i>Megathyrsus maximus</i> <i>Digitaria eriantha</i> y <i>Leucaena leucocephala</i> .....	32
6. Literatura citada.....	35

## CAPÍTULO I. RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRITIVA DEL FORRAJE

### EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO CON

### *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham Y *megathyrus*

### *maximus* cv. Tanzania ..... 51

Resumen..... 51

Abstract..... 52

1.1. Introducción..... 53

1.2. Materiales y métodos..... 55

1.2.1. Localización y características del sitio experimental..... 55

1.2.2. Sitio y parcelas experimentales..... 56

1.2.3. Tratamientos y diseño experimental..... 57

1.2.4. Procedimiento experimental..... 57

1.2.5. Variables..... 57

1.2.6. Análisis estadísticos..... 58

1.3. Resultados..... 58

1.3.1. Biomasa forrajera..... 58

1.3.2. Calidad químico-nutricional de la biomasa..... 60

1.4. Discusión..... 63

1.5. Conclusión e implicaciones..... 67

1.6. Agradecimientos..... 67

1.7. Literatura citada..... 68



<b>CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DE FORRAJE E INTERACCIONES</b>	
<b>    ÁREAS EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE</b>	
<b>    ÁRBOLES DE <i>Leucaena leucocephala</i> ASOCIADA A LA</b>	
<b>    GRAMÍNEA <i>Digitaria eriantha</i>.....</b>	<b>74</b>
Resumen.....	74
Abstract.....	75
2.1. Introducción.....	76
2.2. Materiales y métodos.....	78
2.2.1. Localización y características del sitio experimental.....	78
2.2.2. Descripción del sitio experimental y establecimiento del sistema silvopastoril.....	79
2.2.3. Tratamiento y diseño experimental.....	80
2.2.4. Procedimiento experimental.....	80
2.2.5. Variables y su medición.....	81
2.2.6. Análisis estadísticos.....	83
2.3. Resultados y discusión.....	83
2.4. Conclusiones.....	91
2.5. Literatura citada.....	93
<b>CAPÍTULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>    GENERALES.....</b>	<b>99</b>
3.1. Conclusiones.....	99
3.2. Recomendaciones.....	100

## LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Biomasa forrajera de gramínea, árbol y biomasa total (árbol + gramínea; kg MS ha) en un sistema silvopastoril con <i>Megathyrus maximus cv.</i> Tanzania y <i>Leucaena leucocephala cv.</i> Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año.....	59
Cuadro 2.	Proteína cruda (%) de <i>Leucaena leucocephala cv.</i> Cunningham en un sistema silvopastoril con <i>Megathyrus maximus cv.</i> Tanzania, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año.....	60
Cuadro 3.	Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca de <i>Leucaena leucocephala cv.</i> Cunningham en un sistema silvopastoril con <i>Megathyrus maximus cv.</i> Tanzania, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso.....	61
Cuadro 4.	Proteína cruda y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca de <i>Megathyrus maximus cv.</i> Tanzania en un sistema silvopastoril con <i>Leucaena leucocephala cv.</i> Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso .....	62
Cuadro 5.	Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de <i>Megathyrus maximus cv.</i> Tanzania en un sistema silvopastoril con <i>Leucaena leucocephala cv.</i> Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año.....	63

Cuadro 6.	Índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) de los árboles, radiación fotosintéticamente activa bajo el dosel ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), y cobertura arbórea y herbácea (%) en cuatro densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> .....	87
Cuadro 7.	Biomasa forrajera de gramínea, árbol y biomasa total (árbol + gramínea) en cuatro densidades de <i>L. leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> . Los valores son promedios de cuatro cosechas durante el ciclo 2016-2017.....	90

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitación (mm mensuales) y temperatura (media mensual) de la región donde se realizó el experimento, durante el periodo 2014-2015.....	56

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En las regiones tropicales del mundo, la alimentación del ganado se basa en la utilización de gramíneas (Améndola *et al.*, 2006). Sin embargo, la producción de forraje en estas regiones generalmente es estacional, durante la temporada de lluvias, las gramíneas crecen abundantemente con excedentes de producción que no se aprovechan eficientemente, por lo contrario, durante la temporada de seca (ausencia de lluvias y alta luminosidad) la producción disminuye y provoca la variabilidad de la producción durante el año (Sosa *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2010). Esta variación también afecta negativamente la calidad nutritiva de las gramíneas, que también experimentan fluctuaciones durante el año (Ku-Vera *et al.*, 2014); durante la época de seca, el contenido de proteína cruda (PC) en estas gramíneas es menor a 7 %, y no satisface el, mínimo requerido para promover el crecimiento microbiano en el rumen, provocando disminución del consumo de forraje (Van Soest, 1994; Pirela, 2005).

Una manera de mejorar la calidad del forraje de praderas con gramíneas y reducir el balance negativo de la disponibilidad de forraje de baja calidad en la época de seca, es implementar sistemas silvopastoriles con gramíneas y árboles forrajeros. La disponibilidad de forraje en estos sistemas se incrementa en la época de lluvias la cual se mantiene en buena medida en la época seca debido que los arboles tienen un sistema radicular más profundo, pueden extraer agua y nutrientes de horizontes más profundos del suelo, que hace que sus hojas se mantenga verdes en la época seca; y que estén disponible para el ganado en esta época, cuando el crecimiento de las gramíneas es limitado (Carranza-Montaña *et al.*, 2002; Toral y Iglesias, 2007; Pinto *et al.*, 2014). Además, los sistemas silvopastoriles tienen la capacidad de producir entre 15 a 20 t de MS ha<sup>-1</sup> y con un contenido de PC de aproximadamente 18 % de forma regular a lo largo del año (López-Vigoa *et al.*, 2017; Rivera-Herrera *et al.*, 2017).

La cantidad de forraje que los árboles aportan en los sistemas silvopastoriles depende de su densidad, densidades crecientes implican cambios en el espaciamiento y el arreglo de los mismos, y estos cambios en las densidades de árboles tienen un efecto de competencia intra e interespecífica debido a que una de las especies reduce la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes o luz) para la otra especie (Yoshida y Kamitani, 2002). Esta competencia conduce a una reducción en la sobrevivencia, crecimiento y/o reproducción tanto del árbol como de la gramínea, y esta interacción puede ocurrir a nivel aéreo o a nivel radical (Silva-Pando *et al.*, 2002; Guenni *et al.*, 2008). La competencia aérea aumenta cuando las plantas se encuentran asociadas, y se da aun entre hojas de la misma planta (Ludwig *et al.*, 2004). En el caso de la competencia entre árboles, la cantidad de luz interceptada por las copas está condicionada por la especie arbórea y la propia arquitectura de la copa (Benavides *et al.*, 2009), y tiene un efecto sobre el crecimiento, morfología y fisiología de las gramíneas que crecen bajo el dosel e influye en la producción de forraje (Ong *et al.*, 1991; Aguilar-Luna *et al.*, 2011).

La asociación *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham y la gramínea *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania son ampliamente utilizados para la alimentación de rumiantes en regiones tropicales y subtropicales, por adaptarse en suelos fértiles, francos, neutros y bien drenados, con pH de 5 a 8, y porque tienen alto rendimiento y una calidad nutritiva aceptable (Solorio y Solorio, 2008; Murgueitio *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2015). En una revisión, Rivera-Herrera *et al.* (2017) señalaron que la asociación *L. leucocephala* y *M. maximus* incrementa el rendimiento de forraje de 15 a 30 t MS ha<sup>1</sup> año<sup>1</sup>, y aumenta el contenido de proteína de la dieta (de 10 % a, por lo menos, 14 %), lo cual hace que la producción total y la calidad nutritiva sea más estable durante todo el año que en el monocultivo a base de gramíneas (Sánchez *et al.*, 2007a). Por otra parte, *Digitaria eriantha* Steud cv. Pangola es una gramínea forrajera que oferta follaje de alta calidad. Manríquez-Mendoza

*et al.* (2011) sostienen que esta gramínea asociado con *Guazuma ulmifolia* es una opción viable para producir forraje durante todo el año (21 t MS ha<sup>-1</sup>) y con un contenido de proteína cruda de aproximadamente 19 % de forma regular a lo largo del año. Sin embargo, no se conoce la productividad de esta gramínea asociado con *L. leucocephala* (Enríquez *et al.*, 1999; Murgueitio *et al.*, 2016).

El aporte que *L. leucocephala* puede hacer a la cantidad de forraje que se produce y a la calidad de la dieta del ganado, ha motivado el interés de incrementar la densidad de árboles en los sistemas silvopastoriles para aumentar la cantidad de forraje de árbol y así también mejorar la cantidad de nutrientes en la dieta. En México se han recomendado densidades entre 34500 a 53000 árboles ha<sup>-1</sup> (17 a 20 cm entre plantas y 1.60 m entre hileras) (Solorio y Solorio, 2008). En cambio, en Colombia se han utilizado densidades moderadas de 10000 árboles ha<sup>-1</sup> (Montagnini *et al.*, 2015), mientras que en Australia se manejan densidades menores (entre 1000 y 8000 plantas ha<sup>-1</sup>) (Radrizzani *et al.*, 2010). Estas referencias denotan que no hay consistencia en cuanto a las densidades de árboles más apropiadas para los sistemas con *L. leucocephala* y gramíneas. Con el mismo objetivo de evaluar la densidad de plantación en el presente experimento Pachas *et al.* (2017) estudiaron el efecto de la densidad de plantación (100 a 80000 árboles ha<sup>-1</sup>) de *L. leucocephala* (podado a 1 m de altura) asociado con Rhodes (*Chloris gayana*), encontraron que el máximo rendimiento del árbol (3.28 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) fue en la alta densidad de plantación (80000 árboles ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, el rendimiento de Rhodes disminuyó con el incremento de la densidad. El rendimiento de la gramínea declinó (1420 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) a densidades de 8618 árboles ha<sup>-1</sup>. A mayores densidades la presencia de gramínea fue nula debido al alto grado de competencia por luz ejercido por los árboles.

Las gramíneas y los árboles tienen diferentes hábitos de crecimiento, que determinan diferentes capacidades de rebrote y producción de forraje a través del tiempo y esta diferencia debe considerarse en los planes de manejo (Rodríguez y Roncallo 2013). El manejo de este tipo de asociación deberá considerar que los periodos de descanso podrían ser diferentes con respecto a gramíneas en monocultivo, debido a que los árboles tardan más tiempo en recuperarse (Rojas *et al.*, 2005). La importancia de una asociación gramínea-árbol, radica en crear una interrelación armónica y equilibrada, entre dos o más especies, donde se eviten los efectos de competencia que provoquen el dominio o desplazamiento de una de las especies, lo que asegura mantenerlas en el sistema, en tiempo y espacio (Valle *et al.*, 2004).

No obstante, puede asegurarse que bajo un manejo adecuado (una densidad óptima de árboles y definiendo la frecuencia adecuada de corte) las asociaciones antes mencionadas consiguen el propósito de dar un uso sostenible a la tierra (Geraldine, 2003). Las interacciones dadas benefician la producción y calidad nutritiva de los forrajes, por consiguiente la producción pecuaria puede ser sostenible durante el año (Castro *et al.*, 2012). Motivo por el cual el presente estudio se enfoca el análisis integral sobre el manejo agronómico de sistemas silvopastoriles intensivos.

## **1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En las zonas de clima cálido subhúmedo del centro de Veracruz con precipitación promedio de 850-1200 mm anuales, los agricultores se dedican principalmente a la ganadería de doble propósito (carne y leche) (Del Ángel *et al.*, 2006). Este sistema de producción de bovinos de doble propósito que practican los productores tiene una problemática compleja de la que predomina la disponibilidad de forraje durante la época seca a causa de, a la marcada estacionalidad de la precipitación pluvial (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011). La mayor precipitación pluvial sucede



dentro de, los meses de Junio y Octubre mientras tanto el resto del año la escasez de lluvias afecta la disponibilidad de forraje y la calidad nutricional, en virtud de la rápida maduración de las gramíneas (Del Ángel *et al.*, 2006). Estos cambios en la disponibilidad de forraje durante el año, además de los cambios de calidad nutritiva del mismo, afectan la productividad de los rumiantes en pastoreo, y se reflejan en los parámetros productivos y reproductivos del ganado (Bolaños-Aguilar *et al.*, 2010; Roca-Fernández *et al.*, 2016; Arce *et al.*, 2017) asimismo afectan la economía del productor, debido a que se ven en la necesidad de conseguir insumos externos (compra de alimento concentrado, pacas de forrajes y renta de pastizales, principalmente) para mantener a su ganado, con el respectivo aumento de los costos de producción (Cuartas *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2005).

La asociación de gramíneas y árboles forrajeros en sistemas silvopastoriles es una posibilidad para mejorar la disponibilidad de forraje a través del año que puede extenderse durante mayor tiempo aún en condiciones de precipitación estacional y al mismo tiempo aumentar la calidad nutritiva del forraje (follaje de árboles y gramíneas) y es mejor que en monocultivos (Hernández *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2007a).

En los últimos años se ha incrementado el interés por parte de los ganaderos del estado de Veracruz por utilizar *L. leucocephala* para la alimentación de rumiantes. Este árbol cultivado en hileras se ha recomendado asociado a *M. maximus* y otras gramíneas tropicales en sistemas silvopastoriles debido a su alta producción de forraje y mejora la calidad de la dieta de los animales en pastoreo. Pangola (*D. eriantha*) es otra especie que puede asociarse con *L. leucocephala* que se utiliza actualmente o han sido utilizados en ciertas condiciones particulares de suelo, y clima, pero no se conoce la productividad de esta asociación.

No obstante, son varias las ventajas y beneficios que los sistemas silvopastoriles pueden brindar, sin embargo, es importante evaluar las posibilidades de combinación de especies de árboles y gramíneas, para asegurar que se promueva un rendimiento y calidad del forraje disponible óptimos.

Las gramíneas y árboles tienen diferentes hábitos de crecimiento, que determinan diferentes capacidades de rebrote y producción de forraje a través del tiempo y esta diferencia debe considerarse en los planes de manejo (Enríquez *et al.*, 2003). Cuando se asocian, un primer aspecto que define la producción y calidad nutritiva del forraje es la frecuencia de descanso del sistema (Maya *et al.*, 2005). El manejo de este tipo de asociación deberá considerar que el periodo de descanso será más largo en comparación con los sistemas de monocultivo a base de gramíneas, debido a que las plantas de *Leucaena* tardan más tiempo en recuperarse (Valle *et al.*, 2004; Merchant-Fuentes *et al.*, 2016).

Por otro lado, la densidad de plantación de árboles forrajeros en los sistemas silvopastoriles es otro factor agronómico que influye en el desarrollo de las especies; se refiere al número de plantas establecidas en un área determinada y tiene un efecto en todas las etapas del desarrollo de las plantas debido a la competencia por agua, luz, nutrientes y espacio físico. La densidad de plantación puede modificar el medio ambiente, causando efectos en las plantas tales como: aumento o disminución del crecimiento y desarrollo tanto del árbol como de la gramínea, así como de la producción de fotosintatos, debido a la competencia entre plantas (Geraldine, 2003; Pachas *et al.*, 2017).

Aun cuando la información existente sobre la productividad de *L. leucocephala* asociado con diferentes gramíneas tropicales es abundante, no está sistematizada y aparentemente existe vacío de conocimientos acerca de su manejo agronómico; existe poca información en cuanto a las

densidades de árboles más apropiadas para los sistemas con *L. leucocephala* y gramíneas. Así también existe información sobre cuáles gramíneas podrían asociarse a *L. leucocephala* pero es necesario generar recomendaciones para los productores del centro y sur de Veracruz acerca del manejo de intervalos de descanso de gramínea-árbol. Los productores de Veracruz, debido a una escasez de investigación más específica para esta región, han tenido que adoptar como si hubiesen sido señaladas para un ambiente específico, las recomendaciones que han derivado de investigaciones realizadas en Colombia, Australia, y Cuba.

En este sentido se plantea que el buen manejo de estos factores (densidad de árboles forrajeros y frecuencia de corte) podría reducir los efectos negativos causados por la competencia entre especies, puede crear un ambiente ideal para el adecuado crecimiento en las gramíneas y árboles, asociados, lo que reflejaría que este sistema podría mantener su producción y calidad nutritiva del forraje durante todo el año y en consecuencia ser una opción para la zona donde realizó el trabajo debido a que la producción de forraje es estacional.

Por tanto, las preguntas de investigación a responder son las siguientes:

¿Cuál es el intervalo de corte que permita obtener el mayor rendimiento de forraje con la mejor calidad nutritiva de un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* y *M. maximus*?

¿Qué densidad de árboles de *L. leucocephala* permite el mejor índice de área foliar de los árboles, cobertura arbórea, radiación fotosintéticamente activa y la mayor cobertura de gramínea y con el mayor rendimiento de forraje en un sistema silvopastoril de *L. leucocephala* asociada a *D. eriantha*?

## 2. OBJETIVOS

Determinar el intervalo de descanso que permita obtener la mayor producción de forraje con la mejor calidad nutritiva de un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* y *M. maximus*, en dos épocas del año, en condiciones de clima cálido y precipitación estacional.

Evaluar la interacción aérea entre árboles y gramínea en sistemas silvopastoriles con distintas densidades de *L. leucocephala* cv. Cunningham asociada a *D. eriantha* cv. Pangola.

### 3. HIPÓTESIS

A mayor intervalo de corte se obtiene el mayor rendimiento y se reduce la calidad nutricional del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *L. leucocephala* y *M. maximus*, en dos épocas del año, en condiciones de clima cálido y precipitación estacional.

A densidades altas de *L. leucocephala* asociada a *D. eriantha* habrá mayor índice de área foliar de los árboles y cobertura arbórea ocasionando menor radiación fotosintéticamente activa bajo el dosel, que influye en el crecimiento y desarrollo de la gramínea; que a su vez afecta negativamente el rendimiento total.

## 4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 4.1. Teoría general de sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS) aborda el análisis de las totalidades con una visión integral y total a los fenómenos que suceden en la realidad. Su principal enfoque es generar conocimiento para poder explicar la realidad o de una parte de ella (sistema) en relación al medio que la rodea y, sobre la base de esos conocimientos, poder predecir el comportamiento de esa realidad, dadas a ciertas variaciones del medio en el cual se encuentra inserta (Johansen, 1993). Bertalanffy bajo una idea totalizadora de la biología conceptualizó a los seres vivos como un sistema abierto y en constante intercambio con otros sistemas circundantes a través de complejas interacciones (Bertalanffy, 1976). Para Bertalanffy la TGS, además de la interdependencia, plantea el concepto de auto-organización en el contexto de los sistemas vivientes, esta teoría conceptualiza a los sistemas como entes que pueden existir realmente como un agregado natural o que pueden ser un agregado inventado por el hombre (Bertalanffy, 1986). Su planteamiento de la TGS aunque involucra ya la posibilidad de abordar fenómenos sociales, no es suficiente para abordar la complejidad de la realidad agrícola del área de estudio en donde confluyen procesos no solo de carácter económico-productivo, sino también, aquellos de carácter político, social, científico-tecnológico, religioso, etc. (Casanova *et al.*, 2016). Es necesario recalcar que la aportación de la teoría general de sistemas permite abordar algunos aspectos problemáticos que caracterizan a la realidad agrícola del área de estudio, por ejemplo: aspectos productivos, el comportamiento del mercado agrícola, etc. (Lilienfeld, 1984).

Von Bertalanffy propuso estudiar a los sistemas (fenómenos) desde su estructura es decir, las funciones, propiedades, y características y no así en los elementos que las componen puesto que

esta perspectiva permite relacionarlos y para ser un sistema es básica la interrelación, interconexión e interdependencia de los elementos entre sí (Bertalanffy, 1976; Conway, 1985). En un principio, la TGS sólo estudió a los fenómenos de manera independiente a su sustrato, es decir en términos de sus estructuras, no tanto en términos de componentes esto implica que si queremos estudiar la vida, no lo vamos hacer de una perspectiva biológica o química en términos de sus componentes, si no en términos de sus propiedades, sus funciones, su organización y su estructura, lo cual nos permite tratar de identificar propiedades similares en fenómenos distintos, tales como ecosistemas, empresas ciudades, etc. (Bertalanffy, 1986). En la actualidad, el estudio de los sistemas se ha popularizado bajo el nombre de sistemas complejos. Al elaborarse el concepto de teoría general de sistemas en los últimos 30 años, se ha propagado el estudio de sistemas complejos, y existen muchas definiciones de la complejidad, pero para tener una idea general vamos a revisar su etimología “Complejo” viene de latín plexus quiere decir entretejido, esto hace saber cómo los seres vivos son interdependientes, puede decirse que algo ese entretejido es difícil de separar es por eso que se debe considerar las interacciones entre distintos seres, no se puede estudiar de manera aislada (Morin, 2004; García, 2008), ¿Pero cuando un fenómeno es difícil de separar? Cuando las interacciones entre sus componentes son relevantes, puede decirse que las interacciones son relevantes si determinan aunque sea parcialmente el futuro de los componentes.

Más aun las interacciones de los sistemas complejos generan información nueva que no está presente en las condiciones iniciales esto dificultad que tanto podemos predecir un fenómeno. Estos límites a la previsibilidad de un sistema complejo son inherentes ya que las interacciones generan información nueva que no podemos acceder hasta que las interacciones mismas se den (García, 2008). En otras palabras no podemos predecir de manera *a priori* (latín: previo) cual va ser el futuro de un sistema complejo, por ejemplo se puede conocer el primer componente pero

cuando el segundo componente se une, podría conocerse perfectamente el primer componente, digamos que conocemos las leyes que lo rigen sin embargo, no podemos explicar porque se observa que el primer componente empieza cambiar su comportamiento (Johansen, 1993). Es obvio que el cambio del primer componente se debe al segundo componente, pero aunque conozcamos perfectamente tanto el primero y segundo componente no podemos predecir cómo van interactuar, hasta que lo hagan. Una vez conociendo perfectamente el comportamiento tanto el primero y el segundo y la manera que interactúan entre si. Y ahora se agrega un tercer componente al sistema y notamos que otra vez cambia su comportamiento, veremos que la llegada del tercer componente genera interacciones nuevas con los componentes uno y dos sino que también, altera las interacciones del componente uno y dos que ya tenía, en otras palabras las acciones de uno ya no van a tener el mismo efecto que el otro (Chiavenato, 1997). Aunque se conozca perfectamente el funcionamiento de un fenómeno, no podemos predecir completamente el futuro debido a las interacciones relevantes. El estudio de los sistemas más complejos hace más que simplemente indicar cuales son los límites de la ciencia tradicional lo que está haciendo que nos permite estudiar fenómenos en todas las disciplinas a los cuales antes no se tenía acceso (Casanova-Pérez *et al.*, 2015).

La complejidad de los sistemas agrícolas actuales, se explica porque el productor no maneja de forma individual a las plantas o a los animales, sino al contrario, la unidad de producción se maneja simultáneamente a los seres vivos, con toda su complejidad biológica, ambiental, social, cultural, económica y política (Nahed *et al.*, 2014). Es decir que el comportamiento productivo de los sistemas agrícolas puede concebirse de interacciones entendidas como procesos físico-biológicas (el clima, el suelo, la planta, el animal y el social) y de manejo integral de los recursos (suelo, agua, flora local, agroforestal, agropecuario y fuerza de trabajo) por parte del productor, el cual es



acondicionado por factores sociales, culturales, económicos y política (Conway, 1985; Hart, 1985; Hernández, 1997).

El enfoque de sistemas constituye una forma de entender a la agricultura pues este enfoque permite visualizar en diferentes escalas de análisis (sistema de producción, unidad de producción, cultivo o especie de animales, comunidad o región) inserta la investigación disciplinaria (campos experimentales, invernadero, en laboratorio, vivero), lo que ofrece la oportunidad de conocer la influencia conjunta de los componentes del sistema sobre su comportamiento integral (Nahed *et al.*, 2014).

La aplicación del enfoque sistémico en la agricultura consiste en identificar las principales variables o factores que incurren en mayor medida en cada escala de análisis del sistema, aquellas que determinan mayormente el comportamiento del todo. Permite, también, identificar las intervenciones necesarias en cada escala.

La explicación anterior se consigue por medio de las fases de análisis y síntesis de un sistema definido, lo que permite su caracterización de la metodología cuantitativa y cualitativa a través del análisis dinámico de ciclos productivos completos, así como la perspicacia de los problemas que impiden su desarrollo, la asignación de prioridades a la investigación y aportar información que contribuya a su planificación y desarrollo sostenible.

#### **4.2. Enfoque de agroecosistema**

El concepto de “*agroecosistema*” es empleado de diversas formas: conforme al entorno donde se ha aplicado. Lo que se puede decir es que un agroecosistema puede considerarse como una unidad de estudio, un esquema teórico y un método de investigación que permite estudiar y transformar la realidad compleja como la agricultura (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009a y Martínez-Dávila *et al.*,

2011). Por otra parte, Gliessman, (2002) ha explicado que un agroecosistema es un espacio de producción agrícola, por ejemplo una granja, visto como un ecosistema modificado, por el hombre a fin de obtener sus alimentos y satisfactores. De lo anterior, el agroecosistema tiene utilidad para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluyendo el complejo conjunto de entradas y salidas y las interacciones entre sus partes.

