



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**DISPONIBILIDAD DE FORRAJE EN UN SISTEMA
SILVOPASTORIL CON DISTINTAS DENSIDADES DE *Leucaena
leucocephala* L., BAJO PASTOREO REGENERATIVO**

IVÁN AZUARA MORALES

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ

2019

La presente tesis, titulada: **Disponibilidad de forraje en un sistema silvopastoril con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* L., bajo pastoreo regenerativo**, realizada por el alumno: **Iván Azuara Morales**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



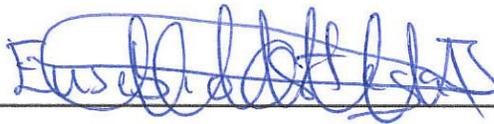
DRA. SILVIA LÓPEZ ORTIZ

ASESOR:



DR. JESÚS JARILLO RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. EUSEBIO ORTEGA JIMÉNEZ

ASESOR:



DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 13 de mayo 2019.

**DISPONIBILIDAD DE FORRAJE EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL CON
DISTINTAS DENSIDADES DE *Leucaena leucocephala* L., BAJO PASTOREO
REGENERATIVO**

Iván Azuara Morales, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

Se determinó la biomasa forrajera disponible, composición química del forraje, capacidad de carga, composición botánica y tiempo de recuperación de las plantas después del pastoreo, en un sistema silvopastoril con 15000 (D15) y 25000 árboles ha⁻¹ (D25) de *Leucaena leucocephala*, manejados con pastoreo regenerativo. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. Los muestreos de biomasa se hicieron de julio 2017 a julio 2018, cuando el pasto (en lluvias y transición) o el árbol (estiaje) se encontraban en el punto óptimo de reposo y se pastorearon ovinos pelibuey (carga animal instantánea: 34 a 204 UGM ha⁻¹ según la época). La biomasa total disponible fue más alta en D25 (15957 kg MS ha⁻¹; p<0.05) con mayor capacidad de carga (2.9 UGM ha⁻¹ año⁻¹); en época seca se produjeron 484 y 537 kg DM ha⁻¹ en D15 y D25, respectivamente, procedente solo de los árboles. El periodo de reposo de los potreros varió según la época de pastoreo de 31 a 120 días; 59 a 65 % de la biomasa la constituyó el pasto en época de transición y lluvias, mientras que en secas el 100 % fue árbol. El contenido de proteína cruda fue mayor en los árboles (24 %) que en pasto (10 %). Se concluye que en sitios con mayor densidad de árboles y pastoreo regenerativo se incrementa la biomasa forrajera, y se mantiene el crecimiento de las plantas a través del año aun con precipitación estacional porque las especies crecen alternadamente.

Palabras clave: capacidad de carga, composición botánica, precipitación estacional.

AVAILABILITY OF FORAGE IN A SILVOPASTORIL SYSTEM WITH DIFFERENT DENSITIES OF *Leucaena leucocephala* L., UNDER REGENERATIVE GRAZING

Iván Azuara Morales, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

We determined the available forage biomass, forage chemical composition, carrying capacity, botanical composition and recovery time of the plants after grazing, in a silvopastoral system with 15000 (D15) and 25000 trees ha⁻¹ (D25) of *Leucaena leucocephala*, using regenerative grazing. A randomized complete block design with two replicates was used. Biomass samplings was performed from July 2017 to July 2018, when the grass (during the in rain and transition seasons) or the tree (dry season) were at the optimal rest time and pelibuey sheep were grazed (instant stocking rate of 34 and 204 UGM ha⁻¹ in dry and rainy respectively). The total available biomass was higher in D25 (15957 kg DM ha⁻¹; p <0.05) as well as carrying capacity (2.9 UGM ha⁻¹ year⁻¹); in the dry season 484 and 537 kg DM ha⁻¹ were produced in D15 and D25, respectively, provided only from the trees. The resting time ranged according to the grazing season from 31 to 120 days. From 59 to 65% of the biomass was grass in the transitional and rainy seasons and 100% was tree forage in the dry season. Crude protein was higher in tree (24%) than in grass forage (10%). It is concluded that in places with higher density of trees and using regenerative grazing, the forage biomass increases, and there is plant growth throughout the year even under seasonal precipitation conditions, because the trees and grasses grow alternately throughout the seasons.

Key words: botanical composition, carrying capacity, chemical composition, seasonal precipitation.

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos por su apoyo y las grandes experiencias vividas.

A mi esposa y mis hijas, por su apoyo y que siempre son mi fuente de inspiración para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduado Campus Veracruz por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

A la Dra. Silvia López Ortiz por ser mi consejera, brindarme su apoyo y amistad incondicional.

A los Dres. Ponciano Pérez Hernández, Eusebio Ortega Jiménez y Jesús Jarillo Rodríguez, por fungir como asesores en mi Consejo Particular.

A los profesores y personal del Colegio de Postgraduados que participaron en mi formación académica.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIGEGT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme realizar análisis de laboratorio que contribuyeron a fortalecer mi trabajo de tesis.

A mis compañeros de generación: Miguel, Osmar, Omar, Herman, José, Martín, Araceli, Escarlet, Alejandra y Noemí, por el gusto de conocerlos y convivir por más de dos años.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Teoría general de sistemas y enfoque de agroecosistemas	4
2.2. Agroforestería pecuaria.....	7
2.2.1. Árboles de sombra.....	9
2.2.2. Árboles y arbustos forrajeros	9
2.2.3. Árboles leguminosos forrajeros	10
2.3. Morfología de <i>Digitaria eriantha</i> y <i>Leucaena leucocephala</i>	11
2.4. La degradación de las pasturas	12
2.5. Agricultura y pastoreo regenerativo	13
2.6. Frecuencia e intensidad de defoliación de las plantas	16
2.7. Carbohidratos de reserva y recuperación de las plantas	17
2.8. Características del forraje en un sistema silvopastoril	18
2.9. Producción de forraje en ambientes de clima estacional	19
3. HIPÓTESIS	21
3.1. Hipótesis general	21
3.2. Hipótesis particulares.....	21
4. OBJETIVOS	22
4.1. Objetivo general.....	22
4.2. Objetivos particulares.....	22

5. MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1. Ubicación de la investigación	23
5.2. Condiciones edafoclimáticas del área experimental	23
5.3. Descripción y manejo del sistema silvopastoril	24
5.4. Diseño experimental y tratamientos	25
5.5. Procedimiento experimental.....	26
5.8. Análisis estadísticos.....	29
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1. Biomasa forrajera disponible.....	30
6.2. Capacidad de carga	33
6.3. Composición botánica.....	35
6.4. Tiempo de recuperación después del pastoreo	37
6.5. Curvas de acumulación de biomasa	39
6.6. Composición química del forraje.....	41
7. CONCLUSIONES	44
8. LITERATURA CITADA.....	46

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Biomasa forrajera disponible en un sistema silvopastoril intensivo con distintas densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> , sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.....	30
Cuadro 2. Biomasa forrajera disponible por momento de inicio de pastoreo y tratamiento, en un sistema silvopastoril intensivo con distintas densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> , sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.....	31
Cuadro 3. Biomasa forrajera disponible en cada uno de los muestreos (Tiempo), en un sistema silvopastoril intensivo de <i>Leucaena leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> , sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.....	32
Cuadro 4. Carga animal instantánea por tratamiento y momento de pastoreo, en un sistema silvopastoril con distintas densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> , sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz.....	34
Cuadro 5. Carga animal instantánea determinada con cada muestreo de biomasa disponible en un sistema silvopastoril con dos densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> , sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.....	34

Cuadro 6. Contenido nutricional del forraje en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz 42

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Representación del modelo conceptual de agroecosistema (elaboración propia).....	6
Figura 2. Precipitación pluvial (mm) y temperatura media (°C) en la zona de estudio, de julio 2017 a julio 2018. Estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.....	24
Figura 3. Composición botánica de la biomasa forrajera disponible en un sistema silvopastoril con distintas densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> , en la zona centro de Veracruz.....	36
Figura 4. Tiempo de recuperación del forraje disponible en un sistema silvopastoril con distintas densidades de <i>Leucaena leucocephala</i> asociada a <i>Digitaria eriantha</i> , de junio 2017 a julio 2018, en la zona centro de Veracruz.....	38
Figura 5. Incremento de biomasa forrajera (gramínea y árbol) en época de lluvias, en un sistema silvopastoril intensivo de <i>Leucaena leucocephala</i> asociado a <i>Digitaria eriantha</i> , sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz.....	39
Figura 6. Incremento de biomasa forrajera (gramínea y árbol) en época de transición a seca, en un sistema silvopastoril intensivo de <i>Leucaena leucocephala</i> asociado a <i>Digitaria eriantha</i> , sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz.....	40

Figura 7. Incremento de biomasa forrajera (gramínea y árbol) en época de secas, en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociado a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz..... 41

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería en México es una de las principales actividades económicas del sector primario, alrededor del 62 % del total del territorio mexicano se utiliza para la producción ganadera y en su mayoría se maneja bajo condiciones de pastoreo extensivo (FAO, 2009; INEGI, 2014; SIAP, 2016). En las regiones tropicales de México predomina la ganadería de doble propósito, que se caracteriza por una baja producción de leche y carne, debido a que la alimentación del ganado es a base de forrajes con una marcada producción estacional (Pérez *et al.*, 2002; Rojo-Rubio *et al.*, 2009).

El manejo inadecuado de pasturas y la escasez de forraje en la época de estiaje hacen más difícil la alimentación del ganado, lo que vuelve a la ganadería menos productiva y rentable (Díaz-Sánchez *et al.*, 2018; Durán *et al.*, 2018). Como una alternativa para disminuir los efectos por esta problemática se plantea la implementación de sistemas silvopastoriles (SSP).

Los SSP se consideran una alternativa para encaminar la producción de rumiantes hacia la sustentabilidad (Fortes *et al.*, 2003), porque estos sistemas integran especies de plantas que además de brindar productos y servicios para el ganado, también generan servicios ambientales y las leguminosas forrajeras leñosas producen forraje rico en nutrientes (proteína, vitaminas y minerales) y tienen alta aceptación por el ganado. Los beneficios de incluir árboles con follaje de alto valor nutritivo en los sistemas silvopastoriles son múltiples, el más directo es que permiten a los rumiantes la opción de seleccionar y balancear su dieta e incrementar su eficiencia nutricional (Ibrahim *et al.*, 2006). Una de las especies más utilizadas por sus características forrajeras es *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Este forraje puede incluirse en la dieta de los rumiantes

como un complemento, ya que lo ingieren y lo digieren con mayor facilidad que algunos pastos de menor calidad (Delgado *et al.*, 2001; García *et al.*, 2008).

La calidad nutritiva, productividad y permanencia de las plantas forrajeras en las pasturas depende siempre de un sistema de manejo adecuado que garantice un uso sostenido de los recursos; principalmente, de sistemas de pastoreo acordes a las condiciones agroecológicas de la región y la biología de las plantas que se utilizan (López, 2018).

El Pastoreo Racional Voisin (PRV) es un sistema de pastoreo que integra los conocimientos, herramientas, teorías y leyes existentes sobre la fisiología vegetal y producción animal, sin dejar ningún componente fuera, y garantiza el uso sostenible de los recursos y de la productividad. Este sistema se basa en armonizar los principios de la fisiología vegetal, los requerimientos nutricionales del ganado en sus diferentes etapas de producción, y el mejoramiento gradual de la calidad del suelo a través de la recuperación de procesos bióticos, bajo la intervención racional del hombre. En la implementación de este sistema se utilizan cuatro leyes universales: ley del reposo, ley de la ocupación, ley de los rendimientos máximos y ley del rendimiento regular (Pinheiro, 2015).

Los sistemas agroforestales y el pastoreo racional juntos pueden propiciar la recuperación de la agro-diversidad y de la productividad en los ranchos ganaderos. Mientras que la agroforestería fomenta que se incluyan más especies multipropósito desde herbáceas hasta plantas leñosas en la misma unidad de suelo (Dakoh, 2003), el PRV establece los criterios para realizar un mejor manejo de la vegetación que sirve como base forrajera del suelo y del ganado.

En esta investigación se evaluó la disponibilidad de forraje en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) con distintas densidades de *L. leucocephala* cv. Cunningham asociada a *Digitaria eriantha* cv. Pangola, manejado bajo PRV y utilizando borregas adultas para la cosecha del forraje. El propósito de la investigación fue conocer la respuesta de los SSPi sujetos al pastoreo racional.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Teoría general de sistemas y enfoque de agroecosistemas

Para abordar el enfoque de la Teoría General de Sistemas (TGS) es necesario definir que es un sistema. Un sistema es un conjunto de elementos de cualquier tipo, interrelacionados para cumplir una función o lograr un propósito u objetivo (Hart, 1985). En este sentido, se debe realizar el estudio de un “Todo” con una identificación y análisis de los componentes o subsistemas que lo integran. También se debe considerar la posibilidad de que este sistema pueda considerarse como un subsistema que forma parte de un sistema mayor o suprasistema.

La TGS propone abordar el análisis de los fenómenos que suceden en la realidad con una visión integral y total. Se enfoca en generar conocimiento que permita explicar los fenómenos o parte de ellos, tomando en cuenta su relación con el medio en donde se desarrollan, para que los conocimientos generados permitan su interpretación y de ser posible su predicción (Johansen, 1993).

Las investigaciones detalladas sobre ciertos componentes o partes del sistema deben realizarse con la finalidad de incorporar información descubierta en su lugar correcto dentro del funcionamiento del sistema entero. La meta principal es el entendimiento del sistema en conjunto, y cualquier estudio específico se debe realizar con el objetivo de definir interacciones entre componentes, siempre tomando en cuenta la estructura del sistema y el entorno dentro del cual funciona (Wadsworth, 1997).

La aplicación de la TGS para el estudio de la agricultura como un fenómeno social, ha conducido a la jerarquización de sistemas y subsistemas en la que se tiene en primer

plano el ecosistema, en segundo plano el sistema de cultivo o de crianza de animales, en tercer plano el sistema de producción agrícola y en cuarto plano los sistemas agropecuarios (Trebuil, 1990), cada nivel inmediato inferior es un subsistema del sistema que se observa.

En este sentido, los sistemas silvopastoriles se pueden considerar como un subsistema de los agroecosistemas donde se produce ganado, es decir, un sistema de cultivo que se puede estudiar aplicando los principios de la TGS. Para su estudio se debe considerar que este subsistema está integrado por componentes biológicos (plantas y animales) y físicos (suelo y agua), que interactúan. Los conocimientos generados en esta investigación pueden ser replicados por los productores y así, influir positivamente en el sistema inmediato superior (el agroecosistema donde se realiza la ganadería).

Un agroecosistema (AES) es un modelo conceptual generado por el observador para facilitar la comprensión de las relaciones entre los agricultores y sus recursos para la producción de alimentos, se le asignan límites dependiendo de la capacidad y las limitaciones del agricultor; es operado por un ente consciente que toma decisiones tomando en cuenta las interrelaciones entre componentes bióticos y abióticos, que mediante procesos internos obtiene uno o más satisfactores (alimenticios, económicos, ecológicos y/o materias primas). En su funcionamiento pueden influir los factores ecológicos, sociales, políticos y económicos (Figura 1), pero también se puede generar un proceso de retroalimentación en el que se modifiquen estos factores (Casanova-Pérez *et al.*, 2015).

