



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Guazuma ulmifolia* Lam. EN BANCOS DE
FORRAJE Y ASOCIADO A GRAMÍNEAS TROPICALES**

ELOISA ORTEGA VARGAS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

TEPETATES, MUNICIPIO DE MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ,
MÉXICO

2012

La presente tesis, titulada: **Potencial productivo de *Guazuma ulmifolia* Lam. en bancos de forraje y asociado a gramíneas tropicales**, realizada por la alumna: **Eloisa Ortega Vargas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DRA. SILVIA LÓPEZ ORTIZ

ASESOR:

DR. CATARINO ÁVILA RESÉNDIZ

ASESOR:

DR. JUAN ANDRÉS BURGUEÑO FERREIRA

ASESOR:

DR. WILLIAM BRUCE CAMPBELL

ASESOR:

DR. EUSEBIO ORTEGA JIMÉNEZ

Tepetates, Veracruz, México, 11 de mayo de 2012

POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Guazuma ulmifolia* Lam. EN BANCOS DE FORRAJE Y ASOCIADO A GRAMÍNEAS TROPICALES

Eloisa Ortega Vargas, MC.
Colegio de Postgraduados, 2012.

Se realizaron dos experimentos en un rodal de árboles de *Guazuma ulmifolia* Lam. El primero para determinar el momento en que el árbol debe podarse en la época de lluvias para producir forraje que se conserve verde durante la época seca. Se realizaron tres podas (P-1 en agosto, P-2 en septiembre y P-3 en octubre) y cuatro cosechas (C-a en febrero, C-b y C-c en marzo, y C-d en abril). El momento de poda afectó la cantidad de biomasa forrajera ($P = 0.001$), siendo mayor en P-1 ($P = 0.001$). La biomasa forrajera y sus componentes (hoja tallo y materia muerta) variaron por la interacción cosecha*año ($P < 0.037$), en ambos años la biomasa forrajera y los tallos fueron mayores en C-b ($P < 0.050$), la hoja en C-a ($P < 0.001$) y la materia muerta en C-b y C-d ($P = 0.013$). Hubo mayor senescencia en P-1 ($P < 0.001$). En P-3 hubo mayor fotosíntesis y mayor índice de área foliar en P-1 ($P < 0.010$). El contenido de clorofila fue mayor en C-d ($P < 0.050$). La proteína cruda y la digestibilidad fueron mayores en P-1 ($P = 0.001$). En el segundo experimento se evaluó el rendimiento de forraje y el efecto de sombra en las asociaciones de *G. ulmifolia* con las gramíneas *Digitaria eriantha*, *Megathyrsus maximus* y *Andropogon gayanus*. Se realizaron tres mediciones (septiembre, octubre y noviembre) del rendimiento y calidad nutricional del forraje, cobertura del suelo, fotosíntesis y la dinámica de crecimiento de las gramíneas. El rendimiento de forraje por corte ($792.31 \text{ kg MS ha}^{-1}$; $P = 0.001$) y la cobertura del suelo fue mayor en septiembre ($P = 0.001$) y cuando el árbol se asoció a *D. eriantha*. *A. gayanus* presentó un mayor crecimiento (cm día^{-1} ; $P < 0.001$). La digestibilidad fue mayor en la asociación *G. ulmifolia*-*D. eriantha* ($P = 0.045$). Se concluye que el mejor momento para podar *G. ulmifolia* es en agosto y para cosechar el forraje es en febrero, pues tienen mayor digestibilidad y biomasa forrajera, y que la mejor asociación árbol-gramínea fue *G. ulmifolia*-*D. eriantha*, pues tiene un mayor rendimiento y calidad del forraje, además de hacer un mejor aprovechamiento de los recursos suelo y agua.

Palabras clave: *Guazuma ulmifolia* Lam, poda, cosecha, efecto sombra, asociación árbol-gramínea, biomasa forrajera.

