



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE.**

**CRECIMIENTO DE FORRAJE HERBÁCEO DEL SISTEMA
SILVOPASTORIL TRADICIONAL DE LA SIERRA DE HUAUTLA,
MORELOS**

**TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORIGINAL DE EXÁMENES PROFESIONALES**

PRESENTA

RAÚL RAMÍREZ CONTRERAS

Bajo la supervisión de: Dr. Alejandro Lara Bueno

Chapingo, Estado de México. Mayo del 2018

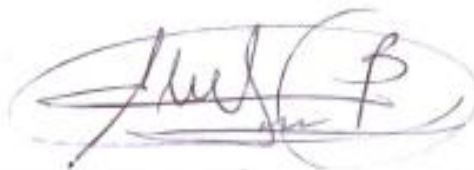


**CRECIMIENTO DE FORRAJE HERBÁCEO DEL SISTEMA
SILVOPASTORIL TRADICIONAL DE LA SIERRA DE HUAUTLA,
MORELOS**

Tesis realizada por **RAÚL RAMÍREZ CONTRERAS** bajo la supervisión del Comité
Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

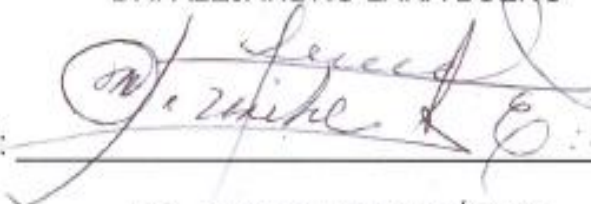
**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



DR. ALEJANDRO LARA BUENO

CODIRECTOR:



DR. MIGUEL URIBE GÓMEZ

ASESOR:



DR. ARTEMIO CRUZ LEÓN

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
ABREVIATURAS USADAS	ix
DEDICATORIAS	x
AGRADECIMIENTOS	xi
DATOS BIOGRÁFICOS	xii
GENERAL ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
OBJETIVOS	4
Objetivo general	4
Objetivos particulares	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Selva baja caducifolia en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla	5
2.2 Sistemas agroforestales	5
2.3 Sistema silvopastoril tradicional	6
2.4 Sistemas silvopastoriles	7
2.4.1 Ventajas del uso del sistema silvopastoril	7
2.5 Árboles dispersos en potreros.	8
2.5.1 Ventajas de los árboles dispersos	8
2.6 Cercas Vivas	9
2.7 Árboles en Linderos	9
2.8 Acahuals mejorados	10
2.9 Diseño e implementación de sistemas agroforestales	10

2.10 Diversidad biológica.....	12
2.10.1 Composición florística	13
2.11 Radiación solar	13
2.11.1 Efecto de la radiación sobre la morfología y anatomía de las plantas	14
2.12 Densidad arbórea como determinante en la producción de biomasa forrajera	15
2.13 Tasa de crecimiento de forraje	16
2.14 Materia seca	16
2.15 Literatura citada	17
3. CRECIMIENTO DE FORRAJE HERBÁCEO DEL SISTEMA SILVOPASTORIL TRADICIONAL DE LA SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS.21	
3.1 Resumen	21
3.2 Abstract	22
3.3 Introducción	23
3.4 Materiales y métodos.....	24
3.4.1 Descripción de área de estudio	24
3.4.2 Identificación de las densidades arbóreas del área de estudio	27
3.4.3 Composición botánica de la masa forrajera	27
3.4.4 Colecta de material para la determinación de la composición botánica	28
3.4.5 Medición de la intensidad de luz	28
3.4.6 Procesamiento de información	30
3.4.7 Acumulación de biomasa forrajera	31
3.4.8 Tasa de crecimiento de la biomasa forrajera de herbáceas	32
3.4.9 Porcentaje de materia seca.....	32
3.4.10 Análisis de datos	33
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.5.1 Composición florística de la masa forrajera.....	33

3.5.2 Radiación solar.....	36
3.5.3 Acumulación de biomasa forrajera.	39
3.5.4 Tasa de crecimiento.	43
3.5.5 Porcentaje de materia seca.....	47
3.6 Conclusiones	48
3.7 Literatura citada.....	49

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Medias de acumulación de biomasa forrajera y radiación solar bajo el dosel.	37
Cuadro 2. Medias de las tres variables evaluadas en el área de estudio.	40
Cuadro 3. Promedio de producción de forraje herbáceo por efecto de la interacción de la densidad arbórea y periodo de muestreo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.	42
Cuadro 4. Tasa de crecimiento de forraje herbáceo por efecto de la interacción de la densidad arbórea y periodo de muestreo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.....	44
Cuadro 5. Porcentaje de materia seca del forraje herbáceo por efecto de la interacción de la densidad arbórea y el periodo de muestreo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del área de estudio.....	24
Figura 2. Precipitación y temperatura del área de estudio	26
Figura 3. Toma de fotografías para estimar la radiación total en un sitio de baja densidad arbórea.	29
Figura 4. Fotografía mostrando la variación de la posición del sol según la época del año.	30
Figura 5 . Parcelas de muestreo en diferentes densidades arbóreas.	31
Figura 6. Estufa de aire forzado secando las muestras de forraje.	32
Figura 7. Recorrido en parcelas de muestreo.	32
Figura 8. Composición florística de alta densidad arbórea.	34
Figura 9. Composición florística en condición de densidad arbórea media (MDA).	35
Figura 10. Composición florística del alto grado de apertura del dosel.....	36
Figura 11. Energía total, medida en MJ/m ² año ⁻¹ , calculada para cada rango de densidad arbórea.	38
Figura 12. Relación de biomasa forrajera y radiación solar.	39
Figura 13. Biomasa de forraje bajo el dosel en condiciones de baja, media y alta densidad arbórea.	41
Figura 14. Acumulación de forraje durante el periodo de lluvias pada densidades arbóreas baja, media y alta.....	43
Figura 15. Tasa de crecimiento del forraje herbáceo durante la estación lluviosa en condiciones de alta densidad arbórea en la sierra de Huautla.....	45
Figura 16. Tasa de crecimiento del forraje herbáceo durante la estación lluviosa en condiciones de media densidad arbórea en la sierra de Huautla.....	45
Figura 17. Tasa de crecimiento del forraje herbáceo durante la estación de lluvias en condiciones de media densidad arbórea en la sierra de Huautla.....	46

Figura 18. Porcentaje de materia seca en las distintas densidades arbóreas del sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.....	48
---	----

ABREVIATURAS USADAS

KILOGRAMOS	Kg
HECTÁREAS	Ha
MATERIA SECA	MS
DÍA	D
RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA	RFA
KILÓMETRO	Km
NANÓMETROS	Nm
ADENOSÍN TRIFOSFATO	ATP
ULTRAVIOLETA	UV-B
RESERVA DE BIOSFERA SIERRA DE HUAUTLA	REBIOSH
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	SBC
MEGA JULIO	Mj
DISEÑO BLOQUES AL AZAR GENERALIZADO	DBGA
ALTA DENSIDAD ARBÓREA	ADA
DENSIDAD ARBÓREA MEDIA	MDA
BAJA DENSIDAD ARBÓREA	BDA
ERROR ESTÁNDAR	EEM
DENSIDAD DE FLUJO FOTÓNICO	DFF
TASA DE CRECIMIENTO	TC

DEDICATORIAS

La estancia en esta vida es tan efímera que no alcanzamos a percibir la verdadera finalidad del por qué estamos aquí, pero si tenemos suerte encontraremos la valiosa compañía de aquellos seres que nos ayudarán a conocer la felicidad...

Esta tesis está dedicada a mi novia, padres, hermanos y amigos, pero en especial a mi muy querido amigo Ramón Hernández Correa.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para llevar a cabo mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Suelos y a la Coordinación General de Estudios de Posgrado, por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios de posgrado en ésta mi alma mater.

A la coordinación del posgrado de la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo de tesis y mis estudios de posgrado.

Al Dr. Alejandro Lara Bueno por su acertada dirección de este trabajo, por su apoyo y empatía en los momentos más difíciles.

Al Dr. Miguel Uribe Gómez por su apoyo incondicional para sacar adelante dicho proyecto, además de compartir su valioso tiempo y experiencias como persona.

Al Dr. Artemio Cruz León por su valioso conocimiento del área de estudio que fue crucial para culminar dicha investigación.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo por su apoyo moral en el momento más difícil de la maestría y por su apoyo de forma incondicional para cumplir las metas planteadas en esta tesis.

Al Dr. Saúl Ugalde Lezama por su apoyo en la parte estadística, pero sobre todo por su amistad brindada en mi estancia en la Maestría.

Al ejido Los Sauces, pero en especial a Don Margarito y su esposa por sus atenciones y disponibilidad de trabajar.

DATOS BIOGRÁFICOS

RAÚL RAMÍREZ CONTRERAS nació el 21 de junio de 1990 en el poblado perteneciente al Ejido de Santa María Nativitas, Municipio de Jiquipilco, Estado de México, donde realizó sus estudios básicos.

En el 2008 ingresó a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y en 2015 fue graduado por la misma casa de estudios como Ingeniero en Restauración Forestal.

En el 2016, ingreso al Posgrado en la Universidad Autónoma Chapingo y para mayo del 2018 obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible.

RESUMEN GENERAL

CRECIMIENTO DE FORRAJE HERBÁCEO DEL SISTEMA SILVOPASTORIL TRADICIONAL DE LA SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS¹

Los sistemas silvopastoriles proveen servicios ambientales, alimento y bienestar para el ganado. El propósito del presente estudio fue determinar la composición botánica, producción del forraje herbáceo, e intensidad lumínica bajo el dosel en diferentes densidades arbóreas del sistema silvopastoril tradicional con el fin de enriquecer su manejo. En 3 parcelas representativas de este sistema, se seleccionaron 9 sitios con distintas densidades arbóreas, se identificaron las especies herbáceas y su porcentaje en la masa forrajera, además se cuantificó la producción de materia seca de herbáceas forrajeras y se estimó la intensidad de luz que llega al estrato herbáceo. Experimentalmente, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde los bloques fueron las diferentes densidades arbóreas y los tratamientos fueron los periodos de muestreo a intervalos de 14 días. En los sitios con baja densidad arbórea (50 a 200 árboles ha⁻¹) se registraron 38 especies herbáceas, donde *Rhynchelytrum repens* aportó 38.1% de la biomasa; en sitios con densidad arbórea moderada (201 a 350 árboles ha⁻¹) se registraron 48 especies herbáceas, siendo *Brachiaria brizanta* la especie que aportó 58.36% de la biomasa presente; en condiciones de alta densidad arbórea (> 350 árboles ha⁻¹) se registraron 27 especies herbáceas sobresaliendo *Oplismenus burmanni* con 58.36% de la biomasa total. Hubo diferencias por efecto de la intensidad de luz bajo el dosel y la producción de biomasa forrajera ($p < 0.05$) para las densidades arbóreas baja, media y alta (8594^a, 6436^b y 3801^c MJ/m²/año y 2859^a, 1988^b y 1679^c Kg ha⁻¹), respectivamente. La ecuación de predicción de la biomasa forrajera fue $y = 8514.9 \ln(x) - 58946$, con $R^2 = 0.9313$. La más alta tasa de crecimiento del forraje se obtuvo en el sexto periodo de muestreo, con promedios de 60.2, 36.07 y 45.5 kg MS ha⁻¹/d⁻¹ para baja, media y alta densidad arbórea, respectivamente. El porcentaje de materia seca del forraje herbáceo fue 28, 24 y 20% para condiciones de baja, media y alta densidad arbórea, respectivamente. Se concluye que la densidad arbórea e intensidad de luz bajo el dosel afectan la producción y tasa de crecimiento de las herbáceas forrajeras en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.

Palabras clave: Herbáceas forrajeras, Intensidad de luz, Producción de biomasa, Tasa de crecimiento, Porcentaje de materia seca.

¹ Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo. Autor: Raúl Ramírez Contreras. Director: Dr. Alejandro Lara Bueno

GENERAL ABSTRACT

GROWTH OF HERBACEOUS FORAGE IN THE TRADITIONAL SILVOPASTORAL SYSTEM OF THE SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS²

Silvopastoral systems provide environmental services, food and welfare for livestock. The purpose of this study was to determine botanical composition, production of herbaceous forage, and light intensity under the canopy in different tree densities of the traditional silvopastoral system of the Sierra de Huautla in order to enrich its management. In 3 representative plots of this system, 9 sites with different tree densities were selected, herbaceous species were identified and their percentage in the forage mass, also the herbaceous forage dry matter production was quantified and estimated the intensity of light reaching the herbaceous stratum. Experimentally, a design of complete randomized blocks was used, where blocks were the different tree densities and the treatments were sampling periods at intervals of 14 days. In the sites with low tree density (50 to 200 trees ha⁻¹) 38 herbaceous species were recorded, where *Rhynchelytrum repens* contributed 38.1% of the biomass; in sites with moderate tree density (201 to 350 trees ha⁻¹) 48 herbaceous species were recorded, with *Brachiaria brizanta* being the species that contributed 58.36% of the biomass present; in conditions of high tree density (> 350 trees ha⁻¹) there were 27 herbaceous species, with *Oplismenus burmannii* standing out. It represented 58.36% of the total biomass. There were differences due to the effect of the light intensity under the canopy and the production of forage biomass ($p < 0.05$) for the low, medium and high tree densities (8594^a, 6436^b and 3801^c MJ / m² / year and 2859^a, 1988^b and 1679^c Kg) ha⁻¹), respectively. The prediction equation of the forage biomass was $y = 8514.9 \ln(x) - 58946$, with $R^2 = 0.9313$. The highest forage growth rate was obtained in the sixth sampling period, with averages of 60.2, 36.07 and 45.5 kg DM ha⁻¹ / d⁻¹ for low, medium and high tree density, respectively. The percentage of dry matter of the herbaceous forage was 28%, 24% and 20% for conditions of low, medium and high tree density, respectively. It is concluded that tree density and light intensity under the canopy affect the production and growth rate of the herbaceous forage in the traditional silvopastoral system of the Sierra de Huautla.

Keywords: herbaceous forages, light intensity, biomass production, growth rate, percentage of dry matter.

²Master Degree Thesis in Agroforestry for Sustainable Developing, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Raúl Ramírez Contreras. Advisor. Dr. Alejandro Lara Bueno

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La selva tropical es considerada, como uno de los ecosistemas terrestres más amenazados y en peligro de ser transformado por rápidos procesos de fragmentación y destrucción, originados por causas multidimensionales; entre las cuales se encuentran algunas prácticas agrícolas y ganaderas, que son incompatibles con la conservación de los recursos naturales que las selvas resguardan (Schmook, 2005). En el caso de la ganadería, afecta gran parte del trópico y conlleva a la búsqueda de alternativas en el uso de los recursos naturales de dicho ecosistema (Palma, 2005).