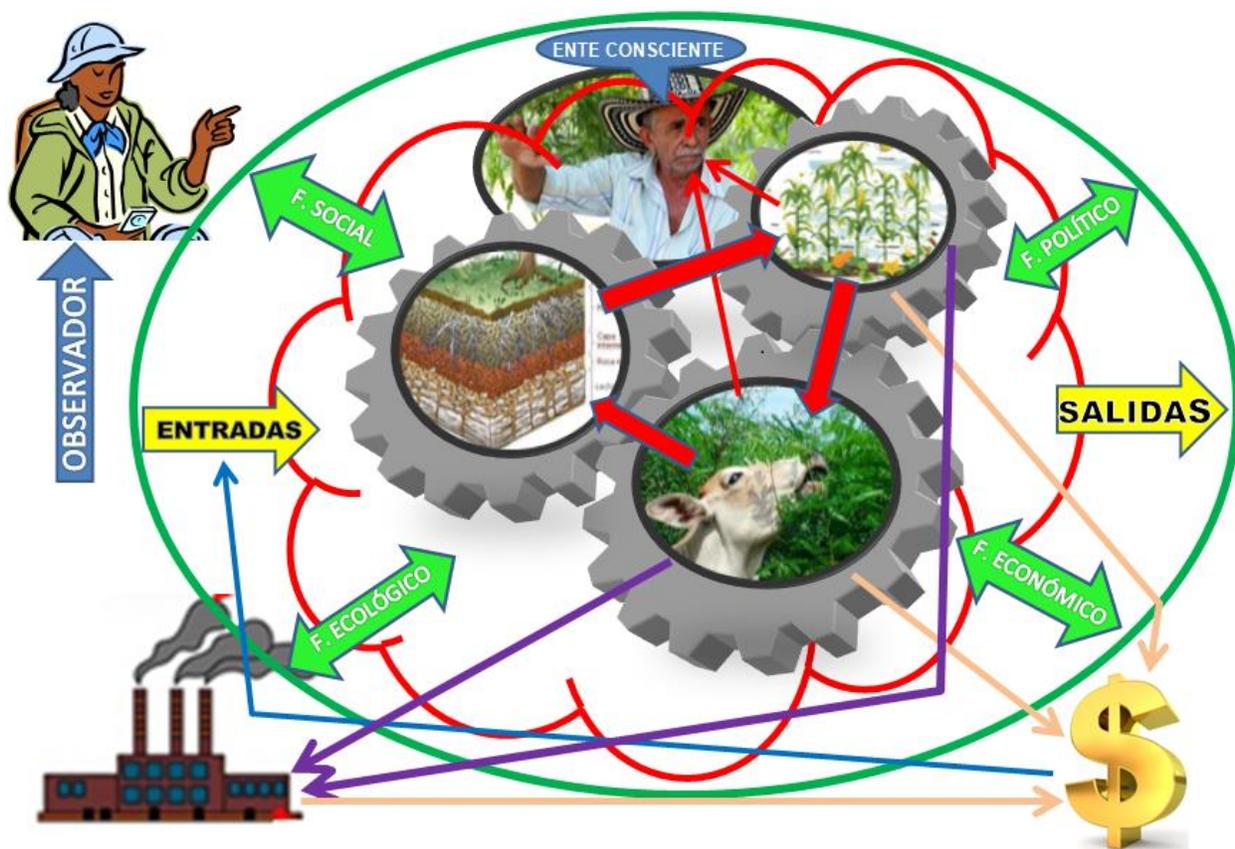


Figura 1. Representación del modelo conceptual agroecosistema (Elaboración propia).

Los SSP se pueden estudiar bajo un enfoque agroecosistémico, debido a que son un subsistema del agroecosistema, y a su vez también están integrados por varios subsistemas (forestal, agrícola y pecuario), que interactúan constantemente. Cada uno de los subsistemas del SSP posee varios componentes que se interrelacionan entre sí y son manejados por el productor para obtener diferentes satisfactores. La presente investigación se enfoca en el estudio del subsistema agrícola y en específico la disponibilidad de forraje a través del año bajo condiciones de precipitación estacional.

2.2. Agroforestería pecuaria

La agroforestería es una disciplina que integra un conjunto de técnicas para el manejo del suelo, de plantas leñosas perennes en el mismo sistema de manejo con cultivos agrícolas y/o producción animal, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal (Montagnini *et al.*, 1992; Budowski, 1993; Ospina, 2008). La agroforestería se aplica con la finalidad de validar y maximizar los beneficios económicos y ambientales, producto de las interacciones entre suelo-planta-animal-ambiente-hombre (Jiménez y Muschler, 2001). Los sistemas agroforestales son una forma de aplicar la agroforestería y se han clasificado con base en diferentes criterios, tales como su estructura, composición y distribución de sus componentes (en el espacio y tiempo), tomando en cuenta su función, escala socioeconómica y distribución ecológica (Farrell y Altieri, 1999).

Los SSP son asociaciones de especies leñosas perennes (árboles o arbustos) con plantas herbáceas (leguminosas herbáceas, pastos y arvenses) y animales domésticos (bovinos, équidos, ovinos y caprinos) en una misma área (Murgueitio *et al.*, 2016); y que pueden ser manejadas de forma intensiva o extensiva (Nair, 1997); de forma intensiva pueden ser manejadas en rotaciones con un enfoque holístico e integral, según las condiciones climáticas y material forrajero disponible (Combe y Budowski, 1979; Bustamante y Romero, 1991). Para el establecimiento y manejo de los SSP se requiere la aplicación de los principios de la agricultura, la ganadería y la silvicultura, con la finalidad de incrementar la productividad de la tierra, permitiendo obtener beneficios ecológicos y económicos (Vélez y Moreno, 1993). Los árboles en los potreros, ofrecen forraje de buena calidad, ayudan a controlar la erosión, a la infiltración del agua y mejorar la fertilidad de los suelos, además de que pueden establecerse de tal forma que sirvan

como barreras rompe vientos (Cárdenas *et al.*, 2011). Por lo tanto, los SSP bien manejados son una alternativa de producción sostenible a mediano y largo plazo.

La clasificación estructural de los sistemas agroforestales, es la más utilizada y facilita su identificación. Con base en esta clasificación tenemos los sistemas agrosilvoculturales (cultivos asociados con especies leñosas), los sistemas silvopastoriles (asociación de especies leñosas con pasturas y animales) y los sistemas agrosilvopastoriles (asociación de cultivos con especies leñosas, pasturas y animales) (Jiménez y Muschler, 2001; Ospina, 2001; Russo, 2015).

Los SSP se pueden implementar en sistemas de pastoreo basados en monocultivos de gramíneas incorporando especies leñosas en callejones, árboles maderables o frutales, árboles en cercas vivas y cortinas rompe vientos, en bancos forrajeros (de proteína, energéticos o mixtos) y árboles dispersos en los potreros.

Se ha denominado Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) a aquellos que integran arbustos forrajeros en altas densidades (más de 4000 plantas ha⁻¹) intercalados con pastos mejorados y árboles maderables o de otros usos, que interactúan con todos los demás componentes y el medio físico (Murgueitio *et al.*, 2014; Murgueitio *et al.*, 2015). Dentro de estos sistemas están los utilizados como bancos de proteína, en los que el follaje de los arbustos se cosecha periódicamente y se ofrece al ganado como complemento en su alimentación.

2.2.1. Árboles de sombra

Los árboles son utilizados en los potreros por los múltiples beneficios y servicios que ofrecen, tal es el caso de su sombra, que generan un microclima que favorece el crecimiento y desarrollo de la vegetación herbácea bajo su dosel, y que mejoran el bienestar del ganado.

La cantidad de luz interceptada por la copa de los árboles varía dependiendo de la especie arbórea, la edad de los árboles, fenología y arquitectura de la copa (Camacho *et al.*, 2017; Pachas *et al.*, 2018). Los árboles interfieren en la cantidad de luz que penetra bajo la copa, y varía en relación a 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).

Los árboles forrajeros en un SSP también pueden cumplir la función de brindar sombra e interceptan la luz que temporalmente limita la radiación fotosintéticamente activa para las plantas herbáceas y gramíneas presentes, sin embargo, esta interceptación es temporal y provoca variaciones en los rendimientos y mejora la calidad nutritiva de su biomasa (Barahona y Sánchez, 2005; Pachas *et al.*, 2014; Sosa-Rodríguez *et al.*, 2017).

2.2.2. Árboles y arbustos forrajeros

El uso de árboles y arbustos en la ganadería es una práctica ancestral que en la actualidad está siendo revalorada como parte de un sistema de manejo integral (Palma y González-Rebeles, 2018), debido a que el follaje, frutos y semillas se pueden utilizar en la alimentación del ganado (Palma y Román, 2003). Para que un árbol o arbusto sea

considerado como forrajero debe cumplir con algunas de las siguientes características (Benavides, 1998; Febles y Ruiz, 2008; Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011a):

- Agronómicas: crecimiento rápido, adaptación a suelos de baja fertilidad, sistema radical profundo, resistencia a quemas, enfermedades y plagas, producción de biomasa en época seca, alta producción de semillas, fácil propagación.
- Capacidad de asociación: permitir el crecimiento de otras plantas bajo su dosel, asociación con otras arbóreas y gramíneas.
- Respuesta a la defoliación: alta producción de rebrotes después del pastoreo, respuesta adecuada a podas y ramoneo frecuente.
- Valor nutricional y consumo: mayor velocidad de pasaje de la ingesta en rumen, alto valor nutritivo, bajo contenido de metabolitos secundarios sin afectar el consumo voluntario, apetecible para el ganado, aumento en índices productivos y reproductivos del ganado.

2.2.3. Árboles leguminosos forrajeros

Los árboles en potreros, sobre todo leguminosos, contribuyen al reciclaje de nutrientes en los pastizales y praderas, la protección de las fuentes de agua, incremento y conservación de la biodiversidad y el mejoramiento de la dieta de los rumiantes, ya que su asociación con gramíneas favorece el incremento de la cantidad y calidad del pasto asociado, además de obtenerse mayor cantidad de biomasa total en potreros asociados con árboles, comparado con pasturas en monocultivo (Giraldo, 1996; Mahecha, 2003; Tarazona *et al.*, 2013).

Leucaena leucocephala es un árbol leguminoso que se incluye en la ganadería porque representa una alternativa para los suelos secos y de precipitación escasa, ya que asociada con gramíneas puede generar mayor rendimiento de materia seca, en comparación con monocultivos de gramíneas no fertilizados (Haynes, 1980; Conway, 2005). La asociación de *L. leucocephala* y gramíneas introducidas o endémicas, utilizada para el pastoreo de ganado, ha favorecido el incremento de la ganancia diaria de peso; en comparación con pastizales en monocultivo (Hernández *et al.*, 1986; Castillo *et al.*, 1989; Castillo *et al.*, 1992).

2.3. Morfología de *Digitaria eriantha* y *Leucaena leucocephala*

Digitaria eriantha cv. Pangola (antes *D. decumbens*) es una gramínea perenne estolonífera, vigorosa, de crecimiento rastrero, porte semi-erecto y que cubre densamente el suelo. Sus características físicas son: tallo que alcanza hasta 120 cm de longitud, hojas lineales y lanceoladas (de 10 a 25 cm de largo y de 2 a 7 mm ancho), inflorescencia con uno o dos verticilos con 5 o 10 espigas de 13 cm de largo cada una, con muchas espiguillas de 2.7 a 3.0 mm de largo (Bogdan, 1977). Esta gramínea se adapta a una amplia gama de condiciones ambientales, tales como: precipitaciones pluviales desde 700 hasta 4000 mm, temperatura media anual de 15.9 a 27.8 °C y altitudes desde el nivel del mar hasta los 2250 msnm. Además, requiere de suelos con texturas arenosa a franco-arenosa y pH de 4.3 a 8.5. (Bogdan, 1977; Tikam *et al.*, 2013). Es tolerante a la falta de agua, por lo tanto, en época seca su producción de biomasa disminuye (Enríquez *et al.*, 1999; Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011b; Meléndez, 2012).

La *L. leucocephala* pertenece a la familia *Leguminosae* y a la subfamilia *Mimosoideae*, es una planta arbustiva, caducifolia o perennifolia (dependiendo de las condiciones del medio), que crece en la vegetación secundaria como árbol donde puede alcanzar hasta los 20 m de altura. Sus características morfológicas son: tallo erecto con ramificaciones esparcidas desde la base del tallo, copa redondeada, ligeramente abierta y rala; hojas 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 (Aguirre, 2013). Las inflorescencias son blancas con 100 a 180 flores que rodean densamente al pedúnculo. Los frutos son vainas oblongas, estipitadas de hasta 20 cm de longitud y 2 cm de ancho, contienen entre 15 y 25 semillas. Fructifica la mayor parte del año, especialmente en octubre y enero (Zárate, 1994). Tiene raíz profunda y pivotante de 2 a 6 m y penetra en las capas profundas del suelo para aprovechar el agua y los minerales que puedan encontrarse en estratos edáficos inferiores del suelo (Dhyani *et al.*, 1990; Radrizzani *et al.*, 2010). Este árbol se adapta a una amplia gama de condiciones ambientales, tales como: precipitaciones pluviales desde 500 hasta 3 000 mm y altitudes desde el nivel del mar hasta los 1 600 msnm. Para su desarrollo requiere de suelos arenosos de baja fertilidad con pH neutro o alcalino (mejores resultados con pH de 6.5. a 7.5).

2.4. La degradación de las pasturas

La degradación de las pasturas es un proceso en el que las especies deseables pierden vigor y capacidad productiva por unidad de área, inicia con la disminución del vigor de las plantas (menor capacidad de rebrote, producción de hojas más pequeñas y de menor calidad), continúa con la pérdida de cobertura de las especies deseables, el establecimiento de especies indeseables o aparición de espacios del suelo sin cobertura

vegetal y como consecuencia disminuye la productividad de la pastura y del ganado (Padilla y Sardiñas, 2005; Rincón, 2006; Padilla *et al.*, 2009).

Las principales causas de la degradación de las praderas son: malos manejos del pastoreo, el uso indiscriminado del fuego para la quema de praderas, presencia de plagas y enfermedades; factores climáticos poco favorables para el desarrollo de las especies deseables y baja fertilidad de los suelos. Los criterios que se pueden utilizar para evaluar la degradación son: disminución de cobertura vegetal, baja producción y calidad del forraje disponible (Padilla *et al.*, 2009).

2.5. Agricultura y pastoreo regenerativo

La agricultura regenerativa es una práctica holística de manejo del suelo que potencializa la fotosíntesis en las plantas para cerrar el ciclo del carbono, propiciar la salud del suelo y resiliencia de los cultivos. La agricultura regenerativa permite el máximo aprovechamiento de los recursos naturales, evitando que estos se agoten; se apoya en los procesos naturales para reponer los nutrientes, el agua y el suelo para producir alimentos sanos y ricos en nutrientes. Incorpora la permacultura (agricultura y cultura permanente) que es el diseño consciente de paisajes que imitan los patrones y las relaciones de la naturaleza, mientras suministran alimento, fibras y energía abundantes para satisfacer las necesidades locales (Holmgren, 2013). La salud del suelo se mejora a través de prácticas que incrementan el contenido de materia orgánica en el suelo, estas prácticas, favorecen el incremento de la biodiversidad, la capacidad de retener agua y secuestrar carbono a grandes profundidades.

El pastoreo regenerativo es una práctica que subyace a la agricultura regenerativa, y consiste en el manejo adecuado del ganado en pastoreo, óptimo aprovechamiento de las plantas y la reactivación de la biodiversidad en el suelo, mejora el crecimiento de las plantas, la captura de carbono y la productividad de las praderas, mientras se mejora la fertilidad del suelo, la biodiversidad de plantas e insectos.