Un agroecosistema se considera como un sistema abierto y que se relaciona con el medio exterior intercambio de energía, materia, información e interacción constante entre el sistema y el ambiente. Este tiene una estructura, componentes, límites, función, interacción entre componentes, entradas, salidas y una retroalimentación. En su totalidad funciona en un proceso de unión para conseguir un objetivo determinado y su estudio puede ser en función de los elementos antes mencionados. La interacción entre componentes proporciona las características estructurales a la unidad y estas relaciones deben entenderse y basándose en el análisis del sistema en su totalidad (Conway, 1985; Gliessman, 2002).

La TGS promueve un enfoque de pensamiento sistémico para abordar el problema de la complejidad de los agroecosistemas a través de una forma de pensamiento basada en la totalidad y sus propiedades (Hart, 1985; Gliessman, 2007). El enfoque de agroecosistemas complementa al enfoque reduccionista, opera descomponiendo los sistemas en sus partes para entender su funcionamiento; de esta manera, la sumatoria de las explicaciones encontradas de manera aislada explica el comportamiento del fenómeno como un todo (García *et al.*, 2010; Vilaboa, 2013). Con este enfoque, cuyo objetivo es evaluar la realidad agrícola a su vez pone hincapié en las dimensiones económica, social y ambiental de los agroecosistemas para saber la función de cada elemento que los componen, incluyendo al ser humano (Gliessman, 2002; Ruíz-Rosado, 2006; Wezel y Jauneau, 2011). También Altieri (1989) expresa que esta técnica de análisis sistémica, se

enfoca tanto en características biofísicas y socioeconómicas de la producción y utilizan al agroecosistema o la región como unidad de análisis.

Se ha coincidido en que un agroecosistema con sistemas silvopastoriles interaccionan diversas actividades agropecuarias ya sea alternativas o adicional para obtener ingresos y una diversidad de productos y servicios ambientales. El ser humano como ente contralador (y de acuerdo a sus objetivos de producción), puede establecer dentro del mismo agroecosistema otro sistema de producción ya sea sistema agrosilvícola (*i.e.*, árboles y cultivos de temporada) o agrosilvopastoriles (árboles, cultivos de temporada y animales/pastizales) que se relaciona con los sistemas silvopastoriles, asimismo puede realizar actividades extra finca que permita la inyección o sustraer de dinero para desarrollar otras actividades no relacionadas con el sector agrícola o mutuamente (Ibrahim, 2007; 2012). Ibrahim *et al.* (2007), informaron que los sistemas silvopastoriles están influenciado de factores externos como las políticas gubernamentales, culturales, técnicos y económicos (accesos a créditos) a través del uso compartido de los medios y fuerza de trabajo. Estos mismos autores documentaron que los sistemas silvopastoriles están interrelacionados con el componente arboreo a cultivos y ganado en distintos arreglos espaciales y temporales. Teniendo en cuenta las sugerencias de análisis integral por el enfoque de agroecosistemas, es esencial aun analizar con atención en el estudio de sistemas silvopastoriles, las interacciones bióticas y físicos-biologicas para asegurar la productividad del sistema silvopastoril y el balance económico del agroecosistema. Más allá de estas consideraciones, otros autores (Mahecha, 2002; Karki y Goodma, 2010) han enfatizados que para lograr el desarrollo sustentable del sector agropecuario y en particular sistemas silvopastoriles sustentable, debe integrarse los componentes de manera tal para aumentar la eficiencia biológica en todo el sistema

para aumentar su capacidad productiva, a través de preservar la diversidad biológica, el suelo, el agua, y los ciclos biogeoquímicos dentro del sistema

El modelo teórico-conceptual del agroecosistema principal en esta investigación, delimitado y contextualizado con base en la conceptualización descrita en la sección 1. Situación problemática de este documento. Aquí se enfatiza el análisis de las principales interacciones árbol-gramínea debido a que una de las especies reduce la disponibilidad de recursos principalmente por luz para la otra especie. Los elementos utilizados en esta investigación fueron en primer lugar, los componentes (árbol, gramínea, animal) y en segundo y tercer lugar, las entradas (radiación solar, precipitación, semillas, fertilizantes, herbicidas, combustible y mano de obra) y salidas (forraje, carne y leche, madera, CO<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub>) en cuarto lugar, las interacciones entre los componentes: a) la cobertura arbórea afecta la producción de biomasa en la gramínea b) la radiación transmitida bajo de las copa, afecta la producción de forraje de la gramínea, y c) Frecuencia de corte tanto árbol y gramínea y las interacciones entre ellos afecta la producción y calidad nutritiva de los componentes.

#### **4.3. Sistemas agroforestales**

La agroforestería es una disciplina y un arte, en su carácter de disciplina, se encarga del estudio de los sistemas en los que se combinan árboles, cultivos y/o animales en distintos arreglos espaciales y temporales (Budowski, 1993). Incorpora herramientas de otras disciplinas y su principal enfoque es estudiar los recursos naturales (luz, temperatura, humedad suelo), a las personas y su relación con esos recursos, las interacciones biológicas (plantas y animales); y el espacio disponible para el crecimiento, la productividad y la conservación (Musálem, 2002). El objetivo de la agroforestería es identificar interacciones positivas y maximizarlas, y reducir las negativas de tal

manera que el sistema de producción pueda ser más sustentable y diversificado que el enfoque convencional bajo las condiciones agroecológicas y socioeconómicas dadas (Aguilar-Luna *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2012). Aun siendo una disciplina, la agroforestería también se define como el arte de plantar árboles (presencia de árboles de forma deliberada) y combinarlos con cultivos y animales en la misma unidad de suelo para diversificar y sustentar la producción con beneficio sociales, económico y ambientales (Musálem, 2002)

Con base en la definición anterior de la palabra sistema y la aplicación del enfoque de sistema dentro de la agroforestería, se puede definir un sistema agroforestal como un arreglo de cultivos y/o animales asociado con árboles en secuencias espaciales o temporales, cuyo propósito pueden brindar productos o servicios al sistema de producción (Somarriba, 1990; Ibrahim *et al.*, 2007; Casanova-Lugo *et al.*, 2011).

Los sistemas agroforestales, a través de la asociación de árboles con cultivos, que juntos ofrecen diversos servicios, aumenta los niveles de materia orgánica en el suelo, fijan nitrógeno atmosférico modificando los ciclos de nutrientes y el microclima del suelo. Además, provén servicios ambientales ya que evitan la erosión de los suelos, capturan carbono y retienen la humedad del suelo, regulando el ciclo del agua (Casanova-Lugo *et al.*, 2016). En su función productiva, donde los árboles rinden producción de madera, fruta, forraje, abono verde, o sustancias médicas (Beer *et al.*, 2003).

Para clasificar los sistemas agroforestales se han empleado varios criterios, aunque los más comúnmente utilizados se han basado en su estructura (composición y distribución de los componentes), función, escala socioeconómica, y distribución ecológica (Nair, 1985). Así, dentro de los sistemas agroforestales se incluyen a los sistemas silvopastoriles, los cuales tienen su base

funcional en el producto que se desea obtener y el papel que juega cada componente dentro del sistema, en especial los árboles (Nair, 1997).

#### **4.4. Sistemas silvopastoriles**

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son un arreglo agroforestal que implica la integración de la agricultura, ganadería y la silvicultura para aumentar la productividad de la tierra (Crespo, 2008; Calle, *et al.*, 2012). Los SSP pueden ser de vegetación natural o plantada con fines maderables, para productos industriales, frutales o árboles multipropósitos en apoyo específico para la producción animal (Giraldo *et al.*, 2010). Un SSP es una modalidad agroforestal que permite transformar pasturas a cielo abierto en sistemas estratificados con mayor variedad en la oferta alimenticia o convertir arbustos inutilizables en forrajeras que pueden ser usadas por los animales durante todo el año (Mahecha, 2000).

Los sistemas silvopastoriles son una alternativa factible para contrarrestar la problemática ambiental y socioeconómica causada en cierto grado por las prácticas y tecnologías insostenibles que se llevan a cabo en los sistemas ganaderos convencionales (Mahecha, 2003). Estos sistemas de acuerdo con, el diseño y manejo, tienen potencial para optimizar los indicadores socioeconómicos en las fincas y para cumplir con funciones ecológicas. También, es una estrategia para la resiliencia a las variaciones en el mercado (precio y demanda de productos) y al cambio climático (Milera, 2013).

Así los árboles en los SSP cumplen dos funciones primordiales: el primero, el productivo, en que los árboles rinden un producto material (leña, forraje etc.), el segundo, el de servicio, sin producción palpable (sombra, reciclaje de nutrientes, etc.). En su finalidad productiva, los árboles y arbustos pueden sustituir el forraje en sistemas de ramoneo, o madera, material para industria y

alimento en los sistemas de pastoreo, en el bosque o en plantaciones. La función de servicio, surge principalmente de las interacciones entre las leñosas perennes y la vegetación herbácea que crece en su cercanía. Debido a factores como, madurez del follaje y accesibilidad del follaje, el principal papel de las leñosas forrajeras como alimento es de tipo suplementario, particularmente durante la estación seca en zonas tropicales (Grande *et al.*, 2008; Iraola *et al.*, 2016).

De acuerdo con, el arreglo espacial, los SSP se pueden clasificar en sistemáticos (cortinas rompevientos, cercas vivas, bancos forrajeros, sistemas silvopastoriles intensivos, pasturas en plantaciones de frutales y pasturas en plantaciones forestales) y *no sistemáticos* (árboles dispersos en potreros). Los primeros tienen un arreglo espacial homogéneo en el terreno, normalmente plantados por el hombre; en tanto, los del segundo grupo presentan una repartición heterogénea y en general provienen de la regeneración natural (Ibrahim, 2012). El tipo de SSP que se debe elegir en los ranchos depende de muchos factores, por ejemplo: a) condiciones agroecológicas del sitio, b) sistema de producción, c) tamaño del rancho, especies leñosas y herbáceas adaptadas y disponibles, d) visión empresarial del rancho, e) tradición productiva y d) conocimiento del productor (Murgueitio, 2009; Ibrahim *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2010).

#### **4.5. Sistemas silvopastoriles intensivos**

Se ha denominado sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) a la integración intencional de altas densidades de árboles forrajeros en los sistemas silvopastoriles, con especies arbóreas forrajeras (árboles o arbustos) establecidas en hileras asociadas con gramíneas, directamente ramoneadas por los herbívoros (Murgueitio *et al.*, 2013; Cubillos *et al.*, 2016). En estos sistemas interactúan en el mismo espacio y tiempo una o más especies de diferentes estratos. En el estrato herbáceo se encuentran gramíneas forrajeras, así como plantas leguminosas herbáceas. Luego un estrato de

arbustos en alta densidad (que hasta el momento ha sido bastante variable) destinado al ramoneo del ganado. Asimismo, el sistema incluye árboles de todo tipo en la periferia y divisiones de potreros como cercas vivas; al igual que árboles dispersos o en líneas para producción de madera o frutas, plantas y palmas (Calle *et al.*, 2013; Murgueitio *et al.*, 2013).

Los SSPi combinan una o más especies de plantas de distintos estratos con diferentes dominios del espacio físico. Esto hace un uso más consiente y planeado de la estratificación vegetal (Alonso, 2011). Una de las ventajas sobresalientes del SSPi es que protege el suelo de la erosión por la lluvia y el viento a través de los diferentes estratos vegetales (Alonso, 2011; Bacab *et al.*, 2013). Además, los nutrientes y el agua están más cubiertos y se relacionan con las plantas estableciendo una unión positiva a diferencia de las gramíneas en monocultivo, que terminan como extractores de los recursos naturales a menos que se introduzcan fertilizantes con el consiguiente gasto de insumos y energía (Murgueitio *et al.*, 2014).

Este sistema “*intensivo*” genera más producción de forraje y con mejor calidad nutritiva durante el año para los animales. Se debe a una utilización de la tierra en varios horizontes no solamente en un nivel, es decir hay una producción como en escalón para tener más producción en una misma unidad de tierra, la gramínea (alta fotosíntesis) elemento que produce el volumen de forraje, el árbol (especies mayormente leguminosas), como en escalón intermedia que da follaje de mejor calidad nutritiva (proteína) y los árboles que pueden dar madera, fruto y sombra para los animales (Bacab y Solorio, 2011; 2012; Martínez *et al.*, 2016).

Los SSPi tratan de combinar la respuesta de producir alimentos más intensivamente pero con un enfoque lo más natural posible entonces esta estructura trata de combinar plantas, buscar biodiversidad en comparación de sólo gramínea pero usa un elemento central, el estrato medio que



es una arbustiva, este componente puede ser un árbol y producir madera o puede ser un arbusto y producir forraje o puede ser intermedio, se puede manejar de muchas maneras y responde muy bien a distintos manejos agronómicos (Flebes y Ruiz, 2008).

Este sistema se caracteriza por ser altamente productivos y eficientes, debido a que se establecen con arbustivas (altas densidades) asociadas a gramíneas aprovechando todos los espacios de suelo. Generan una gran diversidad de interacciones positivas dando como resultado un aprovechamiento eficaz de los recursos disponibles de luz, suelo y agua (Pachas *et al.*, 2016). Por tanto, son un buen ejemplo de la intensificación natural porque los "insumos" que intervienen en el sistema son procesos naturales y no de productos químicos. La alta productividad se basa en la eficiencia de los procesos biológicos tales como la fotosíntesis y la producción de biomasa, fijación de nitrógeno, y la solubilización del fósforo y otros nutrientes en el suelo, lo cual mejora la materia orgánica y la actividad biológica del suelo (Burle *et al.*, 2003; Elfeel y Elmagboul, 2016). Sobre las bases de las ideas expuestas los SSPi es una posibilidad para mejorar la disponibilidad de forraje durante el año y al mismo tiempo aumentar la calidad químico-nutricional del forraje en comparación a las gramíneas en monocultivo.

#### **4.6. Interacciones en sistemas agroforestales**

Las interacciones se refieren a la influencia de un componente sobre el desempeño de otros componentes y del sistema como un todo (Aguilar-Luna *et al.*, 2011). Las interacciones biológicas entre los componentes de sistemas agroforestales pueden inclinarse hacia lo positivo o negativo, lo cual también se ha definido como facilitación o competencia (Del-Val y Crawley, 2014). Cuando la interacción es competitiva, el resultado se vuelve negativo para uno o ambas especies asociadas; cuando la interacción es positiva, se puede esperar la complementariedad entre las

especies (Hauggaard-Nielsen y Jensen, 2005). En una comunidad vegetal, las interacciones competitivas ocurren cuando dos o más plantas se encuentran asociadas y las capacidades de sobrevivencia y crecimiento, de una o de ambas se ven reducidos; más aún, estos se encuentran mediados por los recursos como luz, agua y nutrientes y pueden encontrarse en condiciones limitadas en el mismo tiempo y espacio (Nanami *et al.*, 2011). La competencia por radiación lumínica, así como las posibles relaciones alelopáticas entre componentes, son manifestaciones de interacciones negativas (interferencia). En cambio, la fijación y transferencia de nutrientes, conservación de suelos, y el efecto de protección contra el viento que pueden ejercer las leñosas perennes, son ejemplos de complementariedad (facilitación). También las complementarias mejorarán el crecimiento de las especies y permiten un uso eficiente del agua, luz, nutriente y espacio físico. El grado de relación con estos factores dependerá del tipo de suelo, el clima y la estación del año (Mahecha *et al.*, 2007).

#### **4.7. Interacción árbol-gramíneas en sistema silvopastoriles**

Las interacciones biológicas entre los componentes de los sistemas silvopastoriles pueden ser positivas o negativas. La competencia por luz, agua y nutrimentos, se acentúan cuando los recursos son limitados (Jose *et al.*, 2004). En cambio, la fijación y transferencia de nutrientes (leguminoso), mejoramiento del suelo, mejoramiento del microclima, confort animal, son ejemplos de respuestas positivas (Ludwig *et al.*, 2001; Nishimura *et al.*, 2002).

La magnitud de las interacciones entre las leñosas y gramíneas (interespecífica) así como las que se dan entre individuos de la misma especie (intraespecífica) está mediada por luz, agua y nutrientes como recurso, que puede modificarse y cuyo efecto puede ser benéfico o negativo dependiendo del manejo (Jose *et al.*, 2000). También se encuentran relacionada con la densidad

de árboles (distribución y arreglo de las plantas) y selección de especies (características morfológicas y fisiológicas); el efecto del manejo que reciben (frecuencia de pastoreo), así como las condiciones climáticas (Petit *et al.*, 2010), y las interacciones entre los componentes puede darse tanto en la parte aérea de las plantas, como en el suelo de forma subterránea (Casanova *et al.*, 2007). La interacción aérea es el tema que se aborda en la presente investigación. La interacción aérea entre gramíneas, árboles y arbustos se asocia principalmente a la radiación solar, ya que las plantas requieren de este recurso para el crecimiento de los árboles y gramínea en el sistema (Medinilla-Salinas *et al.*, 2013). En el caso de la competencia entre árboles, la cantidad de luz interceptada por la copa de los árboles está condicionada por la especie arbórea, la edad de los árboles, fenología y la propia arquitectura de la copa (ángulo de las hojas y ramas, así como el índice de área foliar (Pachas *et al.*, 2018); sin embargo, los árboles también modifican la cantidad de luz que penetra bajo la copa, y depende de: la densidad arbórea y distribución de los árboles, esto se relaciona con la distancia entre hileras, así como la orientación de las hileras y la distancia entre árboles (McElwee y Knowles 2000).

En cultivos de árboles sembrados en hileras, modifica la arquitectura del dosel del estrato arbóreo (Luedeling *et al.*, 2016), con ventajas significativas cuando comparten orientación de sus hojas es decir, cuando la arquitectura de la copa del estrato arbóreo es vertical, las plantas herbáceas pueden captar la luz que se intercepta. Por el contrario, en copas con dosel horizontal puede haber no solo competencia con otras especies, sino también con hojas del mismo árbol, sobre todo en árboles con follaje denso teniendo un efecto sobre la morfología y fisiología de las gramíneas que crecen bajo el dosel (Pachas *et al.*, 2014; Sosa-Rodriguez *et al.*, 2017).

Las respuestas de las gramíneas a condiciones de luz limitada pueden ser diversas ya que deben mantener un balance de carbono que requieren para la producción y expansión de las hojas

(Smethurst *et al.*, 2017). Generalmente, las hojas de las gramíneas bajo sombra tienen una apariencia alargada y delgada que a pleno sol; lo primero les ayuda a incrementar su habilidad competitiva para interceptar la luz, mientras que lo segundo les permite reducir su tasa de respiración y por consecuencia la actividad fotosintética disminuye bajo condiciones de sombra (Santiago-Hernández *et al.*, 2016). La restricción de luz reduce los procesos fotosintéticos y como resultado retrasa la maduración del tejido, la degradación de los cloroplastos y este proceso retarda la senescencia de las gramíneas y mantiene mayor calidad nutritiva (Obispo *et al.*, 2008). La producción y la calidad nutritiva de las gramíneas están en función de la disponibilidad de luz, cuando la humedad, la temperatura y los nutrientes no son limitados (Guenni *et al.*, 2008).

La radiación solar total que incide sobre el dosel de las plantas tiene un intervalo de longitud de onda de 0.380 a 4.00  $\mu\text{m}$ ; para la fotosíntesis, los árboles y gramíneas utilizan sólo la radiación de 0.400 a 0.700  $\mu\text{m}$ , definida como la radiación fotosintética activa (RFA) y corresponde aproximadamente a 48 % de la radiación total incidente. Es la más importante para el crecimiento de los árboles y gramíneas en el sistema (Novel, 1991; Jones, 1992).

Las hojas de los árboles absorben preferentemente luz azul y roja (400-0.700  $\mu\text{m}$ ) disminuyéndola para los estratos inferiores, y se aumenta la proporción de luz verde e infrarroja, donde crecen las gramíneas. Esta reducción de la relación de luz roja: infrarroja, penetrando la copa, se asocia con cambios de las gramíneas: reducción en la iniciación de yemas laterales, reducción en rebrotes, mayor extensión de entrenudos, se afecta la arquitectura de raíces, resultando en la reducción de competencia bajo el suelo, debido a competencia intra e interespecífica por recursos (agua, luz nutrientes), siendo muy importante la intensidad lumínica que penetra a través del dosel de los árboles (Ong y Leakey, 1991; Forrester *et al.*, 2006; Ludwig *et al.*, 2011;).

## 5. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1. Relación entre intervalo de corte y calidad nutritiva del forraje

La conclusión generalizada a la que se ha arribado en trabajos de investigación relacionados con el estudio del efecto de la frecuencia de corte o intervalo de descanso sobre la producción del forraje en sistemas silvopastoriles (*L. leucocephala* y gramíneas), es que existe una ganancia progresiva en la producción a medida que se incrementa el intervalo entre cortes; sin embargo, este patrón de acumulación de biomasa es limitado en un momento determinado por el potencial productivo de las especies vegetales y/o por los factores climáticos prevalecientes. Después de alcanzar un punto máximo de acumulación, la producción tiende a sostenerse y a veces a disminuir.

Al incrementarse el intervalo entre cortes (20 a 40 días) aumenta la biomasa disponible anual en las asociaciones *L. leucocephala* y las gramíneas Ruzi (*Brachiaria ruziziensis*), y Elefante enano, y Taiwan 25 (*Pennisetum purpureum*). Tudrsi *et al.* (2000) y Maya *et al.* (2005b) encontraron cantidades mayores entre 36 y 40 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el intervalo de 40 días. Sánchez (2007a) encontró 33 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> buscar si es correcto en intervalos de 58 días. Cantidades menores (19.26 t MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) fueron indicados por Gaviria *et al.* (2015) en intervalos de 45 días con 10000 árboles ha<sup>-1</sup> *L. leucocephala* asociado *M. maximus*.

En la época seca los intervalos de 42 a 168 días no afectaron la biomasa disponible (osciló de 4241 a 5766 kg MS ha<sup>-1</sup>) en la asociación *L. leucocephala* (22857 plantas ha<sup>-1</sup>) y *Cenchrus ciliaris*, mientras este mismo autor Sánchez *et al.* (2007b) con las mismas especies indicaron que el intervalo más apropiado para esta asociación es 42 días en la misma época. Mientras Simón (2012) observó su mayor capacidad de producción con un rango de 50 a 70 días. En la temporada de

lluvias, la frecuencia de descanso corta (25 a 40 días) favorece la producción del forraje en el sistema (Sánchez *et al.*, 2007a; Simón, 2012) silvopastoril con *L. leucocephala* y *M. máximus*.

En otros trabajos cuyo fin no ha sido evaluar el intervalo de corte en sistemas silvopastoriles. Así para asociaciones de *L. leucocephala* (10000 plantas ha<sup>-1</sup>) y gramíneas de los géneros *Brachiaria* y *Megathyrsus* se han propuesto periodos de descanso que varía de 33 y 66 días durante la época de lluvias y seca, como en el caso de López *et al.* (2010) al pastorear la asociación *L. leucocephala* y *M. máximus* en un esquema de rotación con 3 a 4 días de ocupación y 28 a 56 días de descanso durante las épocas de lluvias y seca. López *et al.* (2015) indicaron 6475 kg MS ha<sup>-1</sup> a 40 días de descanso durante la época de lluvias con pastoreo de vaquillas. Bugarín *et al.* (2009) obtuvieron valores entre 910 y 1900 kg MS ha<sup>-1</sup>) a 6 y 9 meses de descanso respectivamente, en *L. leucocephala* (3320 plantas ha<sup>-1</sup>, con cortes a una altura de 80 cm) asociada a *B. brizantha* en época de lluvias.

En un sistema silvopastoril se debe moderar el intervalo de corte al nivel de la disponibilidad de forraje del árbol y gramínea (Geraldine, 2003). En la asociación de *L. leucocephala* y Tanzania se recomiendan intervalos de descansos que permitan la recuperación de los árboles, sin detrimento de las gramíneas, debido que las mayores frecuencias de corte disminuyen la producción de hoja, con un incremento en las fracciones de tallos y materia muerta en la gramínea, desmejorando la disponibilidad de la biomasa aprovechable (Maya *et al.*, 2005b; Rojas *et al.*, 2005). En el manejo de este tipo de asociación podría suceder que los periodos de descanso sean más largos en comparación con los sistemas de monocultivo a base de gramíneas, debido a que las plantas de *Leucaena* tardan más tiempo en recuperarse, considerando también un posible efecto de la época del año en el crecimiento de cada componente (Geraldine, 2003; Merchant-Fuentes, 2016).

El manejo de las plantas también es un determinante importante de la calidad nutritiva del forraje. En un sistema silvopastoril con árboles forrajeros, importa la calidad tanto de los árboles como de las gramíneas; y existe una gran diferencia en la concentración y disponibilidad de los nutrientes entre ambos componentes, sin embargo, el manejo puede definir un punto en el que se obtenga lo mejor de ambos.

