



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS



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

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE BIOMASA DE CUATRO ÁRBOLES FORRAJEROS
NATIVOS DEL SEMIÁRIDO MEXICANO EN DOS SISTEMAS DE MANEJO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

PRESENTA:

FRANCISCO TORRES CRUZ

Junio 2013.

Chapingo, Estado de México.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

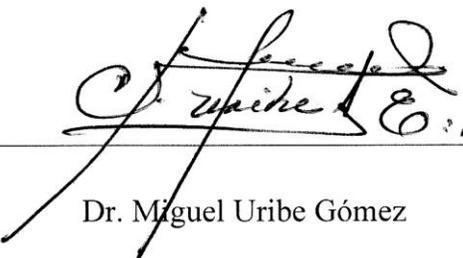


**PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE BIOMASA DE CUATRO ÁRBOLES
FORRAJEROS NATIVOS DEL SEMIARIDO MEXICANO EN DOS SISTEMAS
DE MANEJO**

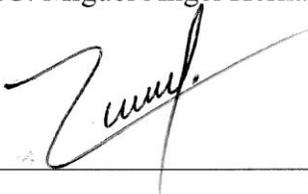
Tesis realizada por **Francisco Torres Cruz** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

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

H. JURADO EXAMINADOR

DIRECTOR: 
Dr. Miguel Uribe Gómez

CO-DIRECTOR: 
M.C. Miguel Ángel Hernández Martínez

ASESOR: 
Dra. Rosa María García Núñez

ASESOR: 
Dr. Alejandro Lara Bueno

DEDICATORIAS

A Dios

Quien rige en mi vida, que me ha proveído de salud, paciencia y sabiduría, y por permitir lograr mis metas

A mis padres

Pascual Torres Gutiérrez

Anita Cruz Díaz

Por darme la vida y sus sabios consejos

A mis hermanos

Domingo, María, Juan, Magdalena, Sebastián y Pascual

Que me alentaron en mi proceso de formación académica y sus consejos para enfrentar la vida.

A mi esposa Nidia por creer en mí

A mis dos hijos que son la razón de seguir luchando para darles lo mejor en la vida y ser el ejemplo de ellos.

A la familia Hernández Jiménez y Reséndiz Flores quienes me han dado su apoyo directa e indirectamente en mi proceso de formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante mis estudios de Maestría.

Al programa de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible (MADS), por darme la oportunidad de formar parte de este programa.

Al Campo Experimental del Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por haberme dado la facilidad de llevar acabo mi investigación.

Agradezco infinitamente al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG) por el apoyo recibido en este proyecto de investigación.

A mi comité asesor: Dr. Miguel Uribe Gómez, M.C. Miguel Ángel Hernández Martínez, Dra. Rosa María García Núñez y el Dr. Alejandro Lara Bueno, por su paciencia, confianza y guía durante la elaboración del trabajo de investigación y de mí formación en la maestría.

A los técnicos Sr. Indalecio y Fabián por su apoyo durante el experimento de laboratorio y sus valiosa aportaciones.

A mi esposa por su paciencia y apoyo incondicional en la elaboración de ésta investigación.

A mis compañeros de la Maestría, en especial a aquellos que me llegaron a considerar su amigo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Francisco Torres Cruz nació un 24 de diciembre de 1979 en el Ejido de Sinaí, en el Municipio de Palenque Chiapas. Realizó su educación básica primaria en el Ejido Lázaro Cárdenas, la secundaria en la Escuela Secundaria Técnica No. 10 de Palenque. En 1996 ingresa a la educación media superior en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Continuó sus estudios superiores en la División de Ciencias Forestales (DICIFO) de la misma Universidad (1999-2003), realizó su estancia en la fábrica de muebles ISSA en la Ciudad Delicias, Chihuahua; recibió el título de Ingeniero Forestal Industrial el 13 de Febrero del año 2004 con la tesis titulada: “Contribución al Conocimiento Tecnológico de la Madera de *Eucalyptus urophylla*”.

En el año 2005 asesoró técnicamente a productores agrícolas de San Martín Texmelucan, Puebla. En el 2007 laboró en una empresa de extracción de aceite de palma, denominada Palma Tica de México S.A., DE C.V. Del 2008 al 2010 laboró en el despacho Gabinete de Asesores Multi-activa Agropecuario, Artesanal, Estudio Ecoturismo, Sociedad y Servicio (GAMAAES), elaborando proyectos productivos, estudios de mercado y de factibilidad.

Decidió continuar con su formación académica ingresando a la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible a fin de desempeñarse mejor en su vida laboral y obtener conocimientos integrales a la problemática ambiental actual, así como a la contribución de alternativas de producción sostenible.

PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE BIOMASA DE CUATRO ÁRBOLES FORRAJEROS NATIVOS DEL SEMIÁRIDO MEXICANO EN DOS SISTEMAS DE MANEJO

BIOMASS PRODUCTION AND QUALITY OF FOUR FORAGE TREES SEMIARID NATIVE MEXICAN TWO MANAGEMENT SYSTEMS

Francisco Torres Cruz¹, Uribe Gómez Miguel², Hernández Martínez Miguel Ángel³García Núñez Rosa María², Lara Bueno Alejandro²

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la producción de biomasa y valor nutricional del follaje de Mezquite (*Prosopis laevigata*), Palo prieto (*Lysiloma divaricata*), Mezquitillo (*Acacia constricta*) y Tepame (*Acacia pennatula*), especies nativas con potencial forrajero del semiárido mexicano. El experimento se realizó en parcelas agroforestales con 10 años de establecidas. Para estimular la emisión y desarrollo de nuevos rebrotes, se realizaron dos tipos de podas; de rejuvenecimiento (PR) y formación (PF). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con arreglo factorial 4 x 2; cuatro especies arbóreas y dos tipos de podas, con tres repeticiones, donde cada árbol constituyó la unidad experimental, haciendo un total de 24 unidades de muestreo. PR se hizo a 60 cm de altura de la base del tronco y PF a 2 m de altura del árbol. Se estimó: producción de biomasa verde total (BVT) y biomasa seca total (BST), biomasa de hojas secas (BHS) y tallos (BTS) y tasa de rendimiento semanal de la biomasa seca (TRBS). Se determinó el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), cenizas (CEN), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), fibra cruda (FC) y extracto etéreo (EE). La mayor producción de BVT, BST y TRBS, se presentó en PF para las cuatro especies; *Prosopis laevigata* presentó la mayor producción de BVT (685.59 Kg ha⁻¹) y *Acacia constricta* mostró mayor rendimiento de BST, BHS y BTS (306.46, 165.63 y 140.83 Kg ha⁻¹, respectivamente). La especie arbórea que mostró mayor TRBS fue *Acacia constricta* con 7.23 Kg ha⁻¹ semana⁻¹. Hubo diferencia significativa (P<0.05) en el contenido de MS entre ambos tipos de poda; PF tuvo mayor contenido de MS que PR (48.57 vs 41.33%, respectivamente). El porcentaje de MS de las especies arbóreas evaluadas mostró diferencias estadísticas (P<0.05). Tanto MO como CEN fueron similares (P>0.05) en ambos tipos de poda; pero fueron diferentes (P<0.05) entre las especies arbóreas, donde, *Lysiloma divaricata* tuvo el valor más alto de MO (91.35%) y *Acacia constricta* el mayor contenido de CEN (14.72%). Hubo efecto de tipo de poda y entre especie arbórea para el contenido de PC (P<0.05). PC fue mayor en el follaje obtenido de PR que en el de PF (21.24 vs 19.36%, respectivamente). El mayor porcentaje de FDN lo tuvo *Prosopis laevigata* con 51.61%, sin embargo, *Acacia pennatula* mostró mayor contenido de FDA con 43.42%. FDN y FDA no mostraron diferencias estadísticas entre las dos podas (P>0.05), mientras que FC y EE no fueron diferentes por efecto del tipo de poda, pero sí entre las especies arbóreas estudiadas. Se concluye que la poda de formación es el mejor método para incrementar la biomasa forrajera disponible en las arbóreas estudiadas, siendo *Prosopis laevigata* y *Acacia constricta* las especies promisorias.

ABSTRACT

The objective was to determine the biomass production and nutritional value of foliage of mesquite (*Prosopis laevigata*), Palo Prieto (*Lysiloma divaricata*), Mezquitillo (*Acacia constricta*) and Tepame (*Acacia pennatula*), native species with forage potential Mexican semi-arid. The experiment was conducted in agroforestry plots which had been established 10 years ago. To stimulate the emission and development of young shoots, two types of pruning were performed: rejuvenation (RP) and formation (FP). The experimental design was completely randomized with 4 x 2 factorial arrangement, four tree species and two types of pruning, with three replications, where each tree was an experimental unit, making a total of 24 sampling units (trees). RP was done 60 cm from the base of the trunk and FP to 2 m of tree height. Total green biomass production (TGB) and total dry biomass (TDB), leaf(LDB) and stem (SDB) biomass and weekly dry biomass rate of return (DBRR) were estimated. We determined the dry matter content (DM), organic matter (OM), ash, crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude fiber (CF) and ether extract (EE). The largest production of TGB, TDB and DBRR appeared in FP for all four species, *Prosopis laevigata* had the highest production of TGB (685.59 kg ha⁻¹) and *Acacia constricta* TDB had the highest yield, LDB and SDB (306.46, 165.63 and 140.83 kg ha⁻¹, respectively). The tree species that had the highest DBRR was *Acacia pennatula* with 7.23 kg ha⁻¹ week⁻¹. There were significant differences (P <0.05) in DM content between the two types of pruning; FP had higher DM content than RP (48.57 vs 41.33%, respectively). The DM percentage of the trees evaluated were significantly different (P <0.05). OM and ash content were similar (P > 0.05) in both types of pruning, but they were different (P <0.05) among the tree species: *Lysiloma divaricata* had the highest value of OM (91.35%) and *Acacia constricta* the largest ash content (14.72%). There was an interaction between type of pruning and tree species for CP content (P <0.05). There was more CP in foliage of the RP treatment than in the FP treatment (21.24 vs. 19.36%, respectively). *Prosopis laevigata* had the highest percentage of NDF (51.61%), but *Acacia pennatula* had a higher ADF content (43.42%). There was no statistical difference in NDF and ADF between the two pruning methods (P > 0.05). CF and EE were not affected by the pruning methods, although there were differences among the tree species studied. We concluded that formation pruning is the best method for increasing available forage biomass in the trees studied. Therefore, *Prosopis laevigata* and *Acacia constricta* are promising species for silvopastoral systems.

Palabras clave: Árboles forrajeros, sistema silvopastoril, tipo de podas, especies nativas del semiárido.
Keywords: forage trees, silvopastoral system, type of pruning, semiarid native species.

¹ Responsable de la Tesis. Alumno de MADS

² Profesor investigador de la UACH y del programa de MADS

³ Investigador del CEBAJ-INIFAP

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema	3
3. Objetivos.....	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos particulares.....	4
4. Hipótesis.....	5
5. Revisión de literatura.....	5
5.1. Comunidades vegetales de zonas áridas y semiáridas.....	5
5.2. Definición de agroforestería	6
5.3. Clasificación de los sistemas agroforestales	6
5.4. Sistemas silvopastoriles	7
5.5. Tecnologías de los sistemas silvopastoriles.....	8
5.6. Contribución de los sistemas silvopastoreo a la fertilidad del suelo.....	11
5.7. Árboles y arbustos forrajeros.....	13
5.7.1. Valor nutritivo de las arbóreas y arbustivas	14
5.7.2. Factores antinutricionales de las arbóreas.....	16
5.7.3. Producción de forraje de especies arbóreas.....	18
5.7.4. Especies arbóreas y arbustivas en la alimentación animal	19
5.8. Las leguminosas	20
5.8.1. Descripción general de las leguminosas.....	21
5.8.2. Importancia de las leguminosas arbóreas forrajeras.....	22
5.8.3. El uso y manejo de árboles y arbustos leguminosos en sistemas silvopastoriles	23
5.8.4. Producción de biomasa.....	24
5.8.5. Efecto de la poda en la producción de biomasa	25
5.9. Componentes que influyen en la digestibilidad del forraje de las arbustivas.....	27
5.10. Clasificación taxonómica y distribución ecológica de las especies en estudio ..	33
6. Metodología.....	49
6.1. Localización.....	49
6.2. Caracterización del área de estudio	49
6.2.1. Vegetación	49

6.2.2. Clima.....	50
6.2.3. Suelo.....	51
6.3. Selección de especies.....	51
6.4. Diseño experimental.....	52
6.5. Preparación del material vegetal.....	53
6.5.1. Poda de rejuvenecimiento.....	53
6.5.2. Poda de formación.....	54
6.6. Toma de muestra.....	55
6.6.1. Producción de biomasa verde.....	56
6.6.2. Producción de biomasa seca.....	56
6.7. Análisis químico de especies evaluadas.....	58
6.7.1. Determinación de Materia Seca (MS).....	59
6.7.2. Determinación de Materia Orgánica (MO).....	60
6.7.3. Determinación de Ceniza (CEN).....	60
6.7.4. Determinación de Proteína Cruda (PC).....	61
6.7.5. Determinación de Fibra Detergente Ácido (FDA).....	63
6.7.6. Determinación de Fibra Detergente Neutro (FDN).....	64
6.7.7. Determinación de Fibra Cruda (FC).....	65
6.7.8. Determinación de extracto etéreo (EE).....	66
7. Resultados y discusión.....	67
7.1. Resultados de producción de biomasa.....	67
7.1.1. Comparación entre tipos de poda.....	67
7.1.1.1. Producción de biomasa verde total.....	67
7.1.1.2. Producción de Biomasa Seca Total.....	69
7.1.1.3. Producción de biomasa de hoja seca.....	71
7.1.1.4. Producción de biomasa de tallo seco.....	72
7.1.1.5. Tasa de Rendimiento de Biomasa Seca.....	73
7.1.2. Comparación entre especies.....	74
7.1.2.1. Producción de biomasa verde total.....	74
7.1.2.2. Biomasa seca total.....	75

7.1.2.3. Biomasa de Hoja Seca	75
7.1.2.4. Biomasa de tallo seco.....	76
7.1.2.5. Tasa de rendimiento de biomasa seca total	76
7.2. Composición química	76
7.2.1. Comparación entre especies	76
7.2.1.1. Materia seca (MS).....	76
7.2.1.2. Ceniza (CEN).....	77
7.2.1.3. Materia orgánica (MO)	79
7.2.1.4. Proteína Cruda (PC).	79
7.2.1.5. Fibra Detergente Neutra (FDN)	80
7.2.1.6. Fibra Detergente Acida (FDA)	81
7.2.1.7. Fibra cruda (FC)	82
7.2.1.8. Extracto etéreo (EE)	82
9. Recomendaciones.....	88
10. Literatura Citada	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Nombre común, nombre científico y familia de las especies estudiadas	52
Cuadro 2. Media y error estándar de la producción de biomasa ($\text{Kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) por tratamientos.	68
Cuadro 3. Medias \pm error estándar de la producción total de biomasa (Kg ha^{-1}) de las especies arbóreas forrajeras bajo estudio.....	74
Cuadro 4. Valor promedio de las especies (%) sobre el valor nutritivo de <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Acacia pennatula</i> , <i>Acacia constricta</i> y <i>Lysiloma divaricata</i>	77
Cuadro 5. Efecto de los tratamientos sobre el Valor nutritivo (%) de <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Acacia pennatula</i> , <i>Acacia constricta</i> y <i>Lysiloma divaricata</i>	84
Cuadro 6. Valor promedio de parámetros nutricionales en las interacciones de las especies entre los dos tipos de poda.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Ombrotérmico de la estación CEBAJ-INIFAP, Celaya Guanajuato.	50
Figura 2. Poda de rejuvenecimiento, a una altura de 60 cm del suelo.	54
Figura 3. Tratamiento de Poda de Formación, a una altura de aproximada de 2 metros.	54
Figura 4. Colecta de biomasa, en tratamientos de Poda de rejuvenecimiento.	55
Figura 5. Colecta de follaje en tratamiento de Poda de formación.	56
Figura 6. Separación de hoja y tallo.	57
Figura 7. Toma de muestra, para análisis químico.	58
Figura 8. Peso y secado de muestras.	58
Figura 9. Molido de la sección hoja de las muestras.	59
Figura 10. Promedio Biomasa Verde, de dos tipos de poda.	69
Figura 11. Valor Promedio Biomasa Seca de la interacción de las especies entre los dos tipos de poda.	70
Figura 12. Valor Promedios de la interacción de las especies entre los dos tipos de poda de la variable de hoja seca.	71
Figura 13. Promedio de Tallo seco de las especies en las dos podas.	72
Figura 14. Promedio de tasa de rendimiento de biomasa seca total en las dos podas.	73

1. Introducción

Las condiciones ecológicas determinantes de las zonas áridas y semiáridas de México, limitan considerablemente las actividades agrícolas y ganaderas, ya que las altas temperaturas así como las escasas lluvias afectan el desarrollo de los cultivos para consumo humano o forrajero, de tal manera que los rendimientos son comúnmente pobres o nulos. Bajo tales condiciones y como una alternativa, la población rural de estas zonas recurre al uso de árboles forrajeros nativos para alimentar su ganado. De acuerdo con Rzedowski (1978), en estas regiones se desarrolla una gran diversidad de especies vegetales y animales, muchas de estas endémicas, las cuales juegan un papel fundamental en la conservación del suelo y en la alimentación animal.

En estas zonas la ganadería esta basada principalmente en la explotación de ganado bovino, caprino y ovino, para la cual la presencia de algunas especies arbóreas forrajeras nativas son de primordial importancia en la alimentación del ganado

Guanajuato registra uno de los índices de desertificación más altos. Este fenómeno se da por la degradación ecológica que sufre el suelo, con lo que se despoja a la tierra de la capacidad de sostener y reproducir la vegetación. La superficie total del Estado es de 3'058,899.7 hectáreas de las cuales 1'565,453.2 son de uso pecuario, a su vez el 80% de esta superficie está destinada a la ganadería, principalmente bovina de tipo extensivo (SEMARNAT, 2007).

En el Estado de Guanajuato, la producción de rumiantes en el clima semiárido es restringida por la insuficiencia de alimento de buena calidad, especialmente durante

periodos prolongados de sequía. Ante la escasez de alimentos en la época seca para la alimentación animal, los árboles y arbustos forrajeros presentan características que los convierten en una alternativa viable para suplir parte de esta escasez, tanto en cantidad (biomasa) como en calidad (nutrientes), con el propósito de mantener niveles de producción animal adecuados.

La agroforestería, como disciplina de carácter integral tiene una amplia aplicabilidad en las zonas áridas y semiáridas. Los árboles y arbustos forrajeros integrados en sistemas silvopastoriles representan una alternativa interesante para contrarrestar las limitaciones y utilizarse como una alternativa viable en la alimentación del ganado en estas áreas.

Los sistemas silvopastoriles son una opción importante en la recuperación de suelos degradados, ya que incorporan el componente arbóreo con diversidad de especies, reciclaje y liberación de nutrientes en conjunción con los demás componentes del sistema. Algunas especies de árboles, especialmente las leguminosas arbóreas y arbustivas, tienen la capacidad de fijar altas cantidades de nitrógeno (N).

El número de especies nativas arbóreas y arbustivas con potencial forrajero del semiárido mexicano, es enorme; sin embargo, pocas especies se han incorporado a los sistemas de alimentación de rumiantes en pastoreo. Por lo que es importante conocer aquellas especies nativas con potencial de uso múltiple, por ejemplo: *Acacia angustissima*, *Acacia coulteri*, *Albizia occidentalis*, *Calliandra formosa*, *Pithecellobium dulce*, *Ebano psisebano*, *Leucaena cuspidata*, *Mimosa biuncifera*. La principal ventaja de integrar especies de uso múltiple es para promover una producción diversificada,

desde luego adaptada a las necesidades y expectativas de los pobladores (Carranza, 2005).

Con base a lo anteriormente señalado, la presente investigación surge de la necesidad de conocer el uso forrajero de cuatro árboles nativos del semiárido mexicano Mezquite (*Prosopis laevigata*), Tepame (*Acacia pennatula*), Mezquitillo (*Acacia constricta*), Palo prieto (*Lysiloma divaricata*) evaluando la cantidad y calidad de forraje que presentan dichas especies, como una alternativa forrajera viable para esta región.

2. Planteamiento del problema

En el estado de Guanajuato, como en la mayor parte del trópico seco, la base de alimentación para la ganadería la constituyen los zacates, principalmente especies nativas, así como subproductos agrícolas, los cuales tiene como característica nutricional su pobre digestibilidad, bajo contenido de proteína, niveles mínimos de componentes minerales y altos contenido de fibra, alimentos con las cuales se obtienen bajos rendimientos productivos, otra limitante, es su marcada estacionalidad en la producción de forraje, abundante durante la época lluviosa y con fuertes deficiencias en la época de estiaje, lo que origina que un gran número de productores se vean en la necesidad de recurrir a la compra de alimentos concentrados, dando como resultado el aumento de los costos de producción.