De acuerdo con Palma (2005) dentro de las alternativas se ha sugerido la utilización de los árboles, que pueden desempeñar dentro de los sistemas productivos del trópico un papel fundamental en la ganadería, siempre y cuando se contemple un plan de manejo para dicha actividad. Por su parte, Lazos, Moreno-Casasola, Guevara, Gallardo y Galante (2016) sostienen que la estructura y composición arbórea de los potreros están determinadas en gran parte por las decisiones de uso y prácticas de manejo ganaderas, de tal manera que la selección de especies está en función de las necesidades de forraje, cercas o sombra, sobresaliendo esta última y que puede generar un confort para el animal, que es reflejado en un aumento en la producción. Por otra parte, la presencia de árboles incide en la disponibilidad y mantenimiento de los servicios ecosistémicos, mejorando la conectividad del hábitat y en consecuencia acarreando ventajas para la flora y fauna local (Lazos et al., 2016).

La interacción biótica que se presenta entre el componente leñoso y el componente herbáceo del sistema, se caracteriza por los cambios en el microclima asociados a las pasturas, así como la modificación de la intensidad y calidad de la radiación solar que llega al componente herbáceo debido a la presencia del dosel arbóreo (Hernández & Guenni, 2008). Es evidente que la falta de radiación fotosintéticamente activa (RFA) en el dosel inferior, repercute en la producción de biomasa del estrato herbáceo, aunque dicha RFA dependerá de

la posición relativa del sol según las condiciones atmosféricas del día, mes y año (Ramírez, 2006).

En la actualidad los sistemas agrosilvopastoriles han demostrado ser una alternativa viable para la ganadería extensiva tradicional, debido a la incompatibilidad entre las tecnologías implementadas y el ambiente productivo, que ha ocasionado la degradación del suelo y el avance de la frontera agrícola y pecuaria (Soto-Pinto, Anzueto, Mendoza, Ferrer & De Jong, 2010). Visto desde un enfoque sistémico, los sistemas silvopastoriles presentan diversas interacciones con otros componentes, algunas de esas interacciones pueden ser positivas y/o negativas y de diferentes magnitudes. Otra alternativa para disminuir la presión sobre los recursos naturales, es el manejo de los acahuales, puesto que estos son parte integral de los cambios que afectan a la cobertura vegetal. Este sistema puede contribuir a mejorar la calidad del sitio después de varios años en términos de calidad del suelo y mantenimiento de las funciones del ecosistema (Soto-Pinto et al., 2010).

Es imprescindible que la tecnología propuesta tome en cuenta las realidades agrarias sobre las que se piensa trabajar, con la finalidad de llegar a una apropiada adopción (Dufumier, 1990). En la actualidad existen muchos proyectos condenados al fracaso debido a la falta de conocimiento de sus autores y a las modalidades de desarrollo de las sociedades agrarias, es el caso de proyectos de extensión basados en una limitada cantidad de temas técnicos estandarizados (semillas mejoradas, densidades de siembra, dosis de fertilizantes, entre otros), que hacen que la uniformidad de la información aportada a los productores no corresponda con la diversidad de las situaciones que ellos enfrentan en su trabajo (Dufumier, 1990).

Para enfrentar este problema de adopción, es necesario llevar a cabo estudios como el planteado por Hernández (2007) en la que se va al terreno de los hechos, trabajando con la gente que está realizando las acciones. Es por tal motivo que, para comunidades campesinas de la sierra de Huautla, se han desarrollado una serie de investigaciones como la realizada por Uribe (2012) en la cual construyó

una tipología de productores basada en las condiciones socioeconómicas de los campesinos. En la misma área, Burgos (2014) caracterizó el sistema agroforestal tradicional, y el aprovechamiento de especies vegetales, además de estimar el índice de valor cultural con énfasis en especies arbóreas.

Otros autores como Ayala (2014) y Cortez (2012) profundizaron su investigación con fines pecuarios y de establecimiento, en el caso del segundo autor, identificó especies arbóreas con una elevada calidad nutrimental, basada en el contenido de proteína de su follaje, encontrando así tres especies sobresalientes como: *Leucaena macrophylla* con 20.56%, *Guazuma ulmifolia* con 16.85% y *Leucaena leucocephala* con 14.32%; mientras que el primer autor indica que el mejor método de propagación, es por planta de vivero, en comparación con la propagación por semilla y por estaca.

Finalmente, en el estudio realizado por Ruiz (2015) se propone para la selva baja caducifolia, diferentes tecnologías agroforestales como son: cercas y barreras vivas, así como mejoramiento de acahuales. Es evidente que se ha trabajado mucho acerca del tema, pero aún falta mucho por hacer, Cortez (2012) recomendó llevar a cabo más investigación para ajustar el número de plantas por hectárea, realizar un correcto balance entre los estratos de la vegetación, definir la época de plantación, el tamaño de la planta, dimensiones de la planta, entre otros, para encontrar el mejor establecimiento de las arbóreas.

Debido a la presión que se tiene sobre los recursos naturales, se requieren alternativas de producción que sean capaces de satisfacer lo que la sociedad demanda, por ello, el objetivo de este trabajo es determinar la diversidad de especies herbáceas, la intensidad lumínica y la producción del forraje herbáceo, en diferentes densidades arbóreas de un sistema silvopastoril con el fin de contribuir a enriquecer su manejo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la diversidad de especies herbáceas, la intensidad lumínica y la producción del forraje herbáceo, en diferentes densidades arbóreas de un sistema silvopastoril con el fin de contribuir a enriquecer su manejo.

Objetivos particulares

Determinar la diversidad de especies forrajeras en diferentes densidades arbóreas mediante la identificación y contabilización de los individuos, para conocer la composición de las comunidades vegetales.

Medir la intensidad de luz presente en diferentes densidades arbóreas, con la intención de conocer la intensidad óptima para la producción de forraje.

Estimar, la curva de acumulación, la tasa de crecimiento, y el porcentaje de materia seca del forraje herbáceo, en diferentes densidades arbóreas durante la época de lluvias.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Selva baja caducifolia en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla

Miranda y Hernández (1963) describen a la selva baja caducifolia, como un ecosistema que ha sido poco estudiado, aunado a esto su extensión territorial se ha reducido drásticamente, incluso se corre el riesgo de que desaparezca totalmente trayendo como consecuencia un deterioro ambiental y social sin precedente ya que además de perderse su amplia biodiversidad también se vería afectada su relevancia cultural e histórica (Dorado, Arias, Alonso & Maldonado, 2002).

Para el año 1973, en el estado de Morelos se contabilizaron 1384 km² de selva baja caducifolia, incluyendo vegetación secundaria (acahuales), pero para el año 1989 esa extensión se redujo a 1096 km², es decir se redujo 21%. De esa superficie de tierra, el 19% fue clasificada como vegetación de un ecosistema conservado, el 17% como en vías de deterioro, el 31% con graves problemas de degradación, y el 33% restante estuvo ocupado con actividades agrícolas y pecuarias (Trejo & Dirzo, 2000). La Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, al ubicarse dentro de la Cuenca del Río Balsas, constituye un reservorio de biodiversidad de gran relevancia para la conservación del trópico seco de México, para la cual se han reportado 629 especies de plantas vasculares, de las que sobresalen las familias Fabaceae, Poaceae, Asteraceae y Burseraceae (Dorado et al., 2005).

2.2 Sistemas agroforestales

Agroforestería es el nombre genérico que describe un sistema de uso de la tierra antiguo y ampliamente practicado en que los árboles pueden combinarse con cultivos agrícolas y/o animales (Farell & Altieri, 1995). Por su parte Nair (1982) describe al objetivo de los sistemas agroforestales como el de optimizar los

efectos positivos de las interacciones de los componentes, para obtener producciones similares a las que se obtienen de los mismos recursos disponibles para monocultivo, dada las condiciones económicas, ecológicas y sociales predominantes. El mismo autor clasifica las prácticas y sistemas agroforestales según la estructura, función, escala socioeconómica, nivel de manejo y distribución ecológica. Estructuralmente, los sistemas agroforestales pueden agruparse en:

Agrosilvicultura: uso de la tierra en la que se produce secuencial o concurrentemente cultivos agrícolas y arbóreos.

Sistemas silvopastoriles: es un sistema en el que los bosques se manejan para la producción de madera, alimento y forraje.

Sistemas agrosilvopastoriles: este sistema se maneja para la producción concurrente de cultivos forestales y agrícolas y para la crianza de animales domésticos.

Sistemas de producción forestal multipropósito: las especies forestales son manejadas para la producción de madera y alimentos.

Así, los sistemas agroforestales pueden ser una alternativa para el manejo de zonas de bosque seco tropical puesto que los beneficios se basan en el uso eficiente de los recursos, la productividad y la seguridad alimentaria de las comunidades rurales (Mazo, Rubiano & Castro, 2016).

2.3 Sistema silvopastoril tradicional

La forma de producción en México ha tenido como base la revolución verde, la cual puede ser desarrollada en los distritos de riego y se basa en la disponibilidad de insumos, aunque recientemente se ha hecho claro que este tipo de agricultura no se lleva a cabo en la mayor parte del país y, solo en años recientes, ha surgido el interés por estudiar lo que es llamado tecnología agrícola tradicional (Hernández, 2007). Entendiendo como tradicional, la tecnología que se ha originado en el conocimiento empírico de las personas y acumulado por doce mil

años (Hernández 2007). Los sistemas agroforestales tradicionales son tecnologías agrícolas, pero deben de cumplir ciertas características según Moreno, Toledo & Casa, (2013) tales como:

- 1.- La preservación de componentes forestales o silvícolas (silvestres) que en muchas ocasiones son especies fomentadas, protegidas y sembradas.
- 2.- El manejo agrícola de plantas cultivadas, con niveles avanzados de domesticación, ya sea perenes, anuales.
- 3.- Manejo de animales domésticos, en proceso de domesticación o silvestres.
- 4.- El desarrollo de unidades sociales de producción, las cuales a través del manejo maximizan las interacciones ecológicas.

2.4 Sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles son considerados como una tecnología agroforestal que tienen dos objetivos, el principal objetivo es la ganadería, mientras que como objetivo secundario se encuentra la producción de madera, leña o frutas. Además de que son capaces de brindar alimento para el ganado, tal como diversas hierbas, hojas, frutos, cortezas y otras partes de los árboles (Montaginini, 1992). Por lo general los árboles que se quedan dentro los potreros son árboles con alto valor comercial y/o cultural que pueden cumplir múltiples funciones como la provisión de alimento, sombra y confort para el ganado (Montaginini, 1992).

2.4.1 Ventajas del uso del sistema silvopastoril

La implementación de diferentes tecnologías agroforestales puede tener los primeros ingresos a mediano plazo, aunque se pueden tener ciertas ventajas (Iglesias, Funes-Monzote, Toral, Simon & Milera, 2011; Montagnini, 1992; Ibrahim, Villanueva, Casasola & Rojas, 2006).

- 1.- La presencia del componente animal cambia y acelera algunos aspectos del ciclo de nutrimentos

- 2.-El pastoreo de la vegetación de cobertura reduce el riesgo de incendios.
- 3.- Los árboles proporcionan un microclima favorable para los animales (sombra, ambiente más fresco, etc.).
- 4.-Los animales pueden participar en la diseminación de las semillas lo cual favorece la germinación.
- 5.-Los productores pueden obtener beneficios económicos resultantes de la leña, postes, madera y forraje.
- 6.-Hay un equilibrio entre el efecto de compactación del ganado con el efecto de las raíces de árboles, reflejado en la porosidad, capacidad de infiltración y aireación del suelo.
- 7.- Económicamente, el sistema se puede favorecer con el aumento y la diversificación de la producción

2.5 Árboles dispersos en potreros.

Los árboles dispersos pueden ocurrir de manera natural o ser el resultado de la intervención del hombre, a través del manejo selectivo de la vegetación remanente o bien de la introducción en praderas. A menudo son fomentados en los potreros por los productores, puesto que llevan a cabo diferentes funciones como son: sombra, leña, madera, forrajes, además favorecen el hábitat para algunas especies y mejoran las conectividades entre paisajes arbolados (Esquivel-Mimenza, Ibrahim, Harvey, Benjamin & Sinclair, 2011). Es común encontrar que en los potreros existen árboles dispersos o agrupados, provenientes de la regeneración natural y/o remanentes de la vegetación original (Villanueva, Ibrahim, Casasola, Barrantes & Arguedas, 2007).

2.5.1 Ventajas de los árboles dispersos

Esta tecnología permite la diversificación de productos, así como la obtención de madera, postes, leña, productos medicinales, sombra y alimento para las

personas y el ganado, además de servicios ambientales como la captura de carbono, conservación de la biodiversidad, embellecimiento del paisaje y la conservación de flora y fauna silvestre (Esquivel et al., 2011). Los árboles dispersos contribuyen a aumentar la producción de leche, debido al confort térmico en las vacas, ya que, al estar bajo la sombra, éstas reducen su estrés calórico, y en ocasiones aumentan la concentración de sólidos totales de la leche por la presencia de diferentes especies de leguminosas, las cuales aportan proteína y otros nutrientes que los pastos no proporcionan en cantidades adecuadas (Trujillo, Cuellar, Huaca, Velásquez & Suarez, 2015).

2.6 Cercas Vivas

Es una tecnología agroforestal, la cual se ha llevado a cabo por los agricultores en sus parcelas y han sustituido parcial o totalmente las cercas muertas. Consiste en plantar líneas de árboles y/o de arbustos como soportes para el alambre de púas o liso, siguiendo los límites de una propiedad o marcando las divisiones entre parcelas según los diferentes usos del suelo (cultivos anuales o perennes, potreros, bosques, etc.) pero principalmente protegen de la devastación causada por el ganado que pastorea libremente (Farell & Altieri, 1995). Según Hernández y Gutiérrez (1999), es la tecnología más conocida y la más exitosa, pero en apariencia la menos productiva en los sistemas silvopastoriles, ya que el beneficio obtenido (volumen de follaje, nitrógeno fijado, materia orgánica del suelo etc.), solo impacta significativamente a una franja relativamente estrecha de cada lado del cerco.

2.7 Árboles en Linderos

Es una tecnología agroforestal que se caracteriza por tener su arreglo en varias líneas de especies leñosas y/o no leñosas, que delimitan una propiedad o parte de ella. Dicha tecnología generalmente está asociada a cultivos agrícolas, pasturas o vegetación natural (Ayala, 2014). Por su parte, Beer (1994) menciona

que este tipo de sistema puede ser establecido en diferentes modalidades, ya sea como linderos internos o externos en los predios y, generalmente, los árboles se asocian con cultivos transitorios, permanentes o con pasturas.

El principal objetivo de los árboles en linderos es la obtención de postes, madera, forraje, frutos, sombra, embellecimiento del paisaje, caminos y veredas, etc.

2.8 Acahuals mejorados

Debido al constante incremento en la presión sobre los recursos, la disponibilidad de tierra se hace cada vez más escasa, lo que trae como consecuencia que los periodos de descanso sean más reducidos, por lo que la velocidad del deterioro de los recursos sea más intensa (Soto-Pinto et al., 2010).