**PRODUCTIVE POTENTIAL OF *Guazuma ulmifolia* Lam. IN FORAGE BANKS
AND ASSOCIATED WITH TROPICAL GRASSES**

Eloisa Ortega Vargas, MC
Colegio de Postgraduados, 2012

Two experiments were carried out using field-planted *Guazuma ulmifolia* Lam. The first was to determine the moment at which pruning the trees during the rainy season yielded the greatest amount of green foliage for the longest period of time during the dry season. Three prunings were carried out (P-1 in August, P-2 in September, and P-3 in October) and four foliage harvests (C-a in February, C-b and C-c in March, and C-d in April). The moment of pruning affected the quantity of forage biomass ($P = 0.001$), and was greater as a result of P-1 ($P = 0.001$). Forage biomass and its components (leaves, stems and dead matter) differed due to the interaction harvests*year ($P < 0.037$). Forage biomass and stems were greater in C-b ($P < 0.050$), leaves in C-a ($P < 0.001$), and dead matter in C-b and C-d ($P = 0.013$). There was greater leaf senescence in P-1 ($P < 0.001$). Photosynthesis was greater in P-3 and the foliar area index was higher in P-1 ($P < 0.010$). Chlorophyll content was greater in C-d ($P < 0.050$). Crude protein and digestibility were greatest in P-1. In the second experiment, forage production and the effect of shade on the associations of *G. ulmifolia* with the grasses *Digitaria eriantha*, *Megathyrsus maximus* and *Andropogon gayanus* were evaluated. Three measurements were made (September, October and November) of forage production and nutritional quality, soil cover, photosynthesis and the growth dynamics of the grasses. Forage production ($792.31 \text{ kg DM ha}^{-1}$; $P = 0.001$) and soil cover were greater in September and when the tree was associated with *D. eriantha*. *A. gayanus* showed the greatest growth ($P < 0.001$). Digestibility was greater in the association *G. ulmifolia*-*D. eriantha* (67.9%; $P = 0.045$). The best moment to prune *G. ulmifolia* is in August and for foliage harvesting is in February, so they will have greater digestibility and forage biomass. The best tree-grass association was *G. ulmifolia*-*D. eriantha* which yielded greater production and forage nutritional quality, thus providing a better use of the available soil and water.

Key Words: *Guazuma ulmifolia* Lam., pruning, foliage harvest, shade effect, tree-grass association, forage biomass

DEDICATORIA

A MI MADRE Y HERMANAS

Aquilina Vargas Faustino

Lisbet Ortega Vargas

Beatriz Ortega Vargas

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida y salud para lograr todas mis metas.

A mi madre Aquilina Vargas Faustino, por su amor incondicional y por darme su apoyo en todos mis proyectos.

A mis hermanas Lisbet y Beatriz por apoyarme y estar conmigo siempre, a pesar de la distancia.

A Julio Cesar Flores Santander por darme ánimos en los momentos difíciles para poder seguir adelante con este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero que me otorgo para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en el Colegio de Postgraduados.

Al Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados, por contribuir en mi formación académica, profesional y personal.

Al Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304 para el establecimiento y operación de los fondos para la investigación científica y desarrollo tecnológico del centro público Colegio de Postgraduados, por el financiamiento parcial de mi investigación de tesis.

A la LPI-2 Agroecosistemas Sustentables del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas y el financiamiento parcial para mi investigación de tesis.

A mi consejo particular: Dra. Silvia López Ortiz, Dr. Catarino Ávila Reséndiz, Dr. Juan Andrés Burgueño Ferreira, Dr. Bruce Campbell y Dr. Eusebio Ortega Jiménez, por su apoyo y consejos durante mi estancia en el Campus Veracruz y para lograr este objetivo.

Al Dr. Jesús Jarillo Rodríguez por su apoyo y consejos durante mi estancia en el CEIEGT, los análisis de laboratorio de las muestras de forraje y en la realización de la tesis.

Al Dr. Ponciano Pérez Hernández, por todo el apoyo brindado desde mi llegada a Veracruz. Y a su apreciable familia Doña Virginia Bautista Tolentino, Deysi e Ivonne Pérez Bautista por todo el cariño y amistad que me dieron.

A todos mis amigos del Colegio de Postgraduados: Maribel, Norma Irene, Lorena, Lucerito, Amparo Gálvez, Ricardo Martínez, Héctor, Verónica Rosales, Carlos Humberto, Jair, Griselda, Viviana, Mayra, Anabel.