Por lo expuesto anteriormente es importante, el estudio de los árboles y arbustos forrajeros nativos como una opción para el diseño de sistemas silvopastoriles, por lo

que en esta investigación se plantea evaluar la calidad y cantidad de forraje de cuatro especies nativas del semiárido mexicano.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar el potencial de cuatro árboles forrajeros nativos del semiárido mexicano: *Prosopis laevigata* (mezquite), *Acacia pennatula* (tepame), *Acacia constricta* (mezquitillo), *Lysiloma divaricata* (palo prieto), con 10 años de establecidas en dos tipos de manejo (podas de rejuvenecimiento y formación).

3.2. Objetivos particulares

- Determinar la cantidad de forraje producida de cuatro árboles forrajeros nativos del semiárido mexicano: *Prosopis laevigata* (mezquite), *Acacia pennatula* (tepame), *Acacia constricta* (mezquitillo), *Lysiloma divaricata* (palo prieto), con 10 años de establecidas en dos tipos de manejo (podas de rejuvenecimiento y formación)
- Determinar la calidad de forraje de cuatro árboles forrajeros nativos del semiárido mexicano: *Prosopis laevigata* (mezquite), *Acacia pennatula* (tepame), *Acacia constricta* (mezquitillo), *Lysiloma divaricata* (palo prieto), con 10 años de establecidas en dos tipos de manejo (podas de rejuvenecimiento y formación)

4. Hipótesis

El rendimiento de forraje producido de las cuatro especies nativas en estudio, es menor cuando se aplica la poda de rejuvenecimiento.

La calidad forrajera de las cuatro especies nativas en estudio, es una alternativa viable, para mejorar la alimentación animal.

5. Revisión de literatura

5.1. Comunidades vegetales de zonas áridas y semiáridas

La vegetación de zonas áridas y semiáridas presenta grandes variaciones. Predominan las formas de vida arbustiva, con plantas bajas, leñosas y muy ramificadas desde la base; su composición florística varía de acuerdo con las características microclimáticas, topográficas, sustrato geológico y condiciones edáficas de las diversas localidades. Los tipos de vegetación forestal, con predominio de árboles y/o arbustos, que se presentan en dichas zonas, según la SEMARNAP (2000) son:

1.-Matorrales, con predominio de arbustos, que alternan con algunos árboles: mezquitales y huizachales.

2.-Matorrales, formados por comunidades arbustivas (Matorral desértico micrófilo, Submontano, Espinoso y Xerófilo).

5.2. Definición de agroforestería

Agroforestería es un nombre colectivo para los sistemas de uso de la tierra, en los cuales especies leñosas perennes (árboles y arbustos) son cultivadas en asociación con plantas herbáceas (cultivos, pasturas), dando lugar a interacciones ecológicas y económicas entre los componentes arbóreos y no arbóreos del sistema (Young, 1989).

La agroforestería se puede considerar como la combinación multidisciplinaria de diversas técnicas ecológicamente viables, que implican el manejo de árboles o arbustos, cultivos alimenticios y/o animales en forma simultánea o secuencial, garantizando a largo plazo una productividad aceptable y aplicando prácticas de manejo compatibles con las habituales de la población local (Musálem, 2001).

Se trata del uso de una serie de técnicas que combinan la agronomía, la silvicultura y la zootecnia para lograr un adecuado manejo del conjunto y las interdependencias entre cada uno de sus elementos (CONAFOR, 2007).

Se fundamenta en principios y formas de cultivar la tierra basado en mecanismos variables y flexibles en concordancia con objetivos y planificaciones, permitiendo al agricultor diversificar la producción en sus fincas o terrenos, obteniendo en forma asociativa madera, leña, frutos, plantas medicinales, forrajes y otros productos agrícolas (Ramírez, 2005).

5.3. Clasificación de los sistemas agroforestales

Dentro de los sistemas agroforestales hay solo tres componentes básicos que son manejados por el hombre (árboles y arbustos, plantas herbáceas y animales) en

estrecha relación con el suelo. Nair (1993) planteó que según la forma en que se estructuran estos componentes se pueden clasificar en tres grupos: Sistemas Agrosilvícolas, Sistema Agrosilvopastoriles y Sistemas Silvopastoriles.

5.4. Sistemas silvopastoriles

Los Sistemas Silvopastoriles son aquellos en donde se desarrollan, de forma armónica, los arboles y arbustos, los pastos y los animales y se tiene presente su interacción y una estrecha relación con el uso del suelo. Es decir, los Sistemas Silvopastoriles constituyen, desde el punto de vista productivo, económico y ecológico una de las modalidades más prometedoras de los sistemas agroforestales.

Así, un Sistema Silvopastoril es una opción de producción pecuaria donde las leñosas perennes interactúan con los componentes tradicionales (forrajes, herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral (Ibrahim, 2009)

Un Sistema Silvopastoril es aquel uso de la tierra y tecnologías en que las leñosas perennes (árboles, arbustos, palmas, y otros) son deliberadamente combinados en la misma unidad de manejo con plantas herbáceas (cultivos, pasturas) y/o animales, incluso en la misma forma de arreglo espacial o secuencia temporal, y en que hay interacciones tanto ecológicas como económicas entre los diferentes componentes (Young, 1989).

5.5. Tecnologías de los sistemas silvopastoriles

Las tecnologías silvopastoriles más utilizados en México son: pastoreo en plantaciones forestales, asociación de árboles dispersos en los potreros, pasturas en callejones cercas vivas, bancos de proteína (Román, 1997).

Pastoreo en áreas forestales

Para este modelo, se utilizan terrenos con cultivos ya establecidos de especies forestales, la finalidad puede ser la producción de madera, leña, frutas, sombra y carbón, en donde son incluidos animales para pastorear, los cuales consumen los zacates y otras hierbas que crecen bajo estrato arbóreo.

Al respecto, Bustamante y Romero (1996) indicaron que el principal objetivo de este sistema consiste en obtener algunos de los productos antes mencionados y reducir riesgos de incendio. Como objetivo secundario, se tienen ingresos económicos a corto plazo con la producción ganadera.

En países como Costa Rica, se tienen pasturas en áreas de bosque, con especies maderables como *Cordia alliodora*, *Cedrella odorata* y *Guaream sp.*, combinadas con leguminosas como *Gliricidia sepium* y *Erythina spp.* (Pezo e Ibrahim, 1996).

Asociación de árboles dispersos en los potreros

En esta combinación, las especies arbóreas y arbustivas están dispersas en toda la superficie o área de pastoreo, el objetivo principal es la producción ganadera y el secundario aportar bienes y servicios en apoyo de la ganadería, tales como madera

para postes vivos y la construcción de áreas de manejo y guarnición; así como sombra, fijación de nitrógeno y materia orgánica para el suelo (Krishnamurthy *et al.*, 2003).

Los animales consumen zacates y otras hierbas de hoja ancha, aunque también ramonean el follaje, las flores y los frutos de los árboles. Esta forma de alimentación es común en zonas tropicales y subtropicales, por la presencia de árboles nativos con potencial forrajero en los potreros. Algunos de ellos son: el ramón (*Brosimum alicastrum*), el mata ratón (*Gliricidia sepium*) y el guaje (*Leucaena leucocephala*) (Ojeda, 1996).

Cercas vivas

El objetivo principal de los cercos vivos es el de impedir el paso de los animales y/o personas, delimitar las propiedades, proveer servicios como sombra para animales, control de erosión, diversidad paisajista, refugio y alimento para avifauna y productos tales como forraje de corte, frutas, abonos verdes, madera y leña (Ospina, 2003).

Román y Palma (1996) señalan que las especies para cercos vivos deben reunir características como: gran crecimiento, facilidad de reproducción vegetativa, rapidez en el rebrote después de la poda, capacidad para la formación de una cerca densa, ausencia de problemas graves de plagas y enfermedades, además de proporcionar otros beneficios como leña, madera y follaje.

Un aspecto importante en el uso de los cercos vivos, como fuente de forraje, en el trópico subhúmedo y seco es que, cuando más se necesita el follaje rico en proteína (periodo seco), varias de las leguminosas arbóreas utilizadas pierden parte o todas sus

hojas. Las distancias de siembra entre postes vivos oscila de 0.75 a 2.5 m, en función de la especie seleccionada, disponibilidad de material vegetal y tipo de suelo (Cordero, 1995).

Bancos de Proteína

Milera (1992) definió a un banco de proteína como la utilización de 20 a 30% del área total disponible en un rancho ganadero, ocupadas por leguminosas puras o asociadas con gramíneas, donde las leguminosas constituyen la principal fuente de proteína en la explotación ganadera.

Para el establecimiento del banco de proteína se deben considerar los siguientes aspectos: suelos que no retengan la humedad ni provoquen encharcamiento, preparar el suelo de acuerdo al tipo de pasto establecido donde se va a introducir la leguminosa, que el área de banco esté cerca de las instalaciones, disponer de la semilla necesaria y el inóculo o cepa específica para la especie y tener una buena división de potreros del área a establecer (Milera, 1992).

En un banco de proteína, el ganado tiene acceso controlado o restringido al banco, en el primer caso no existe línea divisoria entre la gramínea y la leguminosa, mientras que en el segundo caso el pastoreo de la leguminosa se reduce a tan solo unas horas al día (Ugarte, 1996). Por otra parte, Jordain (1992), señaló que los bancos de proteína, permiten un manejo diferenciado para las leguminosas, asegurando su persistencia junto con la gramínea. Al respecto, Corbea (1994) indicó, que la manera más eficaz de mantener la estabilidad en una asociación, es el empleo de leguminosas arbóreas y

arbustivas, solas o combinadas con leguminosas herbáceas, las cuales han mostrado resultados satisfactorios, al aumentar la producción de leche y carne.

El uso de la leucaena en las explotaciones de bovinos de carne representa mayores incrementos en la producción, así, Castillo *et al.* (1989) señalaron que la producción de carne bovina en pastizal de zacate guinea (*Panicum máximum*) asociado con *Leucaena leucocephala*, a libre acceso al banco, las ganancias diarias de peso en el sistema silvopastoril fueron significativamente mayores que en el de zacate guinea en monocultivo. En otro estudio, donde la *Leucaena* se sembró asociado con pastos nativos, permitió ganancias individuales de $715 \text{ g}^{-1} \text{ animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en la engorda inicial de añejos de la raza cebuina (Hernández *et al.*, 1986)

5.6. Contribución de los sistemas silvopastoreo a la fertilidad del suelo

La transformación de bosques en pastizales en áreas agrícolas del trópico americano no ha permitido mantener niveles adecuados de carbono orgánico en el suelo (COS) (Amézquita *et al.*, 2004). Sin embargo, la agroforestería ha demostrado mantener o incrementar potencialmente los niveles de COS, lo cual constituye una alternativa simple de cultivo sostenible. En esta línea, los resultados obtenidos en Costa Rica demostraron que los sistemas de cultivo acompañantes, durante 19 años ininterrumpidos, capturó mayor cantidad de CO₂ en la vegetación y recogió mayor cantidad de carbono en el suelo, con respecto al sistema con gramíneas solas. Esa mayor asimilación de COS en el sistema se debe a la mayor entrada de C procedente de los residuos de cosecha, así como a las hojas y a las ramas de los árboles (Oelbermann e Ibrahim, 2006).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) recogen grandes cantidades de C en el componente arbóreo. Así, Amézquita *et al.* (2004) encontraron que un Sistema Silvopastoril incrementó en la asimilación de C en los árboles, de 107 a 620 g en dos años. Además, los SSP son efectivos en secuestrar C en el suelo. También, Oelbermann *et al.* (2006) encontraron que, a los cuatro años de establecidos el SSP, el COS fue 6 % mayor que en el pastizal en monocultivo. Estos resultados demostraron que los sistemas agroforestales tienen potencial para capturar C y disminuir el CO₂ atmosférico.

Giraldo *et al.* (2006) investigaron la captura de C en los diferentes compartimientos de un SSP de *Acacia mangium* asociado con *Brachiaria dyctioneura*, con dos densidades de árboles (baja densidad = 100 y alta densidad = 169 árboles/ha), y encontraron que la cantidad de C en los árboles, las pasturas y el suelo ascendió a 65.50 y 70.59 t ha⁻¹año⁻¹, para las altas (AD) y bajas densidades (BD) respectivamente, mientras que en los potreros sin árboles fue solamente de 38.07 t de C ha⁻¹, con la inclusión de pastizales y suelo; después de seis años de investigación, el flujo de C por medio de las heces fue de 0.24, 0.21 y 0.21 t UA·ha⁻¹ año⁻¹ en AD, BD y pastizal sin árbol, respectivamente

Las investigaciones de Xavier *et al.* (2003) demostraron también que las características químicas del suelo se alteraron por la sombra que proyectaban los árboles, en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm. Mientras que Machecha *et al.* (1999) encontraron cambios positivos en las propiedades químicas del suelo, con excepción del pH de Mg intercambiable en las áreas arboladas.

5.7. Árboles y arbustos forrajeros

Los árboles y arbustos son fuente importante de alimento para la ganadería y la fauna silvestre, principalmente durante la época seca, cuando el valor forrajero de las hojas y frutos de estas especies es muchas veces superior a las plantas herbáceas particularmente si nos referimos a leguminosas (Baumer, 1992). Asimismo proporcionan otros beneficios adicionales, entre ellos; el que sus raíces facilitan la infiltración del agua de lluvia hacia los mantos freáticos; de contribuir con la formación y fijación de suelos; de mejorar la fertilidad del suelo; por los compuestos nitrogenados que se forman en las raíces de muchas especies o bien por la descomposición que sufre ramas, hojas, flores y frutos al formar el mantillo, que más tarde se convierte en suelo vegetal (Crespo *et al.*, 1995)

Frías *et al.* (1995) mencionaron la importancia que tiene el mezquite *Prosopis laevigata*, al norte del estado de Guanajuato, donde una de las actividades en la explotación de los recursos naturales lo constituye la recolección de leña con fines energético-doméstico, así mismo, se reconoce su papel en la producción de forraje y madera, importante también en la producción apícola y componente del equilibrio ecológico (formación y retención del suelo, ciclo hidrológico, hábitat de especies vegetales y animales) entre otros.

Otro uso de los árboles y arbustos, de especial importancia para países como México, lo constituye la vegetación nectífera y polinífera que es aprovechada por la apicultura para la generación de recursos económicos a los productores. Por su gran diversidad florística, México ocupa el 5° lugar mundial como el productor de miel y el 3° como

exportador, dependiendo de esta actividad más de 40 mil productores y sus familias (Villegas *et al.*, 2000).

Los árboles y arbustos forrajeros son una opción en el complemento de alimento para animales en pastoreo durante la época de seca, periodo en la cual existe una escases de forraje en los agostaderos; con estas especies se pueden generar tecnologías silvopastoriles, de tal forma, que minimice la escases de alimento de los rumiantes en la temporada de secas.

5.7.1. Valor nutritivo de las arbóreas y arbustivas

Las partes ramoneables (hojas y yemas) de los árboles y arbustos forrajeros, perennifolios y caducifolios tienen un alto contenido de proteína cruda, carotenos (vitamina A), fosforo, alta digestibilidad de la materia seca y menor contenido de fibra que los zacates, el contenido de estos nutrimentos varía a través del año, debido a diferencias fenológicas, generalmente disminuye la cantidad de proteína y la digestibilidad de la materia seca, pero esta disminución es menos drástica comparada con los zacates (Esparza y Valencia, 1991).

Por otro lado, el follaje de árboles y arbustos, además de proporcionar proteína (14-30%), también provee vitaminas, carotenos, minerales y fibra. Así mismo, la degradabilidad ruminal de la proteína de los follajes es alta (65-80%), a excepción de plantas que tienen un porcentaje mayor de 4% de taninos, los cuales impiden la degradación de la proteína alimentaria en el rumen (Escobar, 1996). Otro factor importante en especies arbóreas forrajeras es la digestibilidad, la cual varía con el tipo

de animal. Baumer (1992) señaló que hojas y frutos de especies leñosas tienen más alto nivel de proteína digestible comparada con otras fuentes forrajeras.

Dicko y Sikena (1992a) señalaron que las características principales de las plantas de ramoneo son su alto contenido de proteína, nitrógeno soluble, vitaminas y minerales. La concentración de proteína cruda en las hojas y frutos de la mayoría de los árboles y arbustos forrajeros es mayor del 10%, aun durante la época de seca, cuando tiende a decrecer. Generalmente el contenido de calcio y potasio es más alto que los demás minerales. Asimismo mencionaron que existe variación en el contenido de proteína cruda entre especies de árboles y arbustos y entre las partes de una misma planta, siendo esta variación entre 6 a 23% en materia seca (MS). En forma general, las hojas contienen mayor cantidad de proteína que los tallos y frutos; las especies leguminosas presentan de un 25% a 50% más de proteína que las especies no leguminosas, también hay variación en la época del año y a factores ambientales como el fuego; respecto al contenido de proteínas A, B y C, se presentan en forma variada en hojas, frutos y semillas, el caroteno es generalmente mayor durante la etapa de crecimiento y declina rápidamente en la madurez, excepto en especies perennifolias quienes lo retienen por periodos más largos (Dicko y Sikena, 1992b).

Zaragoza y Castrellón (1999) agregaron que las partes ramoneables (hojas y yemas) de los árboles y arbustos forrajeros perennifolios y caducifolios tienen un alto contenido de proteína cruda, carotenos (vitamina A), fosforo y digestibilidad de la materia seca y un bajo nivel de fibra, comparado con los zacates, además de tener una alta tasa de

degradación ruminal del material inmaduro del follaje ramoneable de los arboles contra el material inmaduro.

5.7.2. Factores antinutricionales de las arbóreas

Los árboles y arbustos pueden contener altos niveles de compuestos defensivos que los hacen no palatables o dañinos para el ganado cuando son consumidos en grandes cantidades (Smith, 1992).

Esta es una desventaja que limita el consumo de arbóreas, principalmente de especies leguminosas. Al respecto, D'Mello (1992) mencionó que en los trópicos las leguminosas de ramoneo y de grano constituyen un buen potencial para mejorar la productividad animal, sin embargo, su uso es limitado por agentes antinutricionales como los taninos, presentes en muchas especies de ramoneo, no obstante, algunas veces estos compuestos fenólicos se consideran benéficos, al evitar una alta degradación de proteína en el rumen, sin embargo, en algunos casos los taninos pueden ocasionar problemas de toxicidad en todo tipo de ganado incluyendo rumiantes

Los factores antinutricionales de las plantas, pueden ser definidos como metabolitos secundarios que interfieren con la utilización del alimento, afectando la salud y la producción animal. Éstos, según Makkar (1993), pueden ser divididos en tres grupos:

- o Los que impiden la utilización de la proteína y deprimen la digestión como los inhibidores de proteasas, los taninos (fenoles), las saponinas, las lectinas, entre otros.

- o Los captadores de iones metabólicos: oxalatos, fitatos, gossipol, glucocinolatos, entre otros.
- o Las antivitaminas y otros, como las micotoxinas, cianogénicos, nitratos, alcaloides y agentes fotosensibilizadores.

Por su parte Dicko y Sikená, (1992b) señalaron que estas sustancias presentan limitantes en el consumo y productividad de los animales y aún causan toxicidad con niveles altos de ingestión. Los taninos están relacionados con un gran número de compuestos fenólicos, por otro lado, los taninos condensados tienen efectos positivos en la utilización del nitrógeno por la protección de la proteína de la degradación microbial.

El valor nutritivo del forraje está determinado por su habilidad de proveer gran cantidad de nutrimentos requeridos por los animales para su mantenimiento, crecimiento y reproducción. Está relacionado también con la absorción, digestibilidad, composición química y presencia y ausencia de factores anti-nutritivos, esto varía dentro de las especies, lo que ocurre debido a las diferencias entre las partes de la planta, edad de los tejidos y condiciones climáticas y edáficas en que las plantas crecen (Gutteridge y Shelton, 1994).

Los factores antinutricionales tienen un papel importante en la interacción planta-planta, planta-insecto, planta-herbívoro (mamíferos) y planta-microorganismos, estos productos naturales tienen múltiples efectos que van desde la inhibición de los procesos de crecimiento de las plantas vecinas, la germinación de las semillas, o bien, evitando la

acción herbívora de insectos y animales mayores hasta los efectos dañinos de bacterias, hongos y virus, resultando fundamentales en los sistemas de defensa de las plantas (Estrada, 1989).

Las leguminosas presentan taninos condensados, los cuales pueden influir en el valor nutritivo de follaje al modificar su digestibilidad, reducir, el consumo voluntario y en el animal ya que pueden causar efectos sistémicos como alteraciones fisiológicas, efectos tóxicos e incrementar los requerimientos de energía. No obstante, los taninos condensados resaltan por su importancia para aprovechar con mayor eficacia la proteína de la dieta en rumiantes (Reed, 1995).

Una de las características más importantes en el uso de especies arbóreas es su elevado valor nutritivo, principalmente si nos referimos a especies leguminosas, sin embargo, existen otros factores que limitan el consumo y esos son los factores antinutricionales. Una de las especies más utilizadas en la producción animal es la leucaena (*Leucaena leucocephala*), la cual contribuye en forma importante al incremento en la producción pecuaria, sin embargo estudios realizados por Perdaza y García (1995), demostraron que tanto el follaje integral como la hoja, contiene lactona, triterpenos y/o esteroides, quinonas, taninos, flavonoides y saponinas, compuestos que son dañinos para el animal.