Por sus principios y beneficios, el Pastoreo Racional Voisin (PRV) puede considerarse parte de la ganadería regenerativa. El PRV es una forma de pastoreo que armoniza principios de fisiología vegetal, con las necesidades cuantitativas de los animales, y el mejoramiento creciente del suelo a través de procesos bióticos, bajo la intervención antrópica. Tiene como principio el uso racional de los recursos naturales para la producción de forraje y el término racional se aplica a la presencia humana para conducir, establecer la eficiencia técnica, el sistema económico, tecnológico, cultural y social; por lo tanto, el componente humano es el más importante, ya que es quien dirige el sistema de pastoreo y no el herbívoro quien decida cuándo, dónde y cómo quiere comer (Pinheiro, 2015). La intervención humana en el PRV debe contribuir al mejor crecimiento de los pastos y la cosecha adecuada del forraje, el uso de los recursos tecnológicos que mejoran las condiciones del suelo, con el fin de obtener mejores resultados y mayores ganancias económicas en la producción animal (Machado *et al.*, 2000). Este método de pastoreo se basa en las leyes universales del pastoreo racional creadas por André Marcel Voisin (Pinheiro, 2015) y son:

La ley de reposo establece que para que un pasto cortado por el diente del animal pueda dar su máxima productividad, es necesario que, entre dos cortes sucesivos haya pasado el tiempo suficiente que permita al pasto almacenar en sus raíces las reservas necesarias

para un inicio de rebrote vigoroso y realizar su llamada de crecimiento. El tiempo de descanso entre dos pastoreos sucesivos es variable dependiendo de las especies de plantas, época del año, las condiciones meteorológicas y la fertilidad del suelo.

La ley de ocupación establece que el tiempo total de ocupación de una parcela debe ser lo suficientemente corto como para que un pasto cortado a diente el primer día de la ocupación, no sea cortado nuevamente por el diente de los animales antes de que estos dejen el potrero. El ganado, con tiempos de ocupación largos en los potreros, consume el rebrote de las plantas consumidas en los primeros días de ocupación (Rusch y Skarpe, 2009), afectando su desarrollo y permanencia en el potrero.

La ley de rendimientos máximos establece que es necesario dar prioridad a los animales con exigencias alimenticias más elevadas para que puedan cosechar la mayor cantidad de pasto y de la mejor calidad posible.

La ley del rendimiento regular establece que para que el rendimiento del ganado sea estable en el tiempo, no debe permanecer más de tres días en un potrero. El ganado alcanza un mayor rendimiento productivo, reproductivo y sanitario, con el primer día de pastoreo en un potrero y para que dicho rendimiento sea constante, se debe cambiar de potrero todos los días, dando prioridad a los animales que tengan un mayor requerimiento nutricional (Machado *et al.*, 2000).

El sistema de pastoreo regenerativo es una herramienta eficiente para aprovechar la biomasa forrajera con beneficios productivos altos. Este sistema es más rentable que los sistemas de pastoreo extensivo y rotacional; en gran parte, se debe al uso mínimo de insumos comerciales y la alta eficiencia biológica de los organismos (López, 2018).

Además, los bovinos manejados bajo pastoreo regenerativo alcanzan una ganancia diaria de peso de 0.5 kg (Benítez *et al.*, 2007).

El PRV proporciona mayor producción total de forraje y con esto se logra una mayor productividad por unidad de área, en comparación con el pastoreo continuo y el rotacional (Lenzi, 2003; Nasca *et al.*, 2006), con esto se mejora la rentabilidad en los sistemas de producción ganadera (Lorenzon, 2004; Ruíz y Ruíz, 2011).

2.6. Frecuencia e intensidad de defoliación de las plantas

La reactivación del crecimiento en las plantas después de la pérdida de su follaje depende de la frecuencia e intensidad de la defoliación. La frecuencia de defoliación es el intervalo de tiempo (días, semanas o meses) entre dos defoliaciones sucesivas (Dong *et al.*, 2004; Denton *et al.*, 2018); este es un factor importante que puede afectar el rendimiento del forraje, su valor nutritivo y la persistencia de las especies en un pastizal.

Con un buen manejo de la frecuencia de defoliación (cuando las plantas llegan al punto óptimo de reposo) se favorece una producción sostenida de forraje de calidad a través del tiempo, ya que si se retarda la frecuencia de defoliación de las plantas se incrementa la proporción de tallo, material senescente, y disminuye la proporción de hojas, y por consecuencia disminuye la calidad química-nutricional (Ludlow, 1980; Rojas *et al.*, 2017).

La intensidad y frecuencia de defoliación a las plantas depende principalmente del método de pastoreo (Wade y Carvalho, 2000), mientras el pastoreo extensivo permite periodos de ocupación y reposo definidos, con cargas inadecuadas (no son calculadas en base a la disponibilidad de forraje), otros tipos de pastoreo como el diferido y el rotacional establecen tiempos fijos de ocupación y reposo que varían según la estación

del año (Senra, 2005; Anwandter *et al.*, 2016), solo el PRV planifica la intensidad y frecuencia de pastoreo acorde a la disponibilidad momentánea del forraje en los pastizales, resultando en periodos fijos de ocupación que no sobrepasan los 3 días, y periodos variables de reposo definidos por distintos factores de manejo y climáticos (Milera y Martínez, 1997; Pinheiro, 2015).

Cuando la intensidad y frecuencia de defoliaciones es alta, se obtiene una tasa máxima de crecimiento en la pradera (Parsons *et al.*, 1988). Al incrementar la frecuencia de defoliación a más de 28 días aumenta la cantidad de biomasa forrajera, pero disminuye su calidad; cuando se incrementa la intensidad de defoliación a una altura de 0.7 cm, también se incrementa el rendimiento (Osman y Abu Diek, 1982; Ramírez *et al.*, 2009).

2.7. Carbohidratos de reserva y recuperación de las plantas

Las plantas en crecimiento acumulan carbohidratos como resultado de la fotosíntesis (Labarthe y Pelta, 2010). Los carbohidratos de las plantas se dividen en dos grupos: estructurales y no estructurales. En el primer grupo se encuentran aquellos que forman parte de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y pectina); en el segundo grupo se encuentra la glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa, almidón y fructanos, que se almacenan en órganos vegetales como raíces, rizomas, estolones, coronas y partes inferiores del tallo. Al segundo grupo también se le llama carbohidratos de reserva (Smith, 1972).

Las plantas deben cosecharse cuando han acumulado un nivel de reservas que les permita sobreponerse y rebrotar vigorosamente después de ser pastoreadas. Después de una defoliación intensa, la respiración es mayor a la fotosíntesis, por lo que las plantas

hacen uso de sus carbohidratos de reserva, para su crecimiento (Hanson *et al.*, 1988; Marie-Lise *et al.*, 2018). Un buen sistema de pastoreo debe asegurar los tiempos de reposo adecuados con este criterio de acumulación de carbohidratos, para que las plantas se recuperen adecuadamente.

2.8. Características del forraje en un sistema silvopastoril

La disponibilidad de materia seca del forraje, es la cantidad de fitomasa que el ganado consume, y varía en función de la tasa de crecimiento y senescencia de las plantas, y la preferencia de consumo del ganado (Crespo y Castañón 2003; Canseco *et al.*, 2016). El forraje disponible puede caracterizarse con mayor detalle por medio de la composición botánica, y así estimar el porcentaje de forraje de cada uno de los componentes que integran la pradera.

La composición botánica es el porcentaje en que cada especie de planta está representada en una comunidad vegetal (NAL Glossary, 2015) y puede calcularse en base a cobertura, densidad y peso de la materia, es un parámetro dinámico a través del tiempo y en ambientes de pastoreo depende principalmente del consumo de las plantas por el ganado, los mecanismos de competencia y cooperación entre plantas, la fertilidad del suelo y de las condiciones ambientales que se presentan en las diferentes estaciones del año (Bernier, 1985; Gastó *et al.*, 1993).

La producción de forraje en la mayoría de los sistemas silvopastoriles es mayor en comparación con monocultivos de gramíneas (Haynes, 1980). Las plantas leñosas que se incluyen en un sistema silvopastoril sostienen producción de follaje durante periodos más prolongados que las gramíneas, aún en condiciones de precipitación estacional

(Nahed, 2002; Sánchez *et al.*, 2007; Ortega-Vargas *et al.*, 2017); por lo tanto, el pastoreo en estos sistemas con mayor disponibilidad de forraje favorece una mayor ganancia diaria de peso del ganado (Lozano *et al.*, 2006). Los SSP pueden ser más productivos y más rentables que los monocultivos (Sánchez *et al.*, 2007; González y Alcaraz, 2013).

La calidad del forraje obtenido en un SSP es mayor comparado con el forraje de gramíneas en monocultivo, ya que el porcentaje de proteína cruda es mayor y de mejor digestibilidad (Olivares-Pérez *et al.*, 2005). Las hojas, yemas y tallos tiernos de los árboles y arbustos forrajeros tienen alto contenido de PC, carotenos, fósforo y un contenido de fibra menor que el de las gramíneas (Holecheck, 1984), esto se debe a que los ciclos de crecimiento de las leñosas son anuales, y la maduración del follaje es más lenta, y por tanto, se mantiene con mayor calidad química-nutritiva por periodos más largos que las gramíneas.

2.9. Producción de forraje en ambientes de clima estacional

La producción de forraje en el estado de Veracruz se caracteriza por una marcada estacionalidad, resultado de las variaciones del clima (precipitación pluvial y temperatura) durante el año, identificándose tres épocas climáticas diferentes: lluvia, nortes o transición de lluvias a seca y seca (Hernández *et al.*, 1990; Valles *et al.*, 1992).

La época de lluvia coincide con el verano (de junio a septiembre), se caracteriza por una temperatura media mensual de 27.5 °C y 298 mm de precipitación pluvial por mes; en la época de transición (octubre a enero) la temperatura media mensual es 23.7 °C y 57 mm de precipitación pluvial por mes y en la época seca (febrero a mayo) la temperatura media mensual es 24.9 °C y 24 mm de precipitación pluvial por mes (Climate-data, 2019).

En la época de lluvia la precipitación es mayor, esta condición favorece el crecimiento de las plantas, siempre y cuando existan las condiciones ambientales ideales para el crecimiento rápido y abundante. En contraste, la época de transición y seca se caracterizan por una precipitación pluvial mensual baja, que en combinación con otras condiciones ambientales adversas provocan la producción estacional de los forrajes (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011b; Santiago-Hernández *et al.*, 2015).

3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

La disponibilidad de forraje y calidad nutritiva en un sistema silvopastoril con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* bajo pastoreo regenerativo con ovinos, se mantiene a través del año, aun en la época de estiaje, debido a que sus componentes (árbol y gramínea) crecen alternadamente en las distintas épocas.

3.2. Hipótesis particulares

- a) En un sistema silvopastoril con mayor densidad de *L. leucocephala* y manejado bajo pastoreo regenerativo, se incrementa la producción de forraje, sin detrimento en su calidad químico-nutritiva.
- b) La disponibilidad de forraje en los sistemas silvopastoriles se mantiene a través del año con variaciones en su composición botánica y tiempo de recuperación, aun en condiciones de precipitación estacional debido a que sus componentes (árbol y gramínea) crecen alternadamente en las distintas épocas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Determinar la disponibilidad y calidad químico-nutritiva de forraje en sistemas silvopastoriles con distintas densidades de *L. leucocephala* bajo manejo de pastoreo regenerativo con ovinos, a lo largo del año.

4.2. Objetivos particulares

- a) Estimar la disponibilidad y composición química del forraje en los sistemas silvopastoriles con distintas densidades de *L. leucocephala* manejadas bajo pastoreo regenerativo.
- b) Determinar la composición botánica y tiempo de recuperación del forraje en los sistemas silvopastoriles con distintas densidades de *L. leucocephala* y manejadas bajo pastoreo regenerativo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, ubicado en la provincia fisiográfica Llanura costera del Golfo Sur de México, a 19° 11' latitud Norte y 96° 20' longitud Oeste y a 18 msnm. En esta región fisiográfica se distinguen 85 tipos de paisajes: 46 % corresponde a paisajes transformados (modificados radicalmente por actividades antropogénicas), el 40 % a paisajes naturales (ecosistema natural) y 14 % a paisajes secundarios (ecosistema original perturbado por el hombre) (Chiappy-Jhones *et al.*, 2002; Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011a). Esta investigación se ubicó dentro del ecosistema que debería ser la selva baja caducifolia.

5.2. Condiciones edafoclimáticas del área experimental

El área donde se realizó el experimento se caracteriza por tener clima cálido sub húmedo del tipo AW₁ (W) (i) g (García, 1988), una temperatura promedio anual de 27 °C, presencia de lluvias en verano distribuidas entre los meses de mayo a octubre y 1 286 mm de precipitación pluvial promedio anual. Por el tipo de clima, existe una época de estiaje muy pronunciada que puede durar de 6 a 10 meses (Gómez-Pompa, 1978). La precipitación pluvial en la zona donde se realizó la investigación fue estacional e irregular, con registros de precipitaciones muy bajas entre los meses de diciembre 2017 a mayo 2018 (Figura 2).

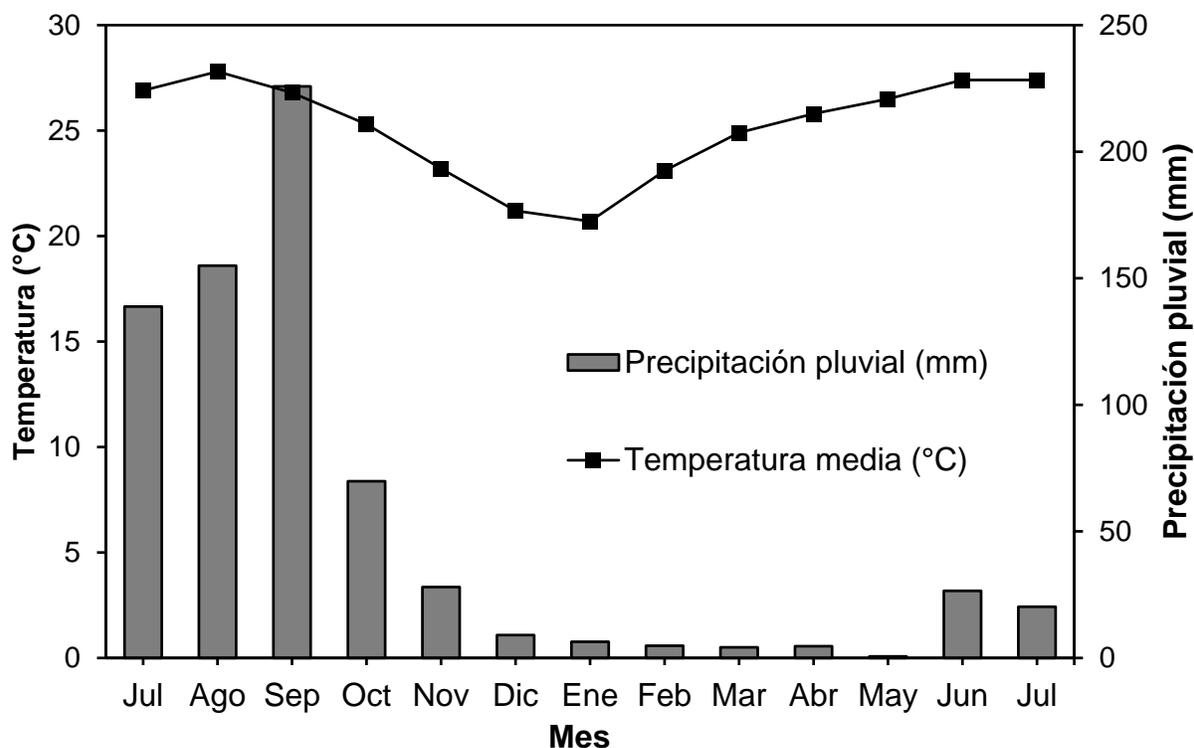


Figura 2. Precipitación pluvial (mm) y temperatura media (°C) en la zona de estudio, de julio 2017 a julio 2018. Estación meteorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

El suelo en el sitio experimental es de textura franco arcilloso con 40 % de arena, 30 % de limo, 30 % de arcilla, con 14 % de pendiente, contiene 2.8 % de materia orgánica, 0.11 % de nitrógeno, 16.80 mg Kg⁻¹ de fósforo, 0.08 cmol kg⁻¹ de potasio, 3.56 cmol kg⁻¹ de calcio, 1.78 cmol Kg⁻¹ de magnesio y pH de 5.80 (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011a).