Al personal de apoyo y administrativo del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz: Laura, Fabiola Rivera, Rosario, Mary Chuy, Maricela, Andrés Trujillo, Jesús Amado, Isabel, Elba, Suemy.

A la familia Contreras Molina: Sr. Julián Contreras, Sra. Elena Molina, Rafael y Fabiola Contreras, por su amistad y todas las facilidades otorgadas en el trabajo de campo de la investigación de tesis.

Y a todos aquellos que de alguna manera colaboraron y ayudaron a llevar a buen fin este proyecto, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Situación Problemática y Justificación.....	3
2. Objetivos e Hipótesis.....	4
2.1. Podas estratégicas en <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., para la conservación de forraje en la época seca.....	4
2.2. Rendimiento de forraje e interacciones mediadas por luz en sistemas silvopastoriles de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. asociado a tres gramíneas tropicales.....	5
3. Revisión de Literatura.....	7
3.1. Sistemas agroforestales.....	7
3.2. Sistemas silvopastoriles.....	8
3.3. Árboles forrajeros.....	9
3.4. Manejo agronómico de los árboles forrajeros.....	10
3.5. Interacciones suelo-árbol-gramínea en el sistema silvopastoril.....	14
3.6. Efecto de la disponibilidad de luz en los sistemas silvopastoriles.....	16
3.7. <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. como alternativa forrajera.....	17
4. Literatura Citada.....	19
CAPÍTULO 1. PODAS ESTRATÉGICAS EN <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., PARA LA CONSERVACIÓN DE FORRAJE EN LA ÉPOCA SECA	35
1.1. Introducción.....	38
1.2. Materiales y Métodos.....	40
1.2.1. Sitio experimental.....	40
1.2.2. Árboles experimentales.....	41
1.2.3. Tratamientos y diseño experimental.....	41
1.2.4. Procedimiento experimental.....	41
1.2.5. Variables evaluadas y su medición.....	42
1.2.6. Análisis estadístico.....	45
1.3. Resultados.....	45
1.3.1. Biomasa forrajera y componentes morfológicos.....	45
1.3.2. Morfología de los árboles.....	48
1.3.3. Senescencia del follaje.....	49
1.3.4. Clorofila en las hojas.....	52
1.3.5. Fotosíntesis.....	55
1.3.6. Índice de área foliar (LAI).....	56
1.3.7. Calidad nutricional.....	56
1.4. Discusión.....	60
1.5. Conclusiones.....	67
1.6. Literatura Citada.....	68

	Página
CAPÍTULO 2. RENDIMIENTO DE FORRAJE E INTERACCIONES MEDIADAS POR LUZ EN SISTEMAS SILVOPASTORILES DE <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. ASOCIADO A TRES GRAMÍNEAS TROPICALES.....	73
2.1. Introducción.....	76
2.2. Materiales y Métodos	78
2.2.1. Sitio experimental	78
2.2.2. Establecimiento de parcelas experimentales	78
2.2.3. Diseño experimental y tratamientos.....	79
2.2.4. Variables evaluadas y su medición	79
2.2.5. Análisis estadístico.....	83
2.3. Resultados	84
2.3.1. Rendimiento de forraje.....	84
2.3.2. Calidad nutricional de gramíneas y árbol	86
2.3.3. Dinámica de crecimiento de las gramíneas	88
2.3.4. Fisiología de las gramíneas	89
2.4. Conclusiones.....	91
2.5. Literatura Citada	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	95
1. Conclusiones	95
2. Recomendaciones	96

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Componentes de la biomasa forrajera (g MS árbol ⁻¹) del árbol <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., podado en diferentes momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) en dos años de evaluación.....	47
Cuadro 2. Componentes de la biomasa forrajera (g MS árbol ⁻¹) del árbol <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., en cuatro cosechas en distintos momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) en dos años de evaluación.....	47
Cuadro 3. Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en el forraje de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., cosechado en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) en dos años de evaluación.....	58
Cuadro 4. Composición químico nutricional (%) de las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud., <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth asociadas a <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en un sistema silvopastoril.....	87
Cuadro 5. Composición químico nutricional (%) de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., asociado a las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud., <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth en un sistema silvopastoril.....	87
Cuadro 6. Tasa de elongación de tallos (TET) y tasa de elongación foliar (TEF) de las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud., <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth asociadas a <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en un sistema silvopastoril, en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) de 28 días.....	88
Cuadro 7. Crecimiento neto foliar (CNF, cm día ⁻¹) de las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud., <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth asociadas a <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en un sistema silvopastoril en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) de 28 días.....	89