5.7.3. Producción de forraje de especies arbóreas

Tradicionalmente se utiliza el follaje de especies arbóreas para alimento del ganado, sea éste en ramoneo o bien aprovechando hojas y frutos que caen durante la época de seca, así como en sistema de corte y acareo.

Por otro lado, las arbóreas generalmente se encuentran en forma nativa en los potreros, su contribución en la alimentación animal es adicional al forraje producido por especies herbáceas nativas o introducidas, sean estas leguminosas o gramíneas.

Medina *et al.* (1994) Realizaron un estudio preliminar de la producción de biomasa de varias especies leñosas entre ellas el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carbón blanco (*Acacia pennatula*) y nacascolo (*Caesalpinia coriaria*), donde el guácimo resistió a la poda, produciendo 10 kg MS árbol⁻¹año⁻¹ de biomasa, en comparación con la *Acacia pennatula* y *Caesalpinia coriaria* que produjeron 3.9 y 3.3 kg MS árbol⁻¹año⁻¹, respectivamente.

5.7.4. Especies arbóreas y arbustivas en la alimentación animal

El uso de follajes de árboles y arbustos en la alimentación de rumiantes es una práctica conocida desde la antigüedad, la cual se realiza en la mayor parte del planeta; sin embargo, el manejo integral del recurso y el conocimientos de las características nutricionales de estas especies se remonta a años recientes y a países localizados en los trópicos, los cuales tienen una gran diversidad de especies con posibilidad de ser incorporadas en el sistema de producción animal mediante tecnologías silvopastoriles.

Muchas de estas especies son árboles multipropósito con los cuales pueden establecerse sistemas silvopastoriles, obteniendo otros beneficios como: cauchos, resinas, taninos, gomas y aceites; en los potreros se utilizan como cercas vivas y cortinas rompevientos; para la fabricación de artesanías, otro beneficio es el de eficientizar la fotosíntesis de las gramíneas de 4 a 5 veces más que cuando se encuentran en pleno sol, entre otros (Jaramillo, 1994).

Existe una gran cantidad de árboles y arbustos que se utilizan como fuente de alimento para animales domésticos en zonas áridas, semiáridas y tropicales, entre las destacan especies leguminosas, entre ellas *Acacia spp*, *Albizia spp*, *Leucaena spp*, *Eysenhardtia apolystachya*, *Gliricidia sepium*, *Erythrina spp*, *Prosopis juliflora*, *P. laevigata*, *Calliandra spp*, *Pithecellobium spp* y *Caesalpinia spp* entre otras (Zaragoza y Castrellón, 1999).

Según Holechek *et al.* (1989) los arbustos tienen mayor tasa de digestión que los zacates debido a diferencias en sus constituyentes de la pared celular, resistentes a la degradación por los microorganismos del rumen, por otra parte Arthun *et al.* (1992) mencionaron que esta diferencia consiste en la cantidad de contenido celular a favor de los arbustos.

Los animales consumen 15 a 25% de forraje de arbóreas en invierno y hasta 60% en verano como regla general (Botero y Botero, 1996). Al respecto, Guevara (1998) señaló el consumo de especies leñosas en zonas áridas de Mendoza, Argentina, indicando que el ramoneo durante la época de lluvias fue únicamente de un 10% para las especies leñosas, incrementándose al inicio de periodo de lluvias de un 31 hasta un 49% durante la época seca, los bovinos prefieren consumir pastos, pero a medida que estos maduran la preferencia de la dieta se concentra en especies leñosas.

5.8. Las leguminosas

Las leguminosas constituyen una de las más extensas familias del reino vegetal. Gutteridge y Shelton (1994) señalaron que es el tercer grupo de plantas con flor arriba con 18,000 especies y 650 géneros. Por su parte Rzedowski y Calderón (1997) indicaron que esta familia está representada a nivel mundial con alrededor de 550

géneros y unas 12,000 a 17,000 especies con distribución cosmopolita principalmente en las regiones cálidas y templadas. La mayoría de sus componentes son utilizados por el hombre desde la antigüedad hasta nuestros días, ya sea en forma directa, constituyendo la base de su alimentación al consumir frutos, semillas, hojas y flores o bien en forma indirecta, aprovechando los múltiples usos que de ellos se obtienen. Asimismo, Chongo y Galindo (1995) señalaron que una de las principales características de las leguminosas es su elevado contenido de proteína, además de la presencia de carbohidratos, fibra y minerales (calcio, fósforo, hierro potasio, etc.) y su riqueza en vitaminas (complejo B, retinol), así como la presencia de compuestos lipídicos.

En México las leguminosas es una de las familias que ocupa el segundo lugar en número de especies, después de la familia de las compositae, con 26 tribus, 135 géneros y 1,724 especies. Estas plantas se presentan en todo el país y en todo los hábitats, siendo más numerosos en las áreas tropicales, principalmente en los estados de Oaxaca y Chiapas (Sousa y Delgado, 1993).

5.8.1. Descripción general de las leguminosas

Rzedowski y Calderón (1997), mencionaron que la familia de las leguminosas está compuesta por árboles, arbustos o plantas herbáceas, a veces trepadoras, en ocasiones espinosas, glabras o con variados tipos de pubescencia; hojas alternas comúnmente pecioladas y provistas de estípulas, lámina por lo general compuestas; pinnadas, bipinnadas, digitadas, trifoliadas pocas veces unifoliadas, simple o ausente; flores solitarias o dispuestas en racimos axilares o terminales, a veces agrupadas en

fascículos, cabezuelas, umbelas o panículas, por lo general provistas de brácteas y/o bractéolas, flores hermafroditas, sigomórficas o en mimosoidea actimórficas; sépalo 5, libres o unidos en su parte inferior; pétalos casi siempre 5 comúnmente libres, a veces unidos formando un tubo, o bien 3 libres y los inferiores cónados entre sí, estambres típicamente 10 o numerosos; el fruto es variable pero típicamente en forma de legumbre o vaina, seco, dehiscente mediante ambas saturas, otras veces indehiscentes o fragmentándose transversalmente, semillas de una a numerosas, de testa dura, endospermo por lo común ausente o escaso.

Entre las leguminosas se cuenta con especies de gran importancia económica: alimenticias, medicinales, forrajes, empleadas a manera de abono verde, maderables, ornamentales, a la vez que otras conocidas como tóxicas, espinosas o malezas invasoras (Rzedowski y Calderón, 1997).

El principal valor de las leguminosas arbóreas están en su alto contenido de proteína, reciclado de nutrientes, incorporación de materia orgánica al suelo y su contribución a la biodiversidad (Clavero, 1996).

5.8.2. Importancia de las leguminosas arbóreas forrajeras

Los árboles y arbustos de la familia *Leguminosae*, están representadas en gran variedad de tipos de vegetación, los cuales son utilizados desde la antigüedad por su versatilidad y naturaleza de ser multipropósito (Clavero, 1996).

Los principales géneros de arbustivas que tienen importancia en el trópico americano son: *Acacia*, *Aeschynomena*, *Crotalaria*, *Albizia*, *Erythrina*, *Bahuinia*, *Cassia*, *Gliricidia*,

Lablab, Leucaena, Lonchocarpus, Sophora, Calliandra, Pithecellobium, Pongamia, Psocphocarpus, Pterocarpus, Prosopis, entre otros (Jordan, 1991).

Las leguminosas presentan una excelente composición química, con un nivel de proteína hasta de 34% en muchas de ellas. La solubilidad, la degradabilidad de la proteína y el comportamiento digestivo, el cual varía según el tipo de animal que lo consuma, las hace atractivas como fuente de alimento complementario en áreas tropicales (Simón, 1996).

En zonas tropicales y subtropicales existen especies de árboles multipropósito como son la *Leucaena, Gliricidia* y *Acacia*, arboles leguminosos, introducidos en muchos países principalmente, para controlar la erosión o para la alimentación del ganado (Milera y Iglesias, 1996).

5.8.3. El uso y manejo de árboles y arbustos leguminosos en sistemas silvopastoriles

Hasta hace muy poco tiempo los árboles leguminosos fueron desestimados por los investigadores debido a que su utilización y manejo se limitaba a las disciplinas forestales y de agronomía de pasturas. En la actualidad, el interés de los investigadores se incrementó debido a sus múltiples usos y a otras características que las distinguen de las leguminosas herbáceas (Gutteridge y Shelton, 1994).

Las características nutricionales y de producción de biomasa de muchas especies leñosas pueden permitir su integración ventajosa en los sistemas silvopastoriles. En la ganadería, estas especies pueden contribuir a mejorar la calidad de la dieta de los

animales y a satisfacer la demanda de alimento en la época de sequía. Por otro lado, gracias a un sistema radicular más desarrollado que el de las forrajeras de piso, estas plantas podrían constituir un medio para promover el movimiento de nutrientes desde las capas inferiores del suelo a las capas superiores y a disminuir la pérdida de suelo por erosión (Araya *et al.*, 1994).

Las hojas, tallos tiernos y legumbres forman parte de la dieta de muchas especies de rumiantes y han sido usados tradicionalmente como fuente de forraje de los animales domésticos en Asia, África y el Pacífico (Skerman, 1977). Aunque no todos los árboles forrajeros son leguminosos se reporta que existen más de 200 especies usadas como forraje, cuyo origen puede ser de las regiones tropicales o subtropicales (Brewbaker, 1986).

El manejo de los arboles y arbustos, en los sistemas silvopastoriles con pastoreo animal directo, debe estar encaminado a lograr una aceptable productividad y crecimiento ya que si no se controlan adecuadamente, las plantas se pueden convertir en arboles y la parte foliar no estará al alcance de los animales, además de afectar el crecimiento de las gramíneas asociadas.

5.8.4. Producción de biomasa

En los sistemas silvopastoriles la producción total de biomasa es usualmente mayor que en el monocultivo. Giraldo y Vélez (2006) señalaron que la producción de biomasa de estos sistemas dependerá entre otros factores, de las especies seleccionadas, de la densidad del componente arbóreo, del arreglo espacial y del manejo aplicado al sistema.

Investigaciones hechas en Cuba, sobre la producción de biomasa en sistemas con árboles indicaron que el nivel de competencia por agua, luz nutrientes, es un elemento importante a tener en cuenta en el manejo de los pastizales para lograr la estabilidad de los componentes vegetales del mismo, que se refleja en la composición botánica y otras expresiones biológicas como el rendimiento y el crecimiento.

En Colombia, Molina *et al.* (2001) informaron que un sistema de *L. leucocephala* y *Prosopis juliflora* con *Cynodon plectostachyus*, sin fertilización química, produjo 30 toneladas de MS ha⁻¹Año⁻¹ en comparación con el pasto (*Cynodon plectostachyus*) sin asociar y fertilizado con 400 Kg/ha/año de urea, que fue de 23.3 toneladas de MS ha⁻¹año⁻¹.

Los trabajos realizados por Acciaresi *et al.* (1994), para evaluar diferentes densidades arbóreas (625, 416, 312, 250 y 0 árboles/ha) en la producción forrajera, encontraron que la penetración de la luz disminuyó al aumentar la densidad de árboles. Estos autores concluyeron que la calidad y la cantidad de la radiación solar fue aparentemente el principal factor limitante en el crecimiento del pasto.

5.8.5. Efecto de la poda en la producción de biomasa

En los sistemas de pastoreo, la poda se realizará cuando las plantas sobrepasan la altura de ramoneo y la misma se efectuará de forma escalonada, en dependencia de la población de árboles que se haya logrado y del número de animales existentes en el predio.

El momento de la poda en los sistemas de pastoreo con árboles y arbustos forrajeros debe llevarse a cabo según el objetivo que se persiga en las diferentes etapas del desarrollo evolutivo del sistema. Por ejemplo si se desea aumentar la disponibilidad de forraje por animal/día durante el periodo poco lluvioso esta actividad debe ser realizada al final del periodo lluvioso o al inicio del periodo poco lluvioso; mientras que si el objetivo es obtener una rápida recuperación de las plantas podadas, la poda se realiza al inicio del periodo lluvioso, cuando existen las mejores condiciones climáticas para expresar la mayor tasa de crecimiento.

Con este mismo objetivo Hernández *et al.* (1987) plantearon que la mejor época de poda de *Leucaena* es la segunda mitad del periodo seco (Marzo-Mayo) que permitió aumentar la disponibilidad de forraje por animal/día en 0.40 kg en el periodo de mayor escasez de pasto. En estas estrategias de poda, a diferencia de las que se realizan al inicio del periodo lluvioso, los animales tienen acceso solamente al material podado y no realizan un consumo directo de los rebrotes de las plantas podadas, ya que si esto ocurriera puede provocar una alta competencia entre los componentes vegetales del sistema y una alta mortalidad de los árboles podados.

En el caso de las plantas caducifolias como *Albizia lebbek* y *Gliricidia sepium* la poda debe efectuarse en los meses de Octubre-noviembre para interrumpir la floración y que pueda continuar emitiendo follaje, lo que permite aumentar la disponibilidad de biomasa en los meses de mayor déficit de pastos en el periodo poco lluvioso (Simón *et al.*, 1995).

Otro elemento relacionado directamente a esta actividad y que influye tanto en la productividad como en la persistencia de las plantas, es la altura de poda. Ruiz y Febles (2001) plantearon que en los sistemas con leucaena en el 100% del área la leguminosa debe ser podada a una altura no mayor a 50 cm a partir del suelo ya que de esta forma se prolonga el comienzo de la próxima labor de poda, en unión de otros factores del manejo como son: el % de defoliación, el tiempo de descanso y el tipo de pasto herbáceo. Otros trabajos evaluaron el efecto de tres altura de poda (40, 100 y 150 cm) en la producción de biomasa comestible de *L. leucocephala* y *A. lebbbeck* obteniéndose en ambas especies las mayores producciones en la altura de 150 cm con 6750 y 5300 Kg de MS/ha en dos cortes respectivamente (Francisco *et al.*, 1996).

5.9. Componentes que influyen en la digestibilidad del forraje de las arbustivas

La cantidad de material foliar consumido por herbívoros depende de una diversidad de factores intrínsecos de la especie animal y vegetal. Los forrajes son usualmente fibrosos y por lo general contiene taninos, aceites esenciales u otros componentes que disminuyen la palatabilidad (Jones, 1987). Diversos factores están implicados en el efecto que presentan los microorganismos del rumen al digerir o colonizar el material vegetal que consume el animal. Por ejemplo, la configuración de la pared celular o fibra, influye positiva o negativamente en el proceso de digestión de las especies rumiantes (Larbi *et al.*, 1996).

El valor nutritivo de los forrajes se estima al analizar su contenido de Materia Seca (MS), Cenizas (CEN), Materia Orgánica (MO), Proteína Cruda (PC), Fibra de Detergente Acido (FNA), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Cruda (FC) y Extracto

Etéreo (EE). Estas variables nutricionales son las más importantes para determinar si un forraje cumple con los requerimientos nutricionales para los animales (Bogdan, 1977).

Materia seca (MS)

La materia seca de los alimentos están constituidas por una fracción orgánica y otra inorgánica (AOAC, 1990). Se denomina humedad a la cantidad de agua libre y combinada que contiene un alimento, expresado sobre el porcentaje del alimento fresco, y consiste en provocar la evaporación del agua presente en el mismo. El contenido de humedad de una muestra se determinada por la pérdida de peso que se experimenta al desecarse en horno de aire forzado a una temperatura entre $100\pm 1^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar peso constante, esto sucede en aproximadamente 24 horas (Jarrige, 1990). El complemento a 100% de la humedad se denomina materia seca.

Materia Orgánica (MO)

Los compuestos químicos de un alimento se dividen en materia orgánica e inorgánica. Los que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, lípidos, ácidos nucleicos y vitaminas, son clasificados como orgánicos. Los compuestos inorgánicos o minerales son los demás elementos químicos que tiene un forraje; de los más importantes son el calcio y e fósforo. La determinación del componente orgánico consiste en la oxidación de la MO contenida en la muestra, sometiéndola a una combustión a 550°C . La MO se volatiliza y el material restante que queda de color blanquecino en forma de ceniza, que son los componentes inorgánicos (AOAC, 1990). A esta temperatura, volatilizan todos

los componentes orgánicos al ser oxidados con dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, azufre y agua. Si se superan los 550°C en la combustión, se volatilizan algunos compuestos minerales, principalmente cloruros, lo que permitiría un error en la determinación; el complemento a 100% de las cenizas se llama materia orgánica. El contenido de cenizas sirve para evaluar el contenido de minerales y por diferencia el contenido de MO del alimento (Jerrige, 1990). En las plantas, el contenido de minerales varía entre 1 a 12%. Los forrajes usualmente contienen más minerales que las semillas o granos.

Contenido de cenizas (CEN)

Los elementos minerales, en conjunto, son determinados en el alimento o tejidos animales por la incineración de la materia orgánica: el residuo se pesa y es lo que se conoce como cenizas. Los elementos presentes en las cenizas pueden ser determinados, pero debe considerarse que un análisis de cenizas no aclara las combinaciones en que se encuentra un mineral determinado, ya sea en el tejido corporal o en el alimento. Cuando la materia orgánica se oxida, los minerales presentes en las combinaciones orgánicas se convierten en compuestos inorgánicos. Muchos de los minerales en el cuerpo actúan primariamente como combinaciones orgánicas o inorgánicas. También en el caso de los alimentos, la combinación es importante para comprobar la utilidad de ciertos elementos (Maynard *et al.*, 1981).

Ramírez *et al.* (1994), al evaluar el forraje de arbustivas del noreste de México durante las cuatro estaciones del año, reportan los siguientes promedios anuales de cenizas: *Acacia rigidula*, 7.5; *Acacia berlandieri*, 9.15; *Acacia farnesiana*, 7.43; *Acacia. greggi*,

10.65; *Cercidium macrum*, 9.95; *Porlieria angustifolia*, 16; *Celti pallida*, 22; *Leucaena leucocephala*, 8.98; *Leucophyllum texanum*, 8.3; *Desmanthus virgatus*, 13.35; *Cordia boissieri*, 13.75; *Condalia abovata*, 19.4; *Ziziphs obtusifolia*, 9.68 y *Prosopis glandulosa*, 9.88%. Marías (1997), reporta contenido de cenizas de 9.0 y 8.8% para el forraje de *Parquinsonia aculeata* y *Pithecellobium pallens*, respectivamente. Mientras que, Ramírez y García (1996), reportaron 10.6% de ceniza en el follaje de *Leucaena leucocephala* y 6.5% en *Acacia berlandieri*.

Proteína Cruda (PO)

La proteína es el principal constituyente de los tejidos activos, por lo tanto las hojas son más ricas en este nutriente que los tallos. Los henos de las leguminosas con muchas hojas siempre contienen más proteína que el heno de las gramíneas (Maynard *et al.*, 1981).

El método de Kjeldahl es la técnica estándar para determinar el contenido de nitrógeno (N) en un alimento. Se denomina proteína cruda, al contenido de N que se multiplica por el factor 6.25. En promedio todas las proteínas tienen 16% de N (Jarrige, 1990; AOAC, 1990). La determinación de N por Kjeldahl es la transformación de todo el N del alimento, orgánico e inorgánico, en sulfato amoniacado (nitrógeno inorgánico) mediante la digestión de un gramo de muestra con 10 ml de una mezcla de ácido sulfúrico/ ácido fosfórico, 6 ml de agua oxigenada (acelera el peso de mineralización) y en presencia de un catalizador. El proceso se lleva a cabo en un digestor a una temperatura de 400°C durante 3 horas. En la digestión, el resto de la MO se descompone hasta la formación de dióxido de carbono y agua. Posteriormente, en la unidad de destilación y valoración,

el sulfato amónico es transformado en amoniaco y sulfato sódico por la adición de hidróxido sódico 1 por 100 (25 ml), como indicador de calor, donde se forma el borato amónico que es valorado con una solución de ácido clorhídrico (0.1-0.2N).

Fibra Cruda (FC)

La fibra es uno de los constituyentes más importantes de los forrajes ya que los rumiantes pueden aprovecharla parcialmente. Esta fracción que dada en exceso puede limitar el consumo de forraje y su degradación, y por lo tanto, este efecto se ve reflejado en la productividad del animal. La estimación del contenido de pared celular de forrajes es importante, debido a que está altamente relacionado con la digestibilidad de la MO. La pared celular es más o menos digerida por los rumiantes dependiendo del tejido del forraje, mientras que el contenido celular es teóricamente digerido totalmente (Revendin, 1995).

Van Soest y Wine (1968) desarrollaron el sistema de detergente que trata de separar de forma rápida y simple el material vegetal usando dos tipos de detergentes, uno en medio neutro, el sulfato de lauril sódico, y otro, en medio ácido, el bromuro de cetil trimetil amonio.

Fibra Detergente Ácido (FDA)

La fibra detergente ácido (FDA) es el residuo libre de cenizas que queda al tratar la muestra de material vegetal con solución ácido detergente, la cual disuelve las fracciones celulares, como la hemicelulosa y los minerales solubles, con lo se deriva de un residuo formado por celulosa, lignina, cenizas insolubles y proteína ligada a la pared

celular (AOAC, 1990). El procedimiento para estimar FDA provee un método rápido para determinar lignina y celulosa en alimentos, por lo tanto, la diferencia entre los constituyentes de paredes celulares y la FDA es un estimador de la hemicelulosa obtenida por diferencia entre fibra detergente neutra FDN y FDA (Van Soest y Wine, 1968, Van Soest *et al.*, 1991). La determinación de la FDA es especialmente útil en el caso de los forrajes, ya que existe una buena correlación estadística entre ella y la digestibilidad (McDonald *et al.*, 1999).