Un primer aspecto que define la calidad es el intervalo de corte del sistema. Los intervalos menores pueden aumentar el contenido de proteína en la gramínea, mientras que en el árbol se mantiene inclusive con intervalos mayores.

En las arbóreas como *L. leucocephala* asociada a *C. nlemfuensis* (hábito de crecimiento rastrero), Ruzi (*Bracharia ruzi ziensis*), y Taiwan A 25 y Elefante enano (*Pennisetum purpureum*) estas últimas de crecimiento erecto, el árbol se mantiene la proteína con un rango de 42 a 168 días mientras las gramíneas obtienen los más altos porcentajes de proteína de 20 a 40 días en la época seca (Tudsri *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2013).

La Fibra detergente neutro y ácido de muestras combinadas del forraje (*L. leucaena* + *C. nlemfuensis*) no difirieron por efecto de la interacción entre la frecuencia (35 a 70 días) de corte y época (sequía y nortes) (Martínez *et al.*, 2016), pero durante la época de lluvias la fibra detergente neutro, aumentó conforme se incrementó el intervalo de corte con 54 % a los 70 días y en fibra detergente ácido se observó un mayor porcentaje a los 49 días (69 %.) Maya *et al.* (2005a) encontraron que los contenidos de fibra detergente neutro y ácido en *L. leucocephala* asociado con gramínea se mantuvieron estables entre las frecuencias de corte 20 a 40 días tanto de árbol y de la gramínea, durante la época de lluvias y seca.

En las arbóreas como Guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) asociado a *M. maximus*, se han experimentado varios periodos de pastoreo; Villa (2009) analizó plantas de un año de edad y en época de lluvias, siendo el mejor intervalo entre 35 y 42 días con pastoreo de bovinos, cuando los periodos son cortos los contenidos de proteína y la digestibilidad son más altos porcentajes; sin embargo, si este periodo se alarga se corre el riesgo de tener menor porcentaje de proteína y una baja digestibilidad por la gran cantidad del contenido de fibra en el forraje.

En un sistema silvopastoril el intervalo de corte debe adecuarse al crecimiento de la gramínea y cosecharse cuando esta tenga la mayor digestibilidad de la materia seca, el intervalo de corte puede ir desde los 28 días en la temporada de lluvias, considerando el acelerado crecimiento y desarrollo de la gramínea y la rápida recuperación de las arbóreas, hasta los 36 - 40 días en la estación seca facilitando preferencia a la recuperación del árbol (Tudsri *et al.*, 2004; Maya *et al.*, 2005a).

## **5.2. Densidades de siembra de árboles forrajeros**

La densidad de plantación, (número de árboles por hectárea), se ajusta modificando la separación entre hileras (que representa el ancho de los callejones) y la distancia entre árboles dentro de las hileras (Solorio y Solorio, 2008; Murgueitio *et al.*, 2016). Un adecuado distanciamiento entre hileras y árboles se logra un mejor aprovechamiento de los recursos ambientales (luz, humedad suelo y nutrimentos), y consecuentemente hay una mayor producción de biomasa por unidad de área (Anguiano *et al.*, 2012; Palma y Anguiano, 2014).

Los estudios sobre las densidades de plantación de *L. leucocephala* sugieren una gran amplitud de opciones, determinantes por las condiciones de suelo y clima y por la finalidad de la producción de forraje.



En este sentido, se han realizados estudios para determinar la densidad óptima de siembra de la *L. leucocephala*, ya sea sola o en asociación con gramíneas. En una asociación de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-11, con 60000 y hasta 80000 árboles de *L. leucocephala* por ha<sup>-1</sup>, la densidad de 80000 plantas ha<sup>-1</sup> produjo 1252 kg MS ha<sup>-1</sup> con cortes a 55 días en condiciones de riego. En época de norte (condiciones de temporal) y seca (apoyo de riego cada 15 días) se establecieron densidades de 55000 plantas ha<sup>-1</sup> con rendimientos hasta 1308 a 2037 kg MS ha<sup>-1</sup> (Bacab-Pérez *et al.*, 2011; Barros-Rodríguez *et al.*, 2012). En lluvias este árbol produjo 2369 kg MS ha<sup>-1</sup> con 17500 plantas ha<sup>-1</sup> (Sarabia *et al.*, 2014); sin embargo, Benítez-Bahema *et al.* (2010) lo han cultivado con 2500 hasta 5000 árboles ha<sup>-1</sup>, la densidad mayor produjo 14.53 y 11.6 kg MS ha<sup>-1</sup> durante la época de lluvias y seca respectivamente.

En el caso de estos sistemas silvopastoriles donde la densidad de siembra de *L. leucocephala* es menor de 2500 a 10000 plantas ha<sup>-1</sup> la producción de forraje disminuye (Sánchez *et al.*, 2003; Benítez-Bahema *et al.*, 2010).

Para promover una mayor producción de follaje se puede acortar el espaciamiento entre hileras de la leñosa, es decir, aumentar la densidad de siembra. Esto será posible, siempre y cuando la competencia ejercida por la leñosa no comprometa la producción de la especie herbácea asociada. En este contexto, en un sistema silvopastoril, con *L. leucocephala* y *M. maximus* cv. Tanzania, Bacab-Pérez *et al.* (2011) y Barros-Rodríguez *et al.* (2012) encontraron que la producción de follaje de la leñosa incrementó al pasar de 34500 a 53000 árboles ha<sup>-1</sup>, sin afectar la producción de la gramínea.

Pocos estudios se han centrado en la competencia interespecífica dentro de los sistemas de *L. leucocephala*-gramínea al incrementar la densidad de árboles. En un análisis, sobre el efecto de la

densidad de árboles en el rendimiento de forraje de *L. leucocephala* y *Chloris gayana*, Pachas *et al.* (2017) encontraron que el máximo rendimiento de este árbol fue 32800 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en la máxima densidad de plantación evaluada (80000 plantas ha<sup>-1</sup>). Sin embargo, el rendimiento de *C. gayana* disminuyó con el incremento de la densidad de este arbusto. El máximo rendimiento de la gramínea declinó a 1420 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en la densidad de 8618 árboles ha<sup>-1</sup>. Concluyeron que a mayores densidades de árbol, la cobertura de gramínea fue mínima debido al alto grado de intersección de luz ejercido por los árboles.

Una condición semejante sucedió con Ramírez *et al.* (2006) encontraron con densidades de *L. leucocephala* menores asociado a *M. maximus* un efecto negativo conforme se incrementó la densidad de 5000 a 10000 plantas ha<sup>-1</sup> también aumentó la competencia por los recursos para el crecimiento, particularmente por agua y luz y causó una disminución en la producción de la gramínea.

En los sistemas silvopastoriles de *L. leucocephala* en asociación con gramíneas bajo pastoreo, generalmente se recomiendan separaciones de 6 a 8 m entre hileras de la leñosa, con 4 o más hileras de gramíneas entre ellas. Con estos distanciamientos, es posible sembrar en cada fila una doble hileras de leñosas, con una distancia de 0.50 a 1.0 m entre hileras para incrementar la densidad de plantación (13000 a 33000 plantas ha<sup>-1</sup>) y a la vez darle mejor protección a la leñosas contra el daño físico de los animales (Shelton, 1998; Dalzell *et al.*, 2006). Además, con este arreglo espacial de plantación se garantiza una mejor respuesta agroproductiva de este árbol.

En otros casos Espinel *et al.* (2009) y Murgueitio *et al.* (2010) demostraron la efectividad del arreglo espacial de la plantación con 10000 plantas ha<sup>-1</sup> y un marco de plantación de 1 x 1 m (1 m entre plantas por 1 m entre hileras: colocando dos hileras de gramínea entre ellas). Otros autores

(Sánchez, 2014) utilizaron distancia entre hileras de 1.6 m y 0.20 m entre plantas dentro de la hilera lo que da una densidad de 31250 plantas por hectárea. Adicionalmente, cuando se pretende utilizar para pastoreo, la mejor distancia entre surcos es de 1.5 a 1.6 m para asegurar un efecto más uniforme de la fijación - transferencia de nitrógeno y del reciclaje de nutrientes a través de la relación simbiótica entre las raíces y las bacterias del género *Rhizobium* (Burle *et al.*, 2003; Solorio y Solorio, 2008; Sarabia, *et al.*, 2014). Sin embargo, el árbol de *L. leucocephala* que tienden a generar muchos vástagos y ramificaciones laterales cercanas a la base, puede dificultar el traslado de los animales (Pezo e Ibrahim, 1998).

Comprender cómo los árboles y gramíneas utilizan los recursos disponibles cuando se combinan, es fundamental para el diseño exitoso de sistemas silvopastoriles. Los arreglos de plantación, las densidades de los árboles, las especies y las estrategias de manejo deben ser considerados cuidadosamente. Las interacciones entre árbol-gramínea están en interacciones dinámicas debido a que al desarrollarse, una de las especies está limitando la disponibilidad de recursos de otras que coexisten en el mismo espacio.

### **5.3. Características morfológicas y fisiológicas de *Megathyrsus maximus*, *Digitaria eriantha* y *Leucaena leucocephala***

*Megathyrsus maximus* cv. Tanzania es una especie perenne de tipo amacollado y tiene tallos erectos que miden entre 0.5 a 4.5 m de altura, que pueden ser también ascendentes, glabros o vellosos, de fuertes a delgados y con 3 a 15 nudos. Las hojas son lineales a lineales-lanceoladas, de 15 a 100 cm de largo y hasta 35 mm de ancho. Las láminas y vainas de las hojas no poseen serosidad y las inflorescencias con espigas terminal abierta y ramificaciones laterales de 20 a 50 cm de largo. Tiene raíz fasciculada que brota de un rizoma corto y grueso (Meléndez, 2012). Se

adaptan a suelos fértiles, francos, neutros y bien drenados, con pH de 5 a 8, no prospera bien en suelos arcillosos ni muy ácidos. No tolera suelos inundables (Verdecia *et al.*, 2012). Crece desde el nivel del mar a 1600 m de altitud, con temperaturas de 18°C a 45°C. Tiene menor tolerancia a la sequía que especies de *Bracharia*, (no toleran periodos de sequía de más de 4 a 5 meses) y se adapta bien a zonas de 400 a 1400 mm de precipitación anual. Por su crecimiento cespitoso, permite el asocio con gramíneas de crecimiento estolonífero y leguminosas nativas o introducidas. Crece bien bajo la sombra de árboles y arbustos en alta intercepción de luz (< 30 %). Sin embargo, los rendimientos se reducen a la mitad cuando tiene un 50 % de sombra (Murgueitio *et al.*, 2016). Produce de 10 a 30 ton MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con un contenido de proteína de 10 a 14 % y digestibilidad de 60 a 70 % (Peters *et al.*, 2003).

*Digitaria eriantha* Stedud (cv. Pangola) es una gramínea perenne estolonífera, vigorosa, de crecimiento rastrero, de porte semi-erecto, que cubre densamente el suelo. Los tallos tienen hasta 120 cm de longitud. Las hojas son lineales-lanceoladas, de 10 a 25 cm de largo y entre 2 a 7 mm de ancho. La inflorescencia tiene uno o dos verticilos con 5 a 10 espigas de 13 cm de largo cada una, con muchas espiguillas de 2.70 a 3.00 mm de largo (Bogdan, 1977). Esta planta crece en zonas que tiene una precipitación anual que varía de 700 a 4000 mm, y crece muy bien a temperatura media anual de 15.9 a 27.8 ° C. Puede cultivarse en altitudes desde el nivel del mar hasta los 2250 msnm. Esta gramínea prefiere suelos de textura arenosa a franco-arenosa y puede crecer en suelos con pH de 4.3 a 8.5 (Tikam *et al.*, 2013), lo que indica adaptabilidad a una amplia gama de condiciones ambientales. Tiene una tolerancia baja a la sombra y tiene características de ser tolerante a las quemadas. Esta gramínea no es muy resistente a la falta de agua. Durante la época de seca los rendimientos en general tienden a ser bajas por hectárea (1149 kg MS ha<sup>-1</sup>), mientras que en lluvias las producciones son notablemente superiores en (4489 kg MS ha<sup>-1</sup>), esta gramínea

sobresale sobre otras especies tropicales por su calidad nutritiva, los valores normales de proteína pueden variar de 14 % a 20 % y la digestibilidad de materia seca puede variar en un rango de 45 a 70 %. Además, esta gramínea por su hábito de crecimiento estolonífero forma una excelente cobertura, incluso se puede usar para evitar o prevenir la erosión del suelo (Enríquez *et al.*, 1999; Meléndez, 2012).

*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, (familia: *Leguminosae*: subfamilia: *Mimosoideae*) es una planta arbustiva, caducifolia o perennifolia, que crece entre la vegetación natural como árbol (2 a 20 metros de alto). El tallo puede ser recto y sin ramificaciones o presentar ramificaciones esparcidas desde la base del tallo, esto último es más común en su estado arbustivo. Tiene copa redondeada, ligeramente abierta y rala. Sus hojas son alternas, bipinadas, con 4 a 9 pares de pinas situadas a lo largo del raquis de 15 a 20 cm de largo, cada pina puede tener entre 10 y 17 pares de foliolos. Desarrolla muchas ramas finas generalmente cilíndricas cuando crece aislado. La corteza externa es lisa a ligeramente fisurada, grisnegrizca, con abundantes lenticelas longitudinales protuberantes. Las inflorescencias son blancas, con 100 a 180 flores que rodean densamente al péndulo. Los frutos son vainas oblongas, estipitadas, de hasta 20 cm de longitud y 2 cm de ancho, y contienen entre 15 y 25 semillas. Fructifica la mayor parte del año, especialmente en octubre y enero (Zárate, 1994; García *et al.*, 2008). Tiene raíz profunda y extendida de tipo pivotante; la raíz primaria varía de 2-6 m (3-10 años de edad) y penetra en las capas profundas del suelo varía de 2 - 6 m (3-10 años de edad) para aprovechar el agua y los minerales que puedan encontrarse en estratos edáficos inferiores del suelo donde las raíces de las gramíneas, generalmente, no exploran (Dhyani *et al.*, 1990; Radrizzani, 2010).

Esta especie crece en suelos arenosos, de baja fertilidad, de pH neutro o alcalino, los mejores resultados se obtienen en suelo con pH de 6.5 a 7.5. No se recomienda su establecimiento en suelos

con pH inferiores a 5.5 y altos niveles de saturación de aluminio, su mejor desarrollo lo presenta en suelos ligeros y bien drenados, siendo su crecimiento pobre en suelos ácidos y pesados (mal drenados) (Fortes *et al.*, 2003). Los árboles se adaptan en zonas con precipitaciones entre los 500 y 3000 milímetros anuales. Crece bien en alturas desde el nivel del mar hasta los 1600 msnm. Es tolerante a la sequía pero no a la inundación. Este arbusto no tolera la sombra por lo que no puede ser plantada en sitios bajo la sombra de otros árboles. Responde bien en periodos de brillo solar por encima de seis horas diarias. También se encuentran experiencias exitosas entre 1300 y 1500 msnm y 4.5 a 5.0 horas del sol por día (Maclaurín *et al.*, 1981). Puede llegar a producir 20 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de materia seca, con rendimientos de 55.12 g MS época de seca y 163.86 por planta en lluvia (Wencomo y Ortiz, 2004).

## 6. LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. 1989. Agroecology: A New Research and Development Paradigm for World Agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 27: 37-46.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Rev. Cub. Cienc. Agri.* 45:107-113.
- Améndola, R., E. Castillo, and P. A. Martínez. 2006. Country Pasture Profiles. Latin America and the Caribbean: México. Publicado en internet: <https://docplayer.net/26424859-Country-pasture-forage-resource-profiles-mexico-by-ricardo-amendola-epigmenio-castillo-pedro-a-martinez.html> Consultado: 24 de julio de 2018.
- Anguiano, J. M., J. Aguirre, y J. M. Palma. 2012. Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). *Rev. Cub. Cienc. Agri.* 46:103-107.
- 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* cv. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *AIA.* 17:149-160.

- Arce, R. C., E. M. A. Ibáñez, M. M. O. Arce, R. G. Garduño, P. D. Rivera, y J. A. H. Cuellar. 2017. Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 8:83-91.
- Aguilar-Luna, J. M. E., F. J. Solorio-Sánchez, S. Hernández-Daumás, E. Huerta-Lwanga, y P. A. Macario-Mendoza. 2011. Interacciones radicales y aéreas en la asociación agroforestal cedro-limón-chaya. *Trop. Subtrop. Agroecosyt* 14:441-451.
- Bacab, H. M., y F. J. Solorio. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Trop. Subtrop. Agroecosyt* 13:271-278.
- Bacab, H. M., F. J. Solorio, 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*. *AIA*.16:65-77.
- Bacab, H. M., N. B. Madera, F. J. Solorio, F. Vera, y D. F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *AIA*. 17:67-81.
- Barros-Rodríguez M., J. Solorio-Sánchez, J. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro, and G. Solís-Pérez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Trop. Anim. Health. Prod.* 44:1873-1878.
- Beer, J. C. Harvey, M. Ibrahim, J. Michel H., E. Somarriba, y F. Jiménez. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agrofor. Américas* 10:28-37.
- Benavides, R., G. B. Douglas, and K. Osoro. 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.* 76:237-350.
- Benítez-Bahena Y., A. Bernal-Hernández, E. Cortés-Díaz, G. Vera C., y F. Carrillo A. 2010. Producción de forraje de guaje (*leucaena* spp.) asociado con zacate (*brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1:397-411.
- Bertalanffy L. V. 1976. El significado de la teoría de sistemas. En: la teoría general de sistemas. Fondo de la cultura económica, S.A de C.V. México. pp:30-53.
- Bertalanffy, L. V. 1986. Teoría General de Sistemas. Fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 295 p.

- Bogdan A. V. 1977. Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes). Longman, London and New York, pp:111-126.
- Bolaños-Aguilar, E. D., J. C. Emile, e J. F. Enríquez-Quiroz. 2010. Les fourrages au Mexique: ressources, valorisation et perspectives de recherche. *Fourrages*. 204:277-282.
- Budowski, G., 1993. Agroforestería: Una disciplina basada en el conocimiento tradicional. *Revista Forestal Centroamérica* 13:14-18.
- Bugarín, J., C. Lemus, L. Sangines, J. Aguirre, A. Ramos, M Soca, y J. Arece. 2009. Evaluación de dos especies de *Leucaena*, asociadas a *Brachiaria brizantha* y *Clitoria ternatea* en un sistema silvopastoril de Nayarit, México. I. Comportamiento agronómico. *Pastos y Forrajes* 32:1-11.
- Burle, S. T. M., H. M. Shelton, and S. A. Dalzell. 2003. Nitrogen cycling in degraded *Leucaena leucocephala*-*Brachiaria decumbens* pastures on an acid infertile soil in south-east Queensland, Australia. *Trop. Grassl.* 37:119-128.
- Candelaria-Martínez, B., J. A. Rivera-Lorca, y C. Flota-Bañuelos. 2017. Disponibilidad de biomasa y hábitos alimenticios de ovinos en un sistema silvopastoril con *leucaena leucocephala*, *hibiscus rosa-sinensis* y *cynodon nlemfuensis*. *Agron. Costarricense* 41:121-131.
- Carranza-Montaña, M. A., L. R. Sánchez-Velázquez, M. R. Pineda-López, y R. Cuevas-Guzmán. 2002. Calidad nutricional y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manatlán, México. *Agrociencia* 37:203-210.
- Casanova, F., L. Ramírez, y F. Solorio. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *AIA*. 11:41-52.
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, y J. Solorio-Sánchez. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *RCHSCFA*. 17:5-118.
- Castro, R. R., A. H. Garay. H. V. Huerta, J. de la P. H. Girón, A. R. Q. Carrillo, J. F. E. Quiroz y P. A. M. Hernández. 2012. Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:87-95.
- Casanova-Lugo, F., L. Ramírez-Avilés, D. Parsons, A. Caamal-Maldonado, A. T. Piñeiro-Vázquez, y V. Díaz-Echeverría. 2016. Environmental services from tropical agroforestry systems. *RCHSCFA*. 22:269-284.



- Casanova-Pérez, L. J. P. Martínez-Dávila, S. López-Ortiz, C. Landeros-Sánchez, G. López-Romero y B. Peña-Olvera. 2015. Enfoques del pensamiento complejo en el agroecosistema. *Interciencia* 40:210-216.
- Casanova, L., J. Martínez, S. López, y G. López. 2016. De von Bertalanffy a Luhmann: Deconstrucción del concepto “agroecosistema” a través de las generaciones sistémicas. *Revista MAD*. 35:60-74.
- Calle, Z., E. Murgueitio and J. Chará. 2012. Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. *Unasylva* 63:31-40.
- Calle, Z., E. Muergueitio, J. Chará, C. Hernando, M., A. Felipe, Z., and A. Calle. A. 2013. Strategy for Scaling-Up Intensive Silvopastoral Systems in Colombia. *J. Sustain Forest*. 32:677-693.
- Conway G. R. 1985. Agroecosystems analysis. *Agric. Adm.* 20:31-55.
- Conway, G. R. 1987. The properties of agroecosystems. *Agric. Sys.* 24:95-117.
- Cubillos, A. M., V. E. Vallejo, Z. Arbeli, W. Terán, R. P. Dick, C. H. Molina, E. Molina, and F. Roldan. 2015. Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *Eur. J. Soil Biol.* 72:42-50.
- Chiavenato, I. 1997. Teoría de sistemas In: *Introducción a la Teoría General de la Administración*. Cuarta edición. McGraw- Hill. pp:725-761.
- Crespo, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Rev. Cub. Cienc. Agrí.* 42:329-335.
- Cuartas, C. C. A., J. F. Naranjo, A. M. Tarazona, G. A. Correa, and R. Barahona. 2015. Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala*-based intensive silvopastoral systems. *Trop. Subtrop. Agroecosyt* 18:303-311.
- Dalzell, S., M. Shelton, B. Mullen, P. Larsen and K. McLaughlin. 2006. *Leucaena: A guide to establishment and management*. Meat and Livestock Australia. [https://www.researchgate.net/publication/37621951\\_Leucaena\\_A\\_guide\\_to\\_establishment\\_and\\_management](https://www.researchgate.net/publication/37621951_Leucaena_A_guide_to_establishment_and_management). Consultado 25 Jul, 2016.

- De Andrade, S. C. M., J. F. Valentim, J. da C. Cameiro, y F. A. Vas. 2004. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39:263-270.
- Dhyani, S. K., P. Narain, and R. K. Singh. 1990. Studies on root distribution of five multipurpose tree species in Doon Valley, India. *Agrofor. Syst.*12:149-161.
- Del-Val, E. and M. J. Crawley. 2004. Interspecific competition and tolerance to defoliation in four grassland species. *Can. J. Bot.* 82: 871-877.
- Del Ángel, P. A. L., J. A. V. Cortés, M. A. M. Briceño y A. R. Martínez 2006. Valoración de recursos naturales y ganadería en la zona centro de Veracruz, México. *Madera y Bosques.*12:29-48.
- Elfeel, A. A., y A. H. Elmagboul. 2016. Effect of planting density on *leucaena leucocephala* forage and Woody stems production under arid dry climate. *IJOEAR* 2:7-11.
- Enríquez, Q. J. F., N. Meléndez F., y D. Bolaños. E. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. INIFAP. CIRGOC. Campo experimental Papaloapan. Libro técnico Núm. 7 División Pecuaria Veracruz, México. 262 p.
- Enríquez, Q. J. F., A. H. Garay, J. P. Pérez, A. R. Q. Carrillo, y J. G. M. Cossio. 2003. Densidad d siembra y frecuencias de corte en el rendimiento de *Cratylia Argentea* (Desvaux) O. Kuntze en el sur de Veracruz. *Téc. Pecu. Méx.* 41:75-84.
- Espinel, M. R. G., L. M. Valencia C., F. Uribe T., C. Hernando M., E. José M., E. Muergueitio R., W. Galindo, C. E. Mejía, A. Zapata, J. P. Molina, y J. Giraldo G. *In: Sistemas silvopastoriles: 2009. Establecimiento y Manejo.* (ed). Enrique Murgueitio R. (Ed). Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Carrera 2<sup>a</sup> Oeste No. 11- 54 Cali, enero 2009 Colombia. 157 p.
- Figueroa, S. B. 1998. Principales conceptos en sistemas agrícolas. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Alianza para el campo. Instituto Nacional de Capacitación Rural. pp:3-45.
- Fortes, D., O. La, B. Chongo, y I. Scull. 2003. Una nota acerca de la composición química de seis ecotipos de *Leucaena leucocephala*. *Rev. Cub. Cienc. Agri.* 37:51-54.
- Flebes, G. y T. E. Ruiz. 2008. Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles. *AIA.*12:5-27.

García, R. 2008. Sistemas complejos. Editorial Gedisa. Barcelona. 200 p.

García-Pérez, P. E., J. J. A. Villanueva, J. Vilaboa Arroniz y R. G. López. 2010. Evolución del concepto de agroecosistema. *In: Memoria del Simposio Agroecosistemas y Territorialidad*. Ruiz, R. O., M. C. Álvarez, D. y J. L. Reta M. (ed) Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Veracruz, Tepetates, Municipio de Manlio F. Altamirano, Veracruz. 17 de noviembre de 2010. 11 p.