Por estos motivos se han propuesto alternativas como el “Acahual mejorado”, en sitios con vegetación secundaria de diferente grado de madurez, y que, según la lógica campesina a mediano o largo plazo, volverá a ser milpa. Este sistema agroforestal combina especies maderables de alto valor con las especies colonizadoras naturales. Las especies maderables se establecen en la primera fase del acahual (antes de los cinco años) y en el largo plazo el acahual se reconvertirá nuevamente en tierra de cultivo, una vez que los árboles alcanzan su primer turno son cosechados o bien se reconvertirá en un sistema permanente en el mediano plazo (Soto-Pinto et al., 2010).

2.9 Diseño e implementación de sistemas agroforestales

La implementación y diseño de los sistemas agroforestales pueden definirse de varias maneras. Zonta, Goncalves y Angola (2002) proponen una metodología para implementar sistemas agroforestales.

1.- Factores a considerar para el diseño.

a) Factores ambientales de mayor importancia:

- Tipo de suelo.
- Distribución de la precipitación y cantidad anual.
- Vegetación existente en el terreno.

b) Factores biológicos y morfológicos de las especies seleccionadas como componentes del sistema:

- Tamaño y forma de la copa.
- Tipo de raíz.
- Tolerancia a la poda.
- Ciclo productivo.

c) Factores económicos y culturales:

- Conocimiento de los productos en el mercado.
- Preferencia de los productos por la población local.
- Valor de los productos en el mercado.
- Infraestructura para ingresar al mercado.

2.- Diseño de un sistema agroforestal.

Es un plano diseñado en el cual el productor analiza el cómo implementar el sistema agroforestal. En este plano se distribuyen primero las especies forestales maderables seguidas de las especies frutales perennes y, finalmente, en los espacios sobrantes, se colocan los cultivos anuales o perenes.

3.- Determinación de la densidad y distribución de especies en sistemas agroforestales.

Para definir el número de plantas por área es importante definir el tipo de sistema a implementar. Si el sistema agroforestal a implementar es de tipo comercial, el número de individuos por hectárea deberá ser mayor para la especie de mayor demanda y valor comercial. Por otro lado, si la finalidad es producir una gran

diversidad de productos para el consumo familiar, es importante que exista mayor diversidad de especie sin dominancia de alguna de ellas.

4.- Técnica de implementación de sistema agroforestal.

- a) Siembra directa por semilla o estaca.
- b) Siembra de plantas producidas en vivero.
- c) Trasplante de plantas producidas a raíz desnuda.

5.- Pasos para la implementación de un sistema agroforestal.

- a) Selección del terreno.
- b) Limpieza del terreno.
- c) Control de plagas.
- d) Marcar, escavar y preparar los pozos en el terreno.
- e) Cuidados previos a la plantación de cultivos forestales y frutales
- f) Plantación de los árboles
- g) Plantación de cultivos bianuales y siembra de cultivos anuales y semi-anuales.
- h) Establecimiento de especies vegetales de cobertura

2.10 Diversidad biológica

La biodiversidad o diversidad biológica es definida por Moreno (2001) como la variación entre los organismos vivos, incluyendo entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como de los complejos ecológicos de que forman parte.

El número de especies vivientes presentes, es el método para medir la biodiversidad más simple, pero al mismo tiempo el más práctico, por diferentes razones (Toledo, 1994; Moreno, 2001). En primer lugar, la riqueza de especies refleja distintos aspectos de la biodiversidad; segundo, su significado es ampliamente entendido; tercero, las especies son fácilmente detectables y cuantificables; y cuarto, aunque el conocimiento taxonómico no fuese completo pueden existir datos disponibles sobre el número de especies de los organismos presentes.

La pérdida de biodiversidad se ha convertido en un problema a nivel mundial y es derivada de la actividad humana, como la sobreexplotación de los recursos o la alteración del hábitat. Afortunadamente, diversas instituciones han dirigido sus esfuerzos hacia programas de conservación (Moreno, 2001).

2.10.1 Composición florística

La diversidad y composición florística son atributos de las comunidades que permiten su comprensión y comparación. Por su parte la composición florística se entiende como la enumeración de las especies de plantas presentes en un lugar y es usual que se tenga en cuenta su distribución y su biomasa, desafortunadamente los procesos que determinan la composición florística son poco conocidos y esto aumenta o disminuye el conocimiento de las comunidades vegetales inmersas en los ecosistemas (Cano & Stevenson, 2009).

2.11 Radiación solar

Perez y Cepedal (1984) describen a la radiación solar como el flujo de energía que recibe la tierra del sol en forma de ondas electromagnéticas, y es la principal fuente de energía para la mayoría de los ecosistemas. La radiación solar controla los diferentes procesos fotobiológicos (fotosíntesis, fototropismo, fotoperiodo, etc.). De la radiación solar que llega a la tierra, aproximadamente, el 40% es la que se conoce como luz y comprende longitudes de onda que van de 400 a 700

nm, y que, por ser usada por los vegetales es llamada radiación fotosintéticamente activa (Carrasco, 2009).

La forma más común de medir la radiación solar que llega a la tierra es por medio de la irradiación solar, que es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo, misma que puede separarse en tres componentes: irradiación directa, irradiación difusa e irradiación reflejada (Perez & Cepedal, 1984). Es evidente que muchos organismos se desarrollen bajo ciertos rangos climáticos, edáficos, nutrimentales y de radiación solar. Carrasco (2009) afirma que la radiación solar de alta intensidad, puede afectar importantes procesos fisiológicos de los organismos vivos, particularmente de los vegetales que por no poder moverse se tienen que adaptar a los cambios de radiación lumínica.

2.11.1 Efecto de la radiación sobre la morfología y anatomía de las plantas

Para que la radiación sea interceptada y utilizada en la fotosíntesis debe penetrar en el haz de la hoja y ser absorbida por las membranas de los tilacoides para que después de diferentes procesos bioquímicos pueda convertirse en ATP. Por lo tanto, los cambios morfológicos y anatómicos inducidos por la radiación pueden llegar a ser determinantes en las respuestas de distintas especies vegetales, tanto en monocotiledóneas como en dicotiledóneas. Dichos cambios son evidentes en la orientación de las hojas de ambos grupos (Carrasco, 2009); las especies monocotiledóneas presentan hojas delgadas y con orientación vertical lo cual hace que capten menos radiación en comparación con las dicotiledóneas que presentan hojas anchas y orientadas horizontalmente (He, Huang, Chow Whitecross & Anderson, 1993). Por ello, las especies dicotiledóneas pueden desarrollarse de mejor manera bajo el dosel de los árboles en comparación con las monocotiledóneas.

La radiación altera diferentes parámetros, pero el más notable es el área foliar, la cual es evidenciada con la presencia de hojas de menor tamaño como

consecuencia del efecto inhibitorio de la radiación UV-B sobre la expansión del epitelio del haz de la hoja (cara adaxial) la cual recibe mayores flujos de radiación que el envés (cara abaxial) (Carrasco, 2009).

Evolutivamente, la radiación UV-B ha provocado diversos cambios anatómicos en las plantas, lo cual ha permitido la intercepción y penetración de la luz a la célula. Un ejemplo de ello es el aumento de ceras en la superficie foliar y el aumento del grosor de las hojas. Esto explica el aumento del grosor de las paredes celulares debido a la inducción de síntesis de poli-fenoles como la lignina (Tevini & Teramura, 1989).

2.12 Densidad arbórea como determinante en la producción de biomasa forrajera

Es fácil apreciar que la densidad arbórea tiene un efecto directo sobre la incidencia de luz en las herbáceas que crecen bajo los árboles. Acciaresi y Marlats (1994), encontraron que la calidad y cantidad de la radiación solar fue aparentemente el factor limitante en el crecimiento del pasto bajo el dosel de los árboles. En un sistema agroforestal la producción de forraje puede verse afectado cuando la densidad de copa de los árboles sobrepasa el 35% de área (Sharrow, 1997).

Aunque se hable de sombra en general, esta puede ser clasificada según la densidad de follaje que se presente, por ejemplo, en densidades de sombra elevadas, el rendimiento de pasturas puede reducirse hasta 50%, mientras que, en densidades de follaje bajas, la reducción es tan solo de 30%. Por ello, se recomienda manejar densidades de follaje bajas para tener mejores rendimientos de forraje (Sharrow, 1997). Además de la sombra hay otros factores que pueden influir en el rendimiento de las pasturas como puede ser: la fertilidad del suelo, la cual es derivada de la interacción de características físicas, químicas y biológicas, aunque la fertilidad del suelo no es suficiente por sí misma para el

crecimiento de las plantas, el clima también juega un papel básico y determinante en muchos casos (Sánchez, 2007).

2.13 Tasa de crecimiento de forraje

La tasa de crecimiento del cultivo ($\text{Kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) es el resultado de dividir el rendimiento por corte entre cada periodo establecido, con dichos datos es posible obtener un promedio para cada intervalo de corte y época (Reynoso et al., 2012). También es conocida como una herramienta que ayuda a conocer los cambios de producción de forraje durante la estación de crecimiento (Bernal et al., 2006).

La relación que mantiene la tasa de crecimiento y pérdida de tejido de las plantas varía según la estación del año y las condiciones climáticas de cada región, por lo que es importante tener conocimiento de la respuesta del forraje herbáceo a la combinación de factores que ofrece cada una de las regiones ecológicas del país.

El conocimiento de la tasa de crecimiento del forraje tiene su importancia al momento de llevar a cabo la planeación de un sistema eficiente planta-animal, lo cual permitirá tener mayores ganancias económicas por animal y por unidad de superficie (Esparza et al., 2012).

2.14 Materia seca

Al momento de quitarle a un alimento toda el agua que contiene, secándolo en una estufa a 100°C , queda un remanente que se denomina materia seca. La materia seca (MS) del forraje está constituida por la materia orgánica (proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno) y por material inorgánico (cenizas), principalmente minerales (Hernández, 1980).

Proteína bruta: Cantidad total de materia nitrogenada que existen en un alimento.

Extracto etéreo: Compuestos lipídicos como las grasas, ceras, clorofila y vitaminas liposolubles.

Fibra bruta: Fracción de los alimentos que incluye la celulosa y lignina la cual se puede combinar con la celulosa dándole flexibilidad y dureza a la planta, pero menor valor nutritivo al alimento.

Extracto libre de nitrógeno: Son sustancias que no contienen nitrógeno e incluyen a hidratos de carbono que se digieren fácilmente (azúcares y almidón).

Cenizas o sustancias minerales: Elementos y sales minerales que hay en los alimentos; se determinan incinerando el alimento en un horno especial (mufla) a temperatura de 550°C.

Para los técnicos y académicos pecuarios, así como para los ganaderos, la determinación del contenido de agua de los alimentos es vital, ya que el agua puede diluir el valor nutritivo por unidad de peso (De la Roza, Fernández & Gutiérrez, 2011).

2.15 Literatura citada

- Acciaresi, H. A. & Marlats, R. M. (1994). Sistemas silvopastoriles: efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsch). *Agroforestería en las Américas*, 1(4), 6-9.
- Ayala, A. C. B. (2014). *Propagación en campo de especies arbóreas de uso múltiple en la sierra de Huautla Morelos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Beer, J. F. (1994). Consideraciones básicas para el establecimiento de especies maderables en linderos. *Agroforestería de las Américas*, 1(1), 21-24.
- Bernal, F. Á., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., Martínez, M. M. & Dávalos, F. J. L. (2006). Patrón de crecimiento estacional de pastos nativos, en un bosque de encino, en el Estado de México, México. *Agrociencia*, 40(1), 39-47.
- Burgos, H. B. (2014). *Caracterización del sistema agroforestal tradicional en la sierra de Huautla, Morelos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.

- Cano, A. & Stevenson, P. R. (2009). Diversidad y composición florística de tres tipos de bosque en la Estación Biológica Caparú, Vaupés. *Colombia forestal*, 12(1), 63-80.
- Carrasco, R. L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3), 59-76.
- Cortez, E. J. G. (2012). *Árboles Nativos con potencial forrajero para diseñar tecnologías silvopastoriles en la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, Morelos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- De La Roza, D. B., Fernández, A. M. & Gutiérrez, A. A. (2011). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. *Pastos*, 32(1), 91-104.
- Dorado, Ó. S., Arias, D. M., Alonso, G., & Maldonado, B. (2002). Sierra de Huautla, Morelos, México. *Tópicos en educación Ambiental*, 4(12), 23-33.
- Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D.M., Sorani, V., Ramírez, R., & Leyva, E. (2005). Programa de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. México, DF: CONABIO.
- Dufumier, M. (1990). Importancia de la tipología de unidades de producción agrícolas en el análisis de diagnóstico de realidades agrarias. En G. Escobar. & J. Berdegué. (Ed.), *Tipificación de sistemas de producción agrícola* (pp. 63-82). Santiago de Chile, Chile: RIMISP.
- Esparza, J. Z., Garay, A. H., Pérez, J. P., Haro, J. G. H., Gallardo, F. O., Hernández, P. A. M. & Carrillo, A. R. Q. (2012). Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. *Técnica Pecuaria en México*, 47(2), 173-178.
- Esquivel-Mimenza, H., Ibrahim, M., Harvey, C. A., Benjamin, T., & Sinclair, F. L. (2011). Dispersed trees in pasturelands of cattle farms in a tropical dry ecosystem. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 933-941.
- Farell, J. G., & Altieri, M. A. (1995). Sistemas agroforestales. En M. Altieri. (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable* (pp. 229-243). Montevideo, Uruguay: Nordan/Comunidad.
- He J., Huang, L. K., Chow, W. S., Whitecross, M. I., & Anderson, J. M. (1993). Effects of supplementary ultraviolet-B radiation on rice and pea plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 20(2), 129-142.
- Hernández, B. J. M. (1980). *Manual de nutrición y alimentación del ganado*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura.
- Hernández, M. & Guenni, O. (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*, 26(4), 439-453.