Fibra Detergente Neutro (FDN)

La fibra detergente neutro es el residuo libre de cenizas que queda al tratar la muestra vegetal con solución neutro detergente, que disuelve las pectinas de la pared celular fácilmente digestibles, y los solubles celulares (proteínas, azúcares y lípidos), resultando un residuo que representa el contenido en paredes celulares (celulosa, hemicelulosa y lignina) (Van Soest *et al.*, 1991). La FDN es considerada como uno de los factores más importantes que afecta el uso del forraje ya que constituye la mayor fracción de MS, y se relaciona con el consumo y la degradación ruminal del alimento ingerido. Un incremento en la concentración de materia seca indigestible ocasiona una reducción en la tasa de paso y una restricción física que limita el consumo de MS (Kawas, 1998).

Extracto Etéreo (EE)

Es un estimador de la fracción lipídica del alimento, aunque incluye otras sustancias no lipídicas como vitaminas liposolubles (A; D; E, K), algunos pigmentos y ciertas

hormonas. La determinación se realiza mediante un extractor denominado Soxhlet (AOAC 1990).

5.10. Clasificación taxonómica y distribución ecológica de las especies en estudio

La clasificación taxonómica de las especies en estudio se basó en la propuesta por Cronquist (Jones, 1987):

Prosopis laevigata (Humboldt et Barpland ex Willd.)

Clasificación taxonómica

División	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Angiospermas</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Género	<i>Prosopis</i>
Especie	<i>Prosopis Laevigata</i>

Nombres comunes registrados en la zona: huizache, mezquite.

Nombres comunes registrados fuera de la zona de estudio: ut'u, utub, utuh (lengua huasteca).

Descripción botánica

Es un arbusto o árbol leñoso de copa redonda y aplanada, cuyo tallo se ramifica a baja altura, en ocasiones al nivel del suelo. Alcanza hasta 12 a 14 m de altura. La madera es dura y pesada, en el centro es café o negra, muy durable por su dureza y consistencia; presenta flores en racimos de 4 a 10 cm de largo, color blanco verdoso, vainas rectas o ligeramente curvas de 7 a 20 cm de largo por 8 a 15 mm de ancho, color amarillento a rojizo, con semillas lisas color café claro de 8 a 10 mm de largo. Sus hojas son compuestas de uno a dos pares, pinnadas con 20 a 40 folíolos de 5 a 10 mm de largo, color verde pálido o grisáceo. La raíz es profunda y las ramas presentan espinas laterales (Cedillo y Mayoral, 1997).

El crecimiento se encuentra íntimamente relacionado con la profundidad del suelo y la disponibilidad de agua en el subsuelo. Por tal motivo, los ejemplares que alcanzan mayor altura y grosor del fuste, se localizan en valles con suelos profundos, así como en los márgenes de ríos y arroyos, alrededor de los cuerpos de agua y en sectores con drenaje de los escasos escurrimientos en zonas áridas y semiáridas. La especie se desarrolla en zonas templadas, áridas y semiáridas, donde son muy comunes las temperaturas extremas, las cuales varían entre 0° y hasta 48°C, las precipitaciones son escasas y en algunas ocasiones son inferiores a 100 mm. Prospera mejor en suelos arenosos profundos de buen drenaje.

Distribución geográfica

Planta abundante y a veces codominante en diversos tipos de matorrales xerófilos y pastizales, en terrenos planos, laderas, cañadas y lechos de ríos; se encuentra también en la vegetación secundaria derivada de otros tipos de vegetación, así como en sitios perturbados, como terrenos de cultivo, potreros y a la orilla de caminos, tanto en Guanajuato, como en Querétaro y Michoacán. Muchos autores piensan que el mezquital de *P. laevigata* cubría a manera de bosque espinoso bajo grandes extensiones de terrenos de suelo profundo, hoy convertidos en campos agrícolas, en la región correspondiente al Bajío. De tales bosques persisten solamente escasísimos fragmentos. Crece entre 1400 a 2200 m de altura, florece de febrero a julio y fructifica de abril a diciembre (Terrones, 2004).

Se distribuye de Texas hasta Chiapas. E.U.A.; N.L., Tamps., Dgo., Zac., Ags., S.L.P., Gto., Qro., Hgo., Jal., Mich., Méx., D.F., Mor., Pue., Ver., Gro., Oax. y Chis..

Es oriundo de regiones áridas y semiáridas del sur y sureste de los Estados Unidos y México. Es un árbol o arbusto que se encuentra en forma natural formando parte del matorral Espinoso o Selva baja espinosa subcaducifolia, así como en laderas riolíticas o en terrenos aluviales con vegetación muy alterada. Se localiza en el Altiplano potosino y Región media (Terrones, 2004).

Utilización en la alimentación animal.

El ganado a menudo corta las vainas del mezquite lo más alto que pueden alcanzar y/o se comen las que se encuentran tiradas en el suelo. Aunque las semillas tienen alta

concentración de proteínas, éstas son mayormente no digeribles, y muchas de ellas pasan intactas y enteras por el tracto digestivo de los grandes mamíferos, por lo que se recomienda triturar las vainas para obtener harina, de esta manera el animal se nutre del considerable contenido proteínico del endospermo de la semilla. En resumen, se puede afirmar que el consumo de la vaina sin moler aporta un elevado contenido energético (aprox. 45% en azúcares), y si además se proporciona la semilla molida, se puede asimilar entre un 7 y 10% de proteínas (Argüelles y Montoya, 1991). Las hojas del mezquite contienen grandes cantidades de nitrógeno y por lo tanto son nutritivas; sin embargo, el ganado no consume el follaje en gran cantidad (INE, 1994).

Dentro de una explotación no maderable el producto principal del mezquite es la vaina, dado que su recolección representa un ingreso adicional para los campesinos de las regiones donde es aprovechado, a la vez que constituye un ingrediente de buena calidad en la alimentación del ganado por su alto contenido de proteínas y carbohidratos, así como por su palatabilidad. El consumo de la vaina contribuye a disminuir el costo de las raciones alimenticias que son suministradas al ganado ya que se ingieren grandes cantidades de esta fruta madura durante el verano y el otoño, cuando éstos se encuentran disponibles. La época de cosecha se presenta en los meses de julio a septiembre; y se ha observado que una familia puede recolectar de 200 a 250 kilogramos de vaina en una jornada. (INE, 1994). Los estados del país donde se utiliza la vaina de mezquite como forraje en cantidad considerable son: San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila, Nuevo León y Puebla (Galindo, 1983).

Importancia ecológica

Estas especies pueden ser utilizadas para la recuperación de tierras agrícolas con problemas de salinidad en suelo y agua, además de que se consideran útiles para la estabilización y mejoramiento del suelo al incrementar el contenido de materia orgánica (su producción varía desde los 300 Kg/ha hasta los 8,000 Kg/ha), son capaces de mejorar el almacenamiento de agua, la tasa de infiltración y la cantidad de nitrógeno en el suelo (Osuna y Meza, 2003). Entre las plantas del desierto, el mezquite posee una de las capacidades fotosintéticas más altas, debido sobre todo a su buen aprovechamiento del agua y del nitrógeno, ya que al ser una leguminosa está asociada con bacterias fijadoras de nitrógeno, por lo que su productividad se ve aumentada significativamente (Golubov *et al.*, 2001). Las bacterias del género *Rhizobium* se asocian al mezquite y otras leguminosas formando nódulos que fijan el nitrógeno atmosférico y se estima que una hectárea de mezquite adiciona al suelo el equivalente a 300 kg de nitrógeno en forma de amonio en un año (Osuna y Meza, 2003). Debido a la resistencia y adaptabilidad del mezquite a la sequía y a las altas temperaturas, puede desarrollarse en zonas con precipitaciones menores a los 250 a 500 mm anuales según la región y temperaturas máximas promedio en verano de más de 40°C (Granados, 1996). Derivado de lo anterior esta especie arbórea ha desarrollado una vigorosa red de raíces laterales y una vigorosa raíz pivotante que penetra con frecuencia de 3 a 15 m, llegando a 20 m e incluso hasta más de 50 m en busca de agua, por lo que reviste gran importancia en las regiones áridas del mundo, las cuales se han visto acrecentadas por factores como el desarrollo industrial, la tala excesiva y el crecimiento de la población. En estas zonas se ha considerado que el cultivo de mezquite, representa una

alternativa de desarrollo agropecuario forestal que podría mejorar los niveles de vida del sector rural. La eficiencia en el uso del agua es variable y se encuentra entre los 205 a 19,700 kg de agua/kg de materia seca producido. Existen algunas especies tolerantes a las altas temperaturas y otras a las heladas, pero el máximo crecimiento se ha encontrado a 30 °C; se desarrollan en diferentes niveles de salinidad y se ha encontrado un ligero decremento en el crecimiento a niveles de salinidad de 36,000 mg de cloruro de sodio/litro de solución (Osuna y Meza, 2003). Por lo que los habitantes de las zonas áridas lo utilizan como indicador de posibles fuentes de abastecimiento de agua y de buena calidad del suelo (Espinosa y Lina, 2008).

Acacia Pennatula (Schlencht. & Cham.) Benth.

Clasificación taxonómica

División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsidae</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Género	<i>Acacia</i>
Especie	<i>Acacia Pennatula</i>

Nombres comunes registrados en la zona: huizache, huizache tepamo, peineta, tepame, tzurumbini, yondi.

Nombres comunes registrados fuera de la zona de estudio: argaroble, cubata blanca, espino blanco.

Descripción botánica

Standley (1926) mencionó que el tepame un arbusto o árbol de 3 a 6 metros de altura. Niembro (1986), señaló una altura de 8 a 12 metros; es un árbol caducifolio, copiosamente pubescente; espinas cortas y fuertes; pinnas muy numerosas, las hojuelas numerosas de 1 a 2 mm de largas; flores amarillas o naranjas, muy fragantes, en cabezuelas; fruto de 7 a 13 cm de largo comprimido, café oscuro, con duras y gruesas valvas.

Distribución geográfica

Geográficamente se localiza en los estados de Tamaulipas, Chiapas, Veracruz, Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Hidalgo, San Luis Potosí, y Centroamérica (McVaugh, 1987).

Crece en laderas de montañas, zonas boscosas abiertas, en pastizales, selvas bajas caducifolias, sabanas, montañas rocosas, a menudo se convierte en abundante después de un disturbio del hábitat de bosques de encino, encino y pino y en zonas

tropicales, convive con otros arbustos o arboles pequeños incluyendo cactáceas. Se localiza en altitudes de 0 a 1200 msnm.

Florece de abril a junio y fructifica de agosto a enero. Son de crecimiento rápido y empiezan a producir flores y frutos desde el cuarto año de vida. Se propaga muy rápidamente a través del ganado. En poblaciones densas hay hasta 4,000 individuos en una hectárea, sin embargo, no es recomendable tanta densidad, por qué forma masas impenetrables. No se debe tener más de 25 árboles por hectárea. Crece bien en precipitaciones de 700 a 1,500 mm al año y temperaturas de 17 a 25° C (Terrones, 2004).

Utilización en la alimentación animal.

Esta especie como muchas leguminosas, es consumida por el ganado vacuno, ovino y caprino, sobre todo en la época seca en agostaderos donde constituye su principal fuente de alimento, Así, Cházaro (1977) mencionó la importancia ecológica y socioeconómica de la *Acacia pennatula*. Niembro (1986), indicó que las vainas verdes son muy apreciadas como forraje por su alto valor nutritivo. Por otro lado Román y Palma (1998) realizaron un estudio de gustosidad de la harina de frutos de cinco especies arbóreas en ovinos, indicando que la *Acacia pennatula*, es preferida por estos animales después de un periodo de adaptación.

Valor nutritivo

Estudios realizados con anterioridad, demuestran el valor nutritivo, haciendo referencia a la calidad de las vainas, Cházaro (1977) realizó un análisis químico proximal de las

vainas de Tepame y encontró que el contenido de humedad fue 13.14%, proteína cruda 12.92 a 15.26%, grasa cruda de 2.13% a 3.99%, fibra cruda de 20.38% y extracto libre de Nitrógeno de 47.44%, menciono además que la calidad nutritiva de las vainas se debe a los aminoácidos que forman las proteínas, entre ellos la leucina, arginina y los ácidos glutámico y aspárticos; que se encuentran en forma abundante.

En la península de Yucatán Sotelo *et al.* (1995) realizaron un estudio en especies nativas sobre valor el nutritivo de varias especies arbóreas entre ellas el tepame indicando que la semilla es rica en lisina, así mismo en general, todas las especies en estudio, tuvieron altas concentraciones de calcio y potasio.

Factores antinutricionales

Dentro de los compuestos antinutricionales que contiene el tepame, Niembro (1986) mencionó el contenido de taninos en vainas maduras. Por su parte Sotelo *et al.* (1995) señalaron la presencia de glucósidos cianogénicos en esta especie. Los taninos son compuestos tóxicos para rumiantes, causando artritis severa y daño renal respecto a los glucósidos cianogénicos producen ácido prúsico por hidrólisis, los animales intoxicados con este compuesto presentan debilidad progresiva, jadean con desesperación tratando inútilmente oxigenar sus tejidos, o bien simplemente caen muertos (Gonzales, 1989).

Importancia ecológica

La *Acacia pennatula*, debido a sus características, permite una rápida reforestación de áreas de potreros degradadas, contribuyendo a un rápido desarrollo de la cobertura

vegetal del suelo y mejorando sus propiedades; se trata de una especie leguminosa capaz de fijar nitrógeno atmosférico mediante simbiosis con bacterias en su sistema radicular.

Usos

La mayoría de las acacias son utilizadas por las propiedades de su madera a excepción de la *Acacia farnesiana*, que se utiliza en la industria de la perfumería en Francia. Las vainas de *Acacia pennatula* en la región de Xalapa, Veracruz se comercializan a una escala local mezcladas con otros ingredientes, para la elaboración de alimento para el ganado. En Ocosingo Chiapas se localizan formaciones puras de *Acacia pennatula*, donde se presentan en mayor densidad aves migratorias, por lo que sería interesante, agregan estos autores, un diseño Silvopastoril para incrementar la biodiversidad (Greenberg *et al.*, 1997).

Standley (1926) señaló que la corteza de *Acacia pennatula* se utiliza en algunas ocasiones como remedio para la indigestión y la madera para hacer carbón.

Acacia constricta Benth

Clasificación taxonómica

División *Magnoliophyta*

Clase *Magnoliopsida*

Subclase *Rosidae*

Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Género	<i>Acacia</i>
Especie	<i>Acacia constricta</i>

Nombres comunes registrados en la zona: huizachilla, largoncillo y Mezquitillo

Nombres comunes registrados fuera de la zona de estudio: chaparro prieto, gigantillo, vara prieta (Zamudio y Galván, 2011).

Descripción botánica

Árbol o arbusto de 1 a 5 m de alto, ramas glabras o hispíduladas, no resinosas; hojas no resinosas, peciolo de 0.5 a 1.5 cm de largo, pinnas (2)4 a 7 pares, foliolos (6)8 a 10 pares, oblongos a elípticos, de 2 a 4 mm de largo, y de 1 a 1.5 mm de ancho, base truncada, margen sin glándulas; capítulos de 1 cm de diámetro en la antesis, pedúnculos hispídulados, bráctea floral espatulada, de 1.5 a 1.7 mm de largo, pubescente en el ápice; cáliz con lóbulos de 1/4 a 1/2 de su longitud, de 1 mm de largo; anteras con una glándula estipitada, caduca; legumbre generalmente más ancha y menos resinosa; semillas elípticas (Zamudio y Galván, 2011).

Distribución geográfica

La variedad *constricta* es localmente abundante en algunos matorrales xerófilos sobre suelos someros y pedregosos, menos frecuente a orillas de bosques de pino-encino y

bosques de pino, en el noreste de Guanajuato y en el centro de Querétaro, en altitud de 1500 a 2500 msnm., encontrada en floración de junio a julio y en fructificación de julio a diciembre. Se distribuye desde el suroeste de Estados Unidos hasta el centro de México. Planta poco común y en consecuencia vulnerable a la extinción en el área de la flora (Zamudio y Galván, 2011)

Utilización en la alimentación animal

De acuerdo a la encuesta realizada en la zona de estudio a pequeños productores y campesinos que poseen ovejas, cabras y chivos, utilizan el follaje tierno y las vainas como alimento, por lo que, forma una fuente importante para la alimentación del ganado caprino de la región del Bajío(Terrones, 2004).

Valor nutritivo

No se tiene ningún reporte en cuanto al valor nutritivo de ésta especie, por lo que en ésta investigación será un aporte esencial para conocer la composición bromatológica de dicha especie.

Importancia ecológica

Controlan la erosión de los suelos. Infiltran agua de lluvia, mejoran los suelos con sus hojarascas, fijan nitrógeno a los suelos, sirven como cortina rompevientos, seto vivo y ornamental. Son consideradas valiosas por albergar diversas especies de aves y brindan sombra a los animales domésticos y silvestres (Terrones, 2004).

Usos

Construcción y artesanal: la madera de uña de gato, gavia y palo de arco está presente en las construcciones rurales, forma parte de cercados y se trabaja para elaborar artesanías.

Maderable: con la madera de palo de arco se elaboran muebles; su uso está regulado por la NOM-007-RECNAT-1997.

Combustible: las ramas y el tronco de estas especies son fuente de leña y carbón, su uso esta regulado por NOM-012-RECNAT-1997.

Comestible: las semillas molidas son un componente importante en la elaboración de pinole por tribus de indígenas Pima y Pagaso (en el norte de México); uso está regulado por la NOM-005-RECNAT-1997 (Terrones, 2004).

Melífera: la época de floración de uña de gato, palo de arco y gavia, ocurre de abril a julio; es apreciable por los apicultores por su néctar, con el que se produce miel color blanca o ligeramente ámbar. Florece de octubre a diciembre.

Medicinal: la infusión de las flores de varias acacias se ingiere contra dispepsia y la de las vainas contra la disentería en medicina casera. La infusión de la corteza es astringente, controla la diarrea y en cataplasma desinflama golpes o heridas (Adame y Adame, 2000)

Lysiloma divaricata Benth

Clasificación taxonómica

División	<i>Tracheophyta</i>
Clase	<i>Angiospermas</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Leguminosae</i>
Género	<i>Lysiloma</i>
Especie	<i>Lysiloma divaricata</i>

Nombres comunes registrados en la zona: cuitaz, palo de arco, palo prieto, tepehuaje, tepehuaje negro.

Nombres comunes registrados fuera de la zona de estudio: cuitas, jepalcalante (lengua huasteca), jepalte, mauto, mauuta, quiebracha, quitaz, quitaz prieto, sahi, tepehuaje, tepemezquite, tepemezquite blanco, tepemezquite (Zamudio y Galván, 2011).

Descripción botánica

Árbol de 3 a 15 m de alto; corteza escamosa o áspera, cenizo-ferrugínea, café-grisácea a blanco-grisácea en el tronco y ramas viejas, lenticelas prominentes; estípulas subfoliáceas, cordadas, acuminadas a agudas en el ápice, de 0.4 a 1 cm de largo, de 0.3 a 0.5 cm de ancho, verde-amarillenta, glabras, caducas, peciolo de 1.1 a 1.7 cm de largo, café-amarillento a café-olivo-rojizo, con pubescencia adpresa, glándula cónica,

de 0.5 a 1 mm de largo, de 0.3 a 0.7 mm de alto; inflorescencias en forma de capítulos globosos, axilares, solitarios, dispuestos en fascículos de 2 a 5 o en pequeños racimos, pedúnculo de 1.5 a 3 cm de largo; flores sésiles, blancas a blanco-amarillentas pálidas; cáliz campanulado, de 1.5 a 2 mm de largo, de 1 a 1.2 mm de ancho; corola campanulado a infundibuliforme, de 2.5 a 3 mm de largo, de 1.6 a 2 mm de ancho; semillas 10 a 12 por legumbre, elípticas a ovadas, de 7 a 13 mm de largo, y de 4 a 7 mm de ancho, de 1.2 mm de grosor, cafés obscuras a rojo-blanquecinas (Zamudio y Galván, 2011).

Distribución geográfica

Especie es representante en la zona de estudio tanto en Guanajuato, como en Querétaro y Michoacán, a menudo dominante o subdominante en selvas bajas caducifolias y se establece en altitud de 250 a 2300 msnm., florece de mayo a julio y fructifica de agosto a enero. Se distribuye desde el norte hasta el suroeste de México de Baja California y Son hasta Oax., BC, BCS., Sin., Chih., Tamps., Zac., S.L.P., Gto y Qro (Zamudio y Galván, 2011).

Utilización en la alimentación animal

El follaje y las vainas tiernas de ésta especie es consumida por todo tipo de ganado, sobre todo durante la sequía o escasez de otros forrajes. Los campesinos de la zona de estudio comentan que es altamente consumible las hojas de ésta especie por las cabras, por lo que forma una parte importante para complementar la alimentación del ganado en la temporada de sequía.