Gaviria, X., J. Rivera, y R. Barahona. 2015. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes* 38:194-201.

Geraldine, F. A. 2003. Manejo estratégico de las defoliaciones en especies arbóreas. *Pastos y Forrajes* 26:185-195.

Giraldo, C., F. Escobar, J. D. Chará, and Z. Calle. 2010. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect. Conserv. Divers.* 4:115-122.

Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. editores Elí Rodríguez, Tamara Benjamin, Laura Rodríguez y Alexandra Cortés. (Ed.) LITOCAT. Turrialba, Costa Rica. 359 p.

Gliessman, S. R., F. J. Rosado-May, C. G. Guadarrama-Zugasti, J. Jedlicka, A. Cohn. Méndez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C., y Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas* 16:13-23.

González-Gracia, E. O. Cáceres, H. Archimede, H. Santana. 2009. Nutritive value of edible forage from two *Leucaena leucocephala* cultivars with different growth habit and morphology. *Agrofor. Syst.* 77:131-141.

Grande, C. J. D., R. J. A. Torres, C. H. Losada, M. J. G. Rivera, G. N. M. Maldonado, T. J. Nahed y G. F. Pérez. 2008. La enseñanza de la agroforestería en los programas de estudio de las carreras agropecuarias en México. *Zoot. Trop.* 26:407-409.

Guevara, E. O. y Guenni. 2004. Acumulación y distribución de biomasa en *Leucaena leucocephala* (lam) de Wit., durante la fase de establecimiento. I. Repartición de biomasa. *Zoot. Trop.* 22:147-156.

- Guenni, O. S. Seiter, and R. Figueroa. 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Trop. Grassl.* 42:75-87.
- Hart R. D. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Turrialba, C. R. 159 p.
- Hauggaard-Nielsen, H. and E. S. Jensen. 2005. Facilitive root interactions in intercrops. *Plant and Soil* 274:237-250.
- Hernández X. E. 1997. Agroecosistemas de México. Editorial Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura. Texcoco, Estado de México, México. 42 p.
- Hernández, I. 2000. Utilización de las leguminosas arbóreas *L. leucocephala*, *A. lebbeck* y *B. purpurea* en sistemas silvopastoriles. Tesis presentada en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba. 138 p.
- Hernández I., y L. Babbar. 2001. Sistemas de producción animal intensivos y el cuidado del ambiente: situación actual y oportunidades. *Pastos y Forrajes* 24:281-290.
- Hernández, I., L. Simón y P. Duquesne. 2002. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbeck*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* en asociación con pasto bajo condiciones de pastoreo. *Pastos y Forrajes* 1:1-6.
- Hernández, M., L. Simón, y S. Sánchez. 2005. Rendimiento forrajero de la caña de azúcar asociada a leguminosas arbóreas. II. Biomasa comestibles total. *Pastos y Forrajes* 28:149-153.
- Hernández, M. J., O. Guenni, y J. L. Gil. 2007. Acumulación de biomasa e intercepción y uso de luz en dos gramíneas forrajeras bajo un sistema silvopastoril en el estado Yaracuy, Venezuela. *Rev. Fav. Agron.* 24:342-347.
- Ibrahim, M. C. Villanueva, F. Casasola, y J. Rojas. 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes* 29:383-420.
- Ibrahim, M., M. Chacón, C. Cuartas, J. Naranjo, G. Ponce, P. Vega, F. Casasola y J. Rojas. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agrofor. Américas* 45:27-36.

- Ibrahim, M., L. Guerra, F. Casasola and C. Neely. 2010. Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits. *In*: Abberton M., Conant R. y Batello C.s (eds.). Grassland carbon sequestration: management, policy and economics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp:338-440.
- Ibrahim, M. 2012. Sistemas Silvopastoriles. Curso AT-502 de la Escuela de Posgrado. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 159 p.
- Iraola, J., E. Muñoz, Y. García, J. L. Hernández, y E. Moreira. 2016. Estrategia agroecológica de transformación en un sistema de pastizales degradados con un arreglo silvopastoril. LRRD. 28:1-18.
- Johansen, B. O. 1993. Introducción a la Teoría General de Sistemas. 8a. ed. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega, Mexico. pp:13-20.
- Jones, G. H. 1992. Plants and Microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 428 p.
- Karki U. y Goodman, M. S. 2010. Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agrofor. Syst.* 78:159-168.
- Karki U. and Goodman, M. S. 2010. Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agrofor. Syst.* 78:159-168.
- Ku-Vera, J. C., E. G. Briceño, A. Ruiz, R. Mayo, A. J. Ayala, C. F. Aguilar, F. J. Solorio y L. Ramírez. 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 48:43-52.
- López, O., L. Simón, L. Lamela y T. Sánchez. 2010. Evaluación productiva de hembras en desarrollo de genotipos lecheros en una asociación de gramíneas con leucaena. *Pastos y Forrajes* 33:1-12.
- López-Vigoa, O., T. Sánchez-Santana, J. M. Iglesias-Gómez, L. Lamela-López, M. Soca-Pérez, J. Arece-García y M. de la C. Milera-Rodríguez. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes* 40:83-95.
- Lilienfeld, R. 1984. Teoría de Sistemas. Orígenes y aplicaciones en ciencias sociales. Editorial Trillas. México, D.F. 342 p.

- Ludwig, F., H. de Kroon, H. H. T. Prins, and F. Berendse. 2001. Effects of nutrients and shade on tree-grass interactions in an East African savanna. *J. Veg. Sci.* 12:579-588.
- Ludwig, F., Dawson, T. E., Prins, H. H. T., Berendse, F. and Kroon, H. 2004. Belowground competition between trees and grasses may overwhelm the facilitative effects of hydraulic lift. *Ecology Letters* 7:623-631.
- Luedeling, E, P. J. Smethurst, F. Baudron, J. Bayala, N. I. Huth, M. van Noordwijk, C. K. Ong, R. Mulia, B. Lusiana, C. Muthuri, and F. L. Sinclair. 2016. Field-scale modeling of tree–crop interactions: Challenges and development needs. *Agricultural Syst.* 142:51-69.
- Manríquez-Mendoza, L. Y., S. López-Ortiz, C. Olguín-Palacios, P. Pérez-Hernández, P. Díaz-Rivera and Z. Gerardo López-Tecpoyotl. Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Trop. Subtrop. Agroecosyst* 13:573-584.
- Maclaurin, A. R., N. M. Tainton, and D. I. Bransby. 1981. *Leucaena leucocephala* (lam.) de wit as a forage plant- a review. *Proc. Grassld. Soc. Sth. Afr.* 16:63-69.
- Mahecha, 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. *Pastos Tropicales* 22:26-30.
- Mahecha, L. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 15:226-231.
- Mahecha, L. 2003. Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 16:11-17.
- Marten, G. G. 1988. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as properties for Agroecosystem Assessment. *Agric. Sys.* 26:291-316.
- Martínez, D. J. P., F. Gallardo, L., L. C. Bustillo. G. y A. Pérez, V. 2011. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola en Veracruz. In: A. Cruz (Ed), La biodiversidad en Veracruz. Volumen I. Xalapa: Universidad Veracruzana-Instituto de Ecología A.C. pp:1071-1081.
- Martínez, M. M., A. R. Cruz, A. L. Bueno, L. A. M. Romero, M. H. Bravo, y M. U. Gómez. 2016. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 16:3343-3355.

- Maya, M. G. E., C. C. V. Durán, C., y J. Enrique, A. 2005a. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. *Acta. Agron.* 54:2-9.
- Maya M. G. E., C. C. V. Durán, y J. E. Ararat. 2005b. Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja-tallo del pasto estrella solo y asociado con leucaena. *Acta Agron.* 54:1-6.
- Meléndez, N. F. 2012. Principales Forrajes para el Trópico. 1ª (Ed) Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. Paseo Tabasco, 1504, Centro Administrativo de Gobierno Tabasco 2000, 86035, Villahermosa, Tabasco. Universidad Popular de la Chontalpa. Secretaría Académica Km 2 Carretera Cárdenas-Huimanguillo R/a. Paso y Playa. Cárdenas, Tabasco. pp:273-292.
- Merchant-Fuentes I. J., y J. Solano-Vergara. 2016. Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta Agr. Pecu.* 2:1-11.
- Milera, M. 2013. Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *AIA.* 17:7-24.
- Morin, E. 2004. La epistemología de la complejidad, *Gaceta de Antropología* No. 20 [http://www.ugr.es/~pwlac/G20\\_02Edgar\\_Morin.html](http://www.ugr.es/~pwlac/G20_02Edgar_Morin.html) Consultado: 1 de abril 2018.
- Montagnini, F., E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, y B. Eibl. 2015. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. 1a. ed. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE, Turrialba, Costa Rica. (Ed) CIPAV, Cali, Colombia. 454 p.
- Musálem-Santiago, M. A. 2002. Sistemas agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. *RCHSCFA.* 8:91-100.
- Murgueitio, E. 2009. Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. *AIA.* 13:3-19.
- Murgueitio, R. E., F. Uribe T., A. F. Zuluaga S. W. F. Galindo S., y L. M. Valencia C. 2010. Sistemas Silvopastoriles establecidos en las Fincas de Difusión y Tecnológicas (FDT). *In: Reconversión Ganadería con sistemas silvopastoriles en la Provincia de Chiriquí, Panamá* Murgueitio, (ed) R. E., F. Uribe T., A. F. Zuluaga S. W. F. Galindo S., L. M. Valencia C. y R. Soto B. Ed. Uribe, T. F. y A. F. Zuluaga S. (Ed). El Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible (CONADES). pp:35-77.
- Murgueitio, E., Z. Calle, F. Uribe, A. Calle, and B. Solorio. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For. Ecol. Manag.* 261:1654-1663.

- Murgueitio, R. E., J. D. Chará, A. J. Solarte, F. Uribe, C. Zapata, y J. E. Rivera. 2013. Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 26:313-316.
- Murgueitio, R. E., J. Chará O., R. Barahona, C. Cuartas, y J. Naranjo. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (sspi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Trop. Subtrop. Agroecosyt* 17:501-507.
- Murgueitio, E., F. Uribe, C. Molina, E. Molina, W. Galindo, J. Chará, M. Flores, C. Giraldo, C. Cuartas, J. Naranjo, L. Solarte, y J. González. 2016. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena*. (ed) E. Murgueitio, W. Galindo, J. Chará, y F. Uribe. (Ed) Centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de producción Agropecuaria. CIPAV. Cali, Colombia. pp: 220-228.
- Nahed, T. J., J. M. P. García, y E. G. García. 2014. La adaptación como atributo esencial en el fomento de sistemas agropecuarios resilientes ante las perturbaciones. *AIA.* 18:7-34.
- Pachas, A. N. A., H. M. Shelton, C. J. Lambrides, S. A. Dalzell, D. C. Macfarlane, and G. J. Murtagh. 2016. Water use, root activity and deep drainage within a perennial legume-grass pasture: A case study in southern inland Queensland, Australia. *Trop. Grassl.* 4:129-138.
- Nair, P. K. R. 1985. Clasificación de Agroforestry systems. International Center for Research in Agroforestry. Nairobi, Kenya. 52 p.
- Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 543 p.
- Nanami, S., H. Kawaguchi, and T. Yamakura. 2011. Spatial pattern formation and relative importance of intraand interspecific competition in codominant tree species, *Podocarpus nagi* and *Neolitsea aciculata*. *Ecol. Res.* 26:37-46.
- Navarro, G. H., A. S. Santiago, M. A. M. Santiago, H. V. Linddemann, y M. A. P. Olvera. 2012. La diversidad de especies útiles y sistemas agroforestales. *RCHSCFA.* 18:71-86.
- Nishimura, N., T. Hara, M. Miura, T. Manabe, and S. Yamamoto. 2002. Tree competition and species coexistence in a warm-temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecol.* 164:235-248.



- Nobel, P. S. 1991. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Academic Press, Inc. Los Angeles, Calif. pp:345-392.
- Obispo, N. E., Y. Espinoza, J. L. G. F. Ovalles, y M. F. Rodríguez. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zoot. Trop.* 26:285-288.
- Ong C. K., J. E. Corlett, R. P. Singh, and C. R. Black. 1991. Above and below ground interactions in agroforestry systems. *For. Ecol. Manag.* 45:45-57.
- Ormaechea, S., V. Gargaglione, H. A. Bahamoente, C. Escribano, E. Ceccaldi, y P. L. Peri. 2018. Producción bovina bajo manejo silvopastoril intensivo a escala de establecimiento y ciclo completo en Tierra del Fuego, Argentina. *LRRD.* 30:1-12.
- Pachas, A. N. A., E. J. Jacobo, M. C. Goldfarb, and S. M. Lacorte. 2014. Response of *Axonopus catarinensis* and *Arachis pintoii* to shade conditions. *Trop. Grassl.* 2:111-112.
- Pachas, A. N. A., H. M. Shelton, C. J. Lambrides, S. A. Dalzell, y G. J. Murtagh. 2017. Efecto de la densidad de árboles en el rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala* y *Chloris gayana*. In *Sistemas Silvopastoriles: Aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. CIPAV. Cali, Colombia. Chará, J., P. Peri, J. E. Rivera, E. Murgueitio, y K. Castaño (ed). CIPAV - Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Ed). pp: 373.-377.
- Pachas A. N. A., H. M. Shelton, C. J. Lambrides, S. A. Dalzell, and G. Jonh, M. 2018. Effect of tree density on competition between *Leucaena leucocephala* and *Chloris gayana* using a Nelder Wheel trial. I. Aboveground interactions. *Crop. Pasture Sci.* 69:419-429.
- Palma, J. M., y J. M. Anguiano. 2014. Alta densidad de siembra de leñosa como estrategia de intensificación de sistemas silvopastoriles en la ganadería tropical. In *Logros y Desafíos de la Ganadería Doble Propósito*. Stagnaro, (ed) G. C., E. Soto, B., y N. Madrid, B. (Ed) Fundación GIRARZ, Grupo de Investigadores de la Reproducción Animal en la Región Zuliana, Presentado motivo de la realización del VI Concurso Internacional de Ganadería de Doble Propósito en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, el día 25 de septiembre de 2014. pp:311-321.
- Peters, M. 2003. Especies forrajeras multipropósitos: opciones para productores de Centroamérica. Cali, Colombia. Centro Internacional de agricultura Tropical (CIAT). 114 p.

- Pezo, D., y M. Ibrahim. 1999. Sistemas Silvopastoriles. Colección de Módulos de Enseñanza Agroforestales. (Ed). Centro agronómico tropical de Investigación y Enseñanza Catie. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ Turrialba, Costa Rica. 15 p.
- Pirela, M. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. En: González-Stagnaro, C. Soto-Belloso, E. editores. Manual de ganadería de doble propósito. (Ed.) Astro Data, S.A. Maracaibo-Venezuela. VIII. pp:176-182.
- Pinton, 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. Rev. Fac. Agron. 31:78-99.
- Radrizzani, A., S. A. Dalzell, O. Kravchuk, and H. M. Shelton. 2010. A grazier survey of the long-term productivity of leucaena (*Leucaena leucocephala*)-grass pastures in Queensland. Animal Prod. Sci. 50:105-113.
- Ramírez, A. L., C. Sandoval, C., J. Estrada, L., y J. ku-Vera. 2006. Integración del componente arbóreo en los sistemas de producción animal tropical. In: producción y Manejo de los Recursos Forrajeros Tropicales. (ed). Velazco, Z. M. E., A. Hernández-Garay, R. A. Perezgrovas G., y B. Sánchez M. 1ª (Ed) Diciembre del 2006. Publicación espacial de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Autónoma de Chiapas. pp:157-174.
- Ramírez, J. L., R. S. Herrera, I. Leonard, D. Verdecia, y Y. Álvarez. 2010. Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis* cv. Mulato en el Valles del Cauto, Cuba. Rev. Cub. Cienc. Agrí. 44:65-72.
- Rivera-Herrera, J. E., I. Molina-Botero, J. Chará-Orozco, E. Murgueitio-Restrepo, y R. Barahona-Rosales. 2017. Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. Pastos y Forrajes 40:171-183.
- Roca-Fernández, A. I., J. L. Peyraud, L. Delaby, and R. Delagarde. 2016. Pasture intake and milk production of dairy cows rotationally grazing on multi-species swards. Animal 10:1448-1456.
- Rodríguez, F. G., y B. R. Fandiño. 2013. Producción de forraje y respuesta de cabras en crecimiento en arreglos silvopastoriles basados en *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* y *Crescentia cujete*. Cienc. Tecnol. Agropecu. 14:77-89.
- Rojas, H. S., P. J. Olivares, G. R. Jiménez, y C. E. Hernández. 2005. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. Rev. Electrón. Vet. 6:1-9.

- Ruíz-Rosado, O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. Agroecología y agricultura orgánica en el trópico. López B. O., S. I Ramírez G., M. Ramírez G., G. Moreno, B., A. E Alvarado, G. (ed.) Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Universidad Autónoma de Chiapas, México. pp:27-35.
- Ruiz, T. E., G. Flebes, y J. Alonso. 2015. Estudios con leguminosas, un aporte a la ciencia durante los cincuenta años del Instituto de Ciencia Animal. Rev. Cub. Cienc. Agrí. 49:241-433.
- Sage F. R. and S. D. Kubeins. 2007. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. Plant Cell Environment 30:1086-1106.
- Sánchez, T., L. Lamela, y O. López. 2003. Efecto de una asociación de *Leucaena* con gramíneas mejoradas en la producción de leche. Pastos y Forrajes 26:137-148.
- Sánchez, T., L. Lamela y O. López. 2007a. Caracterización de la comunidad vegetal en una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. Pasto y Forrajes 30:455-467.
- Sánchez, A., J. Faria-Mármol y C. Araque. 2007b. Producción de materia seca en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala* al aplazar su utilización durante la época seca. Zoot. Trop. 26:117-123.
- Sánchez, A. y J. Faria, M. 2013. Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala*. Zoot. Trop. 31:16-23.
- Sánchez, B. 2014. Manual de Sistemas silvopastoriles en Honduras. Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura. Tegucigalpa, Honduras. 36 p.
- Santiago-Hernández, F., S. López-Ortiz, C. Ávila-Reséndiz, J. Jarillo-Rodríguez, P. Pérez-Hernández and J. D. Guerrero-Rodríguez. 2016. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. Agrofor. Syst. 90:339-349.
- Sarabia, S. L., F. J. Solorio, S., B. R. Alves, L. Ramírez A., J. Ku -Vera, B. Solorio S., J. A. Eroles, V., y S. Urquiaga C. 2014. Producción de forraje y fijación atmosférica de nitrógeno en un sistema silvopastoril intensivo. In: XLI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y VII Reunión Nacional de Sistemas Agro y Silvopastoriles. Mérida, Yucatán, México del 2 al 4 de Julio de 2014. pp: 407-411.

- Silva-Pando, F. J., M. P. González-Hernández, and M. J. Rozados-Lorenzo. 2002. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. *Agrofor. Syst.* 56:203-211.
- Simón, L. Del monocultivo de pastos al silvopastoreo: 2012. La experiencia de la EEPF “Indio Hatuey”. En: L. Simón, ed. *Silvopastoreo*. Un nuevo concepto de pastizal. Matanzas, Cuba: EEPF “Indio Hatuey” pp: 11-24.
- Solorio, F. J. y B. Solorio S. 2008. Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*. Fundación Produce Michoacán. Morelia Michoacán a 20 de mayo de 2008. 29 p.
- Solorio-Sánchez, F. J., H. Bacab-Pérez, J. B. Castillo-Caamal, L. Ramírez-Avilés, y F. Casanova-Lugo. 2009. Potencial de los sistemas silvopastoriles en México. *In: II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. Celebrado del 3 al 5 de noviembre de 2009. Fundación Produce Michoacán, A. C. en Morelia Michoacán. México. pp:9-20.
- Solorio-Sánchez, F. J., B. Solorio-Sánchez, F. Casanova-Lugo, L. Ramírez-Avilés, A. Ayala-Burgos, J. Ku-Vera, y C. Aguilar-Pérez. 2012. Situación actual global de la investigación y desarrollo tecnológico en el establecimiento, manejo y aprovechamiento de los sistemas silvopastoriles intensivos. *In: Memorias del IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos*. Morelia, México, Fundación Produce Michoacán, Universidad Autónoma de Yucatán. 315 p.
- Somarriba, E. 1990. Pasture growth and Floristic composition under the shade of guajava (*psidium guajava*) trees in Costa Rica. *Agrofor. Syst.* 6:153-162.
- Sosa, R. E. E., E. C. Torres, D. P. Rodríguez, y L. O. Reyes. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Téc. Pecu. Méx.* 46:413-426.
- Sosa-Rodríguez, A. A., J. L. Ledea-Rodríguez, W. Estrada-Prado, y D. Molinet-Salas. 2017. Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa (*Moringa oleífera*) *Agron. Mesoam.* 28:207-211.
- Shelton, M. H. 1995. Leucaena forage production and quality in southeast queensland. *Leucnet News* 2:6-7.
- Smethurst, P. J., N. I. Huth, P. Masikati, G. W. Sileshi, F. K. Akinnifesi, J. Wilson, and F. Sinclair. 2017. Accurate crop yield predictions from modelling treecrop interactions in gliricidia-maize agroforestry. *Agricultural Syst.* 155:70-77.

- Tikam, K., C. Phatsara, C. Mikled, T. Vearasilp, W. Phunphiphat, J. Chobtang, A. Cherdthong, and K. H. Sudekum. 2013. Pangola grass as forage for ruminant animals: a review. SpringerPlus. 2:2-6.
- Toral, O. C., y J. M. Iglesias. 2007. Efecto de la poda en el rendimiento de biomasa de 20 accesiones de especies arbóreas. Pasto y Forrajes 30:341-355.
- Tudsri, S., Y. Ishii, H. Numaguchi, and S. Prasanpanich. 2002. The effect of cutting interval on the growth of *Leucaena leucocephala* and three associated grasses in Thailand. Trop. Grassl. 36:90-96.
- Valle, J. L., J. M. Palma, y G. L. Sangines. 2004. Biomasa y composición nutricional de la asociación *Cenchrus ciliaris-Gliricidia sepium* al establecimiento. AIA. 8:1-7.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2<sup>nd</sup>. ed. Comstock Publishing, Cornell University Press. NY. pp:40-125.
- 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* cv. Mombaza en las condiciones climáticas del Valle del Cauto, Cuba. Rev. Cub. Cienc. Agrí. 46:97-101.
- Vilaboa-Arroniz, J., P. Díaz-Rivera, O. Ruiz-Rosado, D. E. Platas-Rosado, S. González-Muñoz, y F. Juárez-Lagunes. 2009a. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México Trop. Subtrop. Agroecosyt 10:53-62.
- Vilaboa, A. J., P. D. Rivera, D. E. P. Rosado, y F. J. Lagunes. 2009b. Estructura de comercialización de bovinos destinados al abasto de carne en la región del Papaloapan, Veracruz, México. SOMEXAA. 31:831-854.
- Vilaboa, A. J. 2013. La ganadería doble propósito desde una visión agroecosistémica. Agroproductividad 6:9-15.
- Villa, H. A. 2009. Productividad del sistema silvopastoril con *Guazuma ulmifolia* Lam. Y la utilización de la especie en los agroecosistemas de Angostillo, Tesis de Maestría en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Posgraduados. Campus Veracruz. 41 p.

- Villanueva, C., M. Ibrahim y G. Haensel. 2010. Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles: Estudios de caso en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 78 p.
- Wezel, A. y J. C. Jauneau. 2011. Agroecology-Interpretations, Approaches and Their Links to Nature Conservation, Rural Development and Ecotourism. Campbell W. B. y Lopez Ortiz S. (ed). Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. Springer Netherlands. London. pp:1-25.
- Wencomo, H. B., y R. Ortíz. 2011. Capacidad de recuperación de 23 accesiones de *Leucaena* spp. después de la poda. Pastos y Forrajes 34:53-68.
- Yoshida, T., and T. Kamitani. 2000. Interspecific competition among three canopytree species in a mixed-species even-aged forest of central Japan. For. Ecol. Manage. 137:221-230.
- Zárate, P. S. Revisión del género *Leucaena* en México. Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México. Ser. Bot. 65:53-162.