5.3. Descripción y manejo del sistema silvopastoril

Se evaluaron SSP denominados intensivos (SSPi) por la alta densidad de árboles de *L. leucocephala*. Los árboles se obtuvieron de semillas germinadas en vivero y se establecieron en campo de noviembre 2014 a enero 2015 cuando tenían entre 60 y 100 d de edad; *D. eriantha* se estableció en septiembre de 2015. Los árboles se plantaron en

un arreglo espacial de 1.60 m entre hileras y 0.41 m entre plantas para lograr 15000 y 0.25 m entre plantas para lograr 25000 plantas ha⁻¹. Se establecieron dos parcelas experimentales con 15000 y dos con 25000 plantas ha⁻¹. Al mismo tiempo, se estableció una superficie de 1800 m² con 15000 árboles ha⁻¹ que se utilizó para evaluar el crecimiento de las plantas y como área de adaptación del ganado. Al inicio del experimento las plantas de leucaena tenían 36 meses y el pasto pangola 22 meses.

Después de establecidos estos SSP estuvieron en uso para pastoreo de ovinos en un experimento previo del 8 de agosto de 2016 al 28 de marzo de 2017 y un tiempo de descanso de 29 de marzo al 14 de junio de 2017. Durante el experimento, se realizaron dos podas de mantenimiento en cada potrero, la primera se realizó del 28 de septiembre al 16 de octubre de 2017 y la segunda del 13 al 20 de mayo de 2018. Las podas se realizaron a 0.70 m de altura con la finalidad de que los animales alcanzaran a consumir las partes más altas de la planta (hasta 1.80 m de altura).

5.4. Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, en el que todos los tratamientos se asignaron aleatoriamente en cada uno de los bloques. Los tratamientos fueron las densidades 15000 (D15) y 25000 (D25) árboles de *L. leucocephala* por hectárea, y dos momentos de inicio del pastoreo (momento 1 y 2). Los bloques se establecieron tomando en cuenta un gradiente de pendiente del terreno en el sitio experimental, se consideró que la parte más baja podría tener suelo más fértil (bloque A) que la parte más alta del terreno (Bloque B).

Para establecer los dos momentos de inicio del pastoreo, las parcelas experimentales de ambos tratamientos con superficie de 400 m² cada una, se dividieron en dos potreros de 200 m² cada uno (un potrero se asignó al momento 1 y el otro al momento 2). Esto se hizo para disponer de un mayor número de potreros que aumentara la posibilidad de evaluar la disponibilidad de forraje también en las épocas críticas del año (entre febrero y mayo). El pastoreo se inició en dos momentos durante la época de lluvias, con 21 días de diferencia, el momento 1 se implementó entre el 14 y 17 de junio 2017 y el momento 2 entre el 6 y 11 de julio 2017. Respetando los tiempos óptimos de reposo de las plantas como lo establece el PRV, hubo seis periodos de utilización del forraje, por tanto, seis muestreos de la biomasa (tiempo 1-6).

Al mismo tiempo, se elaboraron las curvas de acumulación de biomasa en la época de lluvias, transición y seca.

5.5. Procedimiento experimental

La disponibilidad de forraje se evaluó durante un periodo de 12 meses, comprendiendo las tres épocas del año: lluvia (junio a septiembre 2017), transición de lluvia a seca o también llamada época de norte (octubre 2017 a enero 2018) y seca (febrero a mayo 2018). Al inicio del experimento, el primer periodo de utilización obedeció al inicio de la época de lluvias y al factor “momento de inicio del pastoreo”, significa que se definieron fechas sin considerar el tiempo óptimo de reposo como establece el PRV, considerando este periodo de utilización como la homogenización inicial de la pastura. A partir de ahí, los muestreos para evaluar la disponibilidad y realizar el pastoreo se realizaron cuando las plantas alcanzaron el punto óptimo de reposo, sujeto a las variaciones climáticas

(principalmente disponibilidad de humedad en el suelo). Inmediatamente después de evaluar la biomasa disponible se realizaba el pastoreo según los principios del PRV. Durante todo el experimento se utilizaron 52 ovinos adultos de la raza pelibuey como instrumentos de cosecha, que permanecieron en los potreros entre 6 y 12 horas continuas generando una carga animal alta. El pastoreo se repitió en cada potrero cuando las plantas alcanzaran su punto óptimo de reposo, que es el momento en que han alcanzado su máximo crecimiento y se preparan para reproducirse, en esta condición han acumulado suficientes reservas para reponerse del pastoreo siguiente y presentan una calidad nutritiva adecuada para el ganado (Pinheiro, 2015).

La biomasa forrajera se evaluó utilizando el método directo (Bonham, 1989). En cada parcela se ubicaron aleatoriamente cinco puntos de muestreo; en los puntos de muestreo se colocaron rectángulos con dimensiones de 1.60 x 1.23 m en D15 (1.968 m²) y 1.60 x 1.00 m en D25 (1.600 m²) y centrados en las hileras de los árboles, para asegurar que esa área incluyera la superficie que corresponde a cada árbol y espacios de sol y sombra. La biomasa aérea de *D. eriantha* se cortó a 10 cm de altura sobre el nivel del suelo (Juárez *et al.*, 2009) con tijeras de jardín y se cosechó la biomasa comestible de las plantas de leucaena (hojas y tallos tiernos) simulando el pastoreo de los animales. La biomasa de pasto y árbol se pesó por separado en cada punto de muestreo, se guardaron en bolsas de papel, y se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar un peso constante, para obtener y registrar el peso seco, con éste se calculó la cantidad de materia seca por hectárea y la composición botánica del forraje.

Se determinó la carga animal instantánea que los potreros podían mantener, dividiendo la cantidad de biomasa disponible por 15 kg MS, que equivale al 3 % del peso vivo de

una Unidad de Ganado Mayor (UGM), una UGM equivale a un animal de 500 kg de peso vivo. También se calculó la capacidad de carga, dividiendo la biomasa disponible anual por 365 (días del año) y el cociente de esta división se dividió por 15 (consumo diario de materia seca de una UGM). Se registró el tiempo que le tomó a cada potrero alcanzar su punto óptimo de reposo como lo establece el PRV y su recuperación se relacionó con las épocas del año.

Las curvas de acumulación de biomasa se realizaron en la época de transición del 14 de octubre al 16 de diciembre de 2017, época seca de 10 de febrero a 26 de mayo de 2018 y época de lluvias de 9 a 30 de junio de 2018. Para hacer esto se utilizó el sitio con 15000 plantas ha^{-1} establecido como área de adaptación; en cada época se hizo un pastoreo con ovinos a 10 cm de altura sobre el nivel del suelo para homogenizar la pastura e iniciar las evaluaciones. En las épocas de transición y seca, los primeros muestreos se realizaron cada semana y después cada dos semanas, debido a que el crecimiento era muy lento y no sería perceptible cada semana. En la época de lluvias los muestreos se realizaron cada semana. Los muestreos periódicos se repitieron hasta que las plantas mostraron signos de alcanzar el punto óptimo de reposo, en las épocas de lluvias y transición se definió el punto óptimo de reposo cuando la gramínea mostró indicios de floración y senescencia de hojas basales y en la época de seca fue cuando los árboles mostraron indicios de floración y senescencia de hojas. En cada muestreo se tomaron 5 muestras aleatorias de forraje dentro de marcos de 1.60 x 1.23 m (1.968 m^2), cortado el pasto a 10 cm sobre el nivel del suelo y todo el follaje verde y tallos tiernos de los árboles. Las muestras se secaron siguiendo la metodología descrita para la biomasa en otros muestreos, para obtener el peso seco y calcular la materia seca disponible por hectárea.

En el último muestreo de cada época se tomaron muestras de 100 g de materia seca del follaje de cada especie (árbol y gramínea) en la densidad de 15000 plantas ha⁻¹, se secaron en la estufa de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Posteriormente se molieron en un molino Wiley con criba de 1 mm y se determinó el contenido de proteína cruda (PC) mediante el método de micro Kjeldhal (AOAC 1980, 4.2.11), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) por el método de la bolsa de filtro Ankom y equipo ANKOM200 (ANKOM, 2010). Estos análisis se realizaron en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical, de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicado en Martínez de la Torre, Veracruz.

5.8. Análisis estadísticos

Las variables biomasa forrajera disponible (pasto, árbol y total) y capacidad de carga se analizaron bajo un modelo de bloques completos al azar. El modelo incluyó los efectos de densidad, bloque, momento anidado en densidad y tiempo por densidad. Al final se eliminaron del modelo los factores no significativos, quedando en el modelo los efectos de densidad, momento anidado en densidad y tiempo, se aplicó un modelo lineal generalizado (GLM) del paquete estadístico SAS Versión 9.2 (SAS, 2008) y cuando existió diferencia estadística ($p < 0.05$) entre tratamientos se realizaron pruebas de comparación de medias de cada variable con el método de mínimos cuadrados (LSMeans de SAS). Los datos de composición botánica, tiempo de recuperación después del pastoreo, curvas de acumulación de biomasa y composición química del forraje solo se presentan con estadísticas descriptivas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Biomasa forrajera disponible

La biomasa forrajera disponible varió por efecto de la densidad ($p < 0.0001$), por el momento en que se inició el pastoreo ($p < 0.0001$) y el tiempo en que se realizaron los muestreos ($p < 0.0001$).

Con D25 la producción de biomasa de gramíneas y árboles fue superior en 18 y 21 % respectivamente comparado a D15 (Cuadro 1). Una mayor densidad de árboles propició mayor productividad por unidad de área (alrededor de 400 kg más), pero no solo es por el aumento de árboles sino de ambos componentes, y esto sugiere una interacción árbol-gramínea positiva, en la que la posible competencia interespecífica que pudiera haber, es superada por el mejoramiento del microclima que favorece la productividad total en el sistema (Cruz *et al.*, 1999; Santiago-Hernández *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Biomasa forrajera disponible en un sistema silvopastoril intensivo con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.

Tratamiento	Producción de forraje (kg MS ha ⁻¹ muestreo ⁻¹)*			Total (kg MS ha ⁻¹ año ⁻¹)
	Pasto	Árbol	Total	
D15	1,352 ± 921 b	792 ± 461 b	2,143 ± 1,161 b	13,083.27
D25	1,590 ± 1,005 a	957 ± 525 a	2,546 ± 1,301 a	15,957.96

^{a,b} Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes estadísticamente ($p < 0.0001$).

* Medias ± Desviación Estándar.

En esta investigación, el momento en que se inició el pastoreo (en intervalos de 21 días) influyó en la cantidad de biomasa forrajera producida ($p < 0.0001$), porque en ambas densidades, la disponibilidad total de forraje fue superior en los potreros pastoreados en el primer momento (24 % en D15 y 26 % en D25) (Cuadro 2). Esta diferencia dada por

un desfaseamiento en el momento en que se inicia el pastoreo es resultado de las condiciones climáticas prevalecientes en el tiempo inmediato al periodo de ocupación de las pasturas, cuando una pastura dispone de humedad limitada o suficiente después de ser utilizada, tendrá ventajas para recuperarse igual o más rápido que otras pasturas utilizadas antes o después, solo por el hecho de haber tenido humedad disponible (Garay-Martínez *et al.*, 2018; Rincón *et al.*, 2018).

En esta investigación hubo disponibilidad de humedad después de ambos momentos de pastoreo, sin embargo la precipitación disminuyó durante la semana 3 después del momento 1, mientras que después del momento 2 hubo una disponibilidad de humedad constante porque en ese tiempo las lluvias ya se habían establecido, esto provocó que los momentos en que alcanzaron el punto óptimo de reposo se homogenizaran, aunque el tiempo de reposo y la cantidad de biomasa fueron superiores en los potreros del momento 1.

Cuadro 2. Biomasa forrajera disponible por momento de inicio de pastoreo y tratamiento, en un sistema silvopastoril intensivo con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.

Tratamiento	Momento	Biomasa (kg MS ha ⁻¹ muestreo ⁻¹)*		
		Pasto	Árbol	Total
D15	1	1,529 ± 1,048 a	899 ± 497 a	2,428 ± 1,243 a
D15	2	1,160 ± 733 b	871 ± 423 a	1,827 ± 1,031 b
D25	1	1,665 ± 988 a	1,215 ± 579 a	2,879 ± 1,296 a
D25	2	1,675 ± 1,027 a	765 ± 315 b	2,440 ± 1,250 b

^{a,b} Medias estándar con distinta literal en la misma columna dentro de cada densidad son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

* Medias ± Desviación Estándar.

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que en un sistema silvopastoril con estas características y manejo, existe disponibilidad de forraje a través del año, que fluctúa con el tiempo (efecto del tiempo, $p < 0.0001$; Cuadro 3). El crecimiento de las plantas se mantuvo durante todo el año, aunque es mayor durante la época húmeda, y en la época seca decrece significativamente. La producción de forraje en ambas densidades se fue alternando entre los componentes árbol y gramínea, en época de lluvia y transición las gramíneas produjeron la mayor cantidad, mientras que en época seca únicamente los árboles produjeron forraje.

Cuadro 3. Biomasa forrajera disponible en cada uno de los muestreos (Tiempo), en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.

Tiempo	Época	Biomasa disponible (kg MS ha ⁻¹)*		
		Pasto	Árbol	Total
1	Lluvias (Julio 2017)	1,505 ± 682 c	662 ± 420 c	2,167 ± 947 d
2	Lluvias (Agosto 2017)	1,763 ± 609 bc	969 ± 448 bc	2,732 ± 782 c
3	Lluvias (Sep-Oct 2017)	2,027 ± 748 b	1,110 ± 605 ab	3,137 ± 844 b
4	Transición (Enero 2018)	1,073 ± 511 d	727 ± 412 c	1,800 ± 623 d
5	Seca (Mayo 2018)	0.0 ± 0.0 e	511 ± 175 c	511 ± 175 e
6	Lluvias (Julio 2018)	2,455 ± 566 a	1,267 ± 400 a	3,722 ± 597 a

a,b,c,d Medias con distinta literal en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

* Medias ± Desviación Estándar.