Valor nutritivo

En un estudio realizado en el municipio de Nocupétaro Michoacán, sobre la composición química de especies forrajeras, mencionan que la especie de *Lysiloma divaricata* posee un porcentaje de 11.1 de PC, 4.9 de Cenizas, 95.1 de MO., 0.6 de Calcio, 0.4 de Fósforo, 18.0 de FDA y 24.7 de FDN (Delgado, 2007).

Importancia ecológica

Lysiloma divaricata ayuda a controlar la erosión y contribuye a infiltrar el agua de lluvia, mejora los suelos con su hojarasca, fija nitrógeno y da sombra y abrigo a fauna silvestre (Zamudio y Galván , 2011).

Usos

Para construcción y herramientas: sus troncos son partes de construcciones rurales, postes para cercos y mangos de herramientas e implementos agrícolas.

Para uso industrial, la corteza y vaina de estas especies se valoran como curtiente vegetal por los curtidores de Guanajuato y de otros estados, tiene potencial para la extracción de colorantes. Como combustible el fuste y las ramas son fuente de leña (Terrones, 2004).

Como medicinal se usa para combatir amibas, comiendo dos o tres vainas con semillas tiernas. Para curar heridas y llagas se recomienda pulverizar la corteza y depositarla en un frasco salero para espolvorearla en la herida (SEMANAP, 2000; SEPASAL, 1999).

6. Metodología

6.1. Localización

El área experimental donde se llevó a cabo la presente investigación se encuentra ubicada en las parcelas agroforestales establecidas en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la Carretera Celaya-San Miguel de Allende, en Celaya Guanajuato.

El Municipio de Celaya, Gto., se ubica en las siguientes coordenadas: 20° 21' y 20° 41' de latitud norte; 100° 40 y 100° 53' de longitud oeste, colindando al Norte con los municipios de Santa Cruz de Juventino Rosas y Comonfort; al Oriente con los municipios de Apaseo el Grande y Apaseo el Alto; al Sur con los municipios de Tarimoro y Cortazar; al Poniente con los municipios de Cortazar, Villagrán y Santa Cruz de Juventino Rosas.

6.2. Caracterización del área de estudio

6.2.1. Vegetación

Por ser un municipio dedicado principalmente a la Agricultura con casi el 70% de su superficie, la vegetación natural se reduce a matorral, con el 19.14% de la superficie municipal compuesta principalmente por *Ipomea murucide* (Palo bobo) *Bursera fagaroides* (papelillo amarillo) y *Myrtillocactus geometrizans* (garambullo).

6.2.2. Clima

El tipo de clima que presenta el área de estudio es el (A)C (WO) (W) a (e): (A)C es clima semicálido el más cálido de los templados C, con temperatura media anual de 18°C y la del mes más frío, menor de 18°C; (WO) el mas seco de los templados subhúmedo con lluvias en verano; (W) tiene un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 anualmente; a, con verano cálido y temperatura media del más caliente mayor de 22°C; (E), es extremo en general con una oscilación entre 7°C y 14°C el indicativo de extremo no debe tomarse como tal, si no que llegan a presentarse temperaturas con esa diferencia, pero no es sistemática ni prolongada (Izaguirre, 1986).

Las condiciones ambientales diarias de precipitación y temperatura registradas durante el periodo de investigación se ilustran en la (Figura 1).

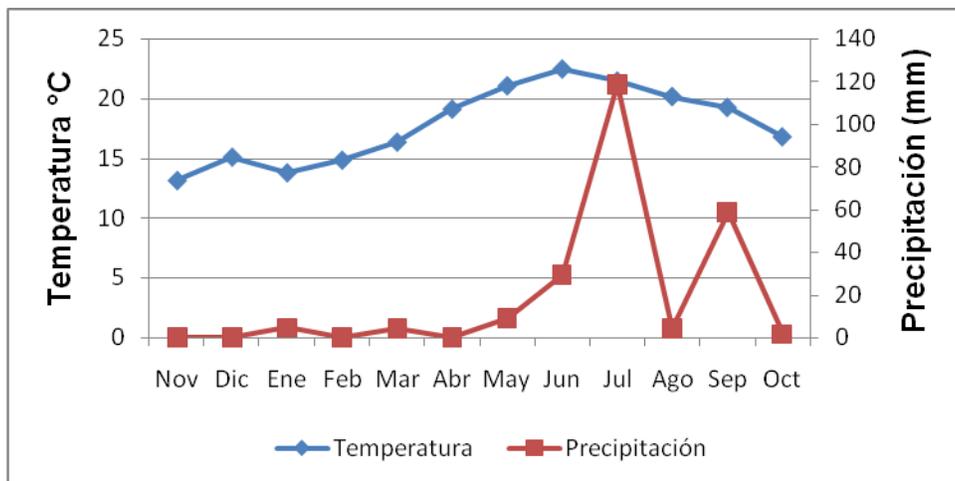


Figura 1. Diagrama ombrotérmico de la estación CEBAJ-INIFAP, Celaya Guanajuato.

Fuente: Elaboración propia con datos de la estación meteorológica de INIFAP-CEBAJ.

6.2.3. Suelo

El suelo que predomina en el municipio de Celaya es el vertisol pélico el cual cubre la planicie con capas de arcilla limosa que tiene como característica que es apto para la agricultura y la ganadería.

La mayor parte del municipio lo forma el denominado Valle de Celaya, cuyo origen tectónico es producto de las fallas que originaron Norte y Gravens, relleno de material aluvial que presenta suelos ígneos color gris oscuro de consistencia firme y con textura arcillo-limosa y arcillo-arenosa, dando lugar a suelos de poca permeabilidad (Izaguirre, 1986).

6.3. Selección de especies

En el CEBAJ-INIFAP ubicado en el municipio de Celaya, Guanajuato, existe un jardín botánico con 10 años de establecido, donde se encuentran especies nativas de la región con diferentes usos. Para la realización de éste estudio se seleccionaron 4 especies arbóreas con potencial forrajero con el propósito de evaluar la producción de biomasa y su calidad forrajera bajo dos sistemas de manejo poda de formación y poda de rejuvenecimiento. Las especies que reunieron dichas características se mencionan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Nombre común, nombre científico y familia de las especies estudiadas.

Nombre común	Nombre científico	Familia
Tepame	<i>Acacia pennatula (Schlencht. & Cham.) Benth</i>	
Palo prieto	<i>Lysiloma divaricata Benh</i>	
Mezquite	<i>Prosopis laevigata (Humboldt et Barpland ex Willd.)</i>	<i>Leguminosae</i>
Mezquitillo	<i>Acacia constricta Benth</i>	

6.4. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente aliatorizado con en arreglo factorial con dos factores, donde el factor A corresponde a las cuatro especies y el factor B corresponde a dos métodos de poda (Poda de Rejuvenecimiento y poda de formación); con tres repeticiones, haciendo un total de 24 unidades de muestreo (árboles). Con la información obtenida se cuantificó la producción de biomasa por ha y por año y utilizando los resultados del análisis bromatológico, se determinó la calidad nutritiva de las especies arbóreas para cada uno de los tratamientos.

Para la evaluación experimental se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable dependiente evaluada

μ = Media general

α_i = Efecto del *i*-ésimo nivel del factor A

β_j = Efecto de *j*-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre la *i*-ésimo especies arbórea y el *j*-ésimo método de poda.

ε_{ij} = Error experimental

El análisis estadístico se realizó a través del análisis de varianza mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS 2004) y la prueba de comparación de medias se realizó utilizando el procedimiento de Tukey, con el nivel de confianza de 5%.

6.5. Preparación del material vegetal

6.5.1. Poda de rejuvenecimiento

Para éste trabajo se seleccionaron tres unidades de muestreo (árboles) de cada especie, a las cuales se le hicieron poda de rejuvenecimiento a una altura de 60 cm del suelo (Figura 2). Una vez podados los árboles seleccionados se les aplicó cera de campeche en donde se le hizo el corte, para evitar cualquier infección en el tronco. El periodo experimental fue de Enero a Octubre del 2012.



Figura 2. Poda de rejuvenecimiento, a una altura de 60 cm del suelo.

6.5.2. Poda de formación

Para la poda de formación se seleccionaron tres unidades de muestreo (árboles) de cada especie, en éstos se definió un arquetipo propuesto para sistemas agroforestales. El arquetipo consistió en hacer recortes al árbol a los lados y en la parte superior quedando a una altura promedio de 2 metros cada uno (Figura 3). La poda de formación de arquetipo se realizó el 18 de junio del 2012, al inicio de la época de lluvias.



Figura 3. Poda de formación, a una altura de aproximada de 2 m.

6.6. Toma de muestra.

Para la toma de muestra se procedió a quitar los rebrotes utilizando tijeras de podar, el material verde fue colectado y colocado en bolsas, para que no perdieran humedad. En cada una de las repeticiones se dejaron dos ramas o rebrotes verdes, con la finalidad de que árbol podado tuviera área foliar para continuar con la fotosíntesis (Figura 4). Posteriormente se registraron sus pesos.



Figura 4. Colecta de biomasa, en tratamientos de Poda de rejuvenecimiento.

La colecta de biomasa de los árboles con podas de formación se realizó tal como se muestra en la (Figura 5), se identificaron las repeticiones correspondientes de cada especie y se procedió a cortar los rebrotes, tanto alrededor y de la parte superior del arquetipo formado inicialmente. Las muestras frescas fueron colocadas en bolsas de plástico para que no perdieran humedad y se registró el peso utilizando una balanza granataria.



Figura 5. Colecta de follaje de árboles con Poda de formación.

6.6.1. Producción de biomasa verde

A partir de los pesos del follaje fresco, se estimó la producción de biomasa verde total de cada especie arbórea, inmediatamente después de la poda; obteniendo el peso verde de cada especie arbórea, se extrapola el rendimiento de forraje en kilogramos por hectárea, considerando una densidad de población de 600 árboles por ha, para éste diseño.

6.6.2. Producción de biomasa seca

En cada una de las repeticiones de los dos tratamientos una vez registrado su peso verde, estas fueron puestas en bolsas de papel estraza, posteriormente las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60°C durante 72 horas hasta obtener su peso constante.

Con el peso constante se obtuvo de cada una de las muestras el cálculo del contenido de humedad a través de la siguiente fórmula (Gómez, 1998).

$$\%CH = \left[\frac{(PV - PS)}{PV} \right] * 100$$

Donde:

%CH = Contenido de humedad en porcentaje.

PV = Peso fresco de la muestra

PS = Peso seco de la muestra

Con los datos obtenidos anteriormente se procedió a calcular el rendimiento de forraje en kilogramos por hectárea.

Una vez obtenida la biomasa seca total se procedió a separar hoja y tallo, haciendo los cálculos respectivos para obtener la producción de biomasa en hojas y tallos en kilogramos por hectárea de cada una de las especies consideradas en el presente estudio (Figura 6) también se calculó la tasa de rendimiento de biomasa seca por semana, esto se obtuvo dividiendo el peso de la biomasa seca total por el número de semanas de cada periodo de corte.

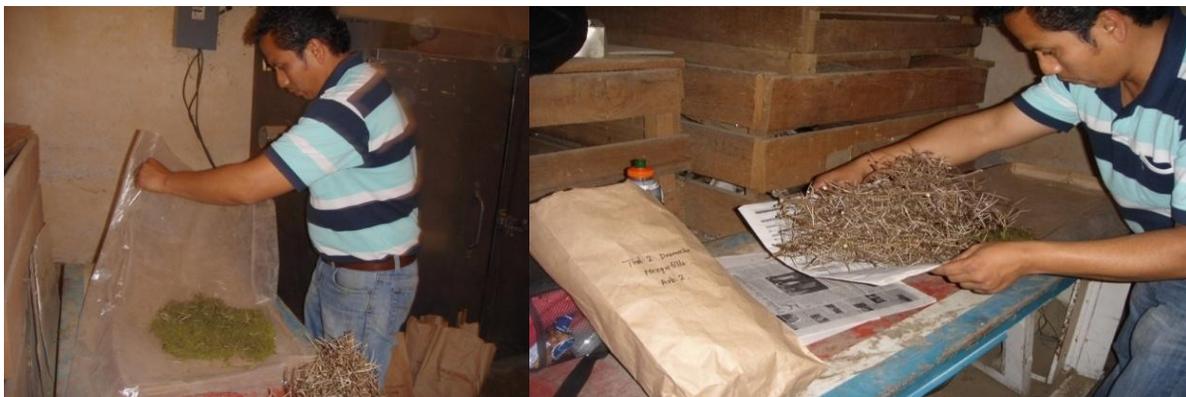


Figura 6. Separación de hoja y tallo.

6.7. Análisis químico de especies evaluadas

Para el caso de la determinación de calidad del forraje las muestras secas de las cuatro especies de ambos tipos de podas (Figura 7) fueron llevadas al laboratorio para determinar su composición química (Figura 8).



Figura 7. Toma de muestra, para análisis químico.



Figura 8. Peso y secado de muestras.

Una vez obtenida el peso seco de la muestra, se procedió a separarlos en dos secciones (hoja y tallo), y posteriormente se prosiguió a moler la sección hoja en un molino, con criba de 1 milímetro (mm) de tamaño de partículas para el análisis químico (Figura 9).



Figura 9. Molido de la sección hojas y tallos de las muestras.

A las muestras de hojas se les determinó el porcentaje de materia seca (%MS), cenizas (CEN), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), fibra cruda (FC) y extracto etéreo (EE).

Los procedimientos se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Enseguida se describen los procedimientos.

6.7.1. Determinación de Materia Seca (MS)

Para la determinación del porcentaje de materia seca se pesó 1 gramo de cada muestra vegetal y se colocaron en crisoles previamente lavados, secados y pesados. Los

crisoles con la muestra se introdujeron en una estufa a una temperatura de 105 °C durante 12 horas. Después de ese tiempo los crisoles con las muestras se enfriaron en un desecador y posteriormente fueron pesados.

Para obtener el porcentaje de materia seca (MS) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%MS = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

Donde:

A = peso de crisol + muestra seca

B = peso del crisol

C = peso inicial de la muestra

La misma fórmula, pero sin multiplicar por cien, se utilizó como factor de materia seca (FMS), para reportar el contenido de los demás nutrientes en base seca (BS).

6.7.2. Determinación de Materia Orgánica (MO)

Para la obtención del porcentaje de materia orgánica en base seca, se utilizó la técnica descrita por la AOAC (1990), y se realizó el siguiente cálculo:

$$\% \text{ de MO en BS} = 100 - \% \text{ de cenizas en BS}$$

6.7.3. Determinación de Ceniza (CEN)

Para la determinación del porcentaje de cenizas se utilizó la técnica descrita por la AOAC (1990), así, una vez que se registró su peso seco de la muestra, ésta fue

incinerada a una temperatura de 550°C por 5 horas en una mufla, y fueron enfriadas posteriormente en un desecador y se registró el peso de las cenizas.

Para el cálculo del porcentaje de cenizas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Cenizas en BS} = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

Donde:

A = peso de crisol + cenizas

B = peso de crisol

C = peso de la muestra seca

6.7.4. Determinación de Proteína Cruda (PC)

Se llama proteína cruda al valor que resulta de multiplicar el contenido de nitrógeno de los alimentos por el factor de conversión más común para proteínas que equivale a 6.25. Para la determinación de la proteína cruda se utilizó la técnica de Macro-Kjeldahl, que consta de los siguientes pasos. Se pesó 0.15 g de muestra de cada especie, se transfirió a matraces de Macro-Kjeldahl. Se añadió 10 mL de H₂SO₄ a cada matraz y se le añadió una cuchara de una mezcla catalizadora (sulfato de potasio y cobre). Se calentaron en un digestor para digerir las muestras. Una vez digerida la muestra y enfriados los matraces se agregarán 20 mL de agua destilada y algunos gránulos de zinc, y se le añadieron 20 mL de NaOH al 40%. Posteriormente los matraces se colocaron en un destilador para darle un tratamiento al contenido. En matraces Erlenmeyer se colocaron 20 mL de ácido bórico al 4% y tres gotas de indicador rojo de

metilo-verde de bromocresol, para coleccionar 30 mL de destilado. La titulaci3n se llev3 a cabo con HCl al 0.1N.

El c3lculo del porcentaje de prote3na cruda (PC) en base seca, se hizo mediante la siguiente f3rmula:

$$\%PC \text{ en BH} = \frac{(A \times B \times C)}{(D \times E)} \times 100$$

Donde:

A = mL de HCl utilizados en la titulaci3n

B = 0.1018 (Normalidad de HCl)

C = 0.014 meq N

D = peso de la muestra

E = 6.25 factor de conversi3n de N a prote3na

Con la f3rmula anterior se obtuvo el contenido de prote3na cruda en base seca realiz3ndose la siguiente operaci3n:

$$\%PC \text{ en BS} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A = N x 6.25

B = peso de la muestra seca

6.7.5. Determinación de Fibra Detergente Ácido (FDA)

Para la determinación de esta fracción se utilizó la técnica de Van Soest y Wine (1967), que consistió en utilizar papel filtro, de las cuales se identificaron de acuerdo al número de muestras, y posteriormente se puso en estufa por una hora. Después se enfriarse en un desecador durante 1 hora se registraron los pesos. Posteriormente, se procedió a pesar un gramo de muestra vegetal y se colocó en vasos Berzelius de 600 mL junto con 100 mL de solución FDA y 2 mL de decahidronaftaleno. Después se colocaron los vasos en un digestor de fibra con el papel filtro y se llevó a cabo la extracción por succión al vacío y al mismo tiempo se lavó el material y el papel filtro ya con la fibra, luego se secó el papel filtro en una estufa a 105°C durante 24 horas. Para enfriar el papel filtro se puso en un desecador y se registraron los pesos.

El cálculo del porcentaje de FDA se hizo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FDA en BS} = \frac{(A - B)}{(C)} \times 100$$

Donde:

A= peso del crisol+ fibra residual

B= peso del crisol

C= peso de la muestra seca

6.7.6. Determinación de Fibra Detergente Neutro (FDN)

La determinación de la FDN se hizo mediante la técnica de Van Soest y Wine (1967) de la siguiente manera: se utilizó papel filtro, la cual se sometieron a una estufa durante una hora. Después se enfriaron en el papel filtro en un desecador durante 20 minutos y se registraron sus pesos. Posteriormente, se pesó un gramo de muestra vegetal, después se colocaron las muestras en vasos Berzelius de 600 ml junto con 100 mL de solución FDN y 2 mL de decahidronaftaleno. Después se colocarán los vasos en un digestor de fibra y se hirvió durante 1 hora. Después de ese tiempo se vació el material hervido en el papel filtro y se hizo su extracción por succión al vacío y al mismo tiempo se lavó el papel filtro ya con la fibra, con agua destilada, luego se secó el papel filtro en una estufa a 105°C durante 24 horas. Después del enfriamiento del papel filtro en un desecador se registró el peso. El cálculo del porcentaje de FDN en base seca, se hizo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{FDN en BS} = \frac{(A - B)}{(C)} \times 100$$

Donde:

A= peso del papel filtro+ fibra

B= peso del papel filtro

C= peso de la muestra seca

6.7.7. Determinación de Fibra Cruda (FC)

La determinación de FC se realizó mediante el método de Wende bajo la norma de la AOAC (1975), la cual consistió en pesar 1 g de muestra seca y se colocó en el vaso digestor Berzelius ya identificado, y se le agregó 200 ml de ácido sulfúrico al 0.255 N y se dejó hervir durante hora. Posteriormente se filtró con vacío a través del filtro en el embudo Buchner, y luego se transfirió en el vaso Berzelius el residuo contenido en el embudo utilizando la solución de NaOH al 0.313 N contenida en una piseta hasta un volumen de 200 mL y se puso a hervir nuevamente durante una hora. Posteriormente se filtró en un papel filtro con el vacío en el embudo Buchner y se procedió a lavar la el papel filtro con la muestra y posteriormente se puso a secar a 100°C durante 24 horas.

$$\% \text{ FC} = \frac{A-B}{C} \times 100$$

Donde:

A= peso del papel filtro

B= peso del papel filtro + fibra

C= peso de la muestra seca

6.7.8. Determinación de extracto etéreo (EE)

La determinación de EE se hizo mediante la norma de AOAC (1975), se procedió a pesar 1 g de muestra vegetal previamente secado a peso constante y se depositó dentro del dedal de celulosa forrado internamente con papel filtro y posteriormente se fijó bajo el condensador del aparato de extracción. Se depositó dentro del vaso de extracción previamente lavado, secado, pesado e identificado éter de petróleo hasta aproximadamente un cuarto de su capacidad y se fijó debajo del condensador cerrado herméticamente. Posteriormente se procedió al calentamiento y se dejó 45 minutos aproximadamente para la ebullición del éter, una vez finalizado la ebullición se subieron los dedales para que se escurrieran. Posteriormente se quitó el vaso de extracción y se quitó el dedal del aparato. Y se procedió a pesar el vaso de extracción con el residuo.