**CAPÍTULO I. RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRITIVA DEL FORRAJE EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO CON *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania**

**RESUMEN**

Se determinó el rendimiento y calidad del forraje en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham (5000 árboles ha<sup>-1</sup>) asociado con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, a cuatro intervalos de descanso (20, 30, 40 y 50 días), en dos épocas del año (lluvia y seca) en clima cálido Subhúmedo. Los cuatro intervalos de descanso (tratamientos) se distribuyeron en campo en un diseño completamente al azar con 12 parcelas (24 m<sup>2</sup> c/u; tres repeticiones). Para estimar el rendimiento y calidad nutritiva del forraje presente, se realizaron cortes con marcos de 2 m<sup>2</sup>, en la época húmeda (agosto-octubre, 2014) y seca (marzo-abril, 2015). La gramínea aportó la mayor proporción de forraje a la biomasa presente (80 vs. 20 %) y la asociación produjo más biomasa total a 50 días en la época de lluvias (5300 kg MS ha<sup>-1</sup>) que en la de seca (1620 kg MS ha<sup>-1</sup>); en lluvias, la proteína cruda (PC) del árbol fue 22 % (P<0.05) hasta 50 días, y en seca fue similar entre intervalos (28 %) (P=0.05); fibra detergente neutro (FDN) se mantuvo (44 %) (P>0.05) y fibra detergente ácido (FDA) aumentó (25 %) (P<0.05) a los 50 días y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) disminuyó (49 %) (P<0.05) en la misma edad. En la gramínea, la PC (10 %) (P<0.0001) y DIVMS (58 %) (P<0.03) se mantuvieron a 40 días, aunque FDN y FDA aumentaron significativamente a 50 días, en ambas épocas. Concluimos que la asociación *L. leucocephala* y *M. maximus*, alcanza su mayor producción entre 40-50 días, con mejor calidad nutritiva de la gramínea a 40 días, que se puede compensar con el valor nutritivo del follaje de los árboles hasta los 50 días de descanso, independientemente de la época.

**Palabras clave:** Asociación, árbol-gramínea, sistema silvopastoril, calidad nutritiva.

**YIELD AND NUTRITIVE QUALITY OF FORAGE IN AN INTENSIVE  
SILVOPASTORIL SYSTEM WITH *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham AND  
*Megathyrus maximus* cv. Tanzania**

**ABSTRACT**

The yield and nutritive value of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham and *Megathyrus maximus* cv. Tanzania were assessed in a silvopastoral system (5000 trees per hectare); forage was harvested at 20, 30, 40 and 50-d intervals, in two seasons. Treatments were randomly assigned to 12 paddocks (24-m<sup>2</sup> each) in a completely randomized design with three replicates. Aerial biomass (grass and tree) was harvested within 2-m<sup>2</sup> quadrats to measure forage yield and nutritive value from August-October 2014 (wet) and March-April 2015 (dry). The grass accounted for most of total available forage in the silvopastoral system (80 vs. 20%). In both seasons, the association yielded more forage in the 50-d interval (5300 kg MS ha<sup>-1</sup>) in wet than in dry season (1620 kg MS ha<sup>-1</sup>; P<0.05). During the rainy season, crude protein (CP) in tree fodder was higher in the 50-d interval (22%; P<0.05), but it did not change over the intervals during the dry season (28%; P=0.05); neutral detergent fiber (NDF) did not change over time (44%; P=0.91) and acid detergent fiber (ADF) increased in the 50-d interval (25%, P<0.05) at the same time that *in vitro* digestibility of dry matter (IVDDM) decreased (49%; P<0.05), disregard the season. Protein (10%; P<0.0001) and IVDDM of grasses maintained higher from 20 to 40-d intervals (58%; P<0.03), however, NDF and ADF fractions significantly increased after the 40-d interval, in both seasons. We concluded that the silvopastoral system reaches the highest yield between the 40-50 days of rest, with the highest nutritive quality of grasses up to 40 days, after this, the nutritive quality of the trees might compensate the lost in nutritive quality of grasses, disregard the season of the year.

**Key words:** Association, tree-grass, silvopastoral system, nutritive quality.



## 1.1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas de las regiones tropicales de México favorecen la producción de forrajes. No obstante, la temperatura y la precipitación que en una época favorecen el crecimiento vegetal, también pueden ser limitantes en invierno y primavera y afectar el crecimiento de los pastos <sup>(1)</sup>. Las bajas temperaturas y alta nubosidad pueden disminuir el crecimiento en los periodos de transición de lluvias a secas, y la ausencia de precipitación en primavera frena el crecimiento de las gramíneas, ocasionando escasez y baja calidad del forraje, y no se alcanza a cubrir los requerimientos nutricionales del ganado en pastoreo <sup>(2, 3)</sup>.

La asociación de gramíneas y árboles forrajeros en sistemas silvopastoriles es una posibilidad para mejorar la disponibilidad de forraje durante el año y al mismo tiempo aumentar la calidad químico-nutricional del forraje <sup>(4, 5)</sup>. Se ha demostrado que distintas asociaciones de gramíneas y árboles forrajeros pueden ser más productivas que las pasturas de gramíneas <sup>(6, 7)</sup>, que la disponibilidad de forraje a través del año puede extenderse durante mayor tiempo aún en condiciones de precipitación estacional <sup>(8)</sup>, y que la calidad nutritiva del forraje ofrecido (follaje de árboles y gramíneas) es mejor que en monocultivos a base de gramíneas <sup>(9, 5)</sup>. Por tanto, la asociación de gramíneas con árboles forrajeros incrementa la producción de forraje total y mejora la calidad de la dieta de los animales en pastoreo <sup>(10, 11)</sup>.

No obstante, las ventajas y beneficios que los sistemas silvopastoriles pueden brindar, es importante evaluar las posibilidades de combinación de especies de árboles y gramíneas, para asegurar que la asociación y el manejo promuevan un óptimo rendimiento y calidad del forraje disponible. *Megathyrus maximus* cultivar Tanzania es una de las gramíneas con alta capacidad de producción, con un contenido de proteína de 10 a 14 %, digestibilidad de 60 a 70 % y adaptación

a condiciones edáficas y climáticas diversas <sup>(12, 13)</sup>. En el estado de Veracruz, este cultivar registró 8317 Kg MS ha<sup>-1</sup> a 42 días de rebrote en lluvias y 1027 kg MS ha<sup>-1</sup> a 35 días de rebrote en seca <sup>(14)</sup>.

El potencial productivo de Tanzania puede complementarse con árboles forrajeros cultivados en hileras en distintas densidades <sup>(15)</sup>. *Leucaena leucocephala* es la especie arbórea más utilizada en sistemas silvopastoriles, que bajo un manejo adecuado mejora la calidad de la dieta de los animales a base de gramíneas y aumenta la biomasa comestible <sup>(16)</sup>. Bajo manejo, este árbol conserva sus hojas verdes también en la época seca (marzo-junio) y se convierte en una fuente importante de forraje, con mejor calidad nutritiva que las gramíneas durante esta época, cuando la disponibilidad de forraje es más baja y en ocasiones nula, con menor contenido de proteína cruda <sup>(17, 18)</sup>. Además de incrementar la producción de biomasa de las gramíneas, puede mejorar la calidad nutricional de la pastura asociada <sup>(9, 16)</sup>.

En los sistemas silvopastoriles, las gramíneas y árboles tienen diferentes hábitos de crecimiento <sup>(19)</sup>, que determinan diferentes capacidades de rebrote y producción de forraje a través del tiempo <sup>(20)</sup> y esta diferencia debe considerarse en los planes de manejo <sup>(21)</sup>. En la asociación de *L. leucocephala* y Tanzania se recomiendan intervalos de descansos que permitan la recuperación de los árboles, sin detrimento de las gramíneas. Es decir, no dejar demasiado tiempo de descanso porque la gramínea alcanza la madurez más rápido y su calidad nutritiva cambia rápidamente <sup>(13)</sup>. En el manejo de este tipo de asociación podría suceder que los periodos de descanso sean más largos en comparación con los sistemas de monocultivo a base de gramíneas, debido a que las plantas de *Leucaena* tardan más tiempo en recuperarse <sup>(22)</sup>, considerando también un posible efecto de la época del año en el crecimiento de cada componente. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue determinar el intervalo de descanso que permita obtener la mayor producción de forraje con la

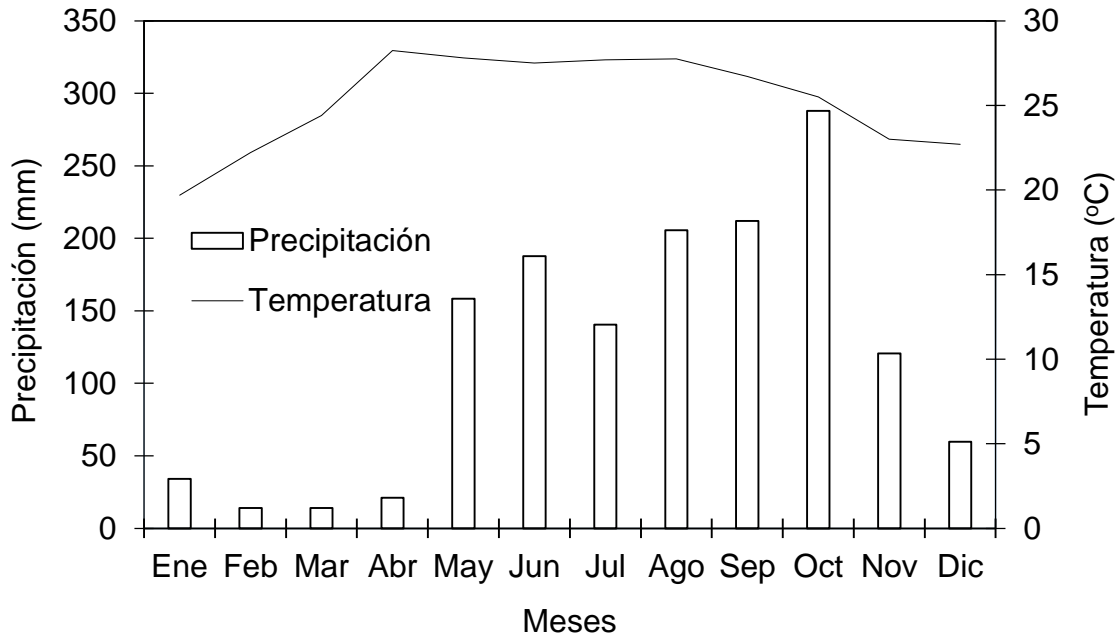
mejor calidad nutritiva de un sistema silvopastoril con *L. leucocephala* y *M. maximus*, en dos épocas del año, en condiciones de clima cálido y precipitación estacional.

## 1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.2.1 Localización y características del sitio experimental

El experimento se realizó en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México (18° 00' 11" - 17° 59' 5" N, y 95° 16' 29" - 95° 16' 30" W), a 107 msnm, el clima de la región es AW<sub>2</sub>, que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano <sup>(23)</sup> con temperatura máxima de 28 °C en el mes de abril y mínima de (20 °C) en enero, la máxima precipitación registrada en esa zona fue 235 mm de agosto a octubre, y la mínima 28 mm de diciembre a abril <sup>(24)</sup> (Figura 1). Se analizó el suelo del sitio experimental en el Laboratorio de Suelo, Agua y Plantas del Campus Veracruz-Colegio de Postgraduados, siguiendo los métodos de la Norma Oficial Mexicana <sup>(25)</sup>. El suelo es de textura franco arenosa con 64 % de arena, 17 % de arcilla, 19 % de limo (método de Bouyoucos AS-09), el pH es ligeramente ácido (6.6) y se obtuvo por el método electrométrico (AS-02); se encontró un contenido bajo de materia orgánica (0.15 %) cuantificado con el método de Walkley y Black (AS-07) y 45 dS m<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica mediante el método de conductímetro (AS-18); con valores de nitratos (método por cadmio), amonio (método de Nessler), potasio (método Turbidimétrico) y fosforo (método de Amino ácido) de 100, 70, 108 y 27 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente <sup>(26)</sup>.

Figura 1. Precipitación (mm mensuales) y temperatura (media mensual) de la región donde se realizó el experimento, durante el periodo 2014-2015.



### 1.2.2. Sitio y parcelas experimentales

Se utilizó un potrero de 0.5 ha con una asociación de *M. maximus cv. Tanzania* y *L. leucocephala cv. Cunningham*, establecido en el año 2011. La gramínea y los árboles se propagaron por semilla, los árboles se sembraron a una densidad de 5000 plantas ha<sup>-1</sup> en un arreglo espacial de hileras establecidas a 2 m de distancia y 1 m entre plantas. Después de 12 meses de establecido, el sistema silvopastoril estuvo sujeto al pastoreo-ramoneo con vacas de doble propósito utilizando una carga animal de 20 a 27 vacas con periodos de ocupación de tres horas diarias durante siete días continuos, los periodos de descanso se hacían de acuerdo a la recuperación de ambas especies (mayor a 30 días) independientemente de la época. En una superficie de 288 m<sup>2</sup> dentro del potrero, se trazaron 12 parcelas de 24 m<sup>2</sup> c/u (6 x 4 m), y cada parcela funcionó como unidad experimental.

### **1.2.3. Tratamientos y diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, en el que los tratamientos se asignaron aleatoriamente a cada una de las 12 parcelas experimentales. Los tratamientos fueron cuatro intervalos de descanso (20, 30, 40 y 50 días) después del corte, con tres repeticiones cada uno.

### **1.2.4. Procedimiento experimental**

El experimento se realizó de Agosto a Octubre del 2014 (época de lluvias) y de Marzo a Abril del 2015 (época seca). Se realizó un corte inicial de la biomasa aérea para uniformizar la altura; la gramínea se cortó a 20 cm de altura y los árboles se podaron a un 1 m de altura, se hizo una poda parcial que consistió en cortar las ramas principales o más leñosas del árbol <sup>(12, 27)</sup>. Después del corte inicial transcurrieron los tiempos de descanso definidos como tratamientos.

### **1.2.5. Variables**

Se determinó la biomasa total disponible, de árbol y gramínea y la calidad nutritiva del forraje en cada intervalo de corte. En cada muestreo (época de lluvias y seca), se eligieron aleatoriamente cuatro puntos de muestreo (rectángulos de 2 x 1 m), en cada una de las tres parcelas (repeticiones) de cada tratamiento; dentro de cada rectángulo se cosechó todo el follaje de los árboles que constituía crecimiento nuevo (hojas y tallos tiernos), simulando el ramoneo que realizan los animales, simultáneamente se cosechó la materia verde total del pasto a 20 cm de altura <sup>(12, 28)</sup>. De cada punto de muestreo se tomaron dos sub-muestras de biomasa verde, la primera para determinar la materia seca (en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h) y la segunda para realizar los análisis de calidad nutritiva en el Laboratorio de Nutrición Animal del Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados, donde se determinó el contenido de proteína cruda (PC) por el método de Microkjeldahl <sup>(29)</sup>, fibra detergente neutro (FDN) y ácido (FDA) con la técnica de la bolsa de

filtro (ANKOM<sup>2000</sup>; Ankom Technology, New York, USA) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) con la incubadora Daisy de ANKOM y bolsas Modelo F57 (ANKOM Technologies, Macedon NY; USA) <sup>(30, 31)</sup>.

### **1.2.6. Análisis estadísticos**

Todas las variables de biomasa (total, gramínea y árbol) y calidad nutritiva (PC, FDN, FDA y DIVMS), se analizaron bajo un diseño completamente al azar. El modelo incluyó los efectos de tratamiento (intervalos 20, 30 40 y 50 días), época (húmeda y seca) y época\*tratamiento. Todas las variables se analizaron con el procedimiento Generalized Linear Models (GLM, ANOVA) del paquete estadístico SAS <sup>(32)</sup>. Cuando hubo diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos se realizaron pruebas de comparación de medias de la biomasa y calidad nutritiva del pasto y del árbol con el método de mínimos cuadrados (LSMeans de SAS).

## **1.3. RESULTADOS**

### **1.3.1. Biomasa forrajera**

La biomasa forrajera total (gramínea y árboles) difirió de manera significativa ( $P < 0.001$ ) por el efecto de la interacción entre los intervalos de descanso y la época (Cuadro 1). En época de lluvias la mayor producción se observó a 50 días ( $P < 0.05$ ), la menor a 20 días ( $P < 0.05$ ) y similar en los descansos de 30 y 40 días ( $P > 0.05$ ). En época de seca, las mayores producciones ocurrieron a los 50 y 40 días que fueron similares entre sí ( $P > 0.05$ ), la producción a 30 días fue similar a 40 días ( $P > 0.05$ ), y la de 20 días y fue similar a 30 días ( $P = 0.05$ ).

El forraje que la gramínea y los árboles aportaron individualmente también difirió por la interacción de intervalo de descanso y época ( $P < 0.0001$ ), en los dos casos, la cantidad de forraje

aumentó conforme se extendió el periodo de descanso durante las lluvias. La gramínea aumentó de 1140 a 5110 kg MS ha<sup>-1</sup> y la del árbol de 60 a 190 kg MS ha<sup>-1</sup> en los intervalos de 20 a 50 días respectivamente, sin embargo, durante la seca mientras la disponibilidad de la gramínea aumentó de 330 a 1580 kg MS ha<sup>-1</sup> durante los 20 a 50 días, la de los árboles se mantuvo baja (30 kg MS ha<sup>-1</sup>) y similar entre tratamientos ( $P > 0.05$ ) (Cuadro 1). La gramínea aportó una mayor cantidad de forraje a la biomasa total que los árboles, en ambas épocas (88.6 a 96.2 % de forraje en lluvias y 86.8 a 97.5 % de forraje en secas). También, la biomasa tanto de gramínea como de árbol se incrementó a medida que aumentó el intervalo de descanso, excepto la del árbol en la época seca que se mantuvo baja (Cuadro 1).

Cuadro 1. Biomasa forrajera de gramínea, árbol y biomasa total (árbol + gramínea; Kg MS ha<sup>-1</sup>) en un sistema silvopastoril con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año.

Intervalos	Lluvias			Secas		
	Gramínea	Árbol	Total	Gramínea	Árbol	Total
50	5110 ± 240 <sup>a</sup>	190 ± 20 <sup>b</sup>	5300 ± 240 <sup>a</sup>	1580 ± 240 <sup>a</sup>	30 ± 20 <sup>a</sup>	1620 ± 230 <sup>a</sup>
40	2330 ± 260 <sup>b</sup>	300 ± 20 <sup>a</sup>	2630 ± 260 <sup>b</sup>	1090 ± 240 <sup>ab</sup>	30 ± 20 <sup>a</sup>	1130 ± 230 <sup>ab</sup>
30	2270 ± 240 <sup>b</sup>	100 ± 20 <sup>c</sup>	2380 ± 240 <sup>b</sup>	680 ± 240 <sup>bc</sup>	20 ± 20 <sup>a</sup>	700 ± 240 <sup>bc</sup>
20	1140 ± 240 <sup>c</sup>	60 ± 20 <sup>c</sup>	1200 ± 240 <sup>c</sup>	330 ± 250 <sup>c</sup>	40 ± 20 <sup>a</sup>	380 ± 240 <sup>c</sup>

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).

### 1.3.2. Calidad químico-nutricional de la biomasa

Los contenidos de proteína cruda en el follaje de los árboles difirieron de manera significativa ( $P = 0.04$ ) por el efecto de la interacción entre el intervalo de descanso y la época. En lluvias, los

árboles mantuvieron entre 22 y 29 % PC y se encontró un mayor contenido en el follaje en el intervalo más corto ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 2); mientras que, en la época seca, el contenido se mantuvo igual en todos los intervalos de descanso ( $P > 0.05$ ), y en general, superaron a las concentraciones observadas en la época de lluvias. Esta interacción no afectó ninguna otra variable de calidad nutritiva de los árboles ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 2. Proteína cruda (%) de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en un sistema silvopastoril con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año.

Intervalos	Lluvias	Secas
20	29 ± 1.2 <sup>a</sup>	29 ± 1.2 <sup>a</sup>
30	23 ± 1.2 <sup>b</sup>	26 ± 1.2 <sup>a</sup>
40	23 ± 1.2 <sup>b</sup>	30 ± 1.2 <sup>a</sup>
50	22 ± 1.2 <sup>b</sup>	28 ± 1.2 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).

La FDN en el follaje de los árboles se mantuvo estable y no difirió entre los intervalos de descanso ( $P = 0.9$ ) mientras que la FDA si varió entre intervalos ( $P = 0.03$ ) y fue similar entre los intervalos 30, 40 y 50 días ( $P > 0.05$ ), que superaron la concentración observada en el intervalo de 20 días ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 3). La digestibilidad del follaje se mantuvo más alta ( $P < 0.03$ ) en los intervalos más cortos (20, 30 y 40 días) y se mantuvieron únicamente de 2 a 3 puntos porcentuales superiores a lo encontrado con el intervalo de 50 días ( $P < 0.05$ ).



Cuadro 3. Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en un sistema silvopastoril con *Megathyrus maximus* cv. Tanzania, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso.

Intervalos	FDN (%)	FDA (%)	DIVMS (%)
20	45 ± 1.0 <sup>a</sup>	21 ± 0.8 <sup>b</sup>	52 ± 0.7 <sup>a</sup>
30	44 ± 1.0 <sup>a</sup>	24 ± 0.8 <sup>a</sup>	52 ± 0.7 <sup>a</sup>
40	45 ± 1.0 <sup>a</sup>	23 ± 0.8 <sup>ab</sup>	51 ± 0.7 <sup>ab</sup>
50	45 ± 1.0 <sup>a</sup>	25 ± 0.8 <sup>a</sup>	49 ± 0.7 <sup>b</sup>

FDN=fibra detergente neutro; FDA=fibra detergente ácido; DIVMS=digestibilidad *in vitro* de la materia seca; <sup>ab</sup> Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística (P < 0.05).

En la gramínea, la PC (P = 0.01) y DIVMS (P = 0.03) también variaron entre los intervalos de descanso del sistema silvopastoril. En el intervalo de 20 días, la concentración de PC (12%) superó significativamente (P < 0.05) al contenido encontrado a los 30 y 40 días que fueron similares (P > 0.05) en concentración (10 % PC en ambos intervalos); el intervalo de 50 días tuvo el valor más bajo de proteína (7 %) (Cuadro 4). La DIVMS mostró una tendencia similar a la PC, el forraje se mantuvo más digestible en los primeros intervalos, disminuyendo de 4 a 8 puntos porcentuales a los 50 días (P < 0.05). En general, la PC y DIVMS en la gramínea disminuyó conforme aumentó el intervalo de descanso de la pastura.

Cuadro 4. Proteína cruda y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de *Megathyrus maximus cv.* Tanzania en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala cv.* Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso.

Intervalos	PC %	DIVMS %
20	12 ± 0.5 <sup>a</sup>	60 ± 1.3 <sup>a</sup>
30	10 ± 0.5 <sup>b</sup>	58 ± 1.3 <sup>a</sup>
40	10 ± 0.5 <sup>b</sup>	58 ± 1.3 <sup>a</sup>
50	7 ± 0.5 <sup>c</sup>	54 ± 1.3 <sup>b</sup>

PC= proteína cruda; DIVMS=digestibilidad *in vitro* de la materia seca; <sup>abc</sup> Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística (P < 0.05).

La fibra detergente neutro (P = 0.002) y ácido (P < 0.001) en la gramínea difirieron por efecto de la interacción entre el intervalo de descanso y la época. En lluvias, la acumulación de FDN fue similar (P > 0.05) entre los intervalos de 20, 30 y 40 días, y en su conjunto fueron inferiores significativamente (P < 0.05) al contenido a los 50 días, coincidiendo con el valor más alto en FDA para ese intervalo (Cuadro 5), y los intervalos de 20, 30 y 40 días fueron similares (P > 0.05); mientras tanto en la época seca, FDN en la biomasa de 40 y 50 días fue similar (P > 0.05) entre intervalos pero superiores (P < 0.05) al contenido encontrado a los 20 y 30 días. Los mayores contenidos de FDA se encontraron a los 40 y 50 días; cabe señalar que tampoco hubo diferencias significativas (P > 0.05) entre intervalos y los valores más bajos (P < 0.05) se observaron a los 20 y 30 días.

Cuadro 5. Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de *Megathyrus maximus* cv. Tanzania en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, a 20, 30, 40 y 50 días de descanso, en dos épocas del año.

Intervalos	Lluvias		Secas	
	FDN (%)	FDA (%)	FDN (%)	FDA (%)
20	69 ± 0.8 <sup>b</sup>	37 ± 0.7 <sup>b</sup>	62 ± 0.8 <sup>c</sup>	28 ± 0.7 <sup>c</sup>
30	68 ± 0.8 <sup>b</sup>	38 ± 0.7 <sup>b</sup>	66 ± 0.8 <sup>b</sup>	32 ± 0.7 <sup>b</sup>
40	69 ± 0.8 <sup>b</sup>	39 ± 0.7 <sup>b</sup>	70 ± 0.8 <sup>a</sup>	36 ± 0.7 <sup>a</sup>
50	74 ± 0.8 <sup>a</sup>	44 ± 0.7 <sup>a</sup>	71 ± 0.8 <sup>a</sup>	36 ± 0.7 <sup>a</sup>

FDN= fibra detergente neutro; FDA=fibra detergente ácido; <sup>abc</sup> Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística ( $P < 0.05$ ).

#### 1.4. DISCUSIÓN

La biomasa total se mantuvo más alta con el intervalo de corte más largo (50 días) durante ambas épocas, este aumento se puede asociar a un mayor tiempo de recuperación de las plantas (tanto árbol como gramínea) que les permite acumular más reservas en raíz y tallo <sup>(33, 34)</sup> y por lo tanto tener un rebrote vigoroso. Sin embargo, el aporte de biomasa de árbol fue inferior al aporte de la gramínea debido a la baja densidad de árboles (5000 plantas ha<sup>-1</sup>) en el sistema silvopastoril <sup>(6)</sup>, otros autores han encontrado mayor aporte de forraje de esta especie en densidades altas de 53000 árboles ha<sup>-1</sup> <sup>(7)</sup>.