	Página
Cuadro 8. Tasa neta de asimilación de CO ₂ (A _N), transpiración (E), conductancia estomática (g _s) y radiación fotosintéticamente activa (Q), en las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud., <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth asociadas a <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en un sistema silvopastoril, en dos periodos de corte (octubre y noviembre) de 28 días.....	90
Cuadro 9. Transpiración (E), conductancia estomática (g _s) y eficiencia en el uso del agua (WUE) en las gramíneas asociadas a <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en un sistema silvopastoril con periodos de corte de 28 días.....	90

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Esquema de las fechas de podas y cosechas durante el experimento con base en la curva de precipitación en la zona de estudio (CONAGUA, 2008).....	40
Figura 2.	Rendimiento de biomasa forrajera (g MS árbol ⁻¹) en dos años de evaluación del árbol <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en cuatro cosechas en la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d).. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	46
Figura 3.	Altura (cm) de los árboles de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) en dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	48
Figura 4.	Longitud de ramas (cm) en el árbol <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. cosechados en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	49
Figura 5.	Biomasa senescente (g MS árbol ⁻¹) acumulada del árbol <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en cuatro cosechas en la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	50
Figura 6.	Tendencia de la caída de hojas senescentes de árboles podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y su relación con la precipitación pluvial en árboles de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., en dos años de evaluación (semana 1 a 35 en cada año).....	51
Figura 7.	Hoja senescente acumulada de árboles de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) en un periodo de 35 semanas.....	52

	Página
Figura 8. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en las hojas del árbol <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podado en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y cosechado en cuatro momentos la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d). Barras con la misma literal dentro de cada poda son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	53
Figura 9. Contenido de clorofila en las hojas de árboles de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y su relación con la precipitación pluvial, a partir del momento de inicio de la senescencia foliar en un periodo de 35 semanas del segundo año de evaluación (2009- 2010).....	54
Figura 10. A) Tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N); B) transpiración (E); C) conductancia estomática (g_s) y D) eficiencia en el uso del agua (WUE) en árboles de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podados en tres momentos distintos de la época de lluvias en 2009. Barras con la misma literal dentro de cada variable son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	56
Figura 11. Contenido de proteína cruda (%) en el forraje de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podado en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y cosechada en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada poda son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	57
Figura 12. Digestibilidad <i>in vitro</i> (%) de la biomasa forrajera de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. cosechado en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	59
Figura 13. Digestibilidad (%) <i>in vitro</i> de la biomasa forrajera de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. podado en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y cosechado en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d). Barras con la misma literal dentro de cada poda son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....	59

<p>Figura 14. Rendimiento de forraje (t MS ha⁻¹) en tres asociaciones de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Gu) y las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud. (De), <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (Mm) y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth (Ag), en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) cada 28 días. Barras con la misma literal dentro de cada periodo son similares (P > 0.050). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....</p>	<p>84</p>
<p>Figura 15. Biomasa forrajera (t MS ha⁻¹) de las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud. (De), <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (Mm) y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth (Ag) asociadas con <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. en un sistema silvopastoril, en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) cada 28 días. Barras con la misma literal dentro de cada periodo son similares (P > 0.050). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....</p>	<p>85</p>
<p>Figura 16. Biomasa forrajera (t MS ha⁻¹) de <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. (Gu) asociada a las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> Steud. (De), <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (Mm) y <i>Andropogon gayanus</i> Kunth (Ag) en un sistema silvopastoril, en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) cada 28 días. Barras con la misma literal dentro de cada periodo son similares (P > 0.050). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.....</p>	<p>86</p>