El cálculo del porcentaje de EE en base seca, se hizo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ EE} = \frac{A-B}{C} \times 100$$

Donde:

A = peso del vaso de extracción inicial

B = peso del vaso + residuo (grasa)

C = peso de la muestra seca

7. Resultados y discusión.

7.1. Resultados de producción de biomasa

7.1.1. Comparación entre tipos de poda

En el Cuadro 2. Se resume las medias obtenidas de las variables de producción de biomasa, en donde se resalta la comparación entre los dos tipos de poda (Poda de formación y rejuvenecimiento).

7.1.1.1. Producción de biomasa verde total

Para la variable de biomasa verde, en la poda de formación se obtuvo una producción mayor en 557.8 Kg ha^{-1} con respecto a la poda de rejuvenecimiento, existiendo una amplia diferencia ($P < 0.01$). Esta diferencia entre el tipo de poda se puede atribuir a la respuesta o capacidad de las especies a la poda, al prolongado estiaje que se tuvo durante el experimento y a que se tuvieron numerosas yemas de rebrotes en los árboles que recibieron poda de formación, por lo que la capacidad de respuesta al rebrote fue mayor en la poda de formación *versus* poda de rejuvenecimiento. En la revisión de literatura no se tuvo referencias sobre el análisis de los dos tipos de poda para hacer una comparación de resultados. De ahí la importancia de esta investigación.

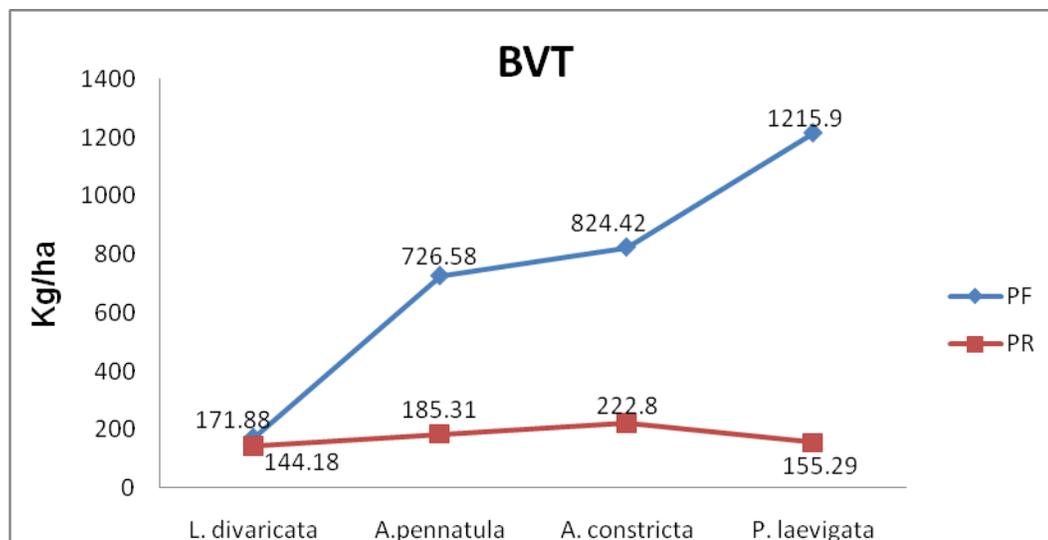
Pero se puede mencionar trabajos de autores que han evaluado las frecuencias de corte y alturas de corte. Douglas *et al.* (1996) evaluando dos especies de *Salix*, *Chamaecytisus palmensis* y *Dorycnium rectum*, con combinaciones entre número de cosechas (uno, dos y tres por temporada) y alturas de corte, observaron que las dos especies de sauces fueron moderadamente productivas y que, sumado a la calidad nutricional de las hojas y brotes comestibles, pueden ser útiles como suplementos nutricionales.

Cuadro 2. Medias \pm error estándar de la producción total de biomasa (Kg ha^{-1}) de las especies arbóreas forrajeras manejadas con poda de rejuvenecimiento (PR) y poda de formación (PF).

TIPO DE PODA	BVT	BST	BHS	BTS	TRBST
PR	176.89 \pm 157.79 ^a	73.89 \pm 73.89 ^a	43.5 \pm 46.59 ^a	30.39 \pm 35.41 ^a	1.76 \pm 1.93 ^a
PF	734.69 \pm 152.44 ^b	368.3 \pm 78.5 ^b	219.55 \pm 45.01 ^b	148.73 \pm 34.20 ^b	8.77 \pm 1.86 ^b
Valor de P	0.0135	0.0114	0.0085	0.0192	0.0114

PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación. BVT= Biomasa verde total. BST= Biomasa seca total. BHS= Hoja. BTS= Tallo. TRBST= Tasa de de rendimiento de biomasa seca total. ^{a,b} Medias con la misma literal dentro de columnas no muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (P=0.05). (\pm EEM)=Error estándar de las medias.

En la Figura 10 se ilustra la interacción de las especies entre los dos tipos de poda, con la variable de Biomasa Verde Total. Como se puede observar *P. laevigata*, *A. constricta* y *A. pennatula*, presentaron mayor rendimiento de biomasa verde en la poda de formación comparado con la poda de rejuvenecimiento; *Prosopis laevigata* presentó una diferencia de 7.83 veces entre los dos tipos poda.



BV= Biomasa Verde Total. PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación.

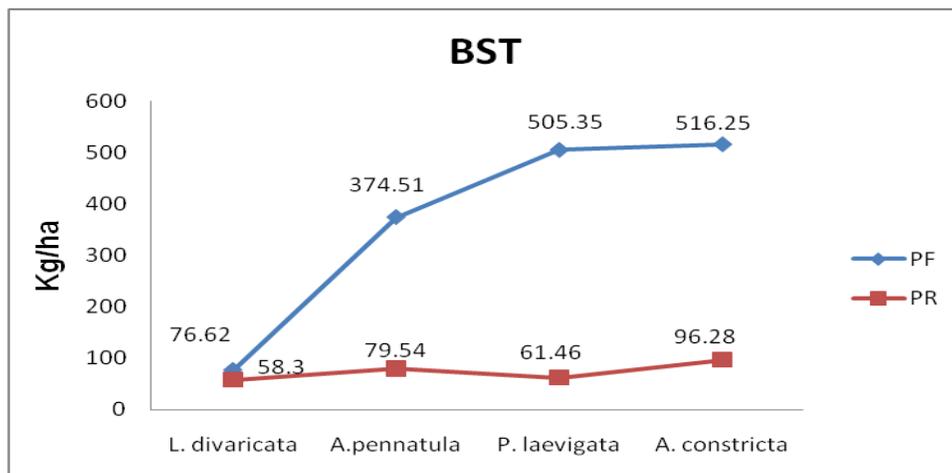
Figura 10. Promedio del rendimiento en Biomasa Verde Total (BVT, Kg ha⁻¹) de *L. divaricata*, *A. pennatula*, *A. constricta* y *P. laevigata*, para la poda de rejuvenecimiento (PR) y poda de formación (PF).

7.1.1.2. Producción de Biomasa Seca Total

La Biomasa Seca Total (BST) es considerada como el rendimiento de follaje comestible sin el contenido de humedad. En este estudio se observa que la poda de formación obtuvo mayor producción de BST con 294.41 Kg ha⁻¹ de diferencia con respecto a la poda de rejuvenecimiento (Cuadro 2; $P < 0.01$).

Oppong *et al.* (2001) evaluando dos especies de *Salix* y *Dorycnium rectum*, encontraron efectos de la altura de corte (0,3 m, 0,8 m y 1,2 m) y la frecuencia de cosecha (una o dos veces por año) sobre el rendimiento de materia seca de hojas y brotes comestibles, concluyendo que la altura de corte no tuvo ningún efecto sobre la producción de materia seca comestible, pero si afectó a la producción total de materia seca (hojas y brotes

comestibles + brotes lignificados). Por otro lado, Francisco *et al.* (1996) evaluaron el efecto de tres alturas de poda (40, 100 y 150 cm) en la producción de biomasa comestible de *Leucaena leucocephala* y *Acacia lebbbeck* obteniéndose en ambas especies la mayor producción en alturas de poda de 150 cm, con 6,750 y 5,300 Kg de MS ha⁻¹ en dos cortes, respectivamente. Sin embargo no se encontraron estudios que evalúen las especies consideradas en el presente trabajo, por tanto, la variación de producción de materia seca que existe en esta investigación, comparado con el anterior estudio, se puede atribuir a factores como: la densidad de población, la especie estudiada, la región de zona de estudio, condiciones climáticas y tipo de suelo. En la Figura 11 se presenta la interacción de las especies entre los dos tipos de poda para la variable Biomasa Seca Total (BST). La especie *A. constricta* presentó mayor rendimiento en 5.36 veces más para la poda de formación con respecto a la poda de rejuvenecimiento.



PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación. BS= Biomasa Seca.

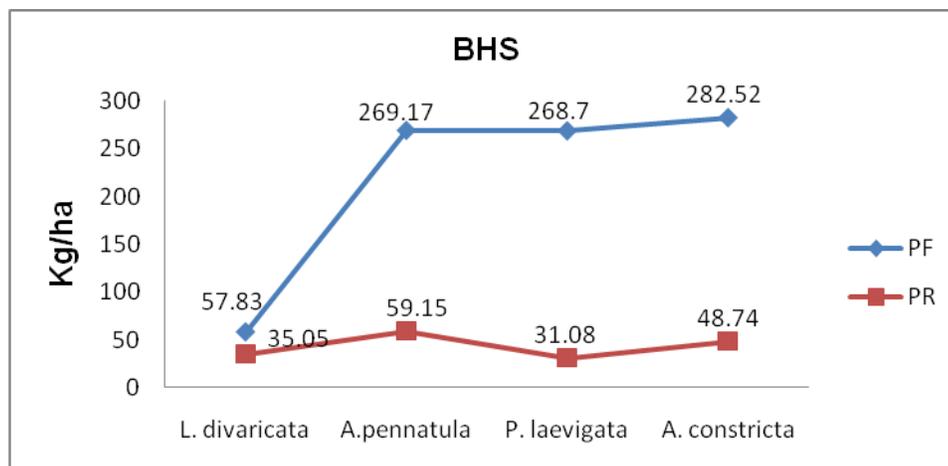
Figura 11. Promedio del rendimiento en Biomasa Seca Total (BST, Kg ha⁻¹) de *L. divaricata*, *A. pennatula*, *P. laevigata* y *A. constricta*, para la poda de rejuvenecimiento (PR) y poda de formación (PF).

7.1.1.3. Producción de biomasa de hoja seca

Para esta variable, se observa una diferencia de producción entre los dos tratamientos de $176.05 \text{ Kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, siendo mayor en la poda de formación.

Debido a que no se encontró en la literatura un estudio similar al nuestro, se deduce que la actividad de la intercepción de la radiación solar es importante en la producción de biomasa, ya que aumenta conforme a la copa de los árboles se expande, y por lo tanto existe un incremento en el crecimiento de la hoja y consecuentemente en el desarrollo del árbol (Wood, 1996).

En la Figura 12 se observa la interacción del tipo de poda y especie arbórea con respecto a la variable rendimiento de biomasa de hoja seca, donde se observa que *A. pennatula*, *P. laevigata* y *A. constricta* fueron 4.55, 8.64 y 5.79 veces más rendidoras para la poda de formación que para la poda de rejuvenecimiento.



PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación.

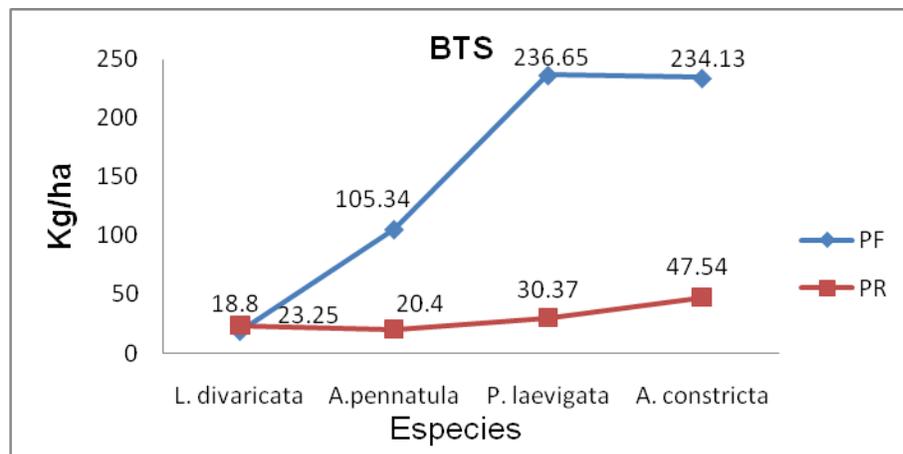
Figura 12. Promedio del rendimiento en Biomasa de hoja seca (BHS; Kg ha^{-1}) de *L. divaricata*, *A. pennatula*, *P. laevigata* y *A. constricta*, para la poda de rejuvenecimiento (PR) y poda de formación (PF).

7.1.1.4. Producción de biomasa de tallo seco

Al igual que las variables anteriores, se obtiene una mayor producción en la poda de formación con 118.34 Kg ha⁻¹ superior a la poda de rejuvenecimiento.

En términos generales esta variable, solo es útil para establecer la relación hoja-tallo para cada especie arbórea, debido a que los rumiantes solo incluyen pequeñas cantidades de tallos en su dieta; sin embargo es importante resaltar esta variable para poder hacer inferencias sobre el potencial de biomasa que producen las especies arbóreas estudiadas

En la (Figura 13) se observa la interacción entre los tipos de poda y las especies estudiadas para la variable rendimiento de tallo seco. La producción de tallo seco también es superior en 7.8, 4.92 veces en la poda de formación con respecto a la poda de rejuvenecimiento para las especies *P. laevigata* y *A. constricta*.



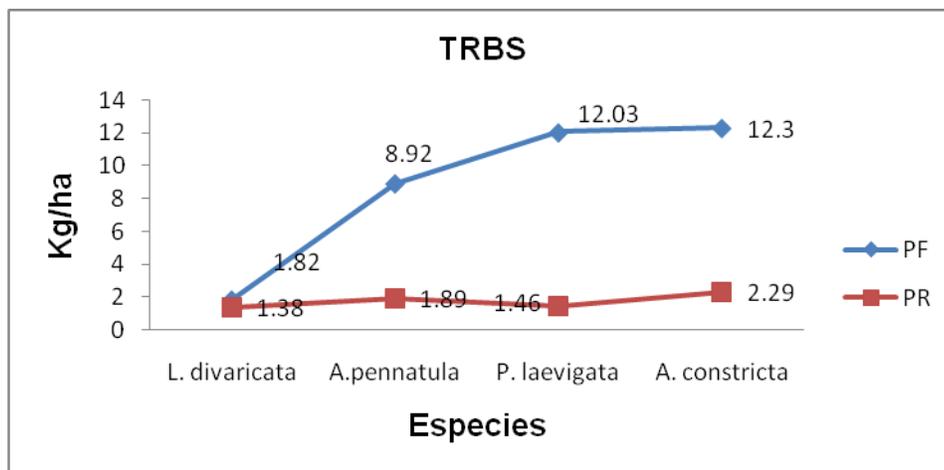
PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación.

Figura 13. Promedio del rendimiento en Biomasa de tallo seco (BTS; Kg ha⁻¹) de *L. divaricata*, *A. pennatula*, *P. laevigata* y *A. constricta*, para la poda de rejuvenecimiento (PR) y poda de formación (PF).

7.1.1.5. Tasa de Rendimiento de Biomasa Seca

Para esta variable, se tuvo una tasa de rendimiento de biomasa seca, mayor en la poda de formación con 7.01 Kg ha^{-1} por semana que en la poda de rejuvenecimiento (Cuadro 2; $P < 0.05$). No se halló información en la literatura, pero es importante determinar esta variable para observar el rendimiento y crecimiento de las especies en cuestión.

En el análisis de varianza que se realizó, no se muestran diferencias significativas con la prueba de Tukey ($P > 0.05$); por lo tanto se deduce que hubo tendencias numéricas pero sin marcar diferencias estadísticas ($P < 0.07$). En la Figura 14, se observa interacción entre el tipo de poda y especie arbórea sobre la tasa de rendimiento de biomasa seca. Se observa que *Acacia constricta* es más promisorio y de más rápido crecimiento de follaje por semana en la época de lluvia.



PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación, TRBS= Tasa Rendimiento de biomasa seca.

Figura 14. Promedio de la tasa de rendimiento de Biomasa Seco (TRBS; Kg ha^{-1} semana⁻¹) de *L. divaricata*, *A. pennatula*, *P. laevigata* y *A. constricta*, para la poda de rejuvenecimiento (PR) y poda de formación (PF).

7.1.2. Comparación entre especies

En el (Cuadro 3) se resume las medias obtenidas de las variables de producción de biomasa, en donde se hace la comparación entre especies.

7.1.2.1. Producción de biomasa verde total

Para la variable BVT se observa que la especie de *Lysiloma divaricata* tuvo 527.56 Kg ha⁻¹ menos que *Prosopis laevigata*, 365.58 Kg ha⁻¹ menos que *Acacia constricta* y 297.92 Kg ha⁻¹ menos que *Acacia pennatula* (P<0.05). De acuerdo a los resultados obtenidos observamos que el rendimiento de biomasa verde es similar entre las arbóreas *Prosopis laevigata*, *Acacia constricta* y *Acacia pennatula* (P>0.05).

Cuadro 3. Medias \pm error estándar de la producción total de biomasa (Kg ha⁻¹) de las especies arbóreas forrajeras bajo estudio

ESPECIES	BVT	BST	BHS	BTS	TRBS
<i>Prosopis laevigata</i>	685.59 \pm 215.59 ^a	283.40 \pm 110.97 ^a	149.89 \pm 63.65 ^a	133.51 \pm 48.39 ^a	6.74 \pm 2.64 ^a
<i>Acacia constricta</i>	523.61 \pm 215.59 ^a	306.46 \pm 110.97 ^a	165.63 \pm 63.65 ^a	140.83 \pm 48.39 ^a	7.23 \pm 2.64 ^a
<i>Lysiloma divaricata</i>	158.03 \pm 215.59 ^b	67.46 \pm 110.97 ^b	46.43 \pm 68.04 ^a	21.02 \pm 48.37 ^b	1.60 \pm 2.64 ^b
<i>Acacia pennatula</i>	455.95 \pm 230.47 ^a	227.027 \pm 118.63 ^a	164.16 \pm 63.65 ^a	62.86 \pm 51.72 ^b	5.40 \pm 2.82 ^a
Valor de P	0.0316	0.0534	0.0876	0.0338	0.0971

BVT= Biomasa verde total. BST= Biomasa seca total. H= Hoja. T= Tallo. TRBS=Tasa de de rendimiento de biomasa seca. ^{a,b} Medias con la misma literal dentro de columnas no muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (P=0.05). (\pm EEM)=Error estándar de las medias.

Benavides (2006) señala que para que una especie arbórea sea considerada forrajera debe reunir algunos requisitos, entre ellos, que sea tolerante a la poda y que su rebrote

sea lo suficientemente vigoroso para obtener niveles significativos de producción de biomasa comestible por unidad de superficie. *Lysiloma divaricata* no reunió esos requisitos en el presente experimento por lo que se considera a esta especie arbórea como no apta para la alimentación animal.

7.1.2.2. Biomasa seca total

La variable BST también mostró diferencias solo para *Lysiloma divaricata* ($P < 0.05$). Los rendimientos promedio de BST en *Acacia constricta*, *Prosopis laevigata* y *Acacia pennatula* fueron 230, 215.94, y 159.57 Kg ha⁻¹ mayores comparado con *Lysiloma divaricata*, respectivamente. En la revisión de literatura no se encontraron reportes similares sobre las especies estudio, solo se tiene como referencia el reporte de Ríos (1990) en donde evaluó la producción de biomasa de especies arbóreas y arbustivas en crecimiento natural en diferentes zonas agroecológicas de Centroamérica, reportando valores de 2.7 a 4 kg de MS árbol⁻¹año⁻¹ para *Erythrina spp*; 4.8 para *Guazuma ulmifolia*; 2.6 para *Acacia farnesiana* y 0.7 para *Sambucus mexicanus*.

7.1.2.3. Biomasa de Hoja Seca

En cuanto a la producción de biomasa seca de las hojas (BHS) se obtuvieron valores casi similares entre las especies *Acacia constricta*, *Prosopis laevigata* y *Acacia pennatula*, con diferencia promedio de 15.74 Kg ha⁻¹ entre ellos y aunque *Lysiloma divaricata* tuvo una producción baja, tampoco hubo diferencias significativas (Cuadro 3; $P > 0.05$).

7.1.2.4. Biomasa de tallo seco

Los resultados de producción de tallo seco (BST) también se obtuvieron valores similares entre las especies *Prosopis laevigata* y *Acacia constricta* con diferencia de producción de 7.32 Kg ha⁻¹, mientras que *Acacia pennatula* tuvo una producción mayor con 41.84 Kg ha⁻¹ con respecto a *Lysiloma divaricata* (Cuadro 3; P<0.05).