El árbol y la gramínea mostraron efecto de la interacción de intervalos de descanso con época. Esto se debe a que las condiciones para el crecimiento de las plantas son diferentes entre las épocas. Al igual que en otros estudios en condiciones de precipitación estacional <sup>(12)</sup>, las condiciones

climáticas en la época húmeda (temperatura y precipitación) favorecieron la producción de forraje de esta investigación <sup>(35, 36)</sup>. En época de lluvias el corte de 50 días se realizó a una temperatura de 25 °C y 287 mm de precipitación acumulada, la cual favoreció el crecimiento de ambas especies. Por el contrario, durante la época seca, la escasa precipitación (21 mm) con temperaturas más altas (28 °C) no permitió que las plantas expresaran su potencial de producción. También, cuando se depende de la humedad por precipitación, algunos intervalos de descanso coinciden con periodos más homogéneos de disponibilidad de humedad que otros, y eso se observó en el intervalo de 40 días cuya producción fue similar a la de 30 días en ambas épocas <sup>(37, 38)</sup>.

Por otro lado, los árboles en la época seca muestran un comportamiento similar entre intervalos porque las condiciones de humedad limitadas son más homogéneas a través del tiempo; su respuesta se diferencia de las gramíneas (que si varían aun en la época seca), posiblemente por ser plantas con hábitos de crecimiento y estrategias de sobrevivencia distintas <sup>(39, 40)</sup> y en esta época necesitaban más tiempo para recuperarse del corte.

Debido a que las condiciones agroecológicas (tipo de suelo y clima) varían entre las regiones y el manejo también puede variar, es difícil comparar los resultados con los obtenidos por otros autores <sup>(1; 41)</sup> la biomasa forrajera total en el presente estudio a los 50 días (5300 kg MS ha<sup>-1</sup>), es comparable a los 4350 kg MS ha<sup>-1</sup> con 42 días de descanso reportados de la asociación de *Cynodon nlemfuensis* y *L. leucocephala*, también en la época de lluvias <sup>(42)</sup> comparado a lo reportado por <sup>(22)</sup> quienes en una asociación de *L. leucocephala* y las gramíneas *Brachiaria ruziziensis*, y *Pennisetum* (Dawar napier y Taiwan A25) a los 40 días durante la época de lluvias encontraron 7080 kg MS ha<sup>-1</sup>. Sin embargo, también se ha reportado 2690 kg MS ha<sup>-1</sup> <sup>(7)</sup> a los 45 días de descanso en la asociación de *L. leucocephala* (53000 árboles ha<sup>-1</sup>) y *M. maximus* en la época de secas, pero bajo riego, cantidades mayores (3221 Kg MS ha<sup>-1</sup>) fueron indicados por <sup>(43)</sup> en una asociación *Cenchrus*

*ciliaris-L. leucocephala* a los 42 días durante la época seca sin riego. La biomasa forrajera del sistema silvopastoril mantuvo la calidad nutritiva más alta entre los 40 y 50 días de descanso. Mientras la gramínea tendió a disminuir su calidad después de los 40 días (más fracciones de fibra y menos PC y DIVMS), los árboles mantuvieron su follaje con mejores concentraciones de PC y DIVMS sin variar las cantidades de fracciones de fibra (FDN y FDA).

Es sabido que los árboles de *L. leucocephala* mantienen su contenido de proteína hasta los 70 días (24%) durante las lluvias <sup>(44)</sup> y que las gramíneas, independientemente de la especie, disminuyen su concentración de nutrientes más rápido que los árboles, debido a que sus ciclos de crecimiento son más cortos <sup>(20)</sup> y alcanzan la madurez más rápido, disminuyendo la calidad químico-nutricional. Por ejemplo, se ha reportado que *C. nlemfuensis* disminuye su calidad a partir del intervalo de 42 días en época de lluvias <sup>(45)</sup>, así sucede también después de 40 días de descanso, en las gramíneas *B. ruziziensis* y *Pennisetum* (Dawar napier y Taiwan A25) <sup>(22)</sup>.

La época definió la calidad nutritiva de la biomasa; en el follaje de los árboles se observó un efecto marcado en los niveles de proteína que fueron más altos (hasta 8 %) en la época seca. En la gramínea, el mayor efecto de la época se manifestó en menores cantidades de FDN y FDA en la época seca; también en que, durante las lluvias, las fracciones de fibra se mantuvieron estables durante los primeros 40 días y aumentaron significativamente hasta los 50 días, en cambio, en la época seca el contenido de las fracciones de fibras aumentó gradualmente a través del tiempo (de los intervalos). Una mayor calidad nutritiva de la biomasa en la época seca puede atribuirse a que el déficit de agua limita el crecimiento de las plantas retardando la madurez de las plantas, y al haber menor crecimiento hay menor demanda de metabolitos del contenido celular para formar tejido estructural, de ahí que las fracciones FDN y FDA resultan más estable en la época seca <sup>(46)</sup>. En la época seca la gramínea tiene una menor proporción de tallos en la biomasa que en época

húmeda. Otros autores han reportado un aumento en la concentración de proteína y disminución de las fracciones de fibra en el follaje de *L. leucocephala* <sup>(44, 47, 48)</sup> y de las gramíneas <sup>(49, 50)</sup> en la época seca.

Aun cuando no se comparó la calidad nutritiva de los árboles y la gramínea, los árboles tendieron a tener menor digestibilidad que la gramínea. De manera semejante, otros autores <sup>(51)</sup> informaron que la digestibilidad de los arboles es menor que la de gramíneas, dado su mayor grado de lignificación. Aunque a los 50 días de descanso los tallos nuevos de *L. leucocephala* no mostraron signos de lignificación, se sabe que las ramas de árboles y arbustos se lignifican para mantener la estructura de la planta <sup>(46)</sup>, y que el contenido de lignina limita la digestibilidad de la materia <sup>(52)</sup>, esto podría explicar parcialmente una menor digestibilidad del follaje de los árboles. Sin embargo, también puede relacionarse a la presencia de taninos condensados en esta especie <sup>(53)</sup> que pueden disminuir la digestibilidad de la materia seca, por lo que disminuye aunque posteriormente sea disponible en el intestino delgado <sup>(54)</sup>. No obstante, la forma de crecimiento y las estrategias de obtención de recursos de los arboles les permite mantener mayor calidad nutritiva y durante periodos más prolongados que las gramíneas <sup>(55)</sup>. Esto hace que en un sistema silvopastoril estos componentes se complementen para ofertar forraje de mayor calidad nutritiva.

La calidad nutritiva en los arboles es similar a lo que se ha reportado (29% PC, 49% FDN, 23 % FDA y 59% DISMS) para la misma especie a los 42 días de descanso <sup>(44)</sup>, y también a la calidad que se ha encontrado (30% PC, 38% FDN y 20% FDA) a 30 días en la época seca <sup>(48)</sup>. La calidad nutritiva de la gramínea en este trabajo es comparable a la de *C. ciliaris* a los 42 días de descanso (11 % PC y 48 % DIVMS) <sup>(48, 56)</sup>. De la misma manera, se ha reportado calidad nutritiva similar de *M. maximus* (11% PC, 62% FDN y 59% DIVMS) manejado a intervalos fijos de 45 días, en la época de nortes <sup>(16)</sup>.

## **1.5. CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES**

Bajo las condiciones de este trabajo, la asociación de *L. leucocephala* y *M. maximus* alcanza su mayor producción en la época húmeda, y en el intervalo de 50 días. Al mismo tiempo, la calidad nutritiva de la gramínea decae después de los 40 días, mientras que el forraje de los árboles se mantiene aún en los 50 días, independientemente de la época.

Para definir el punto óptimo de pastoreo de un sistema silvopastoril, es necesario tomar en cuenta tanto la cantidad de biomasa disponible como la calidad nutritiva de ambos componentes. Si el sistema silvopastoril se utiliza a los 40 días cuando la gramínea está en su punto más nutritivo, la biomasa forrajera total es 50% menor en relación con la que se produce a los 50 días, por tanto, una decisión de manejo puede tomarse en base a la producción de forraje, sabiendo que la calidad nutritiva disminuye de los 40 a 50 días en las gramíneas pero que puede compensarse con la calidad que mantienen los árboles. Es claro que la biomasa que aportan 5000 árboles ha<sup>-1</sup> es baja, pero esto es posible cambiarlo si las densidades se aumentan.

## **1.6. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al Sr. José Barrera Morfin por proporcionar por un tiempo el sistema silvopastoril y su apoyo durante la fase de campo para la realización de esta investigación.

## 1.7. LITERATURA CITADA

- 1 Benítez D, Fernández JL, Ray J, Ramírez A, Torres V, Tandrón I, *et al.* Factores determinantes en la producción de biomasa en tres especies de pastos en sistemas racionales de pastoreo en el Valle del Cauto, Cuba. *Rev Cub. Cienc Agrí* 2007;41(3):231-238.
- 2 Hernández GA, Enríquez QJF, Velasco ZME, Ortega JE. Estrategias para reducir la estacionalidad de la producción animal en el trópico mexicano. In: Velasco ZME, Hernández GA, Perezgrovas GRA, Sánchez M. B editor. *Producción y Manejo de los Recursos Forrajeros Tropicales*. 1st ed. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; 2006:5-21.
- 3 Cuartas CCA, Naranjo RJF, Tarazona MAM, Correa LGA, Barahona RR. Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala*-based intensive silvopastoral systems. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2015;18(3):303-311.
- 4 Campos PDS, Renato TCC, Augusto MGC, Martins MR, Ávila PMF, Días MM, *et al.* Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livest Sci* 2011;(2-3):166-172.
- 5 Gaviria X, Rivera JE, Barahona R. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes* 2015;38(2):194-201.
- 6 Benítez-Bahena Y, Bernal-Hernández A, Cortés-Díaz E, Vera CG, Carrillo AF. Producción de forraje de guaje (*Leucaena spp.*) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Rev Mex Cienc Agríc* 2010;1(3):392-405.
- 7 Bacab-Pérez HM, Solorio-Sánchez FJ. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2011;13(3):271-278.
- 8 Alonso J, Febles G, Ruiz TE, Torres V, Achang G. Evaluación productiva de un silvopastoreo leucaena-guinea mediante técnicas multivariadas. *Rev Cub. Cienc Agrí* 2007;41(2):121-124.
- 9 Alonso J, Febles G, Ruiz TE, Achang G. Características bromatológicas de guinea (*Panicum máximum* *vc.* Likoni) en un sistema silvopastoril con leucaena (*Leucaena leucocephala* *vc.* Perú). *Rev Cub. Cienc Agrí* 2007;42(3):295-298.



- 10 Bugarín J, Lemus C, Sangines L, Aguirre J, Ramos A, Mildrey S, *et al.* Evaluación de dos especies de *Leucaena*, asociadas a *Brachiaria brizantha* y *Clitoria ternatea* en un sistema silvopastoril de Nayarit, México: I. Comportamiento agronómico. *Pastos y Forrajes* 2009;32(4):1-11.
- 11 López O, Olivera Y, Lamela L, Sánchez T, Montejo IL, Ronquillo M, *et al.* Efecto de la suplementación con concentrado en la fermentación *in vitro* de dietas para vacas lecheras en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes* 2014;37(4):426-434.
- 12 Manríquez-Mendoza LY, López-Ortiz S, Olguín-Palacios C, Pérez-Hernández P, Díaz-Rivera P, López-Tecpoyotl ZG. Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2011;13(3):573-584.
- 13 Álvarez PGR, Vivas MRLG, Suárez FGR, Cabezas CRR, Jacho MTE, Llerena GTJ, *et al.* Componentes del rendimiento y composición química de *Megathyrus maximus* en asociación con leguminosas. *Rev Electrón Vet* 2016;17(12):1-12.
- 14 Joaquín CS. Dinámica de crecimiento de cultivares de *Urochloa brizantha* Kunth y *Megathyrus maximus* (Simon & Jacobs), a diferente frecuencia de corte [tesis doctorado]. Montecillo, Texcoco, estado de México: Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo; 2014.
- 15 Cubillos AM, Vallejo VE, Arbeli Z, Terán W, Dick RP, Molina CH, *et al.* Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *Eur J Soil Biol* 2016;(72):42-50.
- 16 Barros-Rodríguez M, Solorio-Sánchez J, Ku-Vera J, Ayala-Burgos A, Sandoval-Castro C, Solís-Pérez G. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Trop Anim Health Prod* 2012;44(8):1873-1878.
- 17 Bautista-Tolentino M, López-Ortiz S, Pérez-Hernández P, Vargas-Mendoza MC, Gallardo-López F. Forage productivity in agroecosystems using traditional and rotational cattle grazing in Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2011;13(3):279-290.
- 18 Casanova-Lugo F, Petit-Aldana J, Solorio-Sánchez FJ, Parsons D, Ramírez-Avilés L. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *Agrofor Syst* 2014;88(1):29-39.

- 19 Merchant-Fuentes I, Solano-Vergara JJ. Las praderas, sus asociaciones y características: una revisión. *Acta Agr Pecu* 2016;2(1):1-11.
- 20 Valle JL, Palma JM, Sangines GL. Biomasa y composición nutricional de la asociación *Cenchrus ciliaris-Gliricidia sepium* al establecimiento. *AIA*. 2004;8(2):1-7.
- 21 Rojas HS, Olivares PJ, Jiménez GR, Hernández CE. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. *Rev Electrón Vet* 2005;6(5):1-9.
- 22 Tudsri S, Ishii Y, Numaguchi H, Prasanpanich S. The effect of cutting interval on the growth of *Leucaena leucocephala* and three associated grasses in Thailand. *Trop Grassl* 2002;36(2):90-96.
- 23 García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2004.
- 24 CONAGUA. Comisión Nacional del Agua-Veracruz, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Nacionales. Gobierno de México. <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>. Consultado 25 Jul, 2016.
- 25 SEMARNAT. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificidades de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. México. 2003. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/rn/rn021-02.pdf>. Consultado 25 Jul, 2016.
- 26 Hanna Instruments S. L. Manual de Instrucciones HI 83225. Grow Master para el Análisis de Nutrientes en Agricultura. [https://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/instrucciones/instrucciones\\_fotometro\\_analisis\\_nutrientes\\_agricultura\\_hi83225.pdf](https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/instrucciones/instrucciones_fotometro_analisis_nutrientes_agricultura_hi83225.pdf) Consultado 31 Jul, 2018.
- 27 Sánchez T, Lamela L, López O. Caracterización de la comunidad vegetal en una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes* 2007;30(4):455-467.
- 28 Martínez MM, Reyes CA, Lara BA, Miranda RLA, Huerta BM, Uribe GM. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca potosina de México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(16):3343-3355.

- 29 AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 12th ed. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C. 1975.
- 30 Lowerth D, Jones H, Margaret V. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *J Sci Food Agric* 1975;(26):711-718.
- 31 Clarke T, Flinn PC, McGowan AA. Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass Forage Sci* 1982;(37):147-150.
- 32 SAS. Statistical analysis system. SAS/STAT, user's guide (version 4.3.0. ed.) SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 2010.
- 33 Garcia H, Nygren P, Desfontaines L. Dynamics of nonstructural carbohydrates and biomass yield in a fodder legume tree at different harvest intensities. *Tree Physiol* 2001;21(8):523-531.
- 34 Latt CR, Nair PKR, Kang BT. Interactions among cutting frequency, reserve carbohydrates, and post-cutting biomass production in *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala*. *Agrofor Syst* 2000;50(1):27-46.
- 35 Mahecha L, Durán CV, Rosales M. Análisis de la relación planta-animal desde el punto de vista nutricional en un sistema silvopastoril de *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. *Acta Agron* 2000;50(1-2):59-70.
- 36 Sage RF, Kubien DS. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. *Plant Cell Environ* 2007;30(9):1086-1106.
- 37 Benítez D, Fernández JL, Gómez I, Tandrón I, Espinosa R. Establecimiento de *Panicum maximum* cv. Likoni solo y asociado a dos leguminosas en el Valle del Cauca. *Pastos y Forrajes* 2003;26(3):203-207.
- 38 Mayo SS. Efecto de la frecuencia de poda sobre el crecimiento y rendimiento de forraje en dos sistemas silvopastoriles [tesis licenciatura]. Quintana Roo, México: Instituto Tecnológico de la Zona Maya; 2015.
- 39 Wencomo HB, Ortiz R. Capacidad de recuperación de 23 accesiones de *Leucaena* spp. después de la poda. *Pastos y Forrajes* 2011;34(1):53-68.

- 40 Casanova-Lugo F, Solorio-Sánchez FJ, Ramírez-Avilés L, Caamal-Maldonado JA, Ku-Vera JC. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in tropical silvopastoral systems. Trop Grassl 2014;2(1):24-26.
- 41 Muñoz-González JC, Huerta-Bravo M, Lara BA, Rangel SR, Rosa AJL. Producción de materia seca de forrajes en condiciones de Trópico Húmedo en México. Rev Mex Cienc Agríc 2016;(16):3329-3341.
- 42 Maya MGE, Durán CCV, Ararat JE. Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja-tallo del pasto estrella solo y asociado con leucaena. Acta Agron 2005;54(2):1-6.
- 43 Sánchez A, Faria-Mármol J, Araque C. Producción de materia seca en una asociación *Cenchrus ciliaris* - *Leucaena leucocephala* al aplazar su utilización durante la época seca. Zoot Trop 2008;26(2):117-123.
- 44 Santiago FI, Lara BA, Miranda RLA, Huerta BM, Krishnamurthy L, Muñoz-González JC. Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. Rev Mex Cienc Agríc 2016;(16):3173-3183.
- 45 Maya MGE, Durán CCV, Ararat JE. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año. Acta Agron 2005;54(4):2-9.
- 46 Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant: Plant, animal, and environment. 2nd ed. Cornell University. Ithaca and London; 1994:77-107.
- 47 Sánchez A, Faria MJ. Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala*. Zoot Trop 2013;31(1):16-23.
- 48 Pinto RR, Medina FJ, Gómez H, Guevara F, Ley A. Caracterización nutricional y forrajera de *Leucaena collinsii* a diferentes edades de corte en el trópico seco del sur de México. Rev Fac Agron 2014;31(1):78-99.
- 49 Mármol JF, Sánchez A. Efecto del aplazamiento de utilización sobre el contenido de nutrientes y digestibilidad de la materia orgánica de la asociación Buffel- Leucaena. Interciencia 2007;32(3):185-187.

- 50 Martínez MM, Reyes CA, Lara BA, Miranda RLA, Huerta BM, Uribe GM. Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca potosina de México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(16):3343-3355.
- 51 Barahona RR, Sánchez PS. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Corpoica cienc tecnol* 2005;6(1):69-82.
- 52 Delgado D.C. Galindo J. Cairo, J. Orta I. Domínguez M. Dorta N. Suplementación con follaje de *L. leucocephala*. Su efecto en la digestibilidad aparente de nutrientes y producción de metano en ovinos. *Rev Cuba Cienc Agrí* 2013;(47):267-271.
- 53 Palmer B, Jones RJ, Poathong S, Chobtang J. The value of *Leucaena leucocephala* bark in leucaena-grass hay diets for Thai goats. *Trop Anim Health Prod* 2010;42(8):1731-1735.
- 54 Huang XD, Liand JB, Tan HY, Yahya R, Khamsekhiew B, Ho YW. Molecular weight and protein binding affinity of *Leucaena* condensed tannins and their effects on *in vitro* fermentation parameters. *Anim Feed Sci Technol* 2010;159(3-4):81-87.
- 55 González-García E, Cáceres O, Archimede H, Santana H. Nutritive value of edible forage from two *Leucaena leucocephala* cultivars with different growth habit and morphology. *Agrofor Syst* 2009;77(2):131-141.
- 56 González LS, Romero LAM, Bueno AL, Bravo MH, Gómez MU, Martínez MM. Fermentación *in vitro* y la correlación del contenido nutrimental de leucaena asociada con pasto estrella. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(16):3185-3196.

**CAPÍTULO II. RENDIMIENTO DE FORRAJE E INTERACCIONES AÉREAS EN  
FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE ÁRBOLES DE *Leucaena leucocephala* ASOCIADA A  
LA GRAMÍNEA *Digitaria eriantha***

**RESUMEN**

En un sistema silvopastoril, la cantidad de luz y su distribución bajo el dosel depende de la densidad arbórea y las plantas asociadas pueden caer en competencia por luz que las induce a cambios morfológicos y fisiológicos; esto modifica su crecimiento y en consecuencia su capacidad productiva. Para conocer las relaciones de competencia se estudió el sistema silvopastoril con *Digitaria eriantha* cv. Pangola y *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham en distintas densidades de árboles. Se trazaron ocho parcelas (433 m<sup>2</sup>) para un diseño de bloques completos al azar (gradiente de pendiente) con cuatro tratamientos (5000, 15000, 25000 y 35000 árboles ha<sup>-1</sup>) y dos repeticiones. El índice de área foliar de árboles (0.96 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) y cobertura arbórea (67.9%) aumentaron con 35000 árboles ha<sup>-1</sup>, la radiación fotosintéticamente activa (RAFA; 961.3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) bajo el dosel y cobertura de gramínea (52.3%) fueron mayores (p<0.05) en la densidad más baja (5000 árboles ha<sup>-1</sup>). La biomasa total se mantuvo similar entre densidades (2561 kg MS ha<sup>-1</sup>), aunque la biomasa de gramínea también se mantiene similar entre densidades (p>0.05) aportó la mayor proporción de forraje a la biomasa total (60%). Los árboles produjeron más biomasa (1338 kg MS ha<sup>-1</sup>) con 35000 árboles ha<sup>-1</sup> (p<0.05). La densidad más alta disminuye la cobertura de gramínea y RAFA aunque esto no afecta el rendimiento de gramínea y forraje total dentro del rango de densidad evaluado. En conclusión, el aumento de la densidad hasta 35000 árboles ha<sup>-1</sup>, no incrementa la biomasa total (árbol + gramínea) ni el aporte de biomasa de gramínea pero si incrementa la disponibilidad de forraje de árboles.

**Palabras clave:** distancia entre plantas, competencia, *Leucaena*, Pangola.

**CHAPTER II. FORAGE YIELD AND ABOVE-GROUND INTERACTIONS BASED ON  
THE DENSITY OF *Leucaena leucocephala* TREES ASSOCIATED WITH THE GRASS**

***Digitaria eriantha***

**ABSTRACT**

In a silvopastoral system, the amount of light and its distribution under the canopy depends on tree density and associated plants which compete for light, which induce morphological and physiological changes that modify growth and productive capacity. To study such competitive relationships, a silvopastoral system containing *Digitaria eriantha* cv. Pangola and *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham was studied using different tree densities. Eight parcels (433 m<sup>2</sup>) were selected for a randomized complete block design (slope gradient) with four treatments (5000, 15000, 25000 and 35000 trees ha<sup>-1</sup>) and two replications. The tree leaf area index (0.96 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) and tree cover (67.9%) increased at a density of 35000 trees ha<sup>-1</sup>, and the photosynthetically active radiation (RAFA; 961.3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) under the canopy and grass cover (52.3%) were higher (p<0.05) at the lowest tree density (5000 trees ha<sup>-1</sup>). The total biomass remained similar among tree densities (2561 kg DM ha<sup>-1</sup>), as was grass biomass (p>0.05), which provided the greatest proportion of forage to total biomass (60%). The trees produced more biomass (1338 kg DM ha<sup>-1</sup>) at a density of 35000 trees ha<sup>-1</sup> (p<0.05). Higher tree densities decreased grass coverage and RAFA, although this did not affect grass yield and total forage within the density range evaluated. In conclusion, the increase in density to 35,000 trees ha<sup>-1</sup> did not increase the total biomass (tree + grass), or the contribution of grass biomass, but did increase the availability of tree forage.

**Keywords:** inter-plant distance, competition, *Leucaena*, Pangola.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

*Leucaena leucocephala* (Lam de Wit.) es el árbol forrajero más utilizado para la alimentación de rumiantes en regiones tropicales y subtropicales del mundo (Shelton, 2007; López-Vigoa *et al.*, 2017; Rivera-Herrera *et al.*, 2017). En México, este árbol se ha recomendado asociado a gramíneas en sistemas silvopastoriles por su alta productividad, rentabilidad y sustentabilidad (González, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013; Bottini-Luzardo *et al.*, 2016). La combinación de *L. leucocephala* y gramíneas tienen la capacidad de producir entre 13 a 20 t de MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para mantener una carga animal entre 3.5 a 6 UA ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y con un contenido de proteína cruda (PC) de aproximadamente 18 % de forma regular a lo largo del año (Radrizzani *et al.*, 2010; Solorio-Sánchez *et al.*, 2011; Barros-Rodríguez *et al.*, 2012).