La biomasa forrajera disponible fue más alta en el tratamiento de mayor densidad de árboles, atribuible a la mayor densidad de árboles de *L. leucocephala*, por los efectos benéficos que esta planta leguminosa tiene sobre el suelo y el microclima que crea y mejora las condiciones de crecimiento para las gramíneas, sobre todo por su capacidad de ser fijadora de nitrógeno atmosférico (CATIE, 1991; Rojas *et al.*, 2005; Pantiu, 2010),

y no solo porque con más árboles existe mayor cantidad de biomasa, ya que el incremento de biomasa de árboles y gramíneas de D15 a D25 fue muy parecido (18 y 21 %). Los resultados obtenidos superan a los obtenidos por Veneciano *et al.*, (2005) de un monocultivo de *Digitaria eriantha* con fertilización (nitrógeno y fósforo), quienes reportaron un rango de producción de 4.33 a 6.79 t MS ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa forrajera. Pero son similares a los reportados por Gaviria *et al.* (2012), quienes evaluaron un SSPi (*Leucaena* asociada a *Megathyrsus maximus* y *Cynodon plectostachyus*) y midieron un rango de 15.62 a 19.26 t MS ha⁻¹ año⁻¹. En contraste, otros autores han reportado una mayor producción de biomasa al año, desde 20 hasta 37 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (Mahecha *et al.*, 2000; Maya *et al.*, 2005; Gaviria *et al.*, 2015), en SSPi (*Leucaena* asociada a *Cynodon plectostachyus*) y el incremento de la producción se le puede atribuir a que las condiciones agroecológicas son menos limitantes (precipitación pluvial ligeramente mayor y con una distribución más homogénea a través del año) que en las que se realizó este experimento.

6.2. Capacidad de carga

La capacidad de carga animal es directamente proporcional a la biomasa disponible en cada uno de los potreros y varía en cada una de las épocas del año. Por lo tanto, la densidad de plantas de *Leucaena* influyó en la capacidad de carga animal instantánea ($p < 0.0001$) de los sistemas silvopastoriles, la carga animal instantánea fue 177 ± 97 UGM ha⁻¹ en D25 y 145 ± 83 UGM ha⁻¹ en D15, siendo mayor en 32 UGM en D25. Con lo que se obtuvo capacidades de carga de 2.39 y 2.91 UGM ha⁻¹ año⁻¹, en D15 y D25, respectivamente.

El momento en que se inició el pastoreo (en intervalos de 21 d) también influyó en la capacidad de carga animal instantánea ($p < 0.0001$), encontrándose en ambas densidades una mayor capacidad en los potreros donde se pastorearon primero (Cuadro 4). En D15 la capacidad fue superior en 40 UGM ha⁻¹ y para D25 en 29 UGM ha⁻¹.

Cuadro 4. Carga animal instantánea por tratamiento y momento de pastoreo, en un sistema silvopastoril con distintas densidades de *Leucaena leucocephala*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.

Tratamiento	Momento	Carga animal instantánea (UGM ha ⁻¹)*
D15	1	162 ± 88 a
D15	2	122 ± 75 b
D25	1	192 ± 90 a
D25	2	163 ± 103 b

a,b Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).

* Medias ± Desviación Estándar.

Acorde con la biomasa disponible a través del tiempo, la capacidad de carga instantánea fue variable durante el año en que se realizó el experimento, debido al efecto del tiempo ($p < 0.0001$). Durante las lluvias la capacidad de carga animal instantánea fue mayor independientemente de la densidad, mientras que durante la época de transición y seca disminuyó (Cuadro 5).

Cuadro 5. Carga animal instantánea determinada con cada muestreo de biomasa disponible en un sistema silvopastoril con dos densidades de *Leucaena leucocephala*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.

Tiempo	Época	Carga animal instantánea (UGM ha ⁻¹)*
1	Lluvias (Julio 2017)	145 ± 68 d
2	Lluvias (Agosto 2017)	182 ± 52 c
3	Lluvias (Sep-Oct 2017)	220 ± 67 b
4	Transición (Enero 2018)	118 ± 42 d
5	Seca (Mayo 2018)	34 ± 12 e
6	Lluvias (Julio 2018)	269 ± 57 a

a,b,c,d Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$).

* Medias ± Desviación Estándar.

La capacidad de carga animal instantánea fue superior en el tratamiento de mayor densidad de árboles (D25) y las capacidades de carga que soportaron ambos tratamientos fueron relativamente altas (2.4 y 2.9 UGM ha⁻¹ año⁻¹, en D15 y D25 respectivamente) comparadas al coeficiente de agostadero para el estado de Veracruz calculado en 1.8 UGM ha⁻¹ año⁻¹ (SAGARPA, 2009). Los resultados obtenidos superan a los obtenidos por Veneciano *et al.*, (2005), quienes reportaron capacidades de carga animal con un rango de 0.8 a 1.2 UGM ha⁻¹ año⁻¹. Pero son similares a los reportados por Gaviria *et al.* (2012), quienes midieron una capacidad de carga animal de 2.9 a 3.5 UGM ha⁻¹ año⁻¹. En contraste, otros autores han reportado una mayor capacidad de carga animal de 3.5 hasta 6.9 UGM ha⁻¹ año⁻¹ (Mahecha *et al.*, 2000; Maya *et al.*, 2005; Gaviria *et al.*, 2015).

6.3. Composición botánica

En general, la composición botánica del forraje disponible fue similar en ambas densidades de árboles establecidas. En D15 el 53 % del forraje fue de gramínea y 47 % de árbol, mientras que en D25 el 54 % fue de gramínea y 46 % de árbol. En las épocas de lluvias y transición fue mayor el porcentaje de biomasa forrajera de gramínea que osciló de 59 a 70 %, mientras que en la época seca el total de biomasa forrajera disponible fue de los árboles (Figura 3).

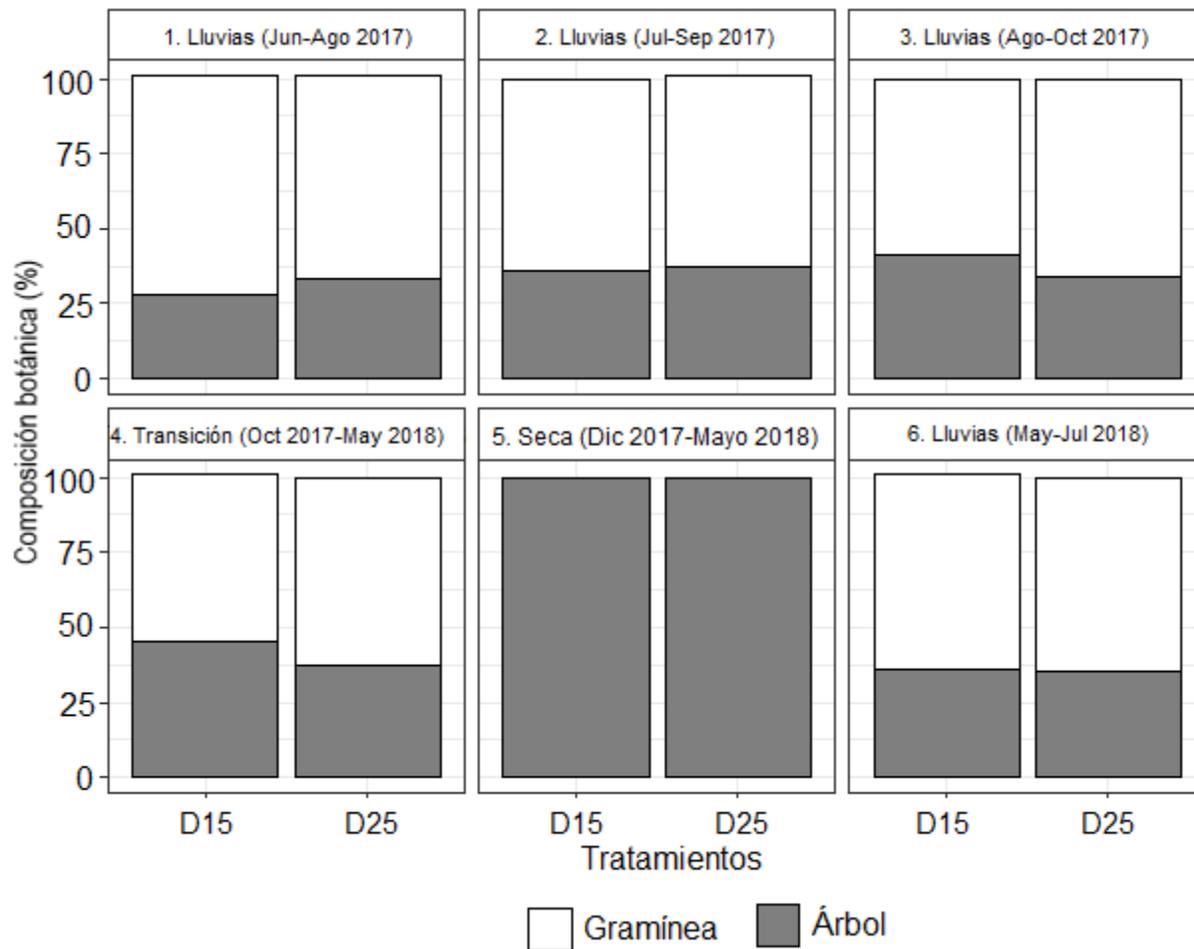


Figura 3. Composición botánica de la biomasa forrajera disponible en un sistema silvopastoril con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, en la zona centro de Veracruz.

Aun con las diferencias en la composición botánica a través del tiempo en general, las densidades propician casi la misma composición en épocas de lluvia y transición que es cuando hay una mayor disponibilidad de humedad por la precipitación pluvial, la composición botánica del forraje es mayor en gramíneas que en árbol, en contraste, en la época seca debido a la baja o nula precipitación pluvial disminuye considerablemente la disponibilidad de agua, afectando la producción de biomasa, teniendo mayor efecto en la gramíneas y es en esta época en la que la composición botánica de forraje es mayor

en los árboles (Oliveira-Prendes *et al.*, 2014; Roca *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos en esta investigación son buenos, ya que existió forraje disponible en la época de estiaje, que es cuando la producción disminuye considerablemente en monocultivos de gramíneas (Sosa *et al.*, 2008; Valles *et al.*, 2016), y son similares a los reportados por otros autores, que observaron que en los sistemas silvopastoriles Leguminosas-Gramíneas en época de seca el porcentaje de biomasa forrajera de los árboles es mayor al de gramíneas (70 – 100 %) (Valles *et al.*, 2010; Roca *et al.*, 2014), atribuido a la capacidad de las leguminosas para acceder a nutrientes y humedad del suelo a una mayor profundidad que la gramínea.

La composición botánica en monocultivos con gramíneas mejoradas es de 80 % de la gramínea establecida (Mila y Corredor, 2004; Sánchez *et al.*, 2007).

6.4. Tiempo de recuperación después del pastoreo

El tiempo de recuperación de los potreros varió a través del año, fue menor en la época de lluvias (39.13 y 39.5 d en D15 y D25, respectivamente) sin efecto de la densidad ($p > 0.05$). En la época de transición el tiempo requerido por las plantas de los potreros para recuperarse después del pastoreo incrementó a 85.25 d en D15 y 66.75 d en D25, y para la época seca se extendió hasta 126.75 d en D15 y 148.5 d en D25 (Figura 4).

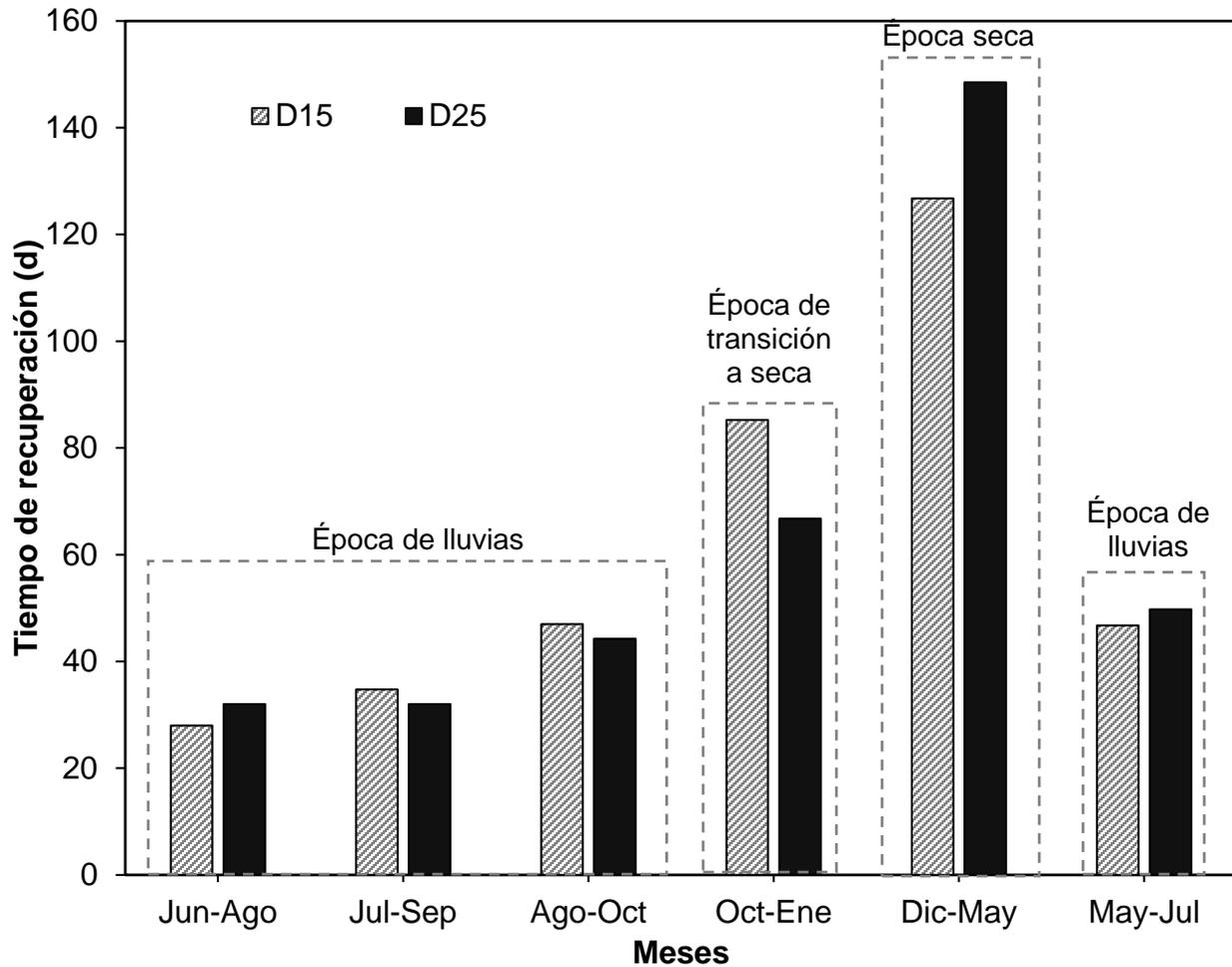


Figura 4. Tiempo de recuperación del forraje disponible en un sistema silvopastoril con distintas densidades de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, de junio 2017 a julio 2018, en la zona centro de Veracruz.

Los resultados de esta investigación coinciden con los reportados con otros autores, tanto para gramíneas en monocultivos y SSP, con registro de tiempo de reposo en época de lluvias de 20 a 40 d (Veneciano, 2006; López-Vigoa *et al.*, 2017) y en época con poca precipitación de 70 a 160 días (Machado *et al.*, 2000; Santiago *et al.*, 2016; Verdecia *et al.*, 2019). La variación en los tiempos de recuperación de los componentes forrajeros (árbol-gramíneas), se atribuye a la precipitación pluvial, temperatura y horas luz, por lo

tanto, a mayor precipitación pluvial, temperatura y horas luz, más rápida será la recuperación de las plantas después del pastoreo, en contraste la disminución de dichas condiciones, disminuye el proceso de recuperación en las plantas (Cruz-Hernández *et al.*, 2017; Garay-Martínez *et al.*, 2018).