INTRODUCCIÓN GENERAL

La utilización de árboles y arbustos forrajeros en asociación con gramíneas en los sistemas de producción ganaderos, es una opción que ha tomado importancia en los últimos años para mitigar la escasez de forraje en la época seca (Torres, 1983; Paterson *et al.*, 1998; Naranjo, 2001). Su potencial radica en que además de ser una importante fuente de forraje para el ganado, el valor nutricional de las hojas y frutos de muchas especies arbóreas es superior al de los pastos, particularmente si nos referimos a leguminosas (Baumer, 1992; Flores *et al.*, 1998; Murgueitio, 2005; Russo y Botero, 2005; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008). Las raíces de los árboles facilitan la infiltración del agua de lluvia, contribuyen a la retención de los suelos y mejoran su fertilidad, ya sea por su capacidad de fijar nitrógeno o bien por la deposición y descomposición de ramas, hojas, flores y frutos, que más tarde se convierten en suelo vegetal (Niembro, 1986; Jaramillo, 1994; Febles *et al.*, 1995; Crespo *et al.*, 1995).

La mayoría de los árboles forrajeros de clima tropical subhúmedo se comportan como caducifolios, por lo que, al final de la temporada de lluvias se defolian de manera natural, sin embargo, se ha comprobado que la poda en momentos específicos puede promover crecimiento de follaje que puede mantenerse en los árboles por periodos prolongados aun en ausencia de precipitación (Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996; Francisco, 2003a). Esto sucede porque el sistema radicular profundo les permite obtener humedad de horizontes del suelo donde el pasto y otras plantas no pueden (Botero y Russo, 1999; da Veiga, 2001; Beer *et al.*, 2003; Russo y Botero, 2005).

Así también, la asociación de los árboles y las gramíneas afecta el rendimiento, morfología y características fisiológicas tanto de árboles como de las gramíneas (Belsky, 1994; Cruz *et al.*, 1999; Lowry y Wilson, 1999; Silva-Pando *et al.*, 2002; Guenni *et al.*, 2008; Riis *et al.*, 2009); se ha demostrado incrementos en la producción de biomasa y en la calidad nutricional de las gramíneas bajo el dosel a densidades moderadas de árboles, aunque esto varía según las especies, las condiciones climáticas y la densidad de árboles en los sistemas

silvopastoriles (Bronstein, 1984; Wilson *et al.*, 1990; Benavides *et al.*, 1994; Febles *et al.*, 1995; Silva-Pando *et al.*, 2002; de Andrade *et al.*, 2004).

Existen muchos factores que determina la productividad en los sistemas silvopastoriles, desde las características morfológicas y fisiológicas de las especies, la disponibilidad de agua, luz y nutrientes, el manejo e incluso las interacciones físicas y biológicas que pudieran darse en el sistema (Belsky, 1994; Benavides, 1999; Botero y Russo, 1999; Andrade *et al.*, 2000; Gómez *et al.*, 2002; Fassola *et al.*, 2005; Casanova *et al.*, 2007; Andrade *et al.*, 2008; Gamboa, 2009).

En experimentos realizados en sistemas silvopastoriles con *Guazuma ulmifolia* Lam., en condiciones de clima tropical subhúmedo, se ha observado que aun siendo un árbol de selva baja y comportarse como caducifolio debido al estrés hídrico, las podas en noviembre (cuando la época de lluvias está terminando), promueven todavía un crecimiento incipiente del follaje que se ha mantenido verde hasta avanzada la época seca (Villa-Herrera, 2009). En condiciones de ausencia de defoliación durante la época húmeda, el follaje del árbol envejece, y cae al inicio de la época seca preparándose para resistir el estrés por sequía. Con base en estas observaciones existe la posibilidad de que el crecimiento incipiente que se ha observado en *G. ulmifolia* después de una poda al final de la época de lluvias, sea mayor si estas se realizan antes de noviembre cuando todavía hay suficiente precipitación para un adecuado crecimiento y que ese follaje permanezca en el árbol como forraje verde durante la época seca, que es cuando más hace falta.

Por otra parte, también se ha observado que la productividad de los sistemas silvopastoriles con *G. ulmifolia* es diferente cuando se asocia a distintos pastos (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011) sugiriendo interacciones árbol-gramínea que pudieran ser a nivel de sistema radicular o en la interfaz aérea (efecto de la sombra sobre el pasto). Sin embargo, las interacciones físicas y biológicas dentro de estos sistemas silvopastoriles son variadas, por lo que hace necesario conocer el efecto de un componente vegetal en el otro y el beneficio de la asociación.