7.1.2.5. Tasa de rendimiento de biomasa seca total

Para esta variable se observa que la especie que tuvo mayor tasa de rendimiento por semana es *Acacia constricta* con una producción mayor de 5.63 Kg ha⁻¹ con respecto a *Lysiloma divaricata*, la cual tuvo el valor más bajo; 0.49 Kg ha⁻¹ con respecto a *Prosopis laevigata* y 1.83 Kg ha⁻¹ con respecto a *Acacia pennatula*.

El análisis de varianza muestra que no se presentaron diferencias significativas para la prueba de Tukey (P>0.05), entre los promedios de todas las especies.

7.2. Composición química

7.2.1. Comparación entre especies

En el Cuadro 4, se muestran los promedios obtenidos al analizar la composición química de las cuatro arbóreas forrajeras investigadas.

7.2.1.1. Materia seca (MS)

La producción de materia seca (MS) de los cuatro árboles forrajeros se muestran en el Cuadro 4, donde se distinguen los porcentajes de materia seca, teniendo *Acacia*

constricta, 4.23% más MS que *Acacia pennatula*; 7.73% más que *Lysiloma divaricata*, y 9.88% más que *Prosopis laevigata*. El alto porcentaje de MS de *Acacia constricta* se debe a que las hojas son más pequeñas y fibrosas, por lo que su contenido de humedad es menor y por lo tanto mayor porcentaje MS. En un estudio realizado por Pinto (2002) sobre especies arbóreas forrajeras de Chiapas, reportó valores de MS para *Acacia pennatula* de 59.8% y 40.8% para *Acacia farnesiana*. El análisis de varianza muestra que se presentaron diferencias significativas para el contenido de materia seca ($P < 0.05$) entre los promedios de las medias de las especies trabajadas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Composición química en porcentaje de la arbóreas forrajeras *Prosopis laevigata*, *Acacia constricta*, *Lysiloma divaricata*, y *Acacia pennatula*.

ESPECIES	MS	MO	CEN	PC	FDN	FDA	FC	EE
<i>Prosopis laevigata</i>	40.53 ^b	89.79 ^a	10.48 ^b	22.9 ^a	51.61 ^a	28.55 ^b	24.08 ^a	1.59 ^a
<i>Acacia constricta</i>	50.41 ^a	85.54 ^b	14.72 ^a	21.77 ^a	36.82 ^b	14.90 ^c	13.32 ^b	3.41 ^b
<i>Lysiloma divaricata</i>	42.68 ^b	91.35 ^a	8.67 ^b	19.06 ^b	37.99 ^b	16.81 ^c	14.04 ^b	2.87 ^b
<i>Acacia pennatula</i>	46.18 ^c	90.82 ^a	9.23 ^{b*}	17.47 ^b	50.39 ^a	43.42 ^a	21.35 ^a	2.73 ^b
EEM	0.990	0.840	0.790	0.750	1.650	1.220	1.370	0.230
Valor de P	0.0246	0.0025	0.0032	0.0218	0.0001	0.0001	0.0017	0.0513

MS= Materia seca. CEN= Ceniza. MO= Materia orgánica. PC=Proteína cruda. FDA=Fibra detergente ácida. FDN=Fibra de detergente neutro. FC=Fibra cruda. EE=Extracto etéreo. ^{a,b,c} Medias con diferente literal dentro de cada columna muestran diferencias significativas para cada variable ($P=0.05$). EEM=Error estándar de las medias.

7.2.1.2. Ceniza (CEN)

Es la fracción inorgánica que resulta de incinerar la muestra a 550°C. Los valores de CEN obtenidos de las especies estudiadas indican que *Acacia constricta* es 69.78% mayor que *Lysiloma divaricata* la cual obtuvo el valor más bajo de cenizas. Mientras

que *Prosopis laevigata* tuvo 1.25% más cenizas que *Acacia pennatula*. Delgado (2007), reporta porcentaje de cenizas menores para *Lysiloma divaricata* y *Prosopis laevigata* (4.9 y 5.9%, respectivamente). Sin embargo, Ramírez *et al.* (1994), al evaluar el forraje de arbustivas del noreste de México durante las cuatro estaciones del año, reportan los promedios de cenizas: *Acacia rigidula*, 7.5%; *Acacia berlandieri*, 9.15%; *Acacia farnesiana*, 7.43%; *A. greggi*, 10.65%; *Cercidium macrum*, 9.95%; *Porlieria angustifolia*, 16%; *Celtipallida*, 22%; *Leucaena leucocephala*, 8.98%; *Leucophyllum texanum*, 8.3%; *Desmanthus virgatus*, 13.35%; *Cordia boissieri*, 13.75%; *Condalia abovata*, 19.4%; *Ziziphus obtusifolia*, 9.68% y *Prosopis glandulosa*, 9.88%. Por otro lado, Marías (1997), reporta contenido de cenizas de 9.0 y 8.8% para el forraje de *Parquinsonia aculeata* y *Pithecellobium pallens*, respectivamente. Mientras que Ramírez y García (1996), reportan 10.6% de ceniza en el follaje de *Leucaena leucocephala* y 6.5% en *Acacia berlandieri*. También Pinto (2002) reportó valores de ceniza en *Acacia pennatula* de 7.1% y 7.2% para *Acacia farnesiana*. Se observa que el contenido de cenizas obtenidos en el presente estudio para las especies arbóreas de clima semiárido fue mayor a los reportados por los autores antes citados. Ello se debe a diferencias geológicas y de fertilidad de los suelos del área de estudio.

En general, el contenido de cenizas de las especies evaluadas es elevado, por lo que el empleo de estos follajes en la alimentación de caprinos o bovinos, puede contribuir al aporte de minerales en aquellas explotaciones en donde no se practica la suplementación mineral ó la de reducir el uso de éstas si es que se lleva acabo.

El análisis de varianza muestra que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los promedios de las medias de las especies trabajadas (Cuadro 4).

7.2.1.3. Materia orgánica (MO)

Los compuestos químicos de un alimento se dividen en materia orgánica e inorgánica. Los que contienen carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, lípidos, ácidos nucleicos y vitaminas, son clasificados como orgánicos. El porcentaje de MO encontrada en las especies evaluadas demuestra que *Lysiloma divaricata* es 0.53% mayor que *Acacia pennatula* y 1.56% mayor que *Prosopis laevigata*, sin embargo las tres especies no muestran mucha variación en sus contenidos de materia orgánica, solo *Acacia constricta* contiene 6,78% menor que *Lysiloma divaricata* (Cuadro 4; $P < 0.05$)

Estudio realizado por Delgado (2007) sobre valor nutricional y uso tradicional de las especies arbóreas, reporta porcentajes de MO de 95.1% para *Lysiloma divaricata* y 94.1% para *P. laevigata*. Asimismo, Ramírez *et al.*, (1994), reportan contenidos de 94.1, 93.63 y 91.96% de MO para *A. rigidula*, *A. berlandieri* y *A. farnesiana*, respectivamente. Mientras que, Pinto (2002) reporta valores de MO para *A. pennatula* de 92.9% y 92.2% para *A. farnesiana*. Esos resultados son similares a los nuestros.

7.2.1.4. Proteína Cruda (PC).

Las proteínas son compuestos orgánicos conformados por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, que intervienen en funciones vitales como el metabolismo, la contracción muscular o la respuesta inmunológica. Es así como se metabolizan en el rumen por medio de los microorganismos, y por des-aminación fermentativa se produce

dióxido de carbono, amoníaco y ácidos grasos de cadena corta. Los promedios expresan que el forraje de las muestras de *Acacia pennatula* fue 1.59% menor que *Lysiloma divaricata*, mientras que *Acacia constricta* es 1.13% menor que *Prosopis laevigata* (Cuadro 4; $P < 0.05$)

El estudio realizado por Delgado (2007), reporta valores porcentuales de proteína cruda para *Lysiloma divaricata* de 11.1% y 15.8% para *Prosopis laevigata*, mientras que Ramírez *et al.* (1994), reportan en su estudio de perfiles nutritivos del forraje de especies de matorral contenidos de 15.23%, 21.55% y 21.03% de proteína cruda para *Acacia rigidula*, *Acacia berlandieri* y *Acacia farnesiana*, respectivamente; también Pinto (2002) reporta en su estudio de árboles y arbustos con potencial forrajeros contenidos de 12.5% y 24% en *Acacia pennatula* y *Acacia farnesiana*.

7.2.1.5. Fibra Detergente Neutra (FDN)

Corresponde a la pared celular de los forrajes (celulosa, hemicelulosa y lignina) la cual se relaciona con la rumia, el consumo voluntario y eficiencia del alimento, ya que, al aumentar el valor de FDN el consumo del forraje disminuye. Los promedios de FDN para *Prosopis laevigata* fue 14.7% mayor que para *Acacia constricta*, fue 13.62% mayor que en *Lysiloma divaricata* y fue 1.22% mayor que para *Acacia pennatula* (Cuadro 4; $P < 0.05$). De acuerdo a los valores encontrados se presume que *Acacia constricta* y *Lysiloma divaricata* son las que poseen una mejor digestibilidad, por el bajo contenido de fibra.

Delgado (2007), reportó valores para *L. divaricata* de 24.7% y para *P. laevigata* de 37.4, mientras que, Ramírez *et al.*, (1994), reportan en su estudio de perfiles nutritivos del forraje de especies de matorral de tres acacias, contenidos de 42.41%, 37.91% y 37.50% de FDN para *A. rigidula*, *A. berlandieri* y *A. farnesiana*, respectivamente. Pinto (2002) también reportó en su estudio de árboles y arbustos con potencial forrajeros contenidos de 59% y 42.1% en *A. pennatula* y *A. farnesiana*.

7.2.1.6. Fibra Detergente Acida (FDA)

Los componentes de FDA se relacionan con la fracción poco digestible del forraje y es un factor importante en el cálculo del contenido energético del alimento, corresponde al contenido de celulosa y lignina. A medida que aumenta el valor de FDA, se disminuye la digestibilidad del alimento, por lo tanto su estudio predice la digestibilidad del alimento y la energía que produce. Los promedios obtenidos muestran que el forraje de *Acacia pennatula* fue 28.52% mayor que en *Acacia constricta*, que obtuvo el valor más bajo de FDA; y fue 26.61% más alto que en *Lysiloma divaricata*; y 14.92% mayor que en *Prosopis laevigata* (Cuadro 4; $P < 0.05$). Estos resultados colocan a *Acacia pennatula* como la especie arbórea como alimento de menor digestibilidad para el ganado. Al respecto, Delgado (2007), reporta valores de FDA para *Lysiloma divaricata* de 18% y para *Prosopis laevigata* de 14.2%, mientras que Ramírez *et al.* (1994), reportaron, en su estudio de perfiles nutritivos del forraje de especies de matorral de tres acacias, contenidos de 40.86%, 32.22% y 27.87% de FDA para *A. rigidula*, *A. berlandieri* y *A. farnesiana*, respectivamente. También Pinto (2002) reporta en su estudio de árboles y arbustos con potencial forrajeros contenidos de 35.8% y 26.7% en *Acacia pennatula* y *Acacia farnesiana*.

7.2.1.7. Fibra cruda (FC)

El contenido de FC en las especies estudiadas tuvo un rango de 10.76% entre el valor más bajo y el más alto, la cual corresponden a *Acacia constricta* y *Prosopis. Laevigata*, mientras que FC en *Acacia pennatula* fue 7.31% mayor que *Lysiloma divaricata* (Cuadro 4). Devendra (1995) afirma que el contenido de la fibra cruda de las leguminosas se incrementa conforma aumenta la madurez de la planta, pero esto disminuye la digestibilidad de la materia seca. Por lo tanto, el contenido foliar de fibra cruda proporciona un indicador de la digestibilidad del material alimenticio. El análisis de varianza muestra que se presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los promedios de las medias de las especies trabajadas

7.2.1.8. Extracto etéreo (EE)

EE es un estimador de la fracción lipídica de la muestra vegetal, aunque incluye otras sustancias no lipídica como vitaminas liposolubles, algunos pigmentos y ciertas hormonas. Los resultados con respecto a extracto etéreo, indican que, los valores de EE para *Acacia constricta* fue 1.82% mayor que para *Prosopis laevigata*; 0.68% mayor que para *Acacia pennatula*; y 0.54% mayor que para *Lysiloma divaricata* (Cuadro 4; $P < 0.05$).

7.2.2. Comparación de la composición química de las especies arbóreas manejadas con poda de rejuvenecimiento y poda de formación.

En el Cuadro 5, se presenta los valores encontrados de la composición química de las especies evaluadas al analizar los dos tipos de poda.

El porcentaje de MS del follaje de las arbóreas manejadas con poda de formación fue 7.24% mayor que en las que fueron manejadas con poda de rejuvenecimiento. El contenido de MS de ambos tratamientos fue significativamente diferente ($P>0.05$).

En cuanto a las variables CEN, MO, FDN, FC y EE, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas ($P<0.05$) entre los promedio de las medias de los tratamiento, Para el contenido de **PC** la poda de rejuvenecimiento fue 1.88% menor que la para la poda de formación ($P<0.05$). Del mismo modo, el contenido de **FDA** en el follaje obtenido mediante la poda de rejuvenecimiento fue 2.48% menor que en el obtenido mediante la poda de formación ($P<0.06$).

Cuadro 5. Efecto del tipo de poda en la composición química (%) de *Prosopis laevigata*, *Acacia pennatula*, *Acacia constricta* y *Lysiloma divaricata*

Tipo de Poda	MS	MO	CEN	PC	FDN	FDA	FC	EE
PR	41.33 a	89.48 a	10.84 a	21.24 a	42.69 a	24.68 a	17.2 a	2.48 a
PF	48.57 b	89.27 a	11.09 a	19.36 b	45.72 a	27.16 b	19.19 a	2.83 a
EEM	0.700	0.590	0.560	0.530	1.170	0.850	0.970	0.160
Valor de P	0.0246	0.805	0.5768	0.0234	0.076	0.0575	0.1663	0.1464

PR= Poda de Rejuvenecimiento. PF=Poda de Formación. MS= Materia seca. CEN= Ceniza. MO= Materia orgánica. PC=Proteína cruda. FDA=Fibra detergente ácida. FDN=Fibra de detergente neutro. FC=Fibra cruda. EE=Extracto etéreo. ^{a,b} Medias con diferente literal dentro de cada columna muestran diferencias significativas entre tratamientos ($P<0.05$). EEM=Error estándar de las medias

7.2.3. Interacción entre el tipo de poda y las especies arbóreas evaluadas.

Con el propósito de analizar diferencias en las variables, debidas a la interacción especie*tipos de poda se procedió a construir la información del Cuadro 6. En la especie arbórea *Prosopis laevigata* no se encontró diferencias significativas entre los

dos tipos de poda para las variables MS, MO, CEN, FC y (EE) ($P>0.05$). Sin embargo, para la variable proteína cruda (PC) si hubo diferencia entre los dos tipos de poda; en donde la poda de formación fue 3.09% menor que la poda de rejuvenecimiento.

Cuadro 6. Valor promedio (%) de parámetros nutricionales en las interacciones de las especies entre los dos tipos de poda.

Variables	Tipo de Poda	<i>Prosopis laevigata</i>	<i>Acacia constricta</i>	<i>Lysiloma divaricata</i>	<i>Acacia pennatula</i>	EEM
MS	PF	40.92 ^a	57.88 ^b	45.09 ^a	50.40 ^b	1.4088
	PR	40.19 ^a	42.95 ^a	40.29 ^a	41.97 ^a	1.4088
MO	PF	89.51 ^a	85.95 ^b	91.15 ^a	90.48 ^a	1.1832
	PR	90.06 ^a	85.13 ^b	91.56 ^a	91.17 ^a	1.1832
CEN	PF	11.10 ^a	14.61 ^b	8.90 ^a	9.76 ^a	1.1192
	PR	10.58 ^a	14.84 ^b	8.44 ^a	8.71 ^a	1.1192
PC	PF	21.35 ^a	20.33 ^a	19.00 ^a	16.76 ^a	1.0649
	PR	24.44 ^b	23.22 ^b	19.14 ^a	18.18 ^a	1.0649
FDN	PF	55.84 ^a	38.60 ^c	39.02 ^c	49.43 ^b	2.2573
	PR	47.39 ^b	35.04 ^c	36.97 ^c	51.37 ^b	2.2573
FDA	PF	33.01 ^a	15.38 ^c	14.77 ^c	45.49 ^d	1.7112
	PR	24.11 ^b	14.43 ^c	18.85 ^c	41.35 ^d	1.7112
FC	PF	25.21 ^a	13.59 ^b	14.92 ^b	23.07 ^a	1.9429
	PR	22.96 ^a	13.06 ^b	13.17 ^b	19.63 ^a	1.9429
EE	PF	1.61 ^a	3.71 ^b	2.67 ^b	3.32 ^b	0.3204
	PR	1.57 ^a	3.11 ^b	3.08 ^b	2.16 ^b	0.3204

PR= Poda de rejuvenecimiento. **PF**=Poda de formación. **MS**= Materia seca. **CEN**= Ceniza. **MO**= Materia orgánica. **PC**=Proteína cruda. **FDA**=Fibra detergente ácido. **FDN**=Fibra de detergente neutro. **FC**=Fibra cruda. **EE**=Extracto etéreo. ^{a,b} Medias con la misma literal dentro de columnas no muestran diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P=0.05$). **EEM**=Error estándar de las medias.

Acacia constricta mostró diferencias en el porcentaje de materia seca por efecto del tipo de poda, donde el follaje de esta especie fue 14.93% mayor cuando se cosechó después de la poda de formación comparado con follaje de la poda de rejuvenecimiento. Esto se puede atribuir a factores intrínsecos; tales como: diferencias en la captación de radiación solar debido al tamaño del área foliar. También hubo diferencias en la variable de proteína cruda (PC), donde el forraje de la poda de rejuvenecimiento tuvo 2.89% más proteína que en la poda de formación, la cual puede influir positivamente en la digestibilidad del forraje consumido por los animales.

Lysiloma divaricata no alteró su composición química por efecto del tipo de poda en ninguna de las variables, lo que indica que la especie mantuvo sus parámetros de calidad para ambos tipos de manejo.

Acacia pennatula fue significativamente diferente por efecto del tipo de poda, con 8.43% mayor en la variable de MS con la poda de formación a causa del manejo y mayor área foliar.

8. Conclusiones

De la producción de biomasa

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se concluye que el mejor manejo que se le pueden dar a las especies estudiadas es la poda de formación, debido a que el follaje de las especies arbóreas estudiadas presentaron mayor producción de Biomasa Verde Total, Biomasa Seca Total, Biomasa Seca de Hojas, Biomasa Seca de Tallos y mayor producción en la Tasa de rendimiento de Biomasa Seca. La Poda de formación tiene como ventajas mayor área de fertilidad al suelo, mayor sombra para el ganado, mayor fijación de nitrógeno y mayor captura de CO₂.

Sin embargo, la poda de rejuvenecimiento tiene como ventaja principal el acceso directo al forraje, aun que proporciona menor disponibilidad de forraje para el ganado.

La especie que obtuvo mayor producción de Biomasa Verde Total fue *Prosopis laevigata* con 685.59 Kg ha⁻¹, seguido por *Acacia constricta* con 523.61 Kg ha⁻¹ mientras que los rendimientos más bajos fueron para *Acacia pennatula* y *Lysiloma divaricata*. La especie que tuvo mayor Tasa de Rendimiento de Biomasa Seca por semana fue *Acacia constricta*, seguido por *Prosopis laevigata*, y ambas especies pueden ser recomendables para una producción de forraje más sostenible.

Para el análisis químico de forraje

La composición química de las especies estudiadas fue similar en la mayoría de las variables de calidad determinadas, excepto para el contenido de proteína y fibra detergente ácido, siendo de mayor calidad *Acacia constricta* y *Prosopis laevigata*, por el mejor contenido de proteína cruda y menor fracción indigestible del follaje. En general, las cuatro especies estudiadas presentaron alta calidad forrajera, superando a muchos de los pastos que actualmente coexisten, así como a algunos esquilmos agrícolas forrajeros.

Por su valor nutricional los árboles y arbustos forrajeras nativas del semiárido mexicano son una alternativa de alimentación en la época seca en los diferentes sistemas de producción animal. En particular, las hojas y brotes tiernos de las especies arbóreas estudiadas constituyen una alternativa forrajera para la alimentación de animales rumiantes durante períodos de escasez de alimentos en el semiárido mexicano.

9. Recomendaciones

Buscar el manejo agronómico más adecuado que permita el consumo directo del follaje de las plantas arbóreas estudiadas, para optimizar la producción de materia seca, la calidad de los rebrotes y la disponibilidad del forraje para el ganado.

Desarrollar otros estudios estableciendo bancos de proteína con las especies estudiadas, para cuantificar la producción de biomasa en un sistema intensivo y la respuesta animal.

Analizar el aporte de forrajes y nutrientes de las malezas que presentan mayor preferencia por los animales para evaluar su contribución nutritiva a la dieta del animal.

Capacitar a los productores en cuanto al manejo de los árboles y arbustos forrajeros nativos para su uso y conservación, promoviendo la introducción y facilitando la regeneración natural de especies arbóreas, incorporando tecnologías silvopastoriles que contribuyan a mejorar la alimentación del ganado e incrementar el ingreso económico de los productores.