El aporte que este árbol puede hacer a la cantidad de forraje que se produce y a la calidad de la dieta del ganado ha motivado el interés de incrementar la densidad de árboles en los sistemas silvopastoriles para aumentar el rendimiento de forraje del árbol (Anguiano, 2012; Cuartas, 2015) y así también mejorar la cantidad de nutrientes en la dieta. En México se han recomendado densidades altas entre 34500 a 53000 árboles ha<sup>-1</sup> (Solorio y Solorio, 2008; Gonzáles *et al.*, 2010). En cambio, Colombia recomienda densidades moderadas de 10000 árboles ha<sup>-1</sup> (Espinel *et al.*, 2009; Murgueitio *et al.*, 2010), en Australia, se manejan densidades menores entre 1000 y 8000 plantas ha<sup>-1</sup> respecto a México y Colombia (Radrizzani *et al.*, 2010). Estas referencias denotan inconsistencia en cuanto a las densidades de árboles más apropiadas para los sistemas con *L. leucocephala* y gramíneas.

El cultivo de árboles en hileras a densidades crecientes en los sistemas silvopastoriles intensivos implican cambios en el espaciamiento y el arreglo espacial de los mismos y estos cambios en las



densidades de árboles tiene un efecto de competencia intra e interespecífica debido a que una de las especies puede potencialmente disminuir la disponibilidad de recursos (agua, nutrientes o luz) para otra especie, lo que disminuye la sobrevivencia, crecimiento y/o reproducción tanto del árbol como de la gramínea, esta interacción puede ocurrir a nivel aéreo o a nivel radical (Ong *et al.*, 1991; Forrester *et al.*, 2006). La competencia aérea aumenta cuando las plantas se encuentran asociadas y se da aun entre hojas de la misma planta (Ludwig *et al.*, 2004).

En condiciones ambientales donde la humedad no es limitante, el factor limitante para el crecimiento puede ser la disponibilidad de luz. En un sistema silvopastoril en altas densidades, el estrato más alto intercepta la luz y limita la cantidad que llega al estrato herbáceo donde se desarrollan las gramíneas (Rodríguez-Petit *et al.*, 2008; Pachas, *et al.*, 2017), porque de luz y su distribución depende de los espacios abiertos del dosel (McElwee y Knowles, 2000) y las plantas pueden entrar en competencia por la luz que provoca cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas bajo el dosel, modificando el crecimiento y por consecuencia su capacidad productiva (Alonso *et al.*, 2006).

Pocos estudios se han centrado en la competencia interespecífica dentro de los sistemas de *L. leucocephala*-gramínea al incrementar la densidad de árboles. En un análisis, sobre el efecto de la densidad de árboles en el rendimiento de forraje de *L. leucocephala* y *Chloris gayana*, Pachas *et al.* (2017) encontraron que la biomasa de este árbol se redujo significativamente debido a la competencia ejercida por la gramínea, especialmente cuando los árboles crecieron en densidades menores a 938 árboles ha<sup>-1</sup>. En cambio, a densidades superiores a 4100 árboles ha<sup>-1</sup> la biomasa forrajera de la gramínea disminuyó significativamente debido a la competencia de los árboles. Como se esperaba, el efecto negativo de incrementar la densidad de 5000 a 10000 plantas ha<sup>-1</sup> aumentó la competencia por los recursos para el crecimiento, particularmente por los recursos agua

y luz y causó disminución en la producción de la gramínea *M. maximum*; (Ramírez *et al.*, 2006). En otros trabajos cuyo fin no ha sido evaluar las interacciones, encontraron que al incrementar la densidad de árboles la producción de forraje de *L. leucocephala* aumenta y la producción de gramínea disminuye (Benítez- Bahena *et al.*, 2010; Bacab-Pérez *et al.*, 2011; Barros *et al.*, 2012).

A pesar de la importancia de los sistemas silvopastoriles con árboles forrajeros, en el trópico los estudios que relacionan el crecimiento de las plantas con la disponibilidad de luz y la densidad de árboles son escasos y no existe un consenso sobre las densidades ideales para asociar con las gramíneas. Por esta razón, el objetivo de este experimento fue cuantificar los cambios en el dosel de árboles plantados en distintas densidades, y su efecto en la biomasa aérea y la cobertura de la gramínea. La hipótesis planteada fue: A densidades altas de *L. leucocephala* asociada a *D. eriantha* habrá mayor índice de área foliar; cobertura de los árboles ocasionando menor radiación fotosintéticamente activa que influye en el crecimiento y desarrollo de la gramínea; afectará la cobertura de la misma, y a su vez modifica el rendimiento de ambas especies.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1. Localización y características del sitio experimental**

El experimento se realizó en la zona central costera del estado de Veracruz, México (coordenadas: 19° 10' Latitud N, 96° 10' Longitud O). El sitio se ubica a 20 msnm y entre los límites de los sistemas terrestres de dunas y lomeríos, correspondiente a la región fisiográfica Llanura Costera Aluvial (Chiappy-Johnes *et al.*, 2002). El clima que predomina es Aw<sub>1</sub> que corresponde a cálido sub-húmedo, con una temperatura promedio anual de 26.4°C, presencia de lluvias en verano distribuidas entre los meses de mayo a octubre, con 1200 mm de precipitación anual (García, 1981). El suelo en el sitio experimental es de textura arcillo arenosa con 40 % de arena, 30 % de

limo, 30 % de arcilla, contiene 0.11 % de nitrógeno, 2.8 % de materia orgánica, y pH de 5.8; contienen 0.08 de potasio, 3.56 de calcio, 1.78 cmol Kg<sup>-1</sup> de magnesio y 16.8 mg Kg<sup>-1</sup> de fosforo (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011).

### **2.2.2. Descripción del sitio experimental y establecimiento del sistema silvopastoril**

El sitio experimental fue una parcela de 5362 m<sup>2</sup>, de esta superficie, 1753 m<sup>2</sup> se utilizaron para delimitar ocho parcelas de 433 m<sup>2</sup> y en cada una de ellas se establecieron los árboles de *L. leucocephala* y la gramínea *D. eriantha*. Los árboles se reprodujeron en un vivero rústico, por medio de semillas germinadas en charolas de unicel (100 ml de capacidad), con un sustrato comercial (Sunshine) que contiene 70-80% de turba canadiense esfagnacea, vermiculita, piedra caliza y yeso agrícola. Las charolas se llenaron del sustrato previamente humedecido y se procedió a sembrar la semilla (previamente escarificada de acuerdo al método descrito por Espinel *et al.*, 2009), depositándola a una profundidad no mayor a 3 cm. Las charolas se mantuvieron húmedas con riegos manuales según fuera necesario. Después de la germinación, las plantas se estuvieron regando cada 3 días y se trasplantaron a campo a los dos meses de edad, cuando alcanzaron aproximadamente 30 cm de altura (Espinel *et al.*, 2009). Entre octubre y noviembre 2014 y enero 2015, se realizó el trasplante a las parcelas experimentales. Después de 8 meses de edad de *L. leucocephala*, entre 7 y 8 de septiembre de 2015, se estableció con material vegetativo la gramínea, sembrando el material en dos hileras en los callejones entre las hileras de los árboles a las parcelas experimentales (tratamientos).

### **2.2.3. Tratamiento y diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, en el que todos los tratamientos se asignaron aleatoriamente en cada uno de los dos bloques. Los tratamientos fueron cuatro

densidades de *L. leucocephala* asociada a Pangola con dos repeticiones. Los bloques obedecieron la dependiente del sitio experimental, donde la parte alta podría tener suelo menos fértil que la parte baja. El arreglo de los árboles fue en hileras espaciadas a 1.60 m de distancia, la distribución de hileras a distancias fijas solo varió ligeramente porque se sembró en curvas a nivel. Las densidades menores (T1; 5000, T2; 15000) y densidades mayores (T3; 25000 y T4; 35000 plantas ha<sup>-1</sup>), se ajustaron variando la distancia entre plantas; las plantas se sembraron a 1.25, 0.41, 0.25 y 0.17 m de distancia para lograr las densidades de 5000, 15000, 25000 y 35000 plantas por hectárea respectivamente.

#### **2.2.4. Procedimiento experimental**

Para conocer las interacciones aéreas y rendimiento de forraje, se definieron cuatro periodos de muestreo: 1) 8 de agosto-19 de septiembre del 2016 (época de lluvias) 2) 23 de septiembre-31 de octubre del 2016 (transición de lluvias a nortes) 3) 3 de noviembre del 2016-11 de enero del 2017 (época de norte) 4) 23 de enero-28 de marzo del 2017 (época seca). Después de cada muestreo se realizó el corte de uniformización de la gramínea y de los árboles. Al término de cada periodo de muestreo se uniformizó el forraje de las parcelas mediante el pastoreo, excepto en el primer periodo de muestreo se les aplicó una poda de formación a los árboles, a 1 m altura y cortando todas las ramas principales o más leñosas, con una podadora calibrada se cortó la gramínea a 5 cm de altura (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011).

#### **2.2.5. Variables y su medición**

Se determinó el índice de área foliar (IAF) que representa el área del follaje (m<sup>2</sup>) por unidad de suelo (m<sup>2</sup>). El IAF se midió en los mismos cinco puntos donde se muestreo la biomasa de las plantas en cada tratamiento (repetición), utilizando la lente de 270° del equipo LAI-200 Plant

Canopy Analyzer (LI-COR Biosciences; Nebraska, USA). Las lecturas dentro de cada parcela se tomaron siguiendo las instrucciones del manual de usuarios del equipo, y se hicieron de 7:00 y 8:00 am para evitar efecto de las hojas iluminadas.

Se midió la radiación fotosintéticamente activa (RFA,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) que llega al estrato herbáceo dentro de cada tratamiento, con el instrumento Sun Canopy Analysis System (delta-t devices ltd, Cambridge, Inglaterra). El instrumento se colocó en los mismos cinco puntos donde se muestreo la biomasa de las plantas y se posicionó a 50 cm de distancia del tallo principal del árbol en ambos lados de la hilera de árboles para efectuar las mediciones. Las lecturas se tomaron de 12:00 a 14:00 horas, cuando la incidencia de luz bajo del dosel es mayor.

Se midió la cobertura de sombra que proporcionan los árboles a la gramínea con un densiómetro esférico cóncavo (Spherical densiometer Model-A) de caja de madera con nivel esférico de burbuja, el espejo cóncavo subdividido por una cuadrícula que consta de 24 cuadros. El densiómetro se colocó en los mismos 5 puntos de muestreo elegidos aleatoriamente para el muestreo la biomasa en cada punto se hicieron dos lecturas, colocando el densiómetro bajo de las copas de los árboles a una altura de los codos del observador, y a una distancia de 30 cm del observador. En cada densiómetro colocado se evaluó visualmente el número de cuadrantes desocupados por el follaje de los árboles, los valores registrados se promediaron para obtener un solo valor el promedio obtenido se multiplicó por el constante o factor 1.04 (propia del instrumento), obteniendo el porcentaje de apertura de dosel, la diferencia de este valor y 100 representó el dosel de los árboles (cobertura del dosel).

También se estimó la cobertura de la gramínea con un rectángulo de madera de 50 x 20 cm dividido en 4 secciones de 25 % cada una (Bonham, 1989). En cada muestreo, se eligieron los mismo cinco

puntos donde se muestreo la biomasa de las plantas, en cada una de las cuatro parcelas (repeticiones) de cada tratamiento.

El rectángulo se colocó en 5 puntos de muestreo elegidos aleatoriamente (mismos puntos donde se muestreo la biomasa) en cada una de las cuatro parcelas (repetición) de cada tratamiento, en cada punto se hicieron dos mediciones, colocando el rectángulo en ambos lados de las hileras. En cada rectángulo colocado se evaluó visualmente el porcentaje de suelo cubierto por gramínea asignando un porcentaje de 1 a 25% a cada subdivisión, al final los porcentajes individuales se sumaron para obtener la cobertura dentro de cada marco de 50 x 20 cm., con la finalidad de cuantificar el grado en que la sombra de cada densidad de árboles modifica la cobertura, como indicador indirecto del crecimiento de la gramínea bajo del dosel. Cada muestreo de cobertura coincidió con los mismos puntos de muestreo de biomasa.

Después del corte de uniformización se determinó la biomasa disponible de árboles y gramínea en las distintas densidades. En cada muestreo de biomasa, se eligieron aleatoriamente cinco puntos de muestreo de cada tratamiento (repetición). Para el muestreo de biomasa se delimitaron rectángulos de diferentes medidas de acuerdo a las distancias entre árbol dentro de la hilera de cada densidad; para T1 los rectángulos fueron de 1.60 x 1.25 m; en el T2 de 1.60 x 1.23 y en T3 de 1.60 x 1.0 y T4 de 1.60 x 1.02 m; dentro de cada rectángulo se cosechó todo el follaje de los árboles que constituía crecimiento nuevo (hojas y tallos tiernos con diámetro (< 5 mm), simulando el ramoneo que realizan los animales (López *et al.*, 2015); simultáneamente se cosechó la materia verde total de la gramínea a 5-10 cm de altura (Valenzuela-González *et al.*, 2014). Las muestras de forraje de la gramínea y del árbol se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h.

### 2.2.6. Análisis estadísticos

Todas las variables de índice de área foliar, cobertura arbórea, radiación fotosintéticamente activa, cobertura de la gramínea y rendimiento de forraje (total, gramínea y árbol), se analizaron bajo un diseño en bloques completos al azar con medidas repetidas en el tiempo y se aplicó un modelo lineal generalizado (GLM) del paquete estadístico SAS Versión 9.2 (SAS Institute, 2009). Se hizo el análisis lineal de mediciones repetidas, el factor intra-sujeto fue la densidad (4 niveles) y el factor inter-sujetos fue el día de muestreo (4 niveles). Cuando hubo diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos se realizaron pruebas de comparación de medias de cada variable con el método de mínimos cuadrados (LSMeans).

## 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice de área foliar en los árboles varió entre densidades ( $p < 0.0001$ ). El dosel formado en la densidad de 15000, 25000 y 35000 árboles  $\text{ha}^{-1}$  mantienen el mismo índice de área foliar ( $p > 0.05$ ) y superaron el área observada en 5000 árboles  $\text{ha}^{-1}$  ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 6), el IAF en el presente estudio en las tres densidades de 15000, 25000 y 35000 árboles  $\text{ha}^{-1}$  (promedio:  $0.98 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  de IAF) es menor a los  $1.94 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  en espaciamientos de 6 m entre hileras y árboles de *L. leucocephala* contínuos dentro de la hilera (Rodríguez-Petit *et al.*, 2008) comparado a lo reportado Elfeel *et al.* (2013) obtuvieron mayores valores de IAF ( $2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) con densidad más baja de 2500 árbol  $\text{ha}^{-1}$  de *L. leucocephala* ( $> 3$  m altura) bajo condiciones de riego. A mayor densidad (aumenta el número de árboles por hectárea) se incrementa el número de hojas  $\text{m}^2$  lo que se manifestó mayor índice de área foliar (Aguilar-García *et al.*, 2005; Anguiano *et al.*, 2012; Elfeel, 2016; Zheng *et al.*, 2016). Sin embargo, en el presente estudio las densidades mayores (15000 a 35000 árboles  $\text{ha}^{-1}$ ), el dosel formado en esas densidades fue homogéneos. La competencia por la reducción del espacio

(mayor densidad) provoca copas de menor tamaño, las plantas toman forma alargada y crecen verticalmente juntas formando filas, es decir, modifica la forma del árbol (Elfeel *et al.* (2013). Rozados-Lorenzo *et al.* (2007) y Benavidez *et al.*, (2009) constaron que densidades de árboles mayores no son tan efectivos para promover efectos positivos en la estructura del dosel del árbol, ya que las plantas compitieron más por alcanzar la luz solar produciéndose una etiolación (alargamiento) de los tallos con una consecuente disminución, en la producción de hojas por consiguiente, menor cantidad de superficie foliar (Zarate, 1994).

Resulta notorio que el empleo de altas densidades de plantación en la *L. leucocephala* (40000 a 80000 plantas ha<sup>-1</sup>) favorece el rendimiento de tallos tiernos, debido a la emisión de ramas laterales (Anguiano *et al.*, 2012). Lo cual tiene su razonamiento en la fisiología de las plantas, acondicionada por la competencia y espacio limitado al que se encuentran sometidas; esto favorece las altas acumulaciones de auxinas que se producen en el ápice en virtud de, a la influencia de la iluminación solar, las cuales establecen el ritmo de crecimiento del tejido por efecto de la elongación celular (Garay-Arroyo *et al.*, 2014). Así, cada planta alcanzará una altura determinada en busca de la luz y a mayor elongación del tallo se desarrollará un mayor número de yemas, las que producirán nuevas ramas laterales (Noda y Marín-Marín, 2014).

La cobertura arbolera difirió por efecto de la densidad de árboles ( $p < 0.001$ ). Con 5000 árboles ha<sup>-1</sup> hubo menor cobertura (42.7 %) que con 15000, 25000 y 35000 árboles ha<sup>-1</sup> (66.7 %), y fueron similares entre sí ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 6), lo cual se atribuye que a mayores densidades las copas de los árboles generan más sombra y sus copas se traslapan y el traslape aumenta conforme se disminuye el espacio entre árboles dentro de las hileras (Pentón, 2002). La cobertura arborea (66.7 %) en el presente estudio fue mayor al obtenido por Alonso *et al.* (2006), reportaron 42 % de cobertura en 13000 árboles ha<sup>-1</sup> de *L. leucocephala* (altura de 2 m). Alonso (2003) planteo que en



los bancos de proteína con *L. leucocephala* y una densidad 10000 árboles ha<sup>-1</sup> no ocurrió un efecto negativo en la productividad del sistema ya que la sombra proyectada por la copa del árbol fue 39.1 % sobre la superficie área de la asociación. De acuerdo con Giraldo *et al.* (1995), la producción de forraje de la gramínea normalmente decrece a medida que el porcentaje de la cobertura de los árboles aumenta y esa disminución de la producción de forraje se observa principalmente a partir del 50 % de cobertura.

La poda de tallos de los arboles a un 1 m de altura modifica su arquitectura según la densidad a que se encuentren. En este experimento se observó que con 15000 árboles ha<sup>-1</sup> las ramas de los árboles son largas tienden a desarrollarse erectas y hacia fuera del tallo principal por lo tanto las copas son pequeñas y pocas desarrolladas (se mantiene la sombra) debido a que se reduce el espacio entre árboles dentro de la hileras conforme se incrementa el número de plantas por hectárea por lo tanto la sombra se va diluyendo, esta modificación en la estructura de los arboles fue más notoria al pasar de 25000 a 35000 árboles ha<sup>-1</sup>.

La radiación fotosintéticamente activa transmitida bajo el dosel de los árboles difirió ( $p < 0.0001$ ) entre densidades de árboles (Cuadro 6). La menor densidad (5000 árboles ha<sup>-1</sup>) con árboles más espaciados permitió mayor RFA en el estrato herbáceo, transmitida con  $961.33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ( $p < 0.05$ ): después de 5000 árboles, se encontró la misma cantidad de RFA en todas las densidades de árboles ( $592.40 \pm 35.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Sin embargo, Rodríguez-Petit *et al.*, (2008) reportaron menos RAFA transmitida ( $317.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) al de este experimento en una asociación de gramínea y *L. leucocephala* (6 m de distancia entre hileras y árboles continuos dentro de la hilera) con rebrotes de de 20 días de descanso. Además Pachas, *et al.* (2018) encontraron mayor RAFA (47 % transmisión de luz) en 4100 que a 38065 árboles ha<sup>-1</sup> (RAFA: 20 % transmisión de luz) de *L. leucocephala* asociada con la gramínea *Chloris gayana* en rebrotes de 50 días de descanso.

La mayor radiación transmitida al estrato herbáceo se atribuye principalmente a que en esta baja densidad hay mayor espacio entre árboles dentro de las hileras que permite que tenga una copa abierta con menor IAF que transmiten mayor luz para la gramínea, responsable de activar los procesos fotosintéticos fundamentales para su crecimiento (Valladares, 2006; Pachas, 2017).

Sin embargo, al disminuir la distancia entre árboles dentro de las hileras se incrementa el número de árboles por metro lineal; al estar más cerca los árboles hay más sombra debido al traslape de copas lo que resulta en menor transmisión de luz para la gramínea (Benavides *et al.*, 2009). A pesar de esto, la radiación se mantuvo similar en densidades de 15000 a 35000 árboles ha<sup>-1</sup> quiere decir que el tamaño de la copa y la forma del árbol fueron homogéneos que permitió que se mantuviera la luz transmitida debajo de los árboles. Además, la tendencia de la radiación se relacionó a la homogeneidad de IAF y cobertura arbórea en las últimas tres densidades.

Cuadro 6. Índice de área foliar ( $m^2 m^{-2}$ ) de los árboles, radiación fotosintéticamente activa bajo el dosel ( $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ ), y cobertura arbórea y herbácea (%) en cuatro densidades de *Leucaena leucocephala* asociado a *Digitaria ariantha*.

Variables	Densidades (árboles $ha^{-1}$ )			
	5000	15000	25000	35000
Índice de área foliar	$0.5 \pm 0.06^b$	$1.08 \pm 0.06^a$	$0.90 \pm 0.06^a$	$0.96 \pm 0.06^a$
Cobertura arborea	$42 \pm 3.2^b$	$65 \pm 3.2^a$	$66 \pm 3.2^a$	$67 \pm 3.2^a$
Cobertura de gramínea	$52 \pm 3.2^a$	$40 \pm 3.2^{ab}$	$35 \pm 3.2^b$	$29 \pm 3.2^b$
RFA	$961 \pm 35.9^a$	$635 \pm 35.9^b$	$563 \pm 35.9^b$	$578 \pm 35.9^b$

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal en la misma hilera indica diferencia estadística ( $p < 0.05$ )

Bajo este sistema, la mayor RAFA con 5000 árboles  $ha^{-1}$  se relacionó con el menor índice de área foliar y cobertura de los árboles. En opinión de Rozados-Lorenzo *et al.*, (2007), la modificación de la distancia entre árboles dentro de las líneas y el mantenimiento constante de la distancia entre hileras modifica la estructura del árbol comparado a que cuando crece aislado donde tiene copa redondeada, y ligeramente abierta y rala (Zárate, 1994) que transmiten más radiación para el estrato inferior así tener mejor desarrollo de la gramínea y productividad.

La cobertura de la gramínea (en el suelo) difirió ( $p < 0.05$ ) por efecto de la densidad de árboles (Cuadro 6). Con 5000 árboles  $ha^{-1}$  hubo más proporción del suelo que estaba cubierta por la gramínea (52.36 %) bajo el dosel de los árboles, comparado con la densidad de 35000 árboles  $ha^{-1}$ . La cobertura fue similar al valor de 64.3 % de proporción de suelo ocupado por la gramínea que reporta Ortega, (2012), con una densidad más baja con 2500 árboles  $ha^{-1}$  de *G. ulmifolia* asociado con *D. eriantha*. Sin embargo, Wencome (2009) reportó una cobertura menor (27%) al del presente

estudio bajo su dosel del árbol en un sistema con el 100 % del área del potrero ocupada por *L. leucocephala* asociado con gramínea. Mercedes y Lamela (2003), usaron densidades de 3333, 8000 y 14222 planta ha<sup>-1</sup> y obtuvieron una cobertura similar entre las densidades (promedio de 84 %) bajo el dosel de *Leucaena* que las usadas en del presente experimento, estos autores atribuyen a que el ancho de la copa de la *Leucaena* se mantuvo menor a 1 m lo cual permitió la iluminación necesaria para el desarrollo de la gramínea (Pentón, 2000).

La densidad de árboles se relaciona con un incremento de la sombra debido a mayor cantidad de árboles por hectárea, y produce un efecto negativo en el desarrollo de la gramínea (Ruiz *et al.*, 2010; Martínez-Encino, 2013). La diferencia encontrada en la cobertura de suelo entre densidades se atribuye a un aumento del porcentaje de cobertura arbórea o sombra que proporcionaban los árboles conforme aumenta la densidad (Cuadro 6).

En nuestro experimento, las densidades más altas (15000, 25000 y 35000 ha<sup>-1</sup>) limitaron la cobertura de la gramínea, sin embargo, observamos un efecto del pisoteo no medido, porque entre más cerrado el espacio entre árboles dentro de las hileras menos posibilidad de caminar para los animales a través de las hileras y caminan a lo largo de los callejones, causando más pisoteo en la zona de mayor incidencia de luz. Navas *et al.* (2008) señalaron que el movimiento de los animales a lo largo de los callejones bajo los árboles produce la pérdida de la cobertura del suelo por pisoteo y acumulación de heces y orina.

La cantidad de biomasa total (árbol y gramínea) fue similar entre densidades de árboles ( $p = 0.555$ ) (Cuadro 7). Posiblemente, la ausencia de efecto entre densidades sobre el rendimiento total, se deba a que el aporte de biomasa de la gramínea y árbol varió entre densidades, se estimó que, a densidades de 5000, 15000, 25000 y 35000 árboles ha<sup>-1</sup> la proporción de la gramínea disponible

para la alimentación animal constituye el 76, 63, 53 y 46 % del total disponible respectivamente sin embargo, el aporte de biomasa fue similar al aporte de la gramínea en las dos últimas densidades (25000 y 35000 árboles ha<sup>-1</sup>) lo que no permitió efecto significativo en la biomasa total entre las densidades además estas dos últimas densidades observamos que hubo un efecto de pisoteo por que entre más cerrado el espacio entre árboles dentro de hileras menos posibilidad de caminar para los animales y por tanto produce una pérdida de la cobertura del suelo por pisoteo causando una disminución de forraje.