6.5. Curvas de acumulación de biomasa

El crecimiento de los componentes del sistema silvopastoril (gramínea y árbol) fue diferente en cada una de las épocas del año. En la época de lluvias el crecimiento de ambos componentes fue más rápido, y la gramínea alcanzó su punto óptimo de reposo a los 28 d después del pastoreo, con un incremento de 138.14 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ (Figura 5), mientras que, por su forma biológica, los árboles no alcanzaron su punto óptimo dentro de los 28 días.

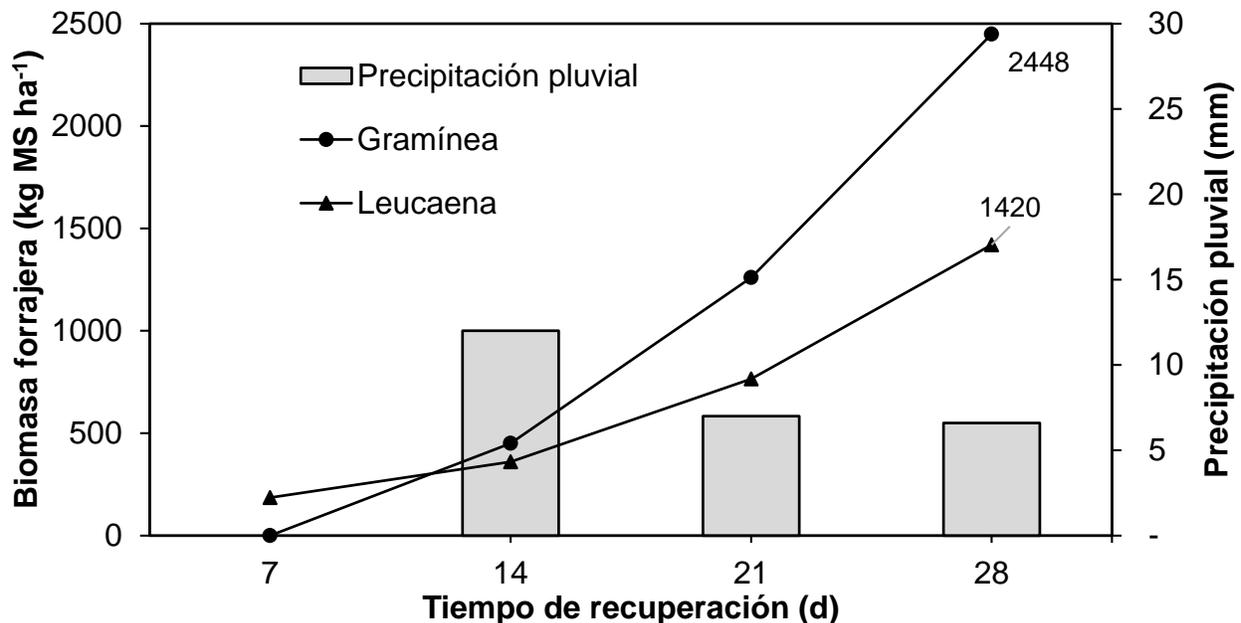


Figura 5. Incremento de biomasa forrajera (gramínea y árbol) en época de lluvias, en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociado a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz.

En la época de transición a seca, tanto los árboles como las gramíneas crecieron más lento que en lluvias (Figura 6), alcanzando su punto óptimo de reposo a los 70 d después del pastoreo, con una tasa de crecimiento de 48.11 kg MS ha⁻¹ d⁻¹.

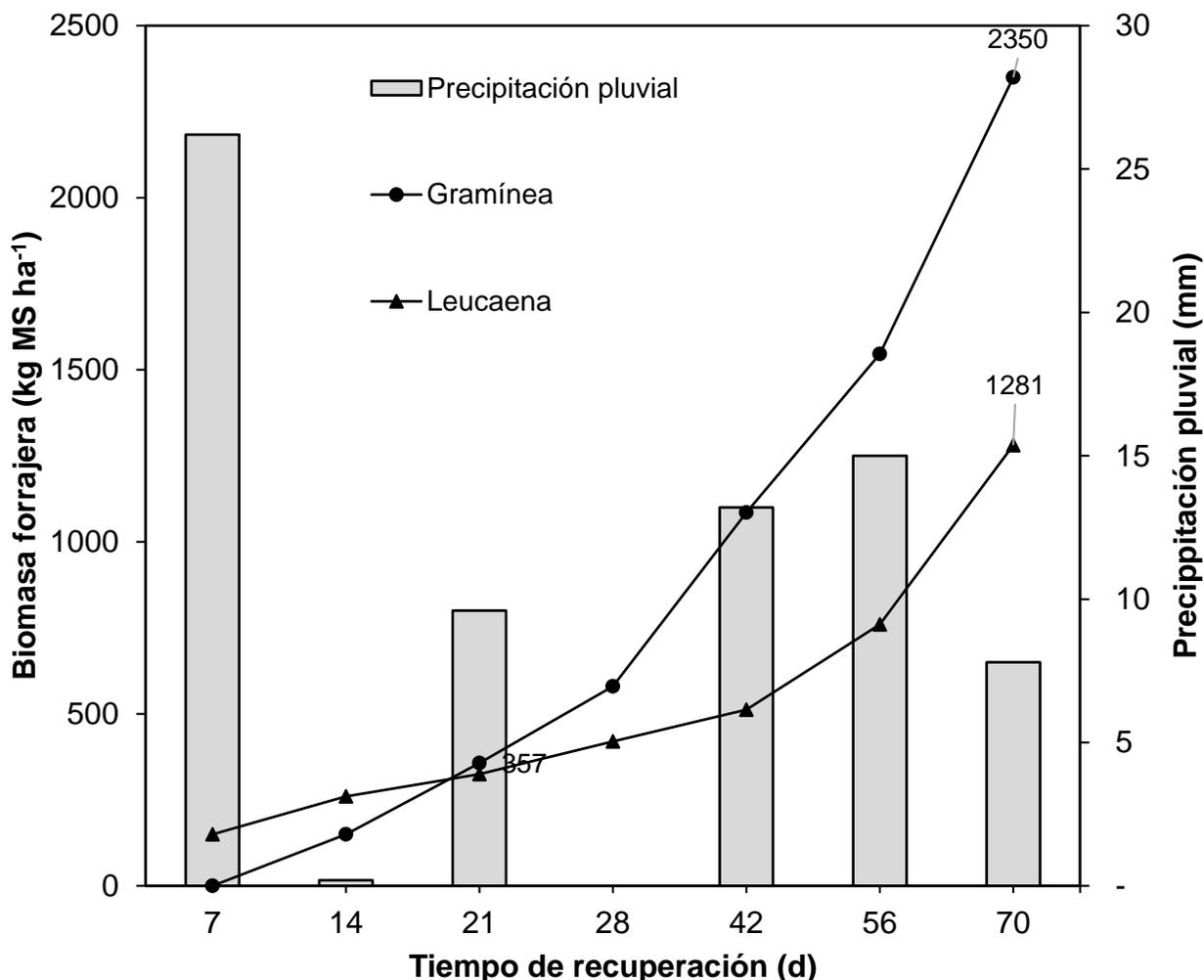


Figura 6. Incremento de biomasa forrajera (gramínea y árbol) en época de transición a seca, en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociado a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz.

En la época de secas el crecimiento de ambos componentes fue más lento que en transición a secas y lluvias (Figura 7), alcanzando su punto óptimo de reposo a los 112 d después del pastoreo, con una tasa de crecimiento de 16.10 kg MS ha⁻¹ d⁻¹.

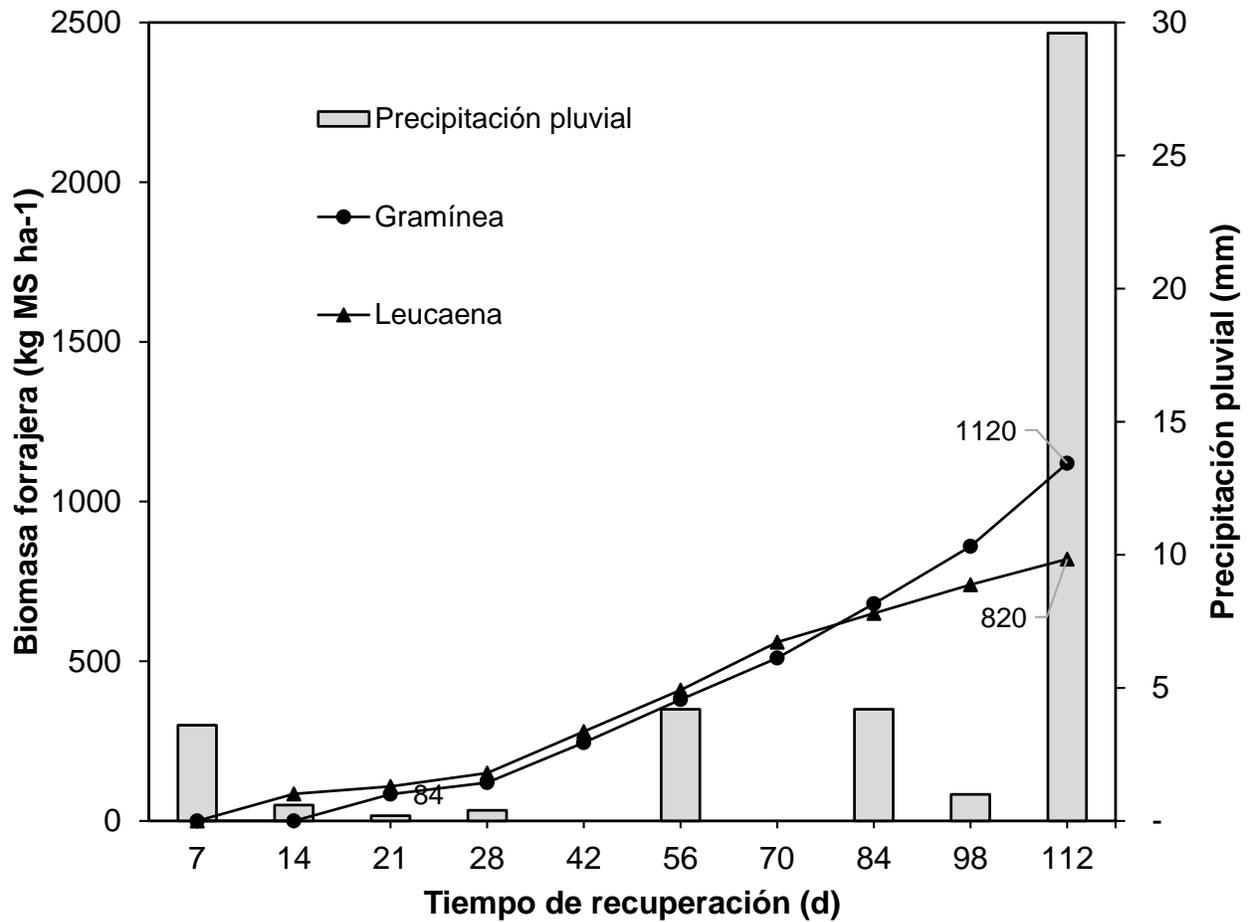


Figura 7. Incremento de biomasa forrajera (gramínea y árbol) en época de secas, en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociado a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo en la zona centro de Veracruz.

6.6. Composición química del forraje

El contenido de PC del forraje (árbol y gramínea) en las tres épocas del año tuvo variaciones mínimas, en *Leucaena* osciló de 23.4 a 24.7 % y fue superior al de *D. eriantha* que osciló de 8.6 a 11.8 %; el contenido de fibra detergente neutro de *L. leucocephala* osciló de 32.9 a 41.6 % y fue menor al de *D. eriantha* que osciló de 60.9 a 64.5 %; el contenido de fibra detergente ácido de *L. leucocephala* osciló de 13.1 a 18.1 % y fue

menor al de *D. eriantha* que osciló de 31.7 a 33.8 %; y el contenido de lignina en *L. leucocephala* osciló de 5.5 a 7.6 % y fue mayor al de *D. eriantha* que osciló de 4.7 a 5.4 %.

Cuadro 6. Contenido nutricional del forraje en un sistema silvopastoril intensivo de *Leucaena leucocephala* asociada a *Digitaria eriantha*, sujeto a pastoreo regenerativo, en la zona centro de Veracruz.

	Época*	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lig (%)	CC (%)	Hem (%)	Cel (%)
Leucaena	Lluvias	23.5	41.6	17.9	7.6	58.4	23.7	10.3
Pangola	Lluvias	11.8	64.5	32.4	4.7	35.5	32.1	27.7
Leucaena	Transición	24.7	32.9	13.1	5.5	67.1	19.8	7.6
Pangola	Transición	8.6	63.4	33.8	4.8	36.6	29.6	29
Leucaena	Seca	23.4	33.5	18.1	7.3	66.5	15.4	10.8
Pangola	Seca	10.0	60.9	31.7	5.4	39.1	29.2	26.3

*Lluvias=julio 2018; Transición=octubre-diciembre 2017; Seca=febrero-mayo 2018. PC=proteína cruda, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácido, Lig=Lignina, CC=contenido celular, Hem=hemicelulosa y Cel=Celulosa.

El alto contenido de PC en *Leucaena* y sus variaciones mínimas en las diferentes épocas (lluvias, transición y seca) y con diferentes edades de rebrote puede atribuirse a que la *Leucaena* es una leguminosa con la capacidad de obtener este recurso debido a la asociación con rizobium y además, su ciclo de crecimiento es anual o estacional (pueden crecer, florecer y fructificar más de una vez al año, pero sin llegar a ser como los pastos), lo que les da la característica de que sus ciclos fenológicos son más lentos (crecen más lento), por lo tanto, sus hojas envejecen más lento, aunque los periodos de descanso de los potreros seas más largos (30-120 d) la calidad nutritiva varía muy poco, en contraste los pastos tienen un crecimiento y envejecimiento más rápido, que afecta negativamente

su calidad nutritiva (Cruz-Hernández *et al.*, 2017), mientras que, la variación del contenido de PC en la gramínea se atribuye a que, a mayor tiempo de cosecha del forraje se incrementa el porcentaje de tallos y el contenido de pared celular, y disminuye el contenido de PC en los pastos (Ortega-Gómez *et al.*, 2011).

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a lo que otros autores han reportado. Por ejemplo, en SSP rangos de 22.8 a 26.7 % de PC en *Leucaena* (Gaviria *et al.*, 2012; Casanova-Lugo *et al.*, 2014), mientras que en *D. eriantha* en monocultivo el contenido de PC tiene un rango muy amplio que va de 5 a 12 %, ya que depende de la edad del pasto al momento de pastoreo y las condiciones agroecológicas en donde se establece el cultivo (Tikam *et al.*, 2013), de 29.4 a 45.13 % de FDN en *Leucaena* (Burgarín *et al.*, 2009; Gaviria *et al.*, 2012), de 59 a 79 % de FDN en *D. eriantha* (Veneciano *et al.*, 2006; Tikam *et al.*, 2013). El contenido de FDN y FDA de la biomasa forrajera depende de la edad de las plantas, el crecimiento y maduración de los tejidos, ya que tienen como resultado la lignificación de los tejidos. En nuestro estudio, los árboles tuvieron menos fracciones de fibra porque el proceso de lignificación en las plantas leñosas es más lento que en gramíneas (Barahona y Sánchez, 2005), y en esta investigación se respetó el tiempo de descanso de las plantas, para evitar que el forraje madurara más allá de los tiempos óptimos. El tiempo óptimo es aquel en el que las plantas tienen una composición más equilibrada entre cantidad y calidad (mejor contenido de fibra y nitrógeno en forma de aminoácidos) del forraje, que además coincide con un buen desarrollo del sistema radial con suficientes reservas de carbohidratos no estructurales, que permitirán el rebrote de las plantas después de ser consumidas (Lenzi, 2012).