- Hernandez, S. & Gutierrez, M. (1999). Manejo de sistemas agrosilvopastoriles. p 86. Recuperado de <http://r4d.dfid.gov.uk/pdf/outputs/r6606q.pdf>
- Hernández, X. E. (2007). La investigación de huarache. *Revista de Geografía Agrícola*, (39), 113-116.
- Ibrahim, M., Villanueva, C., Casasola, F., & Rojas, J. (2006). Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. *Pastos y Forrajes*, 29(4), 383-419.
- Iglesias, J. M., Funes, M. F., O. Toral, C., Simón, L. & Milera, M. (2011). Diseños agrosilvopastoriles en el contexto del desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento. *Pastos y Forrajes*, 34 (3), 241-258.
- Lazos, R. A., Moreno-Casasola, P., Guevara, S., Gallardo, C., & Galante, E. (2016). El uso de los árboles en Jamapa, tradiciones en un territorio deforestado. *Madera y bosques*, 22(1), 17-36.
- Mazo, N. D. L. Á., Rubiano, J. E., & Castro, A. (2016). Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando los sig. Cuadernos de Geografía-*Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 65-77.
- Miranda, F. D. P., & Hernández Xolocotzi, E. (1963). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Montagnini, F. (1992). Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos (No. 634.99/M764). Organización para estudios tropicales.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T-Manuales y Tesis SEA*. 1 (84).
- Moreno, C A. I., Toledo, V. M., & Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398.
- Nair, P .K. R. (1982). *Soil Productivity Aspects of Agroforestry*. Nairobi, Kenia: ICRAF.
- Palma, J. M. (2005). Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Avances en investigación agropecuaria*, 9(1), 1-11.
- Pérez, Á. M. F., & Cepedal, G. F. (1984). Estimación de la radiación solar incipiente sobre superficies con pendiente y orientación variables. *Studia oecológica*, (3), 267-284.
- Ramírez, C. A. (2006). *Evaluación del uso de plantas nodriza en una plantación de Pinus hartwegii Lindl.* Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Reynoso, O. R., Garay, A. H., Da Silva, S. C., Pérez, J. P., Quiroz, J. F. E., Carrillo, A. R. Q. & Núñez, A. C. (2012). Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum*

- maximum Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(2), 203-213.
- Ruiz, G. P. (2015). *Diseño de tecnologías agroforestales con mayor potencial de fijación de carbono en Ajuchitlan Morelos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Sánchez, V. J. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas-conceptos básicos. FERTITEC.A.19 p. Recuperado de <http://exa.unne.edu.ar/biología/fisiología.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SU ELO%20Y%20NUTRICION.pdf>
- Schmook, B. (2005). *Uso y monitoreo de los recursos naturales en el Corredor Biológico Mesoamericano (áreas focales Xpujil-Zoh Laguna y Carrillo Puerto)*. Chetumal, México: El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal.
- Sharrow, S. H. (1997). Biología silvopastoril. *Agroforestry Notes (USDA-NAC)*, 8.
- Soto-Pinto, L., Anzueto, M., Mendoza, J., Ferrer, G. J., & de Jong, B. (2010). Carbon sequestration through agroforestry in indigenous communities of Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 78(1), 39-51.
- Tevini, M. & Teramura, A. H. (1989). UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem Photobiol*, 50(4), 479-487.
- Toledo, V. M. (1994). La diversidad biológica de México. Nuevos retos para la investigación de los noventa. *Ciencias*, (034).
- Trejo, I., & Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological conservation*, 94(2), 133-142.
- Trujillo, L. A., Cuellar, Y. K., Huaca, D. Y., Velásquez, J. E., & Suarez, J. C. (2015). Caracterización de árboles dispersos en potreros y su efecto en la cobertura herbácea en pasturas del piedemonte amazónico colombiano. *Momentos de Ciencia*, 9(1).
- Uribe, G. M. U. (2012). *La agroforestería como factor de desarrollo rural para comunidades campesinas de la sierra de Huautla Morelos*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Villanueva, C. T., Ibrahim, D., Casasola, M., Barrantes, F., & J Arguedas, R. (2007). Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 1(45), 12-20.
- Zonta, A., Goncalvez, A., & Angola, F. (2002). Implementación y manejo de sistemas agroforestales comerciales en condiciones amazónicas. *Revista Científica Agrociencias Amazonía*, 5(6), 38-44.

3. CRECIMIENTO DE FORRAJE HERBÁCEO DEL SISTEMA SILVOPASTORIL TRADICIONAL DE LA SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS.

3.1 Resumen

Los sistemas silvopastoriles proveen servicios ambientales, alimento y bienestar para el ganado. El propósito del presente estudio fue determinar la composición botánica, producción del forraje herbáceo, e intensidad lumínica bajo el dosel en diferentes densidades arbóreas del sistema silvopastoril tradicional con el fin de enriquecer su manejo. En 3 parcelas representativas de este sistema, se seleccionaron 9 sitios con distintas densidades arbóreas, se identificaron las especies herbáceas y su porcentaje en la masa forrajera, además se cuantificó la producción de materia seca de herbáceas forrajeras y se estimó la intensidad de luz que llega al estrato herbáceo. Experimentalmente, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde los bloques fueron las diferentes densidades arbóreas y los tratamientos fueron los periodos de muestreo a intervalos de 14 días. En cuanto al número de especies para la baja, media y alta densidad se registraron 38, 48 y 27 especies respectivamente. Hubo diferencias por efecto de la intensidad de luz bajo el dosel y la producción de biomasa forrajera ($p < 0.05$) para las densidades arbóreas baja, media y alta (8594^a , 6436^b y 3801^c $\text{MJ/m}^2\text{año}^{-1}$ y 2859^a , 1988^b y 1679^c Kg ha^{-1}), respectivamente. La ecuación de predicción de la biomasa forrajera fue $y = 8514.9\ln(x) - 58946$, con $R^2 = 0.9313$. La más alta tasa de crecimiento del forraje se obtuvo en el sexto periodo de muestreo, con promedios de 60.2, 36.07 y 45.5 $\text{kg MS ha}^{-1}\text{d}^{-1}$ para baja, media y alta densidad arbórea, respectivamente. El porcentaje de materia seca del forraje herbáceo fue 28, 24 y 20% para condiciones de baja, media y alta densidad arbórea, respectivamente. Se concluye que la densidad arbórea e intensidad de luz bajo el dosel afectan la producción y tasa de crecimiento de las herbáceas forrajeras en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.

Palabras clave: Herbáceas forrajeras, Intensidad de luz, Producción de biomasa, Tasa de crecimiento, Porcentaje de materia seca

GROWTH OF HERBACEOUS FORAGE IN THE TRADITIONAL SILVOPASTORAL SYSTEM OF THE SIERRA DE HUAUTLA, MORELOS³

3.2 Abstract

Silvopastoral systems provide environmental services, food and welfare for livestock. The purpose of this study was to determine botanical composition, production of herbaceous forage, and light intensity under the canopy in different tree densities of the traditional silvopastoral system of the Sierra de Huautla in order to enrich its management. In 3 representative plots of this system, 9 sites with different tree densities were selected, herbaceous species were identified and their percentage in the forage mass, also the herbaceous forage dry matter production was quantified and estimated the intensity of light reaching the herbaceous stratum. Experimentally, a design of complete randomized blocks was used where blocks were the different tree densities and the treatments were sampling periods at intervals of 14 days. As for the number of species for the low, medium and high density, 38.48 and 27 species were registered, respectively. There were differences due to the effect of the light intensity under the canopy and the production of forage biomass ($p < 0.05$) for the low, medium and high tree densities (8594^a, 6436^b and 3801^c MJ / m² / year and 2859^a, 1988^b and 1679^c Kg) ha⁻¹), respectively. The prediction equation of the forage biomass was $y = 8514.9 \ln(x) - 58946$, with $R^2 = 0.9313$. The highest forage growth rate was obtained in the sixth sampling period, with averages of 60.2, 36.07 and 45.5 kg DM ha⁻¹ / d⁻¹ for low, medium and high tree density, respectively. The percentage of dry matter of the herbaceous forage was 28%, 24% and 20% for conditions of low, medium and high tree density, respectively. It is concluded that tree density and light intensity under the canopy affect the production and growth rate of the herbaceous forage in the traditional silvopastoral system of the Sierra de Huautla.

Keywords: herbaceous forages, light intensity, biomass production, growth rate, percentage of dry matter.

³ Master Degree Thesis in Agroforestry for Sustainable Developing, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Raúl Ramírez Contreras. Advisor. Dr. Alejandro Lara Bueno

3.3 Introducción

La interpretación del efecto de la intensidad de luz sobre la acumulación de forraje herbáceo es un elemento fundamental para tomar decisiones relacionadas con el manejo del sistema silvopastoril, como lo demuestran Fassola, Lacorte, Pachas y Pezzutti (2006) al encontrar que la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa por el dosel, promueve un incremento de la acumulación de forraje máximo cuando hay hasta 40% de sombra para después descender y alcanzar niveles críticos a partir del 70% de sombra.

Diferentes condiciones del medio pueden afectar el crecimiento del forraje. La sombra del árbol en exceso genera condiciones que reducen significativamente la productividad de las pasturas. Esto fue evidenciado cuando Villafuerte, Arze e Ibrahim (1999) encontraron una reducción del 50% del rendimiento de forraje en aquellos sitios donde había árboles de copas densas, mientras que en sitios donde hubo árboles de copa rala y abierta la reducción fue de 30%. Estudios realizados sobre la producción de pasto, como el que realizaron Obispo, Espinoza, Gil, Ovalles y Rodríguez (2008), han demostrado que tanto la producción como la calidad del forraje es afectada por la cantidad de sombra que proyecta el dosel, ya que demasiado sombreado afecta negativamente el rendimiento de los pastos por el contrario a menor intersección de luz la calidad del forraje tiende a mejorar.

Por otro lado, la determinación de la curva de crecimiento estacional de las herbáceas forrajeras, permite determinar la frecuencia de cosechas para aprovechar el forraje. Al respecto, Zaragoza et al. (2009) encontraron en la asociación alfalfa-pasto ovinillo que la cosecha debe efectuarse en la quinta semana de primavera y entre la quinta y sexta semana de invierno.

El forraje herbáceo que se desarrolla en el sistema silvopastoril de la selva baja caducifolia representa un elemento importante en la economía local de las comunidades campesinas que ahí habitan, sin embargo, hay poca información disponible relacionada con el manejo estacional de los componentes de este

ecosistema. Ante esta situación, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la composición botánica y la producción del forraje herbáceo en función de la densidad arbórea e intensidad lumínica del sistema silvopastoril tradicional durante el periodo de lluvias en la selva baja caducifolia de la Sierra de Huautla, Morelos.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Descripción de área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en las comunidades de Los sauces y El Limón, pertenecientes al municipio de Tepalcingo, Morelos (Figura 1). Estas comunidades campesinas se ubican en territorio de la Reserva de Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH), en altitudes de 1250 a 1460 msnm.

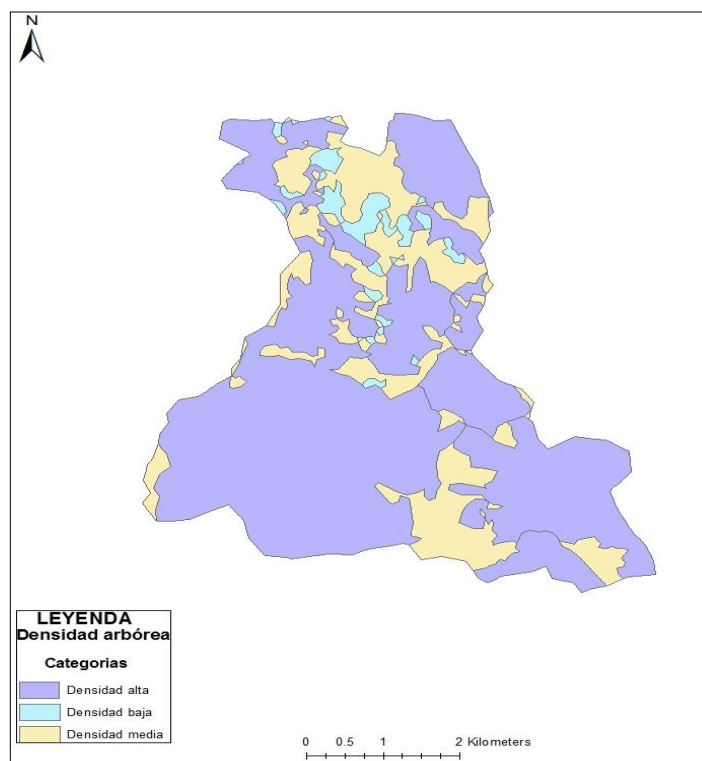


Figura 1 Ubicación del área de estudio.

Vegetación

La vegetación de la selva baja caducifolia (Miranda & Hernández, 1963) o bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1978) tiene afinidad neo tropical por su marcada estacionalidad climática, originando así que la mayor parte de las especies vegetales presentes pierdan sus hojas por períodos de cinco a siete meses, en la época seca del año. Los árboles en general son de porte medio con alturas de 4 a 10 m y eventualmente, hasta 15 m. La temperatura media anual, que oscila entre 20 y 29°C, es un factor determinante para definir la distribución de las especies vegetales de la SBC (Rzedowski, 1978). Estudios recientes han reportado para el territorio de la Sierra de Huautla-Cerro Frío un total de 629 especies de plantas vasculares, incluidas en 219 géneros y 83 familias (Dorado, 2001).

Clima

En lo general, el área de estudio presenta el tipo de clima Awo"(w)(i') g, (Figura 2), que corresponde al clima cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con cociente P/T menor a 43.2, régimen de lluvias de verano y presencia de canícula, con porcentaje de lluvia invernal menor de 5%; isothermal, con oscilación de las temperaturas medias mensuales entre 7 y 14 °C, donde las temperaturas más altas se presenta en el mes de mayo oscilando entre 26 y 27 °C, la marcha de la temperatura es tipo Ganges (Dorado, 2001).

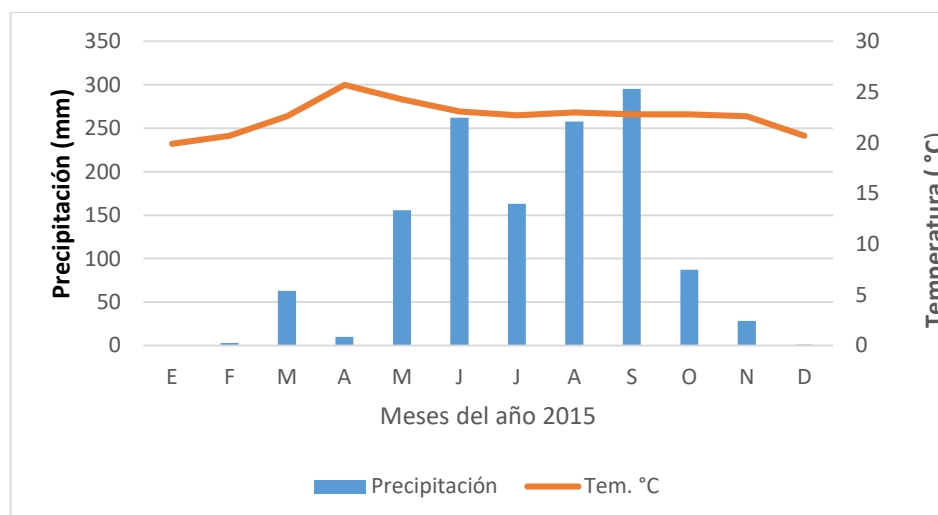


Figura 2. Precipitación y temperatura del área de estudio

Hidrografía

El área de influencia de la Sierra de Huautla está dividida en 18 microcuencas hidrológicas, las cuales originan numerosos cauces intermitentes que surgen en época de lluvias. Dichos cauces han sido aprovechados por las comunidades campesinas para construir pequeñas presas para abrevaderos y aprovechamientos de agua doméstica.