En este experimento las cantidades oscilaron entre 2488 a 2513 kg MS ha<sup>-1</sup> en las densidades de 5000 a 35000 árboles ha<sup>-1</sup> no obstante, cuando se evaluó *L. leucocephala* (poda inicial de 50 cm de altura) con una densidad de 35000 y 55000 ha<sup>-1</sup> en asociación con *M. maximus* y *Cynodon nlemfluensis* se incrementó la producción total (5086 kg MS ha<sup>-1</sup>) con la mayor densidad de árboles y el aporte de biomasa de árboles y gramíneas fue de 21 y 79 % respectivamente durante la época de nore (45 días de descanso) (Barros-Rodríguez *et al.*, 2012). En el presente experimento el rendimiento total tendió ser mejor con la densidad de 15000 árboles ha<sup>-1</sup> alcanzando una producción 2866 Kg MS ha<sup>-1</sup>, con una contribución de 63 % de gramínea y 36 % en árboles es comparable a los 2693 kg MS ha<sup>-1</sup> y la proporción de los árboles y gramínea constituyó el 48 y 51 % del total respectivamente en densidad de 53000 árboles ha<sup>-1</sup> de *L. leucocephala* asociada a *M. maximus* cv. Tanzania durante la época de seca bajo condiciones de riego (Bacab-Pérez *et al.*, 2011), sin embargo, cuando se compara con 17000 árboles ha<sup>-1</sup> de *L. leucocephala* (periodo de descanso de 50 días) asociada a *M. maximus*, se muestra un aumento en dicha producción (11228 kg MS ha<sup>-1</sup>) durante los meses de julio a septiembre (Sarabia *et al.*, 2013). Otros autores (Candelaria-Martínez *et al.*, 2017) indican que, los SSPi en el trópico pueden tener una producción

de 2520 kg MS ha<sup>-1</sup> en densidad de 6666 árboles ha<sup>-1</sup> asociada a *C. nlemfuensis* a los 50 días de descanso.

Por otro lado, la biomasa de *Leucaena* más la gramínea Rhodes varió con la densidad, Pacha *et al.* (2018) encontraron que a densidades de 100, 1951 y 8618 árboles ha<sup>-1</sup> la proporción de la gramínea disponible constituyen el 92 %, 36 % y 6 % respectivamente y concluyeron que densidades intermedias de *L. leucocephala* conducen a un equilibrio deseable de gramínea-árboles (60:40) para asegurar su persistencia de cada componente.

Cuadro 7. Biomasa forrajera de gramínea, árbol y biomasa total (árbol + gramínea) en cuatro densidades de *L. leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*. Los valores son promedios de cuatro cosechas durante el ciclo 2016-2017.

Densidades (árboles ha <sup>-1</sup> )	Producción de forraje, kg MS ha <sup>-1</sup>		
	Gramínea	Árbol	Total
5000	1906 ± 259.1 <sup>a</sup>	581 ± 70.9 <sup>c</sup>	2488 ± 253.9 <sup>a</sup>
15000	1820 ± 259.1 <sup>a</sup>	1045 ± 70.9 <sup>b</sup>	2866 ± 253.9 <sup>a</sup>
25000	1275 ± 259.1 <sup>a</sup>	1100 ± 70.9 <sup>ab</sup>	2376 ± 253.9 <sup>a</sup>
35000	1175 ± 259.1 <sup>a</sup>	1338 ± 70.9 <sup>a</sup>	2513 ± 253.9 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Medias con distinta literal en la misma columna indica diferencia estadística (P < 0.05).

El forraje que la gramínea aportó no difirió (p=0.107) entre densidades, aunque hay una tendencia a disminuir la biomasa conforme aumenta la densidad de árboles (Cuadro 7), las cantidades oscilaron entre 1906.4 a 1175.1 kg MS ha<sup>-1</sup> en la densidad de 5000 a 35000 árboles ha<sup>-1</sup>. En forma similar, en densidades de 5000, 3333 y 25000 árboles de *L. leucaena* no se reportó efecto de la producción de forraje de *Brachiaria brizantha* y observaron una tendencia (p=0.7495) a incrementar conforme se redujo la densidad (Benítez-Bahena *et al.*, 2010). En su estudio, estos

autores explican a baja densidade de árboles (mayor espacio entre árboles dentro hileras) existió un mayor espacio disponible para el desarrollo de la gramínea así como mayor intensidad de luz. En este sentido, en nuestro estudio a baja densidad de árboles hubo menos sombra generada (42 % menos cobertura arbórea) por los arboles lo que permitió mayor disponibilidad de radiación transmitida ( $961 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) para el crecimiento y desarrollo de la gramínea, esto indica que expresara su potencial vegetativo de la gramínea (Pachas, 2017), y posiblemente hubo menos efecto del pisoteo de la gramínea por los animales porque hubo mayor libertad de movimiento del ganado entre hileras.

La cantidad de biomasa que los árboles aportaron individualmente varió entre densidades ( $p < 0.0001$ ) de árboles (Cuadro 7), y aumentó conforme se incrementó la densidad de árboles. La densidad más alta ( $35000 \text{ árboles ha}^{-1}$ ) aportó mayor cantidad de biomasa de árboles y fue superior en 82.2, 78.1 y 43.4 % en  $25000$ ,  $15000$  y  $5000 \text{ árboles ha}^{-1}$ , respectivamente. Estos incrementos con la mayor densidad se atribuye principalmente al aumento de número de árboles por hectárea (Bacab-Pérez *et al.*, 2011; Barros-Rodríguez *et al.*, 2012), y se relacionó con el mayor índice de área foliar (Cuadro 7).

## 2.4. CONCLUSIONES

El índice de área foliar y la cobertura de los árboles se mantienen altos en densidades de  $15000$  a  $35000 \text{ árboles ha}^{-1}$ , sin alterar la producción de forraje de la gramínea. La radiación fotosintéticamente activa y la cobertura de gramínea bajo el dosel decae a partir de  $15000 \text{ árboles ha}^{-1}$ , sin disminución en la producción de forraje de la gramínea.

Densidades de  $15000$  a  $35000 \text{ árboles ha}^{-1}$  no alteran la producción de forraje total ni el aporte de biomasa de gramínea, pero si incrementan la disponibilidad de forraje de árboles.

Para definir la densidad óptima de un sistema silvopastoril, es necesario tomar en cuenta el rendimiento de forraje tanto árbol y gramínea. La producción total tendió ser mejor en la densidad de 15000 árboles ha<sup>-1</sup> alcanzando una producción 2866 kg MS ha<sup>-1</sup> con una mayor contribución (63 %) en la gramínea, mientras que los árboles aportó el restante 36 % con una producción de 1045 Kg MS ha<sup>-1</sup>.

## 2.5. LITERATURA CITADA

- Aguilar-García, L., J. A. Escalante-Estrada, L. Fucikovsky-Zak, L. Tijerina-Chávez, y E. M.ark, E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra* 23: 303-310.
- Alonso, L. J. 2003. Factores que intervienen en la producción de biomasa de un sistema silvopastoril leucaena (*Leucaena leucocephala* cv. Peru) y guinea (*Panicum maximum* cv. Likoni). Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal Ministerio de Educación Superior. 12 p.
- Alonso, J., G. Febles, T. E. Ruiz, y G. Achang. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 40: 503-411.
- Anguiano, J. M., J. Aguirre, y J. M. Palma. 2012. Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocus nucifera*). *Rev. Cuba. Cienc. Agric.* 46: 103-107.
- Bacab-Pérez, H. M., y F. J. Solorio-Sánchez. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Trop. Subtrop. Agroecosyst* 13: 271-278.
- Barros-Rodríguez, M., J. Solorio-Sánchez, J. Ku-Vera, A. Ayala-Burgos, C. Sandoval-Castro, and G. Solís-Pérez. 2012. Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Trop. Anim. Health Prod.* 44: 1873-1878.



- Benavides, R., G. B. Douglas, and K. Osoro. 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.* 76: 237-350.
- Benítez-Bahena, Y., A. Bernal-Hernández, E. Cortés-Díaz, G. Vera, C., y F. Carillo, A. 2010. Producción de forraje de guaje (*Leucaena* spp.) asociado con zacate (*Brachiaria brizantha*) para ovejas en pastoreo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1: 397-411.
- Bonham, C. D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. John Wiley and Sons, Inc. Colorado, United States of America. 239 p.
- Bottini-Luzardo, M. B., C. F. Aguilar-Pérez, F. G. Centurión-Castro, F. J. Solorio-Sánchez, and J. C. Ku-Vera. 2016. Milk yield and blood urea nitrogen in crossbred cows grazing *Leucaena leucocephala* in a silvopastoral system in the Mexican tropics. *Trop. grassl.-Forrajes trop.* 4: 159-167.
- Candelaria-Martínez, B., J. A. Rivera-Lora, y C. Flota-Bañuelos. 2017. Disponibilidad de biomasa y hábitos alimenticios de ovinos en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala*, *Hibiscus rosa-sinensis* y *Cynodon nlemfuensis*. *Agron. Costarricense* 41: 121-131.
- Cuartas, C. C. A., J. F. Naranjo R., A. M. Tarazona, M., G. A. Correa, L., and R. Barahona R. 2015. Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala*-based intensive silvopastoral systems. *Trop. Subtrop. Agroecosyst* 18: 303-311.
- Chiappy-Johnes, C. J., L. Gama, M. Soto-Esparza, D. Geissert, y J. Chávez. 2002. Regionalización paisajística del estado de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia* 18: 87-112.
- Elfeel, A. A., A. A. Bakhashwain, and R. A. Abohassan. 2013. Interspecific interactions and productivity of *Leucaena Leucocephala* and *Clitoria Ternatea* under arid land mixed cropping. *J. Anim. Plant Sci.* 5: 1424-1430.
- Elfeel, A. A., y A. H. Elmagboul. 2016. Effect of planting density on *leucaena leucocephala* forage and Woody stems production under arid dry climate. *IJOEAR.* 2: 7-11.
- Espinel, M. R. G., L. M. Valencia, C., F. Uribe, T., C. Hernando, M., E. José, M., E. Murgueitio, R., W. F. Galindo, S., C. E. Mejía, A. Zapata, J. P. Molina, y J. Giraldo. G. 2009. *Sistemas silvopastoriles: Establecimiento y Manejo.* Murgueitio, R. E. 1a. ed. (Ed).

- Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Carrera 2<sup>a</sup> Oeste No. 11- 54 Cali, Enero 2009 Colombia. 157 p.
- Forrester, D. I., J. Bauhus, A. L. Cowie, and J. K. Vanclay. 2006. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: A review. *For. Ecol. Manage.* 233: 211-230.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Geografía. México. 213 p.
- Garay-Arroyo, A., M. P. Sánchez, B. García-Ponce, E. R. Álvarez-Buylla, C. Gutiérrez. 2014. La homeostasis de las auxinas y su importancia en el desarrollo de *Arabidopsis thaliana*. *Rev. Educ. Bioquím.* 33: 13-22.
- Giraldo, V. L. A., J. Botero, J. Saldarriega, y P. David. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural, en la región Atlántica de Colombia. *Agrofor. Américas.* 2: 14-19.
- González, J. A., J. U. Morales., y L. P. Portilla. 2010. Establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos en la planicie Huasteca Potosina. Herrera, C. F., E. A. G. Valenzuela, y M. A. Curiel. 1a. ed. (Ed.) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste; Campo Experimental Las Huastecas. Formanto del Norte, S.A. de C.V., 12 de noviembre 310 Col. La Paz. C.P. 89326 Tampico Tam. 13 p.
- González, J. M. 2013. Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México) *AIA.* 17: 35-50.
- López, O., L. Lamela, I. L. Montejo, y T. Sánchez. 2015. Influencia de la suplementación con concentrado en la producción de leche de vacas Holstein x Cebú en silvopastoreo. *Pastos y Forrajes* 38: 46-54.
- López-Vigoa, O., T. Sánchez-Santana, J. M. Iglesias-Gómez, L. Lamela-López, M. Soca-Pérez, J. Arece-García, y M. C. Milera-Rodríguez. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y Forrajes* 40: 83-95.
- Ludwig, F., T. E. Dawson, H. H. T. Prins, F. Berendse, and H. Kroon. 2004. Belowground competition between trees and grasses may overwhelm the facilitative effects of hydraulic lift. *Ecol. Lett.* 7: 623-631.

- Manríquez-Mendoza, L. Y., S. López-Ortiz, C. Olguín-Palacios, P. Pérez-Hernández, P. Díaz-Rivera, and Z. G. López-Tecpoyotl. 2011. Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Trop. Subtrop. Agroecosyst* 13: 573-584.
- Martínez-Encino, C., G. Villanueva-López, y F. Casanova-Lugo. 2013. Densidad y composición de árboles dispersos en potreros en la sierra de Tabasco, México. *Agrociencia* 47: 483-496.
- Mercedes, V. A., L. Lamela. 2003. Efecto del marco de siembra de *Leucaena leucocephala* en el comportamiento agronómico de una asociación. *Pastos y Forrajes* 26: 307-314.
- Murgueitio, R. E., F. Uribe, T., A. F. Zuluaga, S., W. F. Galindo, S., L. M. Valencia, C., C. Giraldo, E., y R. Soto, B. 2010. Reconversión Ganadería con sistemas silvopastoriles en la Provincia de Chiriquí, Panamá. Uribe, T. F., y A. F. Zuluaga, S. 1a. ed. (Ed). Consejo Nacional para el Desarrollo Sostenible (CONADES) y Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Feriva S. A. 159 p.
- Murgueitio, R. E., F. U. Trujillo, C. H. Molina, E. J. Molina, W. F. Galindo, J. D. Chará, M. X. Flores, C. G. Echeverri, C. A. Cuartas, J. F. Naranjo, L. H. Solarte, y J. G. González. 2016. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena*. Murgueitio, R. E., W. F. Galindo, J. D. Chará, y F. U. Trujillo. (Ed). Centro para la investigación en Sistemas Sostenibles de producción Agropecuaria. CIPAV. Cali, Colombia. 220 p.
- McElwee, H. F., and R. L. Knowles. 2000. Estimating canopy closure and understorey pasture production in New Zealandgrown poplar plantations. *N. Z. J. For.* 30: 422-435.
- Navas, A., M. Ibrahim, V. Álvarez, F. Casanoves, y J. R. Mora. 2008. Influencia de la cobertura arbórea de sistemas silvopastoriles en la distribución de garrapatas en fincas ganaderas en el bosque seco tropical. *RECIA*: 1: 38-40.
- Noda, Y., y G. J. Martín. 2014. Influencia de la densidad de plantación y la fertilización en el rendimiento de *Morus alba* var. tigreada. *Pastos y Forrajes* 37: 291-297.
- Ong, C. K., J. E. Corlett, R. P. Singh, and C. R. Black. 1991. Above and below ground interactions in agroforestry systems. *For. Ecol. Manage.* 45: 45-57.

- Pachas, A. N. A., H. M. Shelton, C. J. Lambrides, S. A. Dalzell, y G. J. Murtagh. 2017. Efecto de la densidad de árboles en el rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala* y *Chloris gayana*. In: Sistemas Silvopastoriles: Aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Chará, J. P. Perí, J. E. Rivera, E. M. Restrepo y K. Castaño (ed), CIPAV - Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, Cali Colombia (Ed.) pp. 373.-377.
- Pachas, A. N. A., A. M. Shelton, C. J. Lambrides, S. A. Dalzell, and G. J. Murtagh. 2018. Effect of tree density on competition between *Leucaena leucocephala* and *Chloris gayana* using a Nelder Wheel trial. I. Aboveground interactions. *Crop. Pasture Sci.* 69: 419-429.
- Pentón, G. 2000. Tolerancia del *Panicum Maximum* cv. Likoni a la sombra en condiciones controladas. *Pastos y Forrajes* 23: 1-5.
- Radrizzani, A., S. A. Dalzell, O. Kravchuk, and H. M. Shelton. 2010. A grazer survey of the long-term productivity of leucaena (*Leucaena leucocephala*)-grass pastures in Queensland. *Animal Prod. Sci.* 50: 105-113.
- Ramírez, A. L., C. Sandoval, C., J. Estrada, L., y J. Ku, V. 2006. Integración del componente arbóreo en los sistemas silvopastoriles de producción animal tropical. In: Producción y manejo de los recursos forrajeros tropicales. Velasco, Z. M. E., A. Hernández, G., R. A. Perezgrovas, G., y B. Sánchez, M. (ed). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Chiapas (Ed.) pp. 157-174.
- Rivera-Herrera, J. E., I. Molina-Botero, J. Chará-Orozco, E. Murgueitio-Restrepo, y R. Barahona-Rosales. 2017. Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes* 40: 171-183.
- Rodríguez-Petit, A., F. Rada, y M. Colmenares. 2008. Comportamiento ecofisiológico de *Brachiaria decumbens* en monocultivo y en asociación con *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes* 31: 217-227.
- Rodríguez, E. M. E., G. Corra-Flores, B. Solorio, S., A. D. Alarcón, R., J. A. Grado-Ahuir, C. Rodríguez-Muela, L. Cortés. P., V. E. Segovia, B., y F. J. Solorio, S. 2013. Calidad de la carne de bovinos engordados en un sistema silvopastoril intensivo en dos épocas del año. *Trop. Subtrop. Agroecosyst* 16: 235-241.
- Rozados-Lorenzo, M. J., M. P. González-Hernández, and F. J. Silvia-Pando. 2007. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system. *Agrofor. Syst.* 70: 53-62.

- Ruiz, T. E., G. Febles, H. Jordán y H. Díaz. 2010. El árbol y su efecto en la estabilidad productiva del pasto en un sistema silvopastoril. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 44: 297-300.
- Sarabia, S. L., F. J. Solorio, S., B. R. Alves, L. Ramírez, A., J. C. Ku, V., B. Solorio, S., J. A. Erales, V., y S. Urquiaga, C. 2014. Producción de forraje y fijación atmosférica de nitrógeno en un sistema silvopastoril intensivo. *In: XLI Reunión de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. (AMPA) y VII Reunión Nacional de Sistemas Agro y Silvopastoriles*. Mérida, Yucatán, México del 2 al 4 de julio pp: 407-411.
- Solorio, S. F. J. y B. Solorio, S. 2008. Manual de manejo agronómico de *Leucaena leucocephala*. Fundación Produce Michoacán. Morelia, Michoacán, a 20 de mayo de 2008. 29 p.
- Solorio-Sánchez, F. J., H. M. Bacab-Pérez, L. Ramírez-Avilés. 2011. Los sistemas silvopastoriles intensivos de investigación en el valle de Tepalcatepec, Michoacán. *In: Memorias III Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, para la ganadería sostenible del siglo XXI*. Flores. E. M. X., F. J. Solorio, S., C. Sánchez, B., B. Solorio, S., E. H. López C. (ed), 2, 3 y 4 de marzo, Morelia y Tepalcatepec, Michoacán. Fundación Produce Michoacán, A. C. Calle Aramén No. 5 Esq. Virrey de Mendoza, Col. Félix Ireta, Morelia Michoacán, C.P. 58070. pp: 17-31.
- Shelton, M., and S. Dalzell. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. *Trop. grassl.-Forrajes trop.* 41: 174-190.
- Valladares, F. 2006. La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología* 20: 11-30.
- Wencome, H. B. 2009. Efecto de la inclusión de *Leucaena* spp. en el comportamiento de la comunidad vegetal. *Pastos y Forrajes* 32:1-17.
- Zárate, P. S. 1994. Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México. Ser. Bot.* 65: 53-162.
- Zheng, Y., Y. Zhang, J. Wu. 2016. Yield and quality of *Moringa oleifera* under different planting densities and cutting heights in southwest China. *Ind. Crops. Prod.* 91: 88-96.

## CAPÍTULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

### 3.1. Conclusiones

Con base en los resultados de la fase experimental, es factible establecer sistemas silvopastoriles intensivos para mejorar la disponibilidad de forraje durante el año y reducir los problemas de escasez de forraje en época seca y al mismo tiempo aumentar la calidad químico nutricional del forraje ofrecido (follaje de árboles y gramínea) para los animales en pastoreo.

La asociación de *L. leucocephala* y *M. maximus* en sistemas silvopastoriles es una opción viable para producir forraje de buena calidad durante las dos épocas del año. Esta asociación, alcanza su mayor producción entre 40 y 50 días, con mejor calidad nutritiva de la gramínea a 40 días, que se puede compensar con el valor nutritivo de los árboles hasta los 50 días de descanso, independientemente de la época.

Con respecto al cultivo de árboles en hileras a densidades crecientes manteniendo la misma distancia entre hileras (1.60 m) y manejada a una poda inicial de 1 m sobre el nivel del suelo no hubo efecto de competencia interespecífica en las plantas asociadas, el recurso luz no fué un factor limitante para la producción de forraje de la gramínea haciendo que la gramínea se mantuviera su producción entre densidades. Sin embargo, el aporte de biomasa de árbol aumentó conforme se incremento la densidad de árboles, aunque este efecto no impacto a la producción total (árbol + gramínea) haciendo que la producción se mantuviera entre densidades. De esta manera aparentemente la producción total tendió ser mejor con la densidad de 15000 árboles ha<sup>-1</sup> alcanzando una producción 2866 kg MS ha<sup>-1</sup> con una mayor contribución (63 %) en la gramínea, mientras que los árboles aportó el restante 36 % con una producción de 1045 Kg MS ha<sup>-1</sup>.

### 3.2. Recomendaciones

Para definir el punto óptimo de pastoreo de un sistema silvopastoril, es necesario tomar en cuenta tanto la cantidad de biomasa disponible como la calidad nutritiva de ambos componentes. En la asociación de *L. leucocephala* con otras especies, en particular con pastos amacollados se recomiendan intervalos de descansos que permitan la recuperación de los árboles, sin detrimento de las gramíneas. Es decir, no dejar demasiado tiempo de descanso porque la gramínea alcanza la madurez más rápido y su calidad nutritiva cambia rápidamente.

En sistemas silvopastoriles, en zonas con precipitación estacional y como estrategia para conservación de forraje verde en la época seca, se recomienda intervalos de descanso que fluctúa entre 40 y 50 días entre los meses de agosto a octubre (época de lluvias) y de marzo a abril (época seca), dado que estos intervalos permitirán mayor producción y al mismo tiempo, la mejor calidad química nutricional (proteína cruda y digestibilidad) del forraje ofrecido (follaje de árboles y gramínea) para los animales en pastoreo. En este sistema SSPi se recomienda el establecimiento de divisiones y subdivisiones con cerca eléctrica para los sistemas de rotación. Las franjas no deben ser mayores de media hectárea, ideal 2500 metros cuadrados, con períodos de ocupación entre medio día y máximo tres días por franja. Al tercer día los animales empiezan a afectar la cosecha de la próxima rotación. Para poder aplicar los conocimientos aquí generados en los sistemas ganaderos, se recomienda realizar estos experimentos bajo condiciones de pastoreo, dadas a las interacciones que podría incluir el componente animal en el sistema silvopastoril intensivo.

En la práctica, a mayor distancia entre árbol dentro de las hileras (menor densidad) afectará la producción de biomasa del árbol. A menor distancia entre árbol, aumentará la densidad de árboles y en consecuencia, será mayor la producción de forraje de esta leguminosa. En este sentido se debe

considerar el arreglo espacial (aumentar la distancia entre hileras) de tal manera que favorezca la movilización de los animales y la cosecha de forraje. Si el objetivo del productor es aumentar la producción del forraje del árbol y así también mejorar la cantidad de nutrientes en la dieta la opción es incrementar la densidad de la plantación de *L. leucocephala*, donde el componente fibra debería ser provisto por los adyacentes lotes o suplementación para obtener una dieta balanceada para la alimentación animal. Debido que esta leñosa debe aportar un 20-30 % de la biomasa potencialmente consumible por el ganado. Para este sistema, la leñosa debe ser apetecible por el ganado, pero nunca más palatable que las forrejas herbáceas con las que se asocian.

Considerando los resultados de este estudio, se puede manejar un número de aproximadamente 15000 a 25000 árboles por hectárea, los que proyectarán un promedio de 65 % de cobertura de sombra y  $599 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de radiación fotosintéticamente activa transmitida bajo el dosel de los árboles sin disminuir la disponibilidad de la gramínea; esto considerando el arreglo espacial de los mismos. En estos sistemas generalmente se recomienda separaciones de 6 a 8 m entre hileras de la leñosa, con 4 o más hileras de gramíneas.

Se recomienda continuar con el experimento durante dos años más, aproximadamente, con la finalidad de comprobar si las tendencias mostradas de interacciones aéreas y rendimiento de forraje entre densidades durante los primeros cinco periodos de muestreo son duraderas en este tipo de sistemas de producción. De la misma forma, en el proceso de evaluación es necesario conocer la respuesta animal (consumo voluntario) entre la densidades, en términos de productividad.