7. CONCLUSIONES

Los sistemas silvopastoriles con 25000 árboles de *L. leucocephala* sujetos al pastoreo regenerativo producen más biomasa forrajera que con 15000 árboles ha⁻¹. El momento en que las plantas se someten al pastoreo-ramoneo en periodo de días, puede impactar en la cantidad de forraje que un potrero puede producir, es decir, cuando las condiciones de humedad y radicación solar con favorables, la recuperación y por tanto la producción de biomasa se incrementa. La mayor cantidad de biomasa forrajera se produce en la época de mayor precipitación y disminuye conforme disminuye la cantidad de precipitación, pero se mantiene a través del año, aun en condiciones de precipitación estacional, porque los árboles y gramíneas crecen alternadamente en las distintas épocas. En el periodo de lluvias la mayor proporción de forraje la constituye la gramínea, y en seca, la biomasa de los árboles constituye el 100 % del forraje.

El momento en que el sistema silvopastoril (independiente de las densidades de árboles evaluadas) se encuentra en su punto óptimo de reposo y está listo para ser utilizado, la composición química de *Leucaena* es mejor que la de la gramínea, porque en ese momento, los árboles aún se encuentran en estado vegetativo y su composición química indica mejor calidad nutritiva. *Leucaena* también mantiene su calidad nutritiva en las tres épocas del año que se distinguen en la zona donde se realizó esta investigación, más que la gramínea. Con estas características, los árboles de esta especie contribuyen a mejorar la calidad químico-nutricional del total de forraje disponible. *Digitaria eriantha* y *Leucaena leucocephala* tiene un mayor contenido de proteína y de mayor digestibilidad que los monocultivos de gramíneas.

La implementación del pastoreo racional Voisin en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala* permite el reposo adecuado de los pastos y árboles, así como la estabilidad de la producción de biomasa forrajera, sin el uso de riego ni fertilizantes químicos. El tiempo que requieren los pastos y los árboles para recuperarse después del pastoreo y alcanzar su punto óptimo de reposo difiere, cuando existe mayor precipitación y radiación solar son los pastos que alcanzan más rápido este punto por lo que el tiempo de recuperación es más corto, pero en época seca los árboles son los que tienen la capacidad de sobreponerse al pastoreo y producen forraje con un periodo de recuperación más largo.

8. LITERATURA CITADA

- Aguirre O., J. 2013. Características nutricionales de algunas leñosas forrajeras. *Abanico veterinario* 3 (3): 42-51.
- ANKOM. 2010. ANKOM Technology Instrument Manuals. Disponible en: https://ankom.com/sites/default/files/document-files/A2000_Manual.pdf [Consultado en agosto 2018].
- Anwandter, V., O. Balocchi, J. Parga, C. Canseco, N. Teuber, A. Abarzúa, J. Lopetegui, y R. Demanet. 2016. Métodos y control de pastoreo. En: *Manejo del Pastoreo. Proyecto FIA*. pp: 91-101.
- AOAC. 1980. Official Methods 4.2.11 protein (crude) in animal feeds, forage (plant tissue), grain and oilseeds. En: C Vanderzant and DF Splittstoesser (eds) *Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists international*, 13th ed. Washington D.C., USA. AOAC International. Disponible en: <http://eoma.aoac.org> [Consultado en febrero 2018].
- Barahona R., R., y S. Sánchez P. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista CORPOICA*. Villavicencio, Meta, Colombia. 6 (1): 69-82.
- Benavides J., E. 1998. Árboles y arbustos forrajeros: Una alternativa agroforestal para la ganadería. En: *Memorias de una conferencia electrónica: Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. FAO-CIPAV. Cali, Colombia. pp: 1-26.
- Benítez, D., A. Ramírez, M. Díaz, J. Ray, J. Guerra, y A. Vegas. 2007. Comportamiento de machos vacunos en un sistema racional de pastoreo en el Valle del Caucho. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 41(3): 227-230.

- Bernier V., R. 1985. Fertilización de praderas. III Tipos de Praderas de la Décima Región. Estación Experimental Remehue. Boletín Técnico 90: 13 p.
- Bogdan A., V. 1977. Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes). Longman, London and New York. 475 p.
- Bonham C., D. 1989. Measurements for Terrestrial Vegetation. Ed. Wiley & Sons, Inc., USA. 338 p.
- Budowski, G. 1993. Agroforestería: una disciplina basada en el conocimiento tradicional. Revista Forestal Centroamericana 2(3): 14-18.
- Burgarín J., C. Lemus, L. Sanguines, 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. II. Producción y composición bromatológica de la biomasa. Pastos y Forrajes 32(4): 1-6.
- Bustamante, J., y F. Romero. 1991. Producción ganadera en un contexto agroforestal: Sistemas agropastoriles. Carta de Rispa 20: 3-11.
- Camacho M., E., S. López O., C. Olguín P., A. Suarez I., J. I. Valdez H., y E. Pineda H. 2017. Fenología y arquitectura arbórea de *Calyptrocalyx schideana* O. Berg, *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth y *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson en agroecosistema de Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 8 (40): 19-35.
- Canseco, C., R. Demanet, O. Balocchi, J. Parga, V. Anwandter, A. Abarzúa, N. Teuber, y J. Lopetegui. 2016. Determinación de la disponibilidad de materia seca de praderas en pastoreo. En: Manejo del pastoreo. Teuber, N., J. Parga, O. Balocchi, V. Anwandter, C. Canseco, A. Abarzúa, R. Demanent, y J. Lopetegui (Eds.). Santiago, Chile. Fundación para la Innovación Agraria. pp: 23-49.

- Cárdenas C., A., C. Rocha, y J. Mora D. 2011. Productividad y preferencia de forraje de vacas lecheras pastoreando un sistema silvopastoril intensivo de la zona alta Andina de Roncesvalles, Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4(1): 29-35.
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, F. J. Solorio-Sánchez, D. Parsons, and L. Ramírez-Avilés. 2014. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, México. *Agroforest. Syst.* 88: 29-39.
- Casanova-Pérez, L., J. 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(3): 210-216.
- Castillo, E., R. Puentes, y E. Lucas. 1989. Producción de carne bovina en área marginal con guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) y comportamiento animal. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 23: 137-142.
- Castillo, E., G. Ruiz, R. Ramírez, R. Puentes, G. Bernal, y L. Díaz. 1992. Beef production based in *Panicum maximum* Jacq. two proportions of *Leucaena leucocephala* and different stocking rates. *Cuban Journal of Agricultural Science* 26: 259-265.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1991. Guácimo, *Guazuma ulmifolia* Lam. especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Serie Técnica, Informe Técnico No. 165. Turrialba, Costa Rica. 69 p.
- Chiappy-Jhones, C. J., L. Gama, M. Soto-Esparza, D. Geissert, y J. Chávez. 2002. Regionalización paisajística del Estado de Veracruz, México. *Universidad y Ciencia* 18(36): 87-113.

- Climate-data. 2019. Clima: Veracruz de Ignacio de la Llave. Disponible en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/veracruz-de-ignacio-de-la-llave-32/> [Consultado en marzo 2019].
- Combe, J., y G. Budowski. 1979. Clasificación de las técnicas agroforestales. Una revisión de literatura. Taller de sistemas agroforestales en América Latina. CATIE-UNU. Turrialba, Costa Rica. pp: 17-48.
- Conway M., J. 2005. Butterfly pea in Queensland: a tropical forage legume success story. *In: XX International Grassland Congress. 26 June-1 July. Dublin, Ireland.* pp: 149-166.
- Crespo R., J., y J. Castaño A. 2003. Determinación de materia seca con el horno de microondas en especies forrajeras puras. *Revista Argentina de Producción Animal* 23(1): 131-132.
- Cruz-Hernández, A., A. Hernández-Garay, H. Vaquera-Huerta, A. Chay-Canul, J. Enríquez-Quiroz, y S. Ramírez-Vera. 2017. Componentes morfogenéticos y acumulación del pasto mulato a diferente frecuencia e intensidad de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8(1): 101-109.
- Cruz P., J. Sierra, J. Wilson R., M. Dulomne, and R. Tournebize. 1999. Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. *Annals of Arid Zone* 38(3&4): 335-361.
- Dakoh M., B. K. 2003. Agriculture and biodiversity conservation in Africa through indigenous knowledge. En: *Conserving Biodiversity in Arid Regions.* Lemons, J., R. Victor., & D. Schaffer (Eds.). Springer, New York, USA. pp: 73-86.
- Delgado, D., B. Congo, J. Galindo, Y. Obregón, y A. Aldana. 2001. Cinética de la degradación ruminal *in situ* de cuatro arboles forrajeros tropicales: *Leucaena*

- leucocephala*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Sapindus saponaria*, *Gliricidia sepium*.
Revista Cubana de Ciencia Agrícola 35: 141-145.
- Denton, E., B. Smith, E. Hamerlynck, and R. Sheley. 2018. Seedling defoliation and drought stress: variation in intensity and frequency affect performance and survival. *Rangeland Ecology & Management* 71 (1): 25-34.
- Dhyani S., K., P. Narain, and R. Singh K. 1990. Studies on root distribution of five multipurpose tree species in Doon Valley, India. *Agroforest Syst* 12: 149-161.
- Díaz-Sánchez, C. C., J. L. Jaramillo-Villanueva, A. Bustamante-González, S. Vargas-López, A. Delgado-Alvarado, O. Hernández-Mendo, y M. A. Casiano-Ventura. 2018. Evaluación de la rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de ovinos en la región de Libres, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9 (2): 263-277.
- Dong S., K., Y. Kang, Z. Hu Z., R. Long, y X. Pu P. 2004. Performance of cultivated perennial grass mixtures under different grazing intensities in the alpine region of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Grass and Forage Science* 59: 298-306.
- Durán E., A. Ruiz, y V. Sánchez. 2018. Competitividad de la ganadería de doble propósito en la costa de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 43: 77-88.
- Enríquez Q., J. F., N. Meléndez F., y D. Bolaños E. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. INIFAP. Campo experimental Papaloapan. Veracruz, México. 262 p.
- FAO. 2009. LA FAO EN MÉXICO, más de 60 años de cooperación 1945-2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-be792s.pdf>. [Consultado en febrero 2017].

- Farell J., G., y M. A. Altieri. 1999. Sistemas agroforestales. En: Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Altieri M. A (Ed.). Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo, Uruguay. pp: 229-243.
- Febles, G., y T. Ruiz E. 2008. Evaluación de especies arbóreas. Taller sobre Investigación en Sistemas Agrosilvopastoriles o Agroforestería Pecuaria. En: IV Reunión de Sistemas Agro y Silvopastoriles. Universidad de Colima. 12-16 de mayo. Colima, México. pp: 11-33.
- Fortes, D., B. Chongo, e I. Scull. 2003. Una nota acerca de la composición química de seis ecotipos de *Leucaena leucocephala*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 37: 16-209.
- Garay-Martínez, J. R., S. Joaquín-Cancino, B. Estrada-Drouaillet, J. C. Martínez-González, B. M. Joaquín-Torres, A. G. Limas-Martínez, y J. Hernández-Meléndez. 2018. Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 5(15): 573-581.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D.F. 246 p.
- García, D., H. Wencomo, M. González, M. Medina, y L. Cova. 2008. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala* basada en la composición química y degradabilidad ruminal. Médicos Veterinarios de Córdoba 13:1294-1303.
- Gastó J., F. Cosio, y Panario D. 1993. Clasificación de ecorregiones y determinación de sitio y condición. Red de Pastizales Andinos, Santiago, Chile. 254 p.
- Gaviria, X., J. Rivera, y R. Barahona. 2015. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteínas en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. Pastos y forrajes 38(2): 194-201.

- Gaviria, X., C. Sossa, C. Montoya, J. Chará, J. Lopera, C. Córdoba, y R. Barahona. 2012. Producción de carne en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/262936613> [Consultado en febrero 2019].
- Giraldo, A. 1996. Potencial del guácimo como componente forrajero. Potencial de los frutos de plantas nativas en la alimentación de rumiantes. *En: Silvopastoreo: Alternativa para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana. Compilación de las memorias de dos seminarios internacionales sobre sistemas silvopastoriles. CORPOICA. pp: 187-205.*
- Gómez-Pompa, A. 1978. Ecología de la vegetación del estado de Veracruz. Ed. Continental S.A. México, D.F. 91 p.
- González J., M., y J. Alcaraz V. 2013. Cultivo y costos de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi) a base de gramíneas y *Leucaena leucocephala*. INCEPTUM. México. 3(15): 277-292.
- Hanson A., A., D. K. Barnes R., and R. Hill R. 1988. Alfalfa and alfalfa improvement. American Society of Agronomy Inc. Madison, USA. 29 p.
- Hart R., D. 1985. Conceptos básicos sobre Agroecosistemas: CATIE. Serie materiales de enseñanza No. 1. Programa de cultivos anuales. Turrialba, Costa Rica. 159 p.
- Haynes R., J. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy Journal* 33: 227-261.
- Hernández, C., A. Alfonso, y P. Duquesne. 1986. Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas y herbáceas. *Pastos y Forrajes* 6: 9-79.

- Hernández, T., B. Valles, y E. Castillo. 1990. Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales* 12(3): 29-33.
- Holecheck J., L. 1984. Comparative contribution of grasses, forbs, and ahrubs to the nutrition of range ungulates. *Rangelands* 6(6): 261-263.
- Holmgren, D. 2013. *Permacultura: principios y senderos más allá de la sustentabilidad*. Ed. KAICRON. Argentina. 488 p.
- Ibrahim, M., J. Rojas, y C. Villanueva. 2006. Tecnologías forrajeras para la intensificación de la ganadería y la conservación de los recursos naturales en el trópico. *Producción y Manejo de los Recursos Forrajeros Tropicales* 6: 113-156.
- INEGI. 2014. Anuario Estadístico por entidad federativa. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/anuario_14/702825065706.pdf [consultado en marzo 2017].
- Jiménez, F., y R. Muschler. 2001. Introducción a la agroforestería. En: *Funciones y aplicación de sistemas agroforestales*. Jiménez, F., R. Muschler y E. Köpsell (eds.). Turrialba, Costa Rica. pp: 1-24.
- Johansen B., O. 1993. *Introducción a la teoría general de sistemas*. 8a. ed. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega, México. 167 p.
- Juárez R., A. S., M. A. Cerillo S., E. Gutiérrez O., E. M. Romero T., J. Colín N., y H. Bernal B. 2009. Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas *in vitro*. *Técnica Pecuaria en México* 47: 55-67.
- Labarthe, F., y H. Pelta. 2010. Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas. Centro Regional de Buenos Aires Sur. 10 p.