Relieve

El área de estudio está caracterizada por ser una zona de lomeríos, por lo que presenta pocas zonas planas, esta característica influye en la composición vertical y horizontal de la vegetación.

Edafología

Los suelos tienen características que responden a variantes ambientales como: altitud, pendiente sustrato geológico, vegetación, y procesos geomorfológicos, de acuerdo con Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2003), los suelos dominantes en el área de estudio pertenecen a los Feozem háplicos, los cuales están asociados con baja permeabilidad originada por formaciones de tepetate.

3.4.2 Identificación de las densidades arbóreas del área de estudio

Para determinar los rangos de distribución de la densidad arbórea se realizaron conteos de árboles en áreas de influencia de los sitios experimentales en función de las condiciones climáticas, es decir, dentro de la misma microcuenca, para homogenizar las condiciones de los factores biológicos en el área de estudio. Con ayuda del software Google Earth se identificaron zonas de alta, media y baja densidad arbórea mediante la técnica de fotointerpretación (Guerra, 2003). Adicionalmente, se realizaron recorridos por las áreas arboladas para identificar los sitios de muestreo con densidad arbórea baja (50 a 200 árboles ha^{-1}), densidad media (201 a 350 árboles ha^{-1}) y densidad alta (más de 350 árboles ha^{-1}).

Para el conteo de los árboles en las diferentes densidades arbóreas se utilizaron 15 sitios circulares de 1000 m^2 , cinco sitios de muestreo para cada rango de densidad arbórea.

Para contabilizar los árboles y determinar los rangos de densidad arbórea se dividieron los sitios en 4 cuadrantes aunado a esto se utilizaron los siguientes criterios:

1. Diámetro a la altura de la primera bifurcación ($> 5 \text{ cm}$)
2. Altura mayor de 2.5 m.

3.4.3 Composición botánica de la masa forrajera

Para determinar la composición florística de la masa forrajera fue necesario separar hojas, tallos e inflorescencias fáciles de distinguir, por lo que se utilizó el material herbáceo de los últimos cuatro muestreos para identificar las especies herbáceas presentes, asumiendo que la composición botánica del forraje colectado en los primeros cinco muestreos fue similar a los últimos. Una vez identificadas las especies herbáceas presentes en cada muestreo, se pesó el

material aportado por cada especie y se calculó la composición botánica de la biomasa cosechada.

3.4.4 Colecta de material para la determinación de la composición botánica

El muestreo se realizó a partir del quinto hasta el noveno periodo. El área de trabajo correspondió a nueve parcelas de 1000 m² (tres parcelas para cada rango de densidad arbórea) y en cada parcela se ubicaron cuatro sitios circulares de colecta de 0.25 m², con ayuda de unas tijeras se colectó el material vegetal herbáceo a ras de suelo.

Identificación de especies

Las especies herbáceas cosechadas en cada sitio de muestreo fueron separadas cuidadosamente y fueron identificadas mediante comparación visual con las especies descritas por Dorado et al. (2005) para posteriormente compilar los resultados en una base de datos que incluyó especie, género y familia.

3.4.5 Medición de la intensidad de luz

Se tomaron fotografías hemisféricas las cuales se basan en las mediciones de la visibilidad y obstrucción geométrica del cielo, típicamente las imágenes hemisféricas pueden ser adquiridas con una cámara estándar o digital siempre y cuando se ajuste con un lente hemisférico (ojo de pescado) (Ramírez, 2006).

Para el estudio se tomaron fotografías durante la mañana, antes de que saliera el sol, pero al mismo tiempo hubiera una buena visibilidad (con presencia de luz pero con ausencia de rayos solares). La toma de las fotografías fue realizada a 50 cm del suelo, debido a que la altura de las herbáceas modifica la cantidad de luz que llega a los sitios de muestreo. Con una brújula se orientó la cámara hacia el norte magnético virtual y posteriormente ésta se niveló horizontalmente (Figura 3).



Figura 3. Toma de fotografías para estimar la radiación total en un sitio de baja densidad arbórea.

Para estimar la intensidad de luz promedio, aleatoriamente se tomaron tres fotografías en cada parcela, donde se colectó biomasa herbacea con nueve imágenes fotográficas por cada una de las densidades arboreas evaluadas.

Radiación solar

Para estimar la radiación fotosintéticamente activa (RFA) cada imagen fotográfica digitalizada fue analizada con el programa HemiView V.2.1, utilizando el modelo simple molar para obtener RFA en $\text{Mj m}^2 / \text{año}^{-1}$ (Ramírez , 2006).

3.4.6 Procesamiento de información

Para analizar la información fue necesario obtener diferentes datos, como son: declinación magnética, fecha en la que se tomaron los datos, coordenadas geográficas y el día juliano de la fecha en que se obtuvieron las fotografías tomando como referencia los mapas originados por INEGI (2003).

La declinación magnética utilizada fue $4^{\circ}30.5'$, que corresponde a la ubicación del área de estudio, la fecha en que se tomaron las fotografías fue el jueves 31 de agosto de 8 am a 12 pm, correspondiente al día 244 en el calendario juliano, las coordenadas utilizadas fueron en grados decimales y son: 18.553036° Latitud Norte y 98.943674° Longitud Oeste (Figura 4).

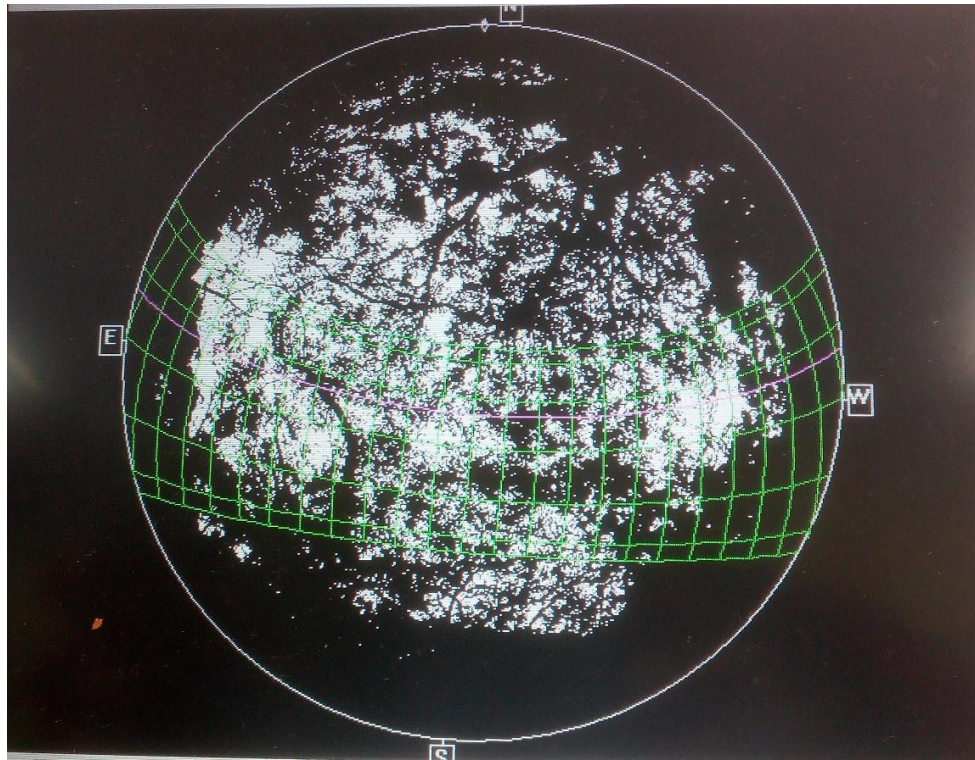


Figura 4. Fotografía mostrando la variación de la posición del sol según la época del año.

3.4.7 Acumulación de biomasa forrajera

En cada parcela seleccionada con diferente rango de densidad arbórea se establecieron tres sub-parcelas de 40 x 50 m (Figura 5), teniendo un total de nueve sub-parcelas para realizar los sitios de muestreo (tres sitios de muestreo en cada sub-parcela para cada densidad arbórea, en total 27 sitios muestreados) y nueve periodos de muestreo, uno cada 14 días en cada sitio muestreado dentro de cada sub-parcela. Para establecer el área experimental se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Los bloques se establecieron con base en la densidad arbórea y los tratamientos fueron los periodos de muestreo a intervalos de 14 días.

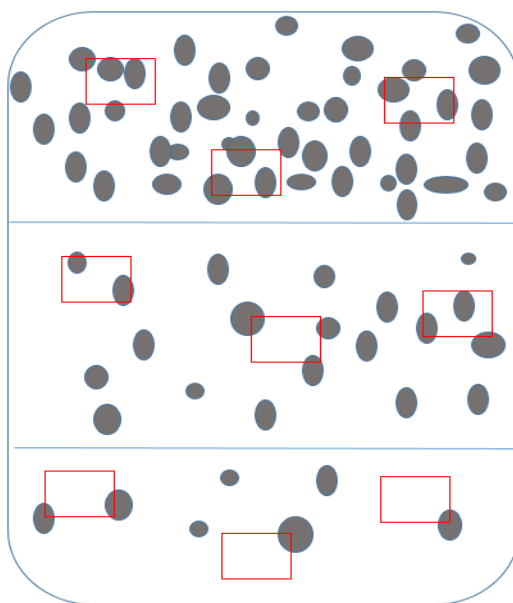


Figura 5 . Parcelas de muestreo en diferentes densidades arbóreas.

Para establecer los sitios de muestreo para cada parcela se trazaron transectos en zig-zag, ubicando los sitios de corte equidistantes uno de otro, para obtener muestras representativas del área de estudio (Figura 7). La colecta del material vegetal herbáceo se realizó utilizando un cuadrante de 1 m², y el follaje presente se cortó con tijeras a ras de suelo. El material vegetal colectado fue pesado con una báscula digital de mano y después fue separado en cada una de las especies

Los datos obtenidos sirvieron para estimar la tasa de acumulación del forraje herbáceo durante el periodo de muestreo del área de estudio.

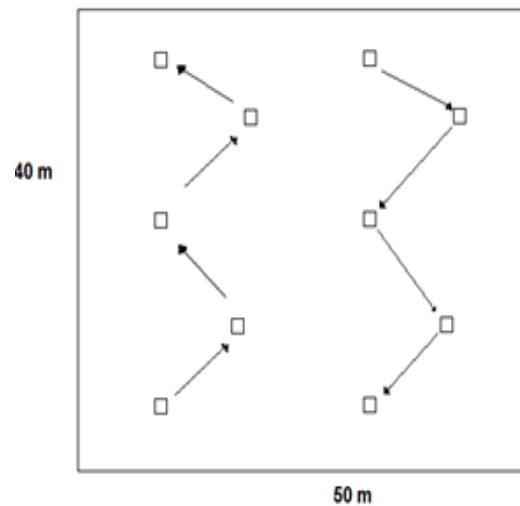


Figura 7. Recorrido en parcelas de muestreo.

Se calculó la biomasa área de las herbáceas para estimar la tasa de crecimiento promedio, dividiendo el peso total de la biomasa de cada muestra entre el número de días del periodo.

De cada muestra se calculó el porcentaje de materia seca y la proporción húmeda, y fueron guardadas para el análisis bromatológico correspondiente

3.4.10 Análisis de datos

El diseño experimental que se utilizó fue Bloques al azar generalizados (DBGGA) (Sahagún, 1978).

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = al comportamiento de la variable de respuesta por efecto del *i*-ésimo periodo de muestreo y la *j*-ésima densidad arbórea,

μ = media general,

T_i = efecto del *i*-ésimo periodo de muestreo ($i = 1, 2, 3, \dots, 9$),

β_j = efecto del *j*-ésima densidad arbórea ($j = 1, 2 \text{ y } 3$),

$(T\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el *i*-ésimo periodo de muestreo y la *j*-ésima densidad arbórea,

ϵ_{ijk} = error asociado al modelo.

Los datos de masa de forraje se procesaron utilizando un análisis de varianza con el software SAS con un diseño de bloques completos al azar con nueve tratamientos y tres repeticiones.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Composición florística de la masa forrajera

Los resultados de identificación de las plantas herbáceas que componen la masa forrajera que crecen bajo el dosel en las diferentes densidades arbóreas, registraron un total de 27 especies para alta densidad arbórea (ADA); aunque el 90% de ocupación lo componen tres especies: *Oplismenus burmanni* con 58.54%, *Tithonia tubaeformis* con 23.74% y *Setaria geniculata* con 8.5% (Figura

8). Estas tres especies son de gran importancia en la selva baja caducifolia de la región de estudio, ya que son utilizadas para la alimentación del ganado; además de que, a lo largo del tiempo, se han adaptado a las condiciones del territorio, estableciendo asociaciones biológicas que han propiciado sistemas alimenticios para el ganado basados en mezclas de plantas forrajeras que pueden incrementar el valor nutricional de la dieta (Mendez ,1999).

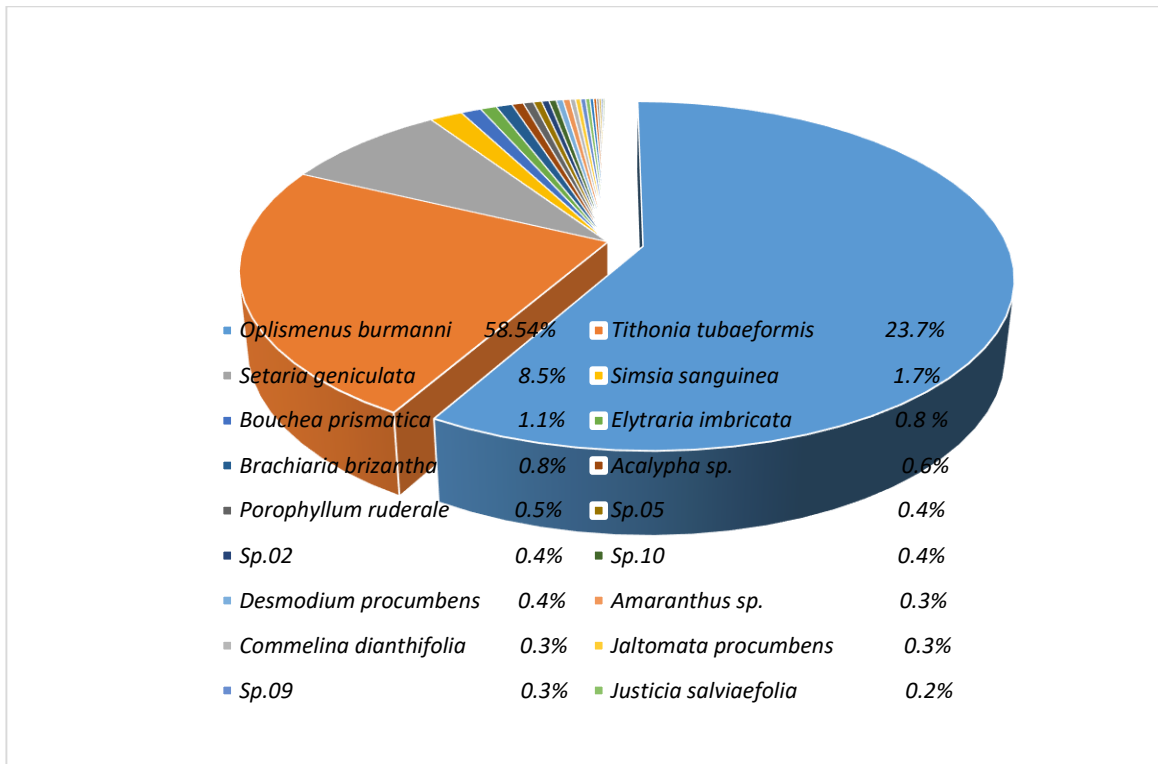


Figura 8. Composición florística de alta densidad arbórea.