1. Situación Problemática y Justificación

La productividad del ganado en las regiones tropicales depende mayormente de la cantidad y calidad de los nutrientes aportados por las especies forrajeras presentes en las praderas. Sin embargo, la producción de forraje de las gramíneas es estacional, habiendo una alta producción de forraje en la época de mayor precipitación y que se vuelve escasa e incluso nula en la época seca (Plata *et al.*, 2004; Pizarro, 2005). Esta situación, además de repercutir en los parámetros productivos y reproductivos del ganado, también afecta la economía del productor, ya que se ve en la necesidad de adquirir insumos externos (compra de alimento concentrado, pacas, henos y renta de pastizales, principalmente) para mantener a su ganado, aumentando así los costos de producción.

Una estrategia factible, es la utilización de árboles y arbustos forrajeros en asociación con gramíneas para formar sistemas silvopastoriles, los cuales tienen potencial para mejorar la producción y calidad del forraje para la ganadería, además de ser fuente importante de alimento para el ganado y la fauna silvestre, principalmente durante la época seca (Torres, 1983; Paterson *et al.*, 1998; Pizarro, 2005).

En los últimos años se ha incrementado el interés por parte de los ganaderos del estado de Veracruz por utilizar el árbol *G. ulmifolia* en los sistemas de producción ganaderos, tanto en bancos de forraje como en sistemas silvopastoriles, sin embargo, se desconocen todavía aspectos agronómicos para su manejo en sistemas de producción bajo las condiciones locales de la zona centro del estado.

Aun cuando la información existente sobre el potencial forrajero de *G. ulmifolia* es abundante (Giraldo, 1999; Lizárraga *et al.*, 2001; Palma, 2005), es poca la información que se reporta sobre la productividad de este árbol en diferentes asociaciones con gramíneas tropicales. Así también existe información sobre cuáles gramíneas podrían asociarse a *G.*

ulmifolia, pero no se conoce la respuesta al establecimiento de las gramíneas en este tipo de sistema (Enríquez *et al.*, 1999; Manríquez, 2010).

Por otro lado, el manejo de podas en árboles para la producción de forraje y su conservación para la época de estiaje tampoco ha sido un aspecto muy estudiado y sería importante contar con ese tipo de conocimiento sobre *G. ulmifolia*, ya que esta especie tiene una gran importancia en la ganadería de algunas zonas del estado de Veracruz; y en general sería de gran beneficio para la ganadería del trópico mexicano.

2. Objetivos e Hipótesis

2.1. Podas estratégicas en *Guazuma ulmifolia* Lam., para la conservación de forraje en la época seca

Objetivo general

Determinar la respuesta productiva y fisiológica del follaje de *Guazuma ulmifolia* Lam. durante la época seca, en árboles podados en distintas fechas de la época húmeda anterior.

Objetivos particulares

Promover la producción y conservación de forraje verde en la época seca a través de podas estratégicas en *G. ulmifolia*.

Determinar en qué momento de la época de lluvias deben ser podados los árboles de *G. ulmifolia* para promover una mayor producción de forraje.

Determinar el momento idóneo en que el forraje conservado en el árbol debe ser cosechado durante la época seca, sin que disminuya la biomasa forrajera, ni su calidad nutricional.

Caracterizar la respuesta fisiológica del árbol en términos de senescencia foliar y eficiencia fotosintética.

Hipótesis general

El momento más adecuado de poda para una mayor producción y conservación de follaje de *G. ulmifolia* es durante el punto más alto de precipitación de la época húmeda cuando las condiciones de humedad después de la poda serán adecuadas para el rebrote y una producción adecuada de forraje.

Hipótesis particulares

Las podas estratégicas realizadas *G. ulmifolia* durante la época de lluvias promueven un crecimiento del follaje, el cual se mantiene verde por un mayor tiempo en la época seca.

La fecha de poda y de cosecha del follaje influye directamente en la cantidad y calidad del forraje producido y en el tiempo en