Promover el pago por servicios ambientales en la región y así asegurar la presencia y manejo de las especies arbóreas en los potreros, ya que esto permitiría la conservación de la zona y se disminuiría la vulnerabilidad a fenómenos naturales.

10. Literatura Citada

Acciaresi, H.; Ansín, O. E. y Marlats, R.M. 1994. Sistemas Silvopastoriles: Efecto de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forrajes en rodales de álamo (*Populus deltoides Marsh*). Agroforestería en las Américas. 4, 6-9. CATIE.Turrialba. Costa Rica.

Adame, J y H, Adame. 2000. Plantas curativas del Noreste mexicano: Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas y altiplano Potosino. Editorial Castillo, Monterrey, N.L. México. 386 p.

Amézquita, M. C.; Ibrahim, M. A. y Buurman, P. 2004. Carbon sequestration in pasture, agro forestal and silvo-pastoral systems in American tropical forestry systems. Proc. 2nd.Intern.Congress in Agroforestry Systems. Mérida, Mex. p. 61.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. U.S.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 1975. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12thedition. Washington, D.C. U.S.

Araya, J.; Benavides, J. E.; Arias, R. Ruiz, A. 1994. Identificación y caracterización de árboles y arbustos con potencial forrajero. In: J. E. Benavides, ed. Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Vol.1. Serie Técnica, Informe Técnico No 236.Turrialba, C.R. CATIE.p.31-64.

Argüelles, A. y Montoya, R. 1991. Explotación del mezquite en San Luis Potosí, una perspectiva histórica. Ediciones del Archivo histórico del Estado de San Luis Potosí. S.L.P., México. 88 p.

Arthun, D; Holechek, L. J; Wallace, D. J; Galyean L. M. y Cárdenas, M. 1992. Forb and shrub effects on ruminal fermentation in cattle. *Journal of Range Manage.* 45: 19-522.

Baumer, M. 1992. Trees as browse and to support animal production. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. *FAO Animal production and health paper*. Edit. By Andrem Speedy and Pierre-Lek Pugliese. pp 1-10.

Benavides, J. E. 2006. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. In *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Proceedings of the Electronic Conference* (pp. 367–394). Rome: FAO-AGAP

Bogdan, A. V. 1977. Tropical and pasture and fodder plants: grasses and legumes. *Tropical Agriculture Series*. Longman. London. 477 p.

Botero, R y Botero, L. M. 1996. Manejo de pradera y cobertura arbórea con ganado de doble propósito en la zona Caribe. Memoria de los dos seminarios internacionales sobre Sistemas Silvopastoriles (1995-1996). *Silvopastoreo: Alternativa para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana*. pp 125-140.

- Brewbaker, J. L. 1986. Leguminous trees and shrubs for Southeast Asia and the South Pacific. In: Blair G. J.; Ivory D. A.; Evans T. R., eds. Forages in Southeast Asia and South Pacific Agriculture. ACIAR Proceedings Series No 12. Australia.p.43-50.
- Carranza, G., E. 2005. Conocimiento actual de la flora y la diversidad vegetal del estado de Guanajuato, México. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículos complementarios serie 21. 23 p.
- Castillo, E; Ruiz, T; Puentes, R y Lucas, E. 1989. Producción de carne bovina en área marginal con Guinea (*Panicum máximum*) y Leucaena (*Leucaena leucocephala*) y comportamiento animal. Revista Cubana Ciencias Agrícolas.
- Cedillo, V. y Mayoral, P. 1997. "*Prosopis laevigata*". FAO.RLC. Agroforestería en zonas áridas. México. 5 p.
- Cházaro, B. M. 1977. El huizache, *Acacia pennatula* (Schl et Cham) Bent. Una invasora del centro de Veracruz. Rev. Biótica: 2(3); 1-18.
- Chongo, B y Galindo, J. 1995. Bases fisiológicas del uso de leguminosas en Cuba. XXX Aniversario de Ciencia Animal. Seminario Científico Internacional. La Habana, Cuba. p 73-75.
- Clavero, T. 1996. Las leguminosas forrajeras arbóreas: sus perspectivas para el trópico americano. Ed. Tyrone, Clavero. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela. pp 49 –63.

CONAFOR. Comisión Nacional Forestal-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Tercera Edición. Zapopan, Jalisco, México. 298 p.

Corbea, L. A. 1994. Importancia y factibilidad del empleo de leguminosas en los sistemas ganaderos de América Latina y el Caribe. Memorias VII. Reunión de Avances Agropecuarios. Colima, Col. México. Trópico 94.

Cordero, S. R. 1995. Los sistemas silvopastoriles en la producción animal sostenible. Tesis Licenciatura. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 136 p.

Crespo, G; Arteaga, O; Hernández, Y y Rodríguez, I. 1995. Mantenimiento de los suelos ganaderos sin la participación de los fertilizantes químicos. XXX Aniversario de Ciencia Animal. Seminario Científico Internacional. La Habana, Cuba. pp 50-54.

D'Mello, J. P. F. 1992. Chemical constraints to the use of tropical legumes in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*. pp 237-261.

Delgado. J. S. 2007. Valor Nutricional y usos tradicionales de las especies arbóreas del Municipio de Nocupétaro Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UMSNH. Morelia Michoacán.

Dicko, M. S y Sikena, L. K. 1992b. Feeding behaviour quantitative and qualitative intake of browse by domestic ruminants. Legume trees and other fodder trees as protein

sources for livestock. FAO Animal production and health paper. Edit. By Andrem Speedy and Pierre-Lek Pugliese. pp 129-144.

Dicko, M. S y Sikena, L.K. 1992a. Fodder trees in shrubs and range and farming systems in dry tropical África. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. FAO Animal production and health paper. Edit. By Andrem Speedy and Pierre-Lek Pugliese. pp 27-41

Douglas, G. B, Bulloch B. T. y Foote, A. G. 1996. Cutting management of willows (*Salix* spp.) and leguminous shrubs for forage during summer. *New Zealand Journal of Agricultural Research* Vol. 39, 175-184.

Escobar, A. 1996. Estrategias para la suplementación alimenticias de rumiantes en el trópico. *Leguminosas forrajeras arbóreas en agricultura tropical*. Ed. Tyrone, Clavero. Universidad de Zulia, Maracaibo Venezuela. pp 49-65.

Esparza, Ch. G y Valencia, M. C. 1991. Producción y composición química de la costilla de vaca en tres sitios del noreste de Durango. *Memorias séptimo congreso nacional de manejo de pastizales*. Sociedad Mexicana de Manejo de Pastizales, A, C. Agosto de 20 a 23. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de agronomía pp 65.

Espinosa, E. y Lina, P. 2008. La sobreexplotación del mezquite y el deterioro de los ecosistemas. En: *Sustentabilidad de la planificación territorial del desarrollo y medio ambiente de la ZMVM en la Zona Centro del País*". Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. 16 p.

- Estrada, M. J. 1989. Aleloquímicos de plantas mexicanas. I Reunión Nacional de Ecología Química UNAM 17 y 18 de julio. México, D.F. pp 22.
- Francisco, G.; Simón, L. y Soca, M. 1996. Producción de Biomasa de *A. lebbeck* y *L. leucocephala* para la producción de biomasa. Taller Internacional "Los árboles en los Sistemas de Producción Ganadera". Matanzas, Cuba.
- Galindo, S. 1983. Caracterización de la variación en el mezquite (*Prosopis* L.) y sus usos en el altiplano potosino. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León, N.L., México. 87 p.
- Giraldo, L. A. y Vélez, G. 2006. El componente animal en los sistemas silvopastoriles. Industrias y Producción Agropecuaria. Azoodea; Medellín.
- Golubov, J.; Mandujano, M. y Eguiarte, L. 2001. The paradox of mesquites (*Prosopis* spp.): Invading species of biodiversity enhancers. *Bol. Soc.Bot. Mex.* (69): 21-28 p.
- González, E. A. 1989. Plantas tóxicas para el ganado. Editorial Limusa. S.A. 1ra. Edición, México. D.F.
- Granados, S. 1996. Los agaves en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 252 p.
- Greenberg, R; Bichir, P; y Sterling, J. 1997. Acacia, cattle migratory birds in southeastern México. *Biological Conservation.* 80(3). p 235-247.

Guevara, J. C. 1998. Browse species in arid rangelands of the Mendoza plains, Argentina: Consumption by cattle nutrient content. Memorias III Taller Internacional Silvopastoril. Los árboles y arbustos en la ganadería. Matanzas, Cuba. pp 55-56.

Gutteridge, R. C y Shelton, H. M. 1994. El campo y el potencial de las leguminosas arbóreas en la Agroforestería. Agroforestería en desarrollo. Centro de Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp 17-43.

Hernández, C. A.; Alfonso, A. y Duquesne, P. 1987. Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas y herbáceas. II. Ceba final. Pastos y forrajes. 10:246. Matanza Cuba.

Hernández, C. A; Alfonso, A y Duquesne, P. 1986. Producción de carne basada en pastos naturales mejoradas con leguminosas arbustiva y herbácea. Ceba inicial. Pastos y forrajes. 10:246. Matanza Cuba.

Holechek, I. J; Estell, R. E; Galyean, M. L and Richards W. 1989. Chemical composition, in vitro digestibility and in vitro VFA concentration of New México native forage. Grass and forage Sci 44: 101-105.

Ibrahim, M. 2009. Sistemas Silvopastoriles: Definición y clasificación.

INE. 1994. Mezquite *Prosopis* spp. Cultivo alternativo para zonas áridas y semiáridas de México. Comisión Nacional de Zonas Áridas. México, D.F. 18 p.

- Izaguirre M. M. 1986. Mesoclimas de cada municipio del estado de Guanajuato. Universidad de Guanajuato. Guanajuato. México. 123 pp.
- Jaramillo, V. V. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas tropicales de México. COTECOCA, SARH e INCA RURAL, México, D.F. 38 p.
- Jerrige, R. 1990. Alimentación de Bovinos, ovinos y caprinos. Ediciones Mundi-prensa. España. 432 p.
- Jondain, H. 1992. Importancia de las leguminosas en el trópico. Reunión de Avances Agropecuarios. Colima, Col. México. Trópico 92.
- Jones, S. 1987. Sistematización vegetal. 2da Edición. Libros McGraw-Hill de México, S. A. de C. V. Fuentes Impresores, S. A. pp 536.
- Jordán, H. 1991. Las leguminosas tropicales para la ceba de bovinos en pastoreo. IV Reunión de Avances Agropecuarios. Trópico 91. Universidad de Colima, México. pp 226-260.
- Kawas, J. 1998. Factores que afectan el consumo voluntario de forrajes por bovinos en pastoreo. Curso Taller Internacional Consumo Voluntario de Alimentos. Saltillo Coahuila: memorias. Saltillo Coahuila, México, p 58-69.
- Krishnamurthy, K., I. Rajagopal y A. Arroyo. G. 2003. Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. D.F. pp 79 – 80.

Larbi, A; Kurdi, O. I; Said, A.N y Hanson J. 1996. Classification of *Erythrina* provenances by rumen degradation characteristics of dry matter and nitrogen. *Agroforestry Systems*. 33:153-163.

Zamudio, S y R. Galván. 2011. "La diversidad vegetal del estado de Guanajuato", Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Fascículo complementario XXVII.

Machecha, L., Rosales, M. & Molina, C. H. 1999. Experiencias de un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*, *Cynodonplectostachius* y *Prosopis juliflora* en el valle del Cauca. En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. Estudio FAO sobre Producción y Sanidad Animal. 143 Eds. M. Sánchez y M. Rosales. Roma. p. 407.

Makkar, H. P. S. 1993. Antinutritional factors in food in livestock. Occasional publication Br. Society of Animal Production 16:69-85.

Marías, G. F. 1997. Digestión ruminal de los nutrientes contenidos en el heno de alfalfa y en las hojas de las arbustivas nativas tenaza (*Pithecellobium pallens*) y retama (*Parkinsonia aculeata*). Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UANL. Monterrey, N.L.

Maynard, L. A; Losli, J. K; Hintz, H. F y Warner, R. G. 1981. *Nutrición animal*. 7ª edición. McGraw Hill. USA.

Maynard, L. A; Losli, J. K; Hintz, H. F; Warner, R. G. 1981. *Nutrición Animal*. 7ª ed., McGraw Hill, USA. p 10-40, 78-107, 233-299.

McDonald, P; Edwards, R; Greenhalgh, J. F. D; Morgan, C. A. 1999. Nutrición Animal, Acribia. Zaragoza, España. 592 p.

McVaugh, R. 1987. Flora Novo-Galiciana. Volumen 5. Leguminosae. The University of Michigan Press. P 27-133.

Medina, J. M; Rouyer, B; Tejeda, M; Lays, M y Boiron, B, 1994. Evaluación preliminar de la producción de biomasa de especies leñosas bajo crecimiento natural en la zona sur de Honduras. Copilados de arboles y arbustos forrajeros en América Central. Vol. 1. CATIE. Costa Rica. Pp 181-188.

Milera, M e Iglesias, J. 1996. Los sistemas silvopastoriles para la producción bovina. IX Reunión de Avances de Investigación Agropecuaria. 25 al 26 de septiembre. Universidad de Colima, Manzanillo, Colima. México. p 131-136.

Milera, M. 1992. Sistemas de producción con bajos insumos. V. Reunión de Avances Agropecuarios. Colima, Col. México. Trópico 92.

Molina, C.H.; Molina, E.; Molina, J. P. y Navas, A. 2001. Advances in the Implementation of high tree density in Silvopastoral System. International Symposium on Silvopastoral System. Second Congress on Agroforestry and Livestock production in Latin América: Costa Rica.

Musálem S. M. A. 2001. Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 120 p.

- Nair, P. K. R. 1993. Classification of agroforestry systems. In P. K.R. Nair (ed.) Agroforestry systems in the tropics. Dordrecht, the Netherland. Kluwer Academic Press/ICRAF.
- Niembro, A. 1986. Árboles y arbustos útiles de México. Edit. Limusa. México, D.F. pp 206.
- Oelbermann, M. e Ibrahim, A. 2006. The Carbon quandary: Can Agroforestry systems sequester enough of it?. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible, Cuba. Secc. Conferencias, 7 pp.
- Oelbermann, M., Voroney, R.P., Kass, D.C.L, Schlönvoigt, A. M. 2006. Soil carbon and Nitrogen dynamics using stable isotopes in 19- and 10- year old tropical agroforestry systems. Geoderma 130: 356.
- Ojeda, F. 1996. Los árboles forrajeros para la producción de leche. Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical. Ed. Tyrone, Clavero. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela. pp 81 – 90.
- Oppong, S.K., Kemp P. D., Douglas G. B. y Foote, A. G. 2001. Browse yield and nutritive value of two Salix species and Dorycnium rectum in New Zealand. Agroforestry Systems 51, 11-21.
- Ospina, A. A. 2003. Agroforestería: aportes conceptuales, metodológicos y prácticos para el estudio agroforestal. Asociación del colectivo de Agroecología del sur – occidente colombiano. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. 205 p.

- Osuna, E. y Meza, R. 2003. Alternativas para la explotación sostenible del mezquite de Baja California Sur. Folleto técnico número 8 INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Todos Santos. La Paz, Baja California Sur. México. 55 p.
- Perdaza, R. M y García, A. 1995. Nutrientes y factores antinutricionales en el follaje de *Leucaena leucocephala* cv. Perú diferentes edades de rebrote. XXX Aniversario Instituto de Ciencia Animal. 25 al 27 de octubre. La habana, Cuba. pp 33.
- Pezo, D e Ibrahim, M. 1996. Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. Memoria pastoreo intensivo en zonas tropicales 1er Foro Internacional. FIRA. Veracruz, Ver. México. p 1-34.
- Pinto, RR. 2002. Árboles y arbustos con potencial forrajero del Valle Central de Chiapas. Tesis. Doctor en Ciencias. Mérida, Yucatán. UADY. MX. 303 p.
- Ramírez R. W. 2005. Manejo de Sistemas Agroforestales. 11 p.
- Ramírez, L. R.; Kawas, G. J.R. y Fimbres D. H. 1994. Perfil nutritivo y digestión ruminal del follaje de arbustivas nativas del noreste de México. Reporte científico. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UANL. Monterrey, N.L.
- Ramírez, R. G. y García, C. G. 1996. Nutrient profile and in situ digestión of forage from *Leucaena leucocephala* and *Acacia berlandieri*. Forest, Farm, and Comunity Tree Research Reports. USA.
- Reed, J.D. 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science* **73**:1516–1528.

- Revendin, S. G. 1995. Review of the main methods of cell wall estimation: interest and limits for ruminants. *Animal Feed and Science and technology*.
- Ríos, E. 1990. Evaluación de la producción de biomasa de especies arbóreas y arbustivas. ICTA. Huehuetenango. Reunión Anual de Programas de Cabras del CATIE. Turrialba, C.R., CATIE.
- Román, M. L y Palma, J. M. 1996. Especies de importancia melífera en el Estado de Colima. IX Reunión de Avances en Investigación Agropecuaria, Manzanillo, Col. Pp97 – 104.
- Román, M. M. 1997. Determinación de altura inicial al pastoreo de *Leucaena leucocephala* en un banco de proteína para ovinos. Tesis Maestría. Universidad de Colima. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Colima, México. 70 p.
- Ruiz, T. E. y Febles, G. 2001. Factores que influyen en la producción de biomasa durante el manejo de Sistema silvopastoril. En “Sistemas Silvopastoriles, una opción Sustentable. Tantakin, México.
- Rzedowski, J y Calderón, G. 1997. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 51. Familia Leguminosae. Subfamilia Caesalpinoidea. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. pp 169.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. pp 417.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas 3ª Ed. México.

SEMARNAP, 2000. Anuario estadístico forestal. Semarnap, México, pp. 104.

SEMARNAP. 2000. Especies forestales no maderables y maderables no tradicionales de zonas áridas y semiáridas de Durango, Chihuahua, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. PROCyMAF. México.

SEPASAL. 1999. Survey of economics Plants for Árid and SemiaridLands (SEPASAL). Database Published on The Internet. Royal Botanic Gardens, Kew United Kigdow. Available:<http://www.rbgnkew.org.uk/ceb/sepasal/internet> (2003, Jun 22).

Simón, L. 1996. Rol de los arboles y arbustos multipropósito en las fincas ganaderas. Leguminosas forrajeras arbóreas en la agricultura tropical. Ed. Tyrone, clavero. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela. pp 41-47.

Simón, L.; Hernández, I. y Hernández, D. 1995. Los sistemas silvopastoriles como una opción para el desarrollo ganadero. II encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. La Habana, Cuba.

Skerman, P. J.1977. Tropical forage legumes. FAO Plant Production and Protection Series No. 2. FAO, Rome, Italy. 609 p.

Smith, O. B. 1992. Fodder trees and shrubs in range and farming systems in tropical humid África. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. FAO animal production and health paper. Edit. By Andrew Speedy and Pierre-Luc Pugliese. Pp 43-59.

Sotelo, A; Contreras, E y Flores S. 1995. Nutritional value and content of antinutritional compounds and toxins in ten wild legumes of Yucatán Peninsula. Plant-Foods for Human-Nutrition. 47:2. p 115-123.

Sousa, M. S y Delgado, S. A. 1993. Mexican Leguminosae phytegeography, endemism, and origins. En. Ramandorthy T. P; Bye R.; Lot A.; Fa J. Eds. Biological diversity of México; origins and distributions. Oxford University Press. New York. pp 459-512.

Standley, P. C. 1926. Trees and shrubs of México. Contributions of the United States National Herbarium 23: 542–552.

Standley, P. 1926. Trees and Shrubs of Mexico. Pag. 379, 380, 422, 423, y 410.

Terrones, R. T.R. 2004. Arbustivas Nativas de Usos Múltiples en Guanajuato. Libro técnico No 2. INIFAP.

Ugarte, B. J. 1996. Complementación alimenticia en sistemas de pastoreo intensivo. Pastoreo intensivo en zonas tropicales. 1er Foro Internacional. Veracruz Ver. México.

- Van Soest, P. J. And Wine, RH. 1968. Use of Detergents in the analysis of fibrous feeds. 4. Determination of plant cell wall constituents. Journal Association Official. Agricultural chemical.
- Van Soest, P. J; Robertson, J. B; Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science.
- Villegas, G; Bolaños, A; Miranda, J. García, J y Galván, M. 2000. Flora nectarífera y polinífera del estado de Tamaulipas. Secretaria de Agricultura, ganadería y Desarrollo Rural. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. México, D.F. Versión digital.
- Wood, B. 1996. Sunlight management. Proc. 38th Western Pecan Conference. Proc. Western Pecan Grow. Assoc. Las Cruces, NM. p. 98-107.
- Xavier, D. F.; Carvalho, M. M.; Alvime, M. J. & Bostrel, M. A. 2003. Melhoramento de fertilidade do solo con pastagen de *Brachiaria decumbens* asociada con leguminosas arbóreas. Rev. Pasturas Tropicales. 25:1.
- Young, A. 1989. Soil productivity, soil conservation and land evaluation. Agroforestry Systems, 5:277-291.
- Zaragoza, J. L y Castrellón, M. 1999. Los arbustos y arboles en la nutrición de rumiantes. Memorias II seminario internacional. Estrategias de Suplementación a bovinos en pastoreo. Chapingo, México. p 64-88