Para el rango de densidad arbórea media (MDA) se registraron 48 especies, aunque solo 15 de estas especies representan el 90%, entre las cuales sobresalen: *Brachiaria brizantha* con 58.36%, *Rhynchelytrum repens* con 19.32%, *Tithonia tubaeformis* con 11.51%, y *Oplismenus burmanni* con 10.06% (Figura 9). Estos resultados indican que las diferentes densidades arbóreas generan condiciones para el desarrollo de algunas especies invasoras, como *Tithonia tubaeformis*, la cual puede cambiar la vegetación herbácea típica de la

selva baja caducifolia (Larenas et al., 2004). Además, Larenas y De Viana (2005) sugieren que *Tithonia tubaeformis* puede ser una especie de importancia para remediar suelos contaminados.

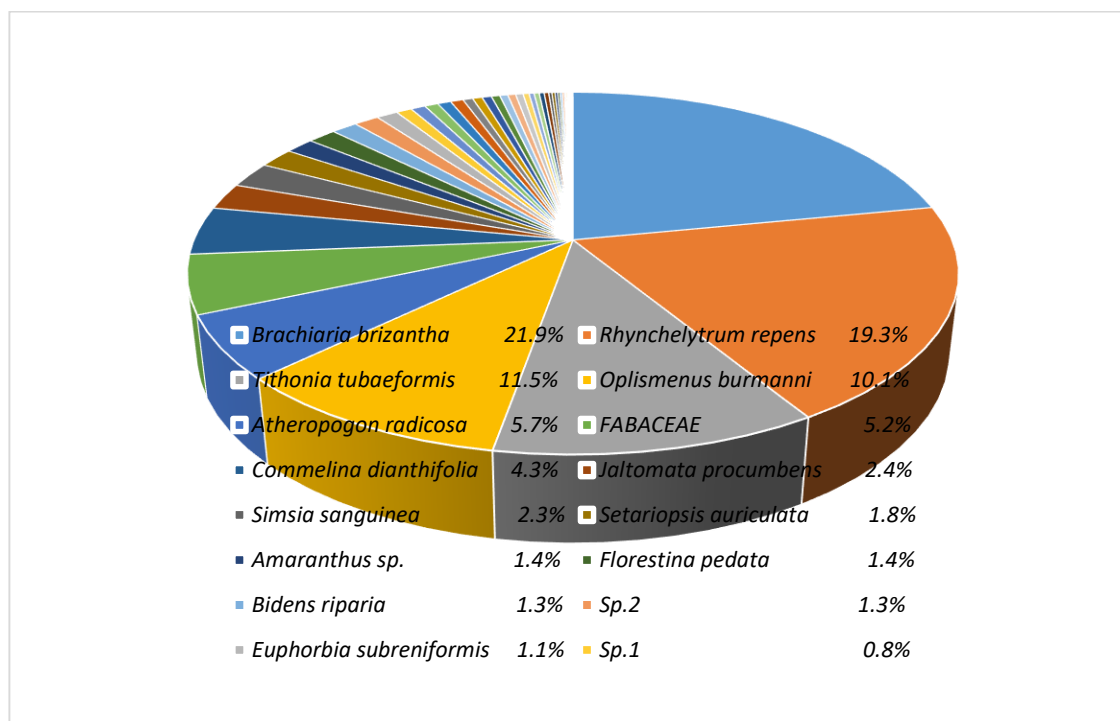


Figura 9. Composición florística en condición de densidad arbórea media (MDA).

Las áreas de pastoreo en la región tienen gran diversidad de plantas, su distribución, composición y riqueza varía en función del manejo que reciben esos agostaderos (carga animal, desmontes y chaponeo). En el caso de las áreas con baja densidad arbórea (BDA) se registraron 38 especies vegetales, aunque solo 10 de ellas ocupan el 90% de la composición botánica, resaltando: *Rhynchelytrum repens* con 38.09%, *Atheropogon radicata* con 16.30%, *Brachiaria brizantha* con 10.08% y *Oplismenus burmanni* con 9.69% (Figura 10). Estos resultados son similares a los reportados por Lira, Guevara, Laborde & Sánchez-Ríos (2007) y la mayoría de esas especies pertenecen a la familia Poaceae. Es evidente que las condiciones de radiación solar influyen directamente sobre la composición y riqueza de especies herbáceas en los

potreros, debido a que se desarrollan fácilmente aquellas que toleran la incidencia directa del sol (gramíneas), contrario a lo que padecen aquellas especies que toleran la sombra.

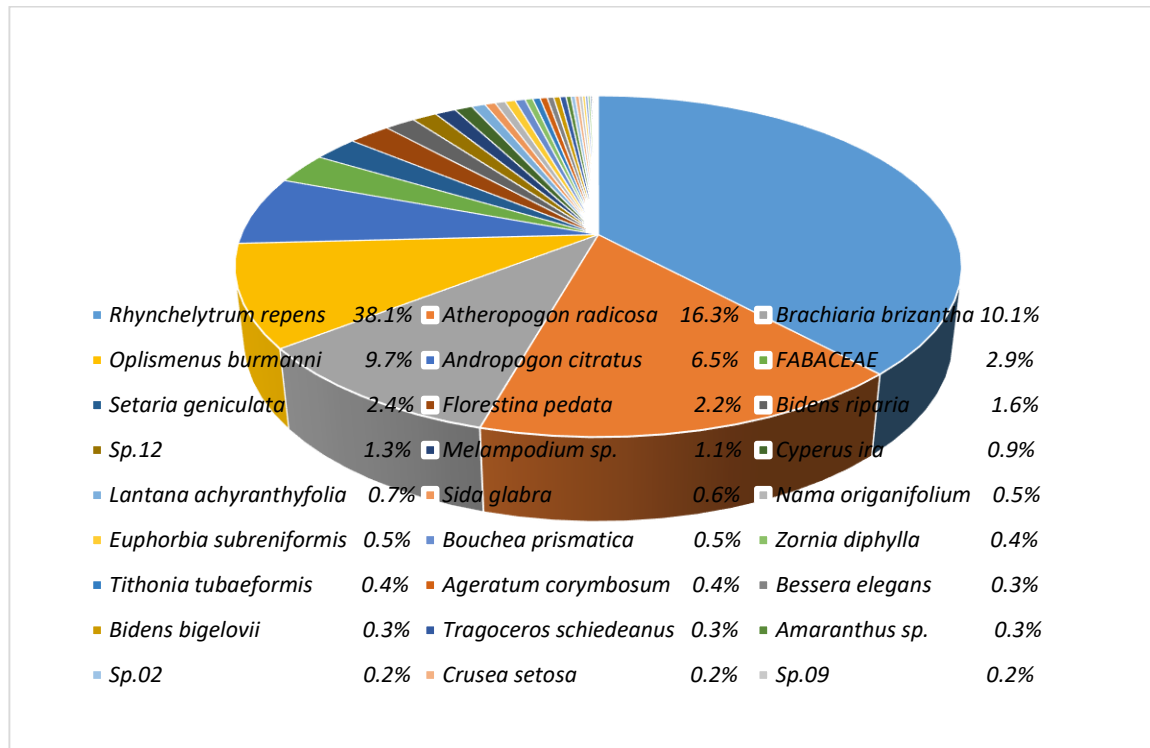


Figura 10. Composición florística del baja densidad arbórea.

3.5.2 Radiación solar

La mayor radiación se encontró en los sitios de baja densidad arbórea, es decir aquellas áreas que son utilizadas como potreros con un valor total de 8594.22 MJ/m²año⁻¹, seguido de la densidad media (sitios con árboles dispersos) con un valor total 6436.78 MJ/m²año⁻¹, y finalmente la radiación en los sitios de alta densidad arbórea (aparentemente más conservados) con un total de 3800.99 MJ/m²año⁻¹ (Figura 11). Debido a que en los potreros (baja densidad arbórea) se registró la mayor cantidad de energía radiante, ésta fue considerada como el 100% de la energía que entra al sistema, ya que aquellos sitios con árboles dispersos en densidad media tuvieron solo 74.8% de la energía radiante,

mientras que, los sitios más conservados, de mayor densidad arbórea, tuvieron 44.2% de la energía radiante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medias de acumulación de biomasa forrajera y radiación solar bajo el dosel.

Variables	Densidad Baja 50-200 árboles ha ⁻¹	Densidad Media 201-350 árboles ha ⁻¹	Densidad Alta > 350 árboles ha ⁻¹	EEM	p valor
Producción de masa forrajera (kg MS ha ⁻¹)	2859 ^b	1988 ^{ab}	1679.09 ^a	330	<0.037
Radiación solar (MJ/m ² año ⁻¹)	8594 ^c	6437 ^b	3801 ^a	364	<0.001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). Las letras minúsculas marcan las diferencias entre periodos, mientras que las mayúsculas marcan las diferencias entre densidades.

Es evidente que el flujo de energía tiene una relación directa con la producción de forraje, como demuestran Hernández y Guenni (2008) quienes señalan que en sitios con baja densidad arbórea se tiene una densidad de flujo fotónico (DFF) que va del 38-41% en comparación con aquellos sitios con mayor densidad arbórea, que mostraron DFF de 33-26%. Esa disminución de DFF produjo aumento en el área foliar de las gramíneas, así como del contenido proteico. Resultados similares fueron reportados por Acciaresi, Ansín y Marlats (1994) quienes encontraron mayores rendimientos de forraje en sitios con bajos niveles de sombra y en sitios sin sombra, ya que la penetración de luz, medidos en Watts/m², disminuyó al aumentar la densidad arbórea de 0 > 250 > 312 > 416 > 625 árboles ha⁻¹.

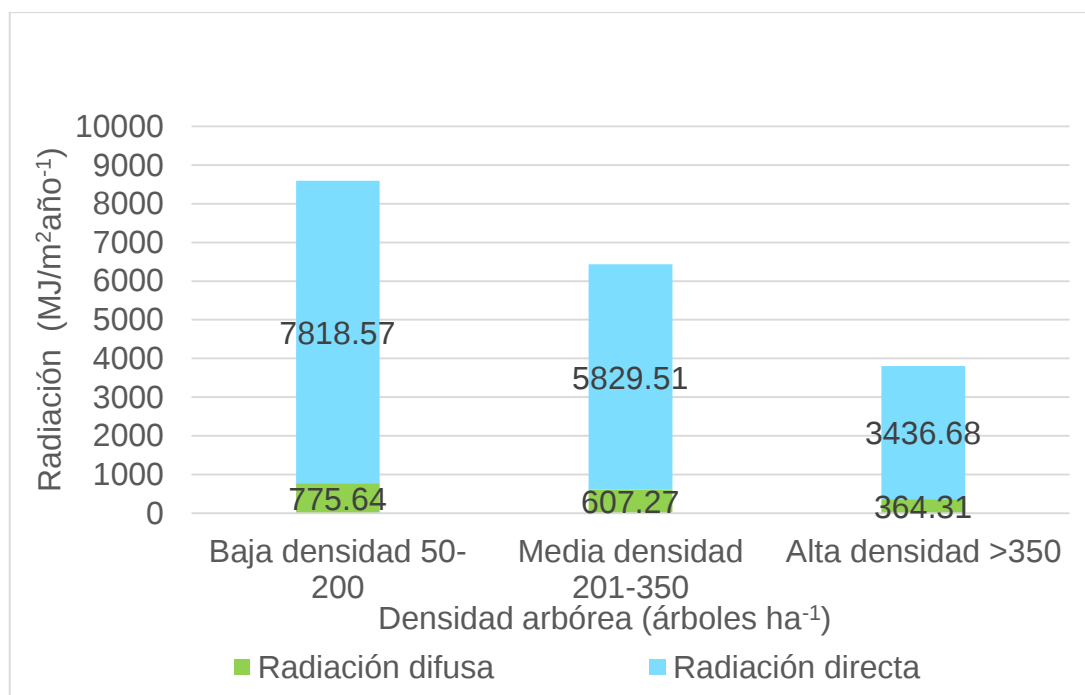


Figura 11. Energía total, medida en MJ/m² año⁻¹, calculada para cada rango de densidad arbórea.

Aunque se han desarrollado diferentes investigaciones acerca del efecto que tiene la sombra de los árboles sobre la productividad y calidad de forraje de las plantas que ahí crecen, hay poca información acerca de la cantidad de luz que llega bajo el dosel de los árboles (Hernández y Guenni, 2008; Obispo et al., 2008; Fassola et al., 2006). El presente estudio registra la radiación total, directa y difusa (MJ/m²/año) bajo la sombra de los árboles en un sistema silvopastoril tradicional en la selva baja caducifolia de la sierra de Huautla, Morelos.

Con la finalidad de encontrar la relación que define la acumulación de biomasa forrajera en función de la cantidad de luz que llega al follaje de las herbáceas que crecen bajo el dosel se ajustó el mejor modelo mediante una ecuación logarítmica (Figura 12) (EC 1). Con base en los resultados se puede inferir que en la acumulación de biomasa forrajera intervienen diversos factores, de los cuales la radiación es uno de los más importantes (Acciaresi et al., 1994).