- Lenzi, A. 2003. Desempenho animal e produção de forragem em dois sistemas de uso da pastagem: pastejo contínuo e pastoreio racional voisin. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. pp: 77-86.
- Lenzi, A. 2012. Fundamentos do pastoreio racional Voisin. Revista Brasileira de Agroecología 7(1): 82-94.
- López O., S. 2018. ¿Qué es la ganadería sustentable? En: Ganadería Sustentable en el Golfo de México. Halffter G., M. Cruz y C. Huerta (comps.). Instituto de Ecología A. C., México. pp: 65-74.
- 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(2): 83-95.
- Lorenzon, J. 2004. Impactos sociais, econômicos e produtivos das tecnologias de produção de leite preconizadas para o Oeste de Santa Catarina: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Brasil. pp: 45-86.
- Lozano R., A. J., J. Ibarra, I. De la Rosa, S. Díaz, V. Zamora, y R. Colín. 2006. Rendimiento calidad de forraje en monocultivos y mezclas de triticale y trébol alejandrino en la Región Lagunera. En: Memoria, XLII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. 6-11 de noviembre. Veracruz, Mexico. 182 p.
- Ludlow M., M. 1980. Stress physiology of tropical pasture plants. Tropical Grassland 14(3): 136-145.
- Machado, R., M. Milera, y L. Corbea. 2000. Floristic dynamics of an *Andropogon gayanus* pasture under intensive rational grazing. Pastos y Forrajes 23(3): 181-197.

- Mahecha L., L. 2003. Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16(1): 11-18.
- Mahecha, L., C. Durán, M. Rosales, C. Molina, y E. Molina. 2000. Consumo de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) en un sistema silvopastoril. *Pasturas Tropicales* 22(1): 26-30.
- Manríquez-Mendoza, L. Y., S. López-Ortiz, P. Pérez-Hernández, E. Ortega-Jiménez, Z. G. López-Tecpoyotl, and M. Villarruel-Fuentes. 2011a. Agronomic and forage characteristics of *Guazuma ulmifolia* Lam. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 453-463.
- Manríquez-Mendoza, L. Y., S. López-Ortiz, C. Olguín-Palacios, P. Pérez-Hernández, P. Díaz-Rivera, and Z. G. López-Tecpoyotl. 2011b. Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 573-584.
- Marie-Lise B., A. Morvan-Bertrand, C. Mony, J. Huet, C. Sulmon, D. Marie-Laure, P. Marie-Pascale, and A. Bonis. 2018. Grazing intensity modulates carbohydrate storage pattern in five grass species from temperate grasslands. *Acta Oecologica* 95: 108-115.
- Maya M., G. E., C. V. Durán C., y J. Enrique A. 2005. Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja-tallo del pasto Estrella solo y asociado con leucaena. *Acta Agronómica* 54(2): 1-6.
- McElwee H., F., and R. Knowles L. 2000. Estimating canopy closure and understorey pasture production in New Zealand grown popular plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science* 30(3): 422-435.

- Meléndez N., F. 2012. Principales Forrajes para el Trópico. Universidad Popular de la Chontalpa. Cárdenas, Tabasco. 516 p.
- Mila P., A., y G. Corredor S. 2004. Evaluación de la composición botánica de una pradera kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. CORPOICA 5(1): 70-75.
- Milera, M., y J. Martínez. 1997. Efecto del manejo intensivo racional sobre el comportamiento de gramíneas tropicales. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Cuba. 10 p.
- Montagnini F., L. Preveti, L. Thrupp, J Beer, R. Borel, G. Budowski, L. Espinoza, J. Hueveldop, C. Reice, R. Russo, R. Salazar, M. Alfaro, Y. Rojas, F. Berstch, E. Fernández, M. González, R. Alvin, M. Shahedazzaman, y D. Nichols. 1992. Sistemas agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. Organización para Estudios Tropicales (OET). San José, Costa Rica. p 622.
- Murgueitio, E., R. Barahona, R. Martinis, M. Flores, J. Chará, and F. Solorio. 2014. Intensive silvopastoral systems: improving sustainability and efficiency in cattle ranching landscapes. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/265686391> [Consultado en noviembre 2018].
- Murgueitio, E., M. Flores, Z. Calle, J. Chará, R. Barahona, C. Molina, y F. Uribe. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. En: Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Montagnini F., E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, y B. Eibl (Eds.). CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp: 59-101.
- Murgueitio R., E., R. Barahona, M. Flores, J. Chará, y J. Rivera. 2016. Es posible enfrentar el cambio climático y producir más leche y carne con sistemas silvopastoriles. Ceiba 54(1): 23-30.

- Nahed T., J. 2002. Animales domésticos y agroecosistemas campesinos. LEISA Revista Agroecología 18: 10-11.
- Nair P., K. 1997. Agroforestería. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 543 p.
- NAL Glossary. 2015. United States Department of Agriculture (USDA), National Agricultural Library. Disponible en: https://definedterm.com/botanical_composition [Consultado en febrero 2019].
- Nasca J., A., M. Toranzos, y N. Banegas R. 2006. Evaluación de la sostenibilidad de dos modelos ganaderos de la llanura deprimida salina de Tucumán, Argentina. Zootecnia Tropical 24(2): 121-136.
- Olivares-Pérez J., R. Jiménez-Guillen, S. Rojas-Hernández, and P. A. Martínez-Hernández. 2005. Uso de las leguminosas arbustivas en los sistemas de producción animal en el trópico. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria 5: 1-19.
- Oliveira-Prendes J. A., E. Afif-Khoury, y P. Palencia-García. 2014. Producción, composición botánica y fertilidad del suelo en prados de riego del suroccidente de Asturias. En: 53ª Reunión Científica de la SEEP. 9-12 de junio. pp: 247-254.
- Ortega-Gómez R., E. Castillo-Gallegos, J. Jarillo-Rodríguez, R. Escobar-Hernández, E. Ocaña-Zavaleta, y B. Valles. 2011. Nutritive quality of ten grasses during the rainy season in a hot-humid climate and ultisol soil. Tropical and Subtropical Agroecosystems 13(3): 481-491.
- Ortega-Vargas E., J. A. Burgueño-Ferreira, C. Ávila-Reséndiz, W. Bruce-Campbell, J. Jarillo-Rodríguez, and S. López-Ortiz. 2017. Morphological and physiological response of *Guazuma ulmifolia* Lam. to different pruning dates. Agroforestry Systems 93(2): 461-470.

- Osman A., E., and A. Abu Diek A. 1982. Effects of defoliation on yield and forage quality of some tropical grasses, legumes and their mixtures. *Experimental Agriculture* 18 (2): 157-166.
- Ospina A., A. 2001. Clasificación y caracterización de tecnologías agroforestales. En: Memoria del taller regional de intercambio de experiencias: "Tecnologías Locales en Agroforestería". Realizado del 4 al 7 de junio. Bogotá, Colombia. pp: 21-40.
- Ospina A., A. 2008. Aproximación a la definición de agroforestería y el concepto de agroforestería ecológica. Disponible en: https://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/sistemas_agroforestales/definicion.pdf [consultado en abril 2019].
- Pachas A., N. A., E. Jacobo J., M. Goldfarb C., and S. Lacorte M. 2014. Response of *Axonopus catarinensis* and *Arachis pintoi* to chade conditions. *Trop. Grassl.* 2: 111-112.
- Pachas A., N. A., H. Shelton M., C. Lambrides J., S. Dalzell A., and G. Murtagh J. 2018. Effect of tree density on competition between *Leucaena leucocephala* and *Chloris gayana* using a Nelder Wheel trial. I. Aboveground interactions. *Crop and Pasture Science* 69: 419-429.
- Padilla, C., G. Crespo, e Y. Sardiñas. 2009. Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 43(4): 351-354.
- Padilla, C., e Y. Sardiñas. 2005. Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 39: 515-521.
- Palma G., J.M. 2018. Árboles y arbustos tropicales con fines ganaderos. 2018. En: Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Palma G., J.M., y C. González-Rebeles (comps.) Universidad de Colima. Colima, Colima, México. 134 p.

- Palma G., J. M., y L. Román. 2003. Frutos de especies arbóreas leguminosas y no leguminosas para alimentación de rumiantes. En: Agroforestería para la Producción Animal en América Latina II. Memorias de la Segunda Conferencia Electrónica. Agosto 2000-marzo 2001. FAO. 155: 271-309.
- Pantiu A., J. 2010. Sistemas silvopastoriles del centro y norte de la Provincia de Misiones, Argentina. Revista Veterinaria 21: 69-75.
- Parsons A., J., I. Johnson R., and A. Harvey. 1988. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. Grass and Forage Science 43(1): 49-59.
- Pérez B., M.T., A. Hernández G., J. Pérez P., J.G. Herrera H., y R. Bárcena G. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del Ballico perenne a diferentes alturas de corte. Técnica Pecuaria en México 40: 251-263.
- Pinheiro, L. C. 2015. Pastoreo racional Voisin: tecnología agroecológica para el tercer milenio. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 253 p.
- Radrizzani, A., S. Dalzell A., O. Kravchuk, and H. Shelton M. 2010. A grazer survey of the long-term productivity of leucaena (*Leucaena leucocephala*)-grass pastures in Queensland. Animal Production Science 50: 105-113.
- Ramírez R., O., A. Hernández G., S. Carneiro D. S., J. Pérez P., J. F. Enríquez Q., A. R. Quero C., J. G. Herrera H., y A. Cervantes N. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. Técnica Pecuaria en México 47: 203-213.

- Rincón, A. 2006. Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los llanos orientales de Colombia. 2ª ed. CORPOICA. Villavicencio, Meta, Colombia. pp: 7-14.
- Rincón, A., H. Flórez, H. Ballesteros, y L. León M. 2018. Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Pidemonte de los Llanos Orientales de Colombia. Forrajes Tropicales 6(1): 158-168.
- Roca A., J., J. Vera C., R. Guevara V., A. del Toro, G. Guevara E., F. Lemoine, L. Curbelo M., y S. Soto A. 2014. Influencia de *Prosopis juliflora*: en composición botánica del pastizal, producción de leche y conducta de vacas mestizas en pastoreo. Revista de Producción Animal 26(1): 1-7.
- Rojas H., S., P. Olivares J., G. Jiménez R. y C. Hernández E. 2005. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. Revista Electrónica de Veterinaria 6(5): 1-9.
- Rojas A., R., J. Ventura, A. Hernández-Garay, S. Joaquín, M. A. Maldonado, e I. Reyes. 2017. Dinámica poblacional de tallos de ovilla (*Dactylis glomerata* L.) solo y asociado con ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 8(4): 419-428.
- Rojo-Rubio R., J. F. Vázquez-Armijo, P. Pérez-Hernández, G. D. Mendoza-Martínez, A. Z. Salem M., B. Albarrán-Portillo, A. González-Reyna, J. Hernández-Martínez, S. Rebollar-Rebollar, D. Cardoso-Jiménez, E. J. Dorantes-Coronado, and J. G. Gutiérrez-Cedillo. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. Tropical Animal Health Production 41: 715-721.
- Ruiz R., R., y T. Ruiz. 2011. 57- Experiencia con PRV en la ganadería “las Moras” para la cría bovina y la producción de carne con ganado puro y comercial Brahman blanco en el Distrito de David, Provincia de Chiriquí, República de Panamá. Cuadernos de Agroecología 6(1): 1-8.

- Rusch, G., y C. Skarpe. 2009. Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas* 47: 12-19.
- Russo R., O. 2015. Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y Forrajes* 38(2): 157-161.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Comité Técnico Consultivo de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca). Disponible en: http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/archivos/02_agrigan/d2_agrigan04_06.pdf [Consultado en abril 2019].
- Sánchez, S., G. Crespo J., y M. Hernández B. 2007. Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de *Panicum maximum* Jacq. y en un sistema silvopastoril de *P. maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. En: *Producción Animal Tropical. II Congreso de Producción Animal Tropical. Instituto de Ciencia Animal. 26-29 de noviembre. La Habana, Cuba. pp: 245-246.*
- Santiago F., I., A. Lara B., L. A. Miranda R., M. Huerta B., L. Krishnamurthy, y J. C. Muñoz-González. 2016. Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 16: 3173-3183.
- Santiago-Hernández F., S. López-Ortiz, C. Ávila-Reséndiz, J. Jarillo-Rodríguez, P. Pérez-Hernández, y J. D. Guerrero-Rodríguez. 2015. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry Systems* 90(2): 339-349.
- SAS. 2008. Statistical analysis system. SAS/STAT®9.2. User's Guide. Cary, NC. SAS Institute Inc. USA. 16 p.

- Senra A., F. 2005. Principales sistemas de pastoreo para la producción de leche y su adecuación a las condiciones de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 39: 415-426.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Atlas Agroalimentario 2016. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016 [Consultado en marzo 2017].
- Smith, D. 1972. Total nonstructural carbohydrate concentration in the herbage of several legumes and grasses at first flower. *Agronomy Journal* 64(5): 705-706.
- Sosa R., E.E., E. Cabrera T., D. Pérez R., y L. Ortega R. 2008. Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 46(4): 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 oleifera*) *Agronomía Mesoamericana* 28(1): 207-211.
- Tarazona A., M., M. Ceballos C., C. Cuartas A., J. Naranjo F., E. Murgueitio, y R. Barahona. 2013. The relationship between nutritional status and bovine welfare associated to adoption of intensive silvopastoral systems in tropical conditions. En: *Enhancing animal welfare and a farmer income through strategic animal feeding: some case studies*. Makkar H., P. S. (ed.). Rome: FAO. *Animal Production and Health* 175: 69-78.
- 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. *Springer* 2(1): 2-6.
- Trebuil, G. 1990. Principles and steps of the method of diagnosis on agrarian systems: A case study from Sathing Phra area Southern Thailand. Part 1. Agroecosystem

- analysis/diagnosis on agrarian systems. En: Farming Systems Research and Development in Thailand. Prince of Songkhla University (ed.). Tailandia. pp: 29-64.
- Valles, B., E. Castillo, y T. Hernández. 1992. Producción estacional de leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales* 14(2): 32-36.
- Valles, B., E. Castillo, J. Barragán, J. Jarillo, y E. Ocaña. 2010. Dinámica de una pastura mixta bajo apacentamiento intensivo en el trópico húmedo veracruzano. *Avances en Investigación Agropecuaria* 14(1): 3-21.
- Valles M., B., E. Castillo G., y H. Bernal B. 2016. Rendimiento y degradabilidad ruminal de material seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7(2): 141-158.
- Vélez G., y F. Moreno. 1993. Principios de agrosilvicultura. *Crónica Forestal y del Medio Ambiente* 8: 43-57.
- Veneciano J., H., K. Frigerio L., y C. Frasinelli A. 2005. Producción de forraje y contenido proteico de *Digitaria eriantha* fertilizada con nitrógeno. *Avances de la Producción Vegetal y Animal*. 6 p.
- Veneciano J., H., K. Frigerio L., y C. Frasinelli A. 2006. Acumulación de forraje e indicadores de calidad en *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes frecuencias de defoliación. *RIA* 35(3): 121-133.
- Verdecia D., M., R. Herrera S., J. Ramírez L., I. Leonard, R. Bodas, S. Andrés, F. Giráldez J., C. Valdés, Y. Arceo, M. Paumier, A. Santana, Y. Álvarez, Y. Méndez, and S. López. 2019. Effect of age of regrowth, chemical composition and secondary metabolites on the digestibility of *Leucaena leucocephala* in the Cauto Valley, Cuba. *Agroforest Syst.* Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0339-y> [Consultado en marzo 2019]

Wade H., M., and F. Carvalho P.C. 2000. Defoliation patterns and herbage intake on pastures. En: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. Lemaire G., J. Hodgson, H. Morales, C. Nabinger and F. Carvalho P., (eds.), CAB International, Wallingford, UK. pp: 233-248.

Wadsworth, J. 1997. Análisis de sistemas de producción animal. Tomo II. *En*: Las Herramientas Básicas. Estudios FAO Producción y Sanidad Animal 140/2. 123 p.

Zárate P., S. 1994. Revisión del género *Leucaena* en México. Anales del Instituto Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México Serie. Botánica 65(2): 83-162.