De acuerdo a la ecuación que se obtuvo al relacionar la acumulación de biomasa ($\text{MS/ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y la radiación solar ($\text{MJ/m}^2\text{año}^{-1}$) se recomienda realizar podas y aclareos al estrato arbóreo presente en los sistemas agro y silvopastoriles, con el propósito de aumentar la producción de forraje, tal como lo sugieren (Bellow y Nair, 2003).

$$\text{Biomasa forrajera (kg MS ha}^{-1}\text{)} = y = 8514.9 \ln(x) - 58946 \quad (\text{Ec. 1})$$

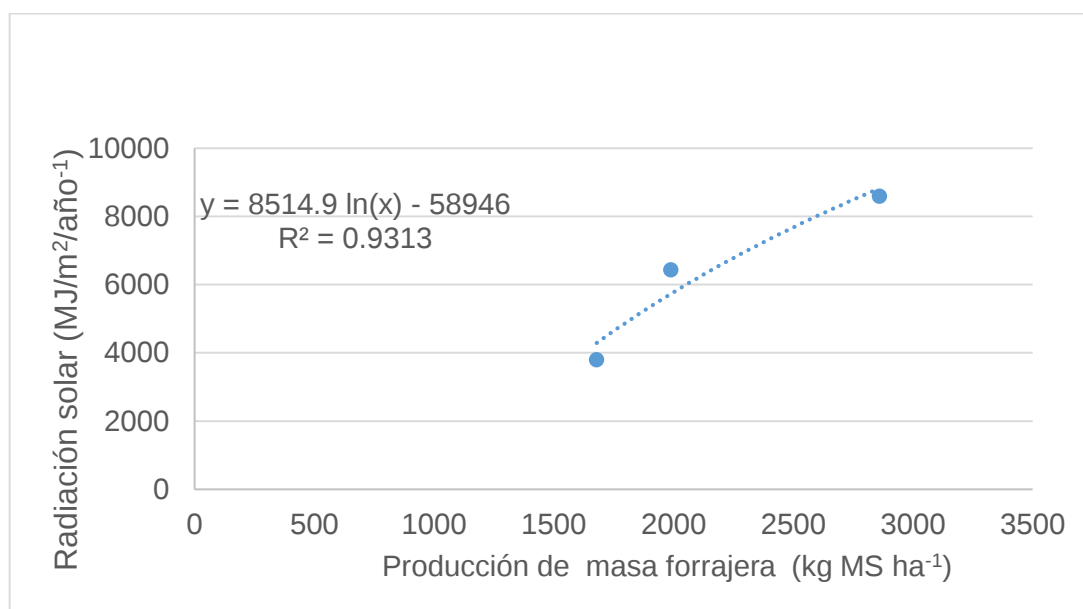


Figura 12. Relación de biomasa forrajera y radiación solar.

3.5.3 Acumulación de biomasa forrajera.

En la (Figura 13) se puede apreciar la disposición del conjunto de observaciones de la biomasa forrajera disponible para cada periodo de corte. Es evidente que la mayor producción de biomasa se obtuvo en condiciones de poca sombra. Estos resultados concuerdan con la respuesta obtenida por (Fassola et al., 2006).

La acumulación de biomasa forrajera fue estimada durante el periodo de lluvias, teniendo mayor rendimiento de forraje los sitios de BDA con un promedio de biomasa seca 43% superior al rendimiento de forraje producido en condiciones de MDA, y 70% más que el producido en condiciones de ADA (Cuadro 2; Figura 13).

Cuadro 2. Medias de las tres variables evaluadas en el área de estudio.

Densidad arbórea árboles ha ⁻¹	N	Masa forrajera de herbáceas (kg MS ha ⁻¹)	Tasa de producción de forraje (kg MS ha ⁻¹ d ¹)	% Materia seca
ADA >350	27	1679 ^a	23.06 ^a	20.3 ^a
MDA 201-350	27	1988.4 ^{ab}	25.15 ^a	23.6 ^{ab}
BDA 50 -200	27	2859.7 ^b	37.18 ^b	27.7 ^b
EEM		330.04	2.82	1.66
Valor de <i>p</i>		0.0355	0.0012	0.0061
Periodo de muestreo (días)				
0 - 14	9	231.3 ^a	16.52 ^a	16.3 ^a
15 -28	9	572 ^a	20.43 ^{ab}	16.6 ^a
29 - 42	9	1228.7 ^a	29.26 ^{abc}	22.4 ^{abc}
43 - 56	9	1399.7 ^a	24.99 ^{ab}	18.2 ^{bc}
57 - 70	9	1467.7 ^a	20.97 ^{ab}	29.4 ^{bc}
71 - 84	9	3971.2 ^b	47.28 ^c	27.7 ^{abc}
85 - 98	9	3692.8 ^b	37.68 ^{bc}	26.3 ^{abc}
99 - 112	9	3382.7 ^b	30.20 ^{abc}	27. ^{abc}
113 - 126	9	3635.3 ^b	28.85 ^{abc}	30.5 ^c
EEM		377.7	4.55	2.57
Valor de <i>p</i>		<0.0001	<0.0003	0.0059

Medias con distinta literal muestran diferencias dentro de columnas ($p>0.05$). ADA = densidad arbórea alta; MDA = densidad arbórea media; BDA; densidad arbórea baja. EEM = Error estándar de la media.

En condiciones de sombra (ADA) la producción de biomasa forrajera es afectada debido a que la competencia por luz entre árboles y herbáceas favorece en gran medida a las árboles debido a que están más expuestos a la radiación solar. Por

el contrario, en los sitios con poca cubierta arbórea se favorece el crecimiento de pastos, pero se generan impactos negativos al medio, como son la pérdida de biodiversidad arbórea, fragmentación del hábitat, erosión de suelo, estrés calórico en animales, entre otros.

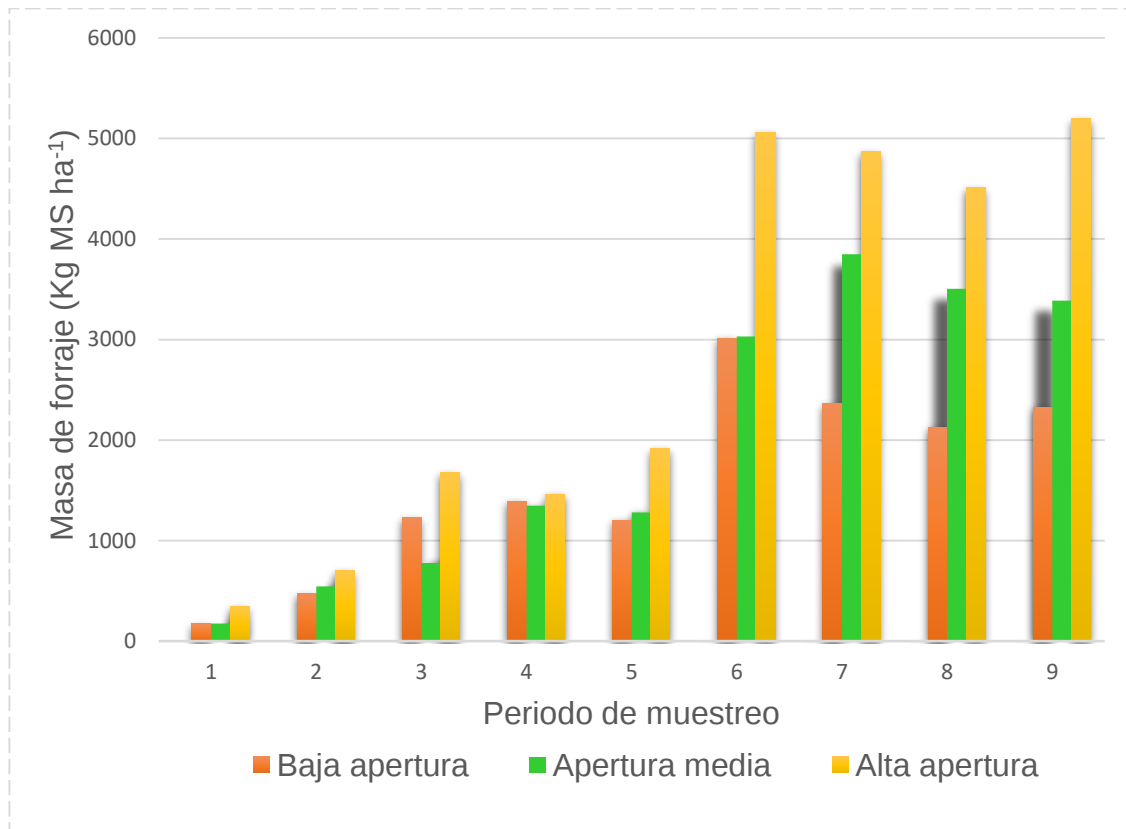


Figura 13. Biomasa de forraje bajo el dosel en condiciones de baja, media y alta densidad arbórea.

La tendencia en la acumulación de biomasa forrajera bajo el dosel va en constante aumento hasta la quinta catorcena, en la sexta catorcena la vegetación se desarrolla más rápidamente para después estabilizarse en las ultimas catorcenas (Figura 14; Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio de producción de forraje herbáceo por efecto de la interacción de la densidad arbórea y periodo de muestreo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.

Periodo de muestreo (días)	Acumulación de Densidad Baja 50 -200 árboles ha ⁻¹	masa forrajera Densidad Media 201-350 árboles ha ⁻¹	(kg MS ha ⁻¹) Densidad Alta > 350 árboles ha ⁻¹	EEM	Valor de <i>p</i>
0 - 14	346.3 ^{Aa}	175.3 ^{Aa}	172.3 ^{Aa}	96.18	1
15 -28	700.9 ^{Aab}	544 ^{Aa}	471.1 ^{Aab}	65.53	1
29 - 42	1679.1 ^{Aabc}	779.1 ^{Aa}	1228 ^{Aabc}	282.06	1
43 - 56	1460.3 ^{Aabc}	1346.5 ^{Aab}	1392.4 ^{Aabc}	386.17	1
57 - 70	1916.1 ^{Aabc}	1281.7 ^{Aab}	1205 ^{Aabc}	452.18	1
71 - 84	5061.7 ^{Ac}	3029.6 ^{Abc}	3822.3 ^{Ad}	1250.1	0.7159
85 - 98	4865.6 ^{Ac}	3849.1 ^{Ac}	2363.7 ^{Ac}	641.41	0.3206
99 - 112	4514 ^{Abc}	3503.7 ^{Ac}	2130.6 ^{Abcd}	411.67	0.4119
113 - 126	5193.2 ^{Ac}	3386.9 ^{Ac}	2325.9 ^{Ac}	602.44	0.1241
EEM	838.94	390.52	357.95		
Valor de <i>p</i>	0.001	<0.0001	< 0.0001		

Medias con la distinta literal muestra diferencias significativas ($p>0.05$). Las letras minúsculas marcan las diferencias entre periodos, mientras que las mayúsculas marcan las diferencias entre diferente densidad arbórea. EEM = Error estándar de la media.

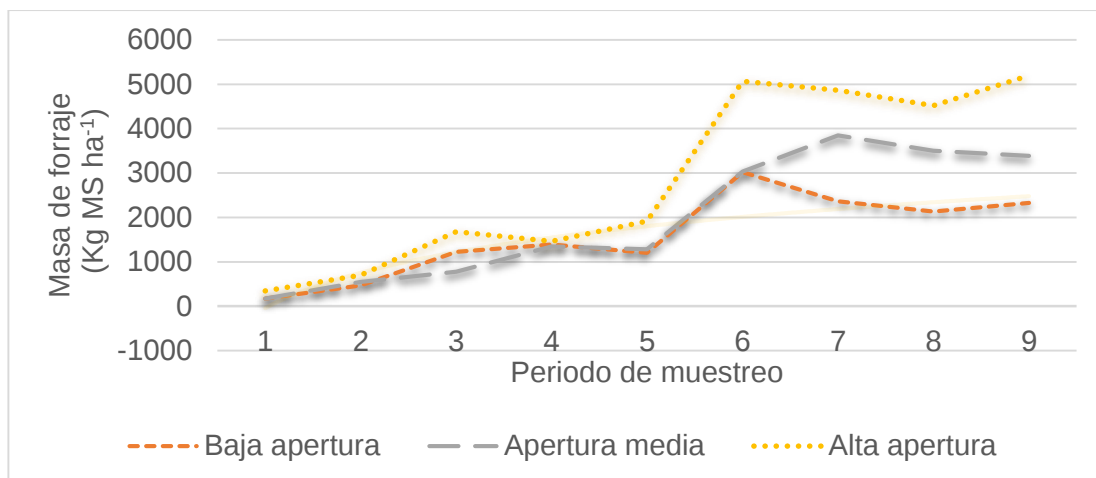


Figura 14. Acumulación de forraje durante el periodo de lluvias para densidades arbóreas baja, media y alta.

Fassola et al. (2006) determinaron la acumulación de biomasa forrajera bajo el dosel de *Pinus taeda* L. en diferentes niveles de sombra y encontraron adecuada producción de biomasa forrajera en un rango de 55 a 65% de sombra, coincidiendo con los resultados de este trabajo, aunque para algunas especies herbáceas como *Axonopus compressus* la acumulación de MS forrajera fue similar a la que se obtiene con porcentajes de sombra del 10 al 30% (Fassola et al., 2006).

Si se utilizó el estándar de que un animal consume diariamente el 3% de su peso corporal y la unidad típica de 450 kg de peso vivo, para inferir la cantidad de MS requerida por animal por año, resultando en 4927 kg de materia seca al año. Tomando estos datos como antecedente se puede observar el índice de agostadero para densidades baja media y alta para cubrir los requerimientos de forraje de 2.9, 2.5 y 1.7 ha por animal durante la estación lluviosa del año, respectivamente.

3.5.4 Tasa de crecimiento.

Para las diferentes densidades arbóreas, los resultados indican que el mayor incremento de forraje herbáceo se produjo a partir del sexto periodo de muestreo. Con alta densidad arbórea (ADA) la tasa promedio de rendimiento del forraje fue

de 23.06 kg MS ha⁻¹d⁻¹ que fue menor a la tasa de crecimiento de las condiciones de MDA y BDA (Figura 15). Para densidad arbórea media (MDA) la producción de forraje fue de 25.15 kg MS ha⁻¹d⁻¹, (Figura 16), mientras que para la densidad arbórea baja (BDA) el incremento de forraje diario fue de 37.18 kg MS ha⁻¹d⁻¹ (Figura 17). Se observa que la mayor tasa de crecimiento (TC) se produjo en los sitios donde hubo mejores condiciones de humedad, temperatura y radiación solar, siendo congruentes estos resultados con los reportados por Flores et al. (2006) quienes determinaron la TC de pastos nativos en los bosques de encino del estado de México (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tasa de crecimiento de forraje herbáceo por efecto de la interacción de la densidad arbórea y periodo de muestreo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.

Periodo de muestreo (días)	Masa de forraje producida diariamente (kg MS ha ⁻¹)			EEM	Valor de p
	Densidad Baja	Densidad Media	Densidad Alta		
	50 -200 árboles ha ⁻¹	201-350 árboles ha ⁻¹	> 350 árboles ha ⁻¹		
0 - 14	24.74 ^{Aa}	12.52 ^{Aa}	12.31 ^{Aa}	6.87	0.3997
15 -28	25.03 ^{Aa}	19.43 ^{Aab}	16.83 ^{Aa}	2.34	0.1127
29 - 42	39.98 ^{Aa}	18.55 ^{Aab}	29.24 ^{Aab}	6.72	0.1584
43 - 56	26.08 ^{Aa}	24.05 ^{Aab}	24.86 ^{Aab}	6.9	0.9784
57 - 70	27.37 ^{Aa}	18.31 ^{Aab}	17.22 ^{Aa}	6.46	0.5142
71 - 84	60.26 ^{Aa}	36.07 ^{Aab}	45.5 ^{Ab}	14.88	0.5457
85 - 98	49.65 ^{Aa}	39.28 ^{Ab}	24.12 ^{Aab}	6.54	0.0841
99 - 112	40.30 ^{Aa}	31.28 ^{ABab}	19.02 ^{Aa}	3.68	0.018
113 - 126	41.22 ^{Aa}	26.88 ^{ABab}	18.46 ^{Aa}	4.78	0.0397
Error	10.79	5	4.6		
p valor	0.001	<0.0001	<0.0001		

Medias con la distinta literal muestra diferencias significativas ($p > 0.05$). Las letras minúsculas marcan las diferencias entre periodos, mientras que las mayúsculas marcan las diferencias entre diferente densidad arbórea. EEM = Error estándar de la media.



Figura 15. Tasa de crecimiento del forraje herbáceo durante la estación lluviosa en condiciones de Alta Densidad Arbórea en la sierra de Huautla.

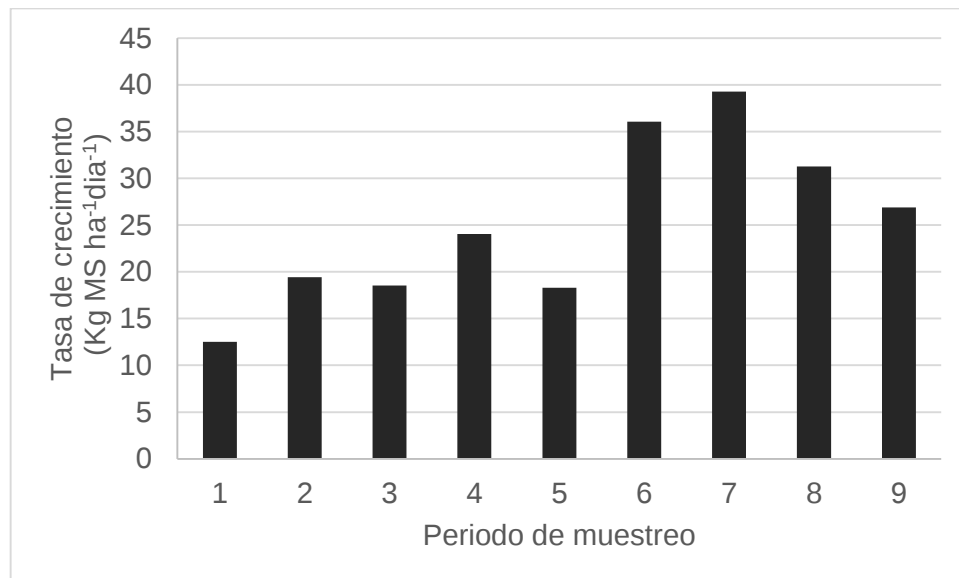


Figura 16. Tasa de crecimiento del forraje herbáceo durante la estación lluviosa en condiciones de Media Densidad Arbórea en la sierra de Huautla.

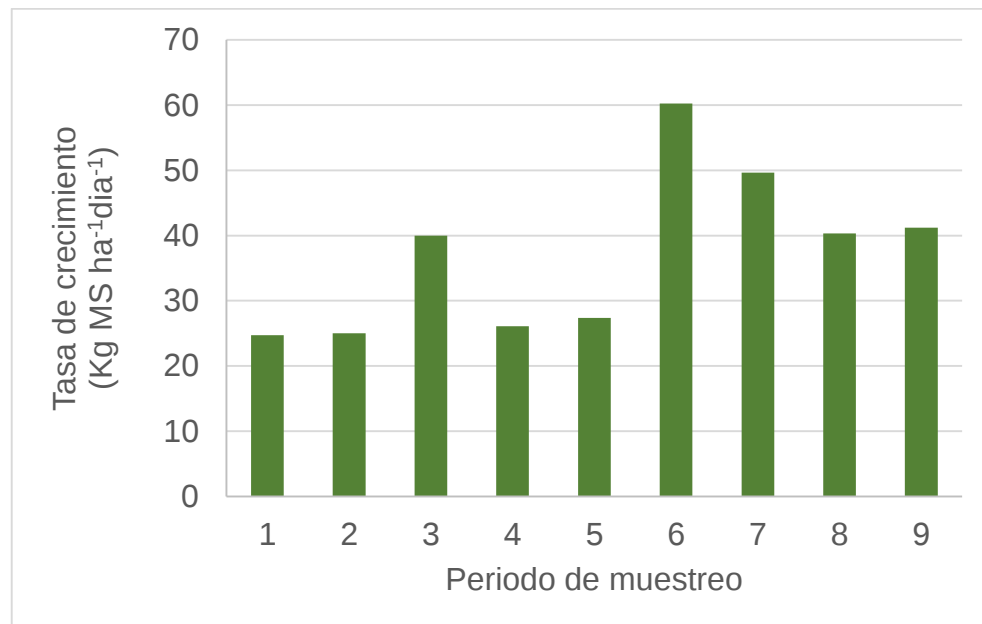


Figura 17. Tasa de crecimiento del forraje herbáceo durante la estación de lluvias en condiciones de Baja Densidad Arbórea en la sierra de Huautla.

3.5.5 Porcentaje de materia seca

En la (Figura 18) se presentan los porcentajes de materia seca del forraje cosechado en cada periodo de muestreo para las diferentes densidades arbóreas. Estos resultados indican que el mayor porcentaje de materia seca de las herbáceas se encontró en los sitios con baja densidad arbórea. Resultados similares fueron reportados por Fassola et al. (2006), quienes evaluaron la producción de forraje en bosque de pino. En cuanto a los periodos de muestreo se puede observar el mayor incremento a partir del sexto muestreo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Porcentaje de materia seca del forraje herbáceo por efecto de la interacción de la densidad arbórea y el periodo de muestreo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.

Periodo de muestreo (días)	Porcentaje de materia seca			EEM	Valor de p
	Densidad Baja 50 -200 árboles ha ⁻¹	Densidad Media 201-350 árboles ha ⁻¹	Densidad Alta > 350 árboles ha ⁻¹		
0 - 14	18.9 ^{Aa}	15.3 ^{Aa}	14.6 ^{Aa}	2.53	1
15 -28	19.1 ^{Aa}	16 ^{Aa}	14.9 ^{Aa}	3.07	1
29 - 42	21.8 ^{Aa}	20.5 ^{Aa}	25 ^{Aa}	5.05	1
43 - 56	22.6 ^{Aa}	16.4 ^{Aa}	15.7 ^{Aa}	3.26	0.9999
57 - 70	30.5 ^{ABa}	39.6 ^{Bb}	18.2 ^{Aa}	3.53	0.0599
71 - 84	34.3 ^{Aa}	25.9 ^{Aab}	23 ^{Aa}	6.28	0.9414
85 - 98	29.6 ^{Aa}	24.7 ^{Aa}	24.6 ^{Aa}	1.86	1
99 - 112	35.8 ^{Ba}	27.2 ^{ABab}	18 ^{Aa}	2.96	0.2561
113 - 126	36.3 ^{Aa}	26.9 ^{Aab}	28.3 ^{Aa}	4.83	0.9929
Error	5.37	2.83	3.11		
p valor	0.3924	0.0003	0.1059		

Medias con la distinta literal muestra diferencias significativas ($p>0.05$). Las letras minúsculas marcan las diferencias entre los periodos de muestreo, mientras que las mayúsculas marcan las diferencias entre las diferentes densidades arbóreas. EEM = Error estándar de la media.

El mayor porcentaje de materia seca en los sitios de BDA (27.7% vs 23.6 y 20.2% para MDA y ADA, respectivamente) se pueden explicar por la mayor exposición a la radiación solar en las plantas herbáceas que crecen con menos sombra y a la menor disponibilidad de humedad presente en el suelo en comparación con la mayor humedad del suelo en áreas sombreadas por los árboles.

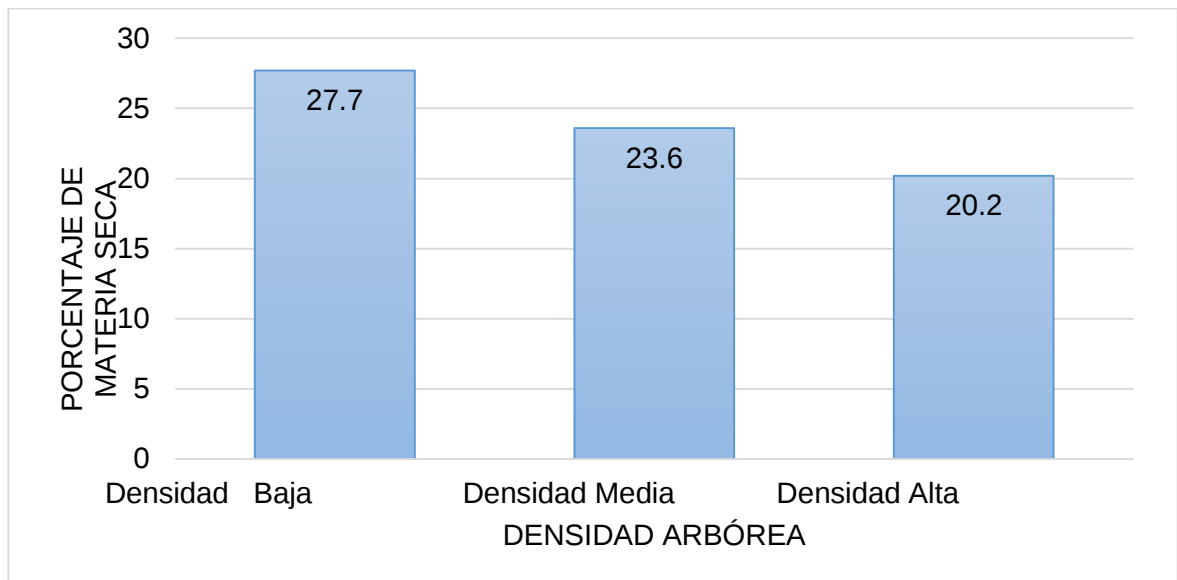


Figura 18. Porcentaje de materia seca en las distintas densidades arbóreas del sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla.

3.6 Conclusiones

Existe marcada diferencia de radiación solar bajo el dosel en las diferentes densidades arbóreas presentes en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla, siendo mayor en bajas densidades arbóreas. Esta diferencia de radiación solar afecta la producción de biomasa forrajera herbácea tanto en cantidad como en calidad y en la composición de las especies que crecen bajo el dosel durante la estación lluviosa.

En máximo rendimiento de las herbáceas que crecen bajo el dosel se obtiene alrededor de los 70 días después de la germinación (sexto periodo de muestreo) lo cual puede contribuir a establecer sistemas de pastoreo con dos o tres periodos de ocupación durante la estación de lluvias en los agostaderos de la sierra de Huautla.

El mayor número y rendimiento de las especies vegetales herbáceas en los sitios con baja densidad arbórea, en comparación con los sitios de media y alta densidad arbórea, es resultado de la mayor cantidad de radiación fotosintética disponible para el crecimiento de las plantas.

La acumulación de materia seca de las herbáceas que crecen bajo el dosel es influenciada por la cantidad de luz (radiación solar) que penetra el follaje de los árboles y por la disponibilidad de humedad presente bajo el dosel, lo cual depende de la densidad arbórea. A menor densidad arbórea mayor es la radiación solar que llega a las plantas herbáceas e induciendo mayor tasa de rendimiento de forraje comparado con las condiciones de alta densidad arbórea.

3.7 Literatura citada

- Acciaresi, H., Ansin, O. E., & Marlats, R. M. (1994). Sistemas silvopastoriles: efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsch). *Agroforestería en las Américas*, 1(4), 6-9.
- Bellow, J. G., & Nair, P. K. R. (2003). Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. *Agricultural and forest meteorology*, 114(3), 197-211.
- Dorado, O. (Ed.). (2001). *Sierra de Huautla-Cerro Frío, Morelos: Proyecto de reserva de la biosfera*. Morelos, México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Informe final SNIB-CONABIO proyecto, (Q025).
- Dorado, O., Maldonado, B., Arias, D.M., Sorani, V., Ramirez, R., Leyva, E. & Valenzuela, D. (2005). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla México*. Morelos, México.

- Fassola, H.E., Lacorte, S. M., Pachas, N., & Pezzutti, R. (2006). Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. *Revista argentina de producción animal*, (26) 101-111.
- Bernal, F. Á., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., Martínez, M. M., & Dávalos, F. J. L. (2006). Patrón de crecimiento estacional de pastos nativos, en un bosque de encino, en el estado de México, México. *Agrociencia*, 40(1).
- Guerra, P. F. (2003). Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. *Investigaciones geográficas*, (50), 42-66.
- Hernández, M., & Guenni, O. (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*, 26(4), 439-453.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2003). *Recursos naturales*. Recuperado de [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/default.aspxx\(1981](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/default.aspxx(1981)
- Larenas, P. G., L de Viana, M., Chafatinos, T., & Escobar, N. E. (2004). Relación suelo-especie invasora (*Tithonia tubaeformis*) en el sistema ribereño del río Arenales, Salta, Argentina. *Ecología austral*, 14(1), 19-29.
- Larenas, P.G. & L De Viana, M. (2005). Germinación y supervivencia del pasto cubano *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Ecología austral*, 15(2), 177-181.
- Lira, N. A., Guevara, S., Laborde, J. & Sánchez, R. G. (2007). Composición florística en potreros de los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta botánica mexicana*, (80), 59-87.
- Méndez, M. R. (1999). Mezclas de forrajes: Uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales. FAO ANIMAL PRODUCTION AND HEALTH PAPER, 201-230.
- Miranda, F., & Hernández, X. (1963). Fisiografía y vegetación. Las zonas áridas del centro y noreste de México. *Geografía agrícola*, (No. AR/630 H4/Pt. 2). 1-27.
- Obispo, N.E., Espinoza, Y., Gil, J.L., Ovalles, F., & Rodríguez, F. (2008). Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximun*) en un sistema silvopastoril. *Zootecni Trop.*, 26(3), 285-288.
- Ramírez, C. A. (2006). *Evaluación del uso de plantas nodriza en una plantación de Pinus hartwegii Lindl.* Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Primera edición. Ed. Limusa. México. DF. Pp. 179-189.

- Sahagun, C. J. (1978). *Diseño de bloques completos al azar*. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.
- Villafuerte, L., Arze, J., & Ibrahim, M. (1999). Rendimiento de pasturas con y sin sombra en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agroforesteria en las Americas*, 6(23), 54-56.
- Zaragoza, E. J., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Herrera, H. J. G., Onaya, G. F., Martínez, H. P.A., Quero, C.A.R. (2009). Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. *Técnica Pecuaria en México*, 47(2): 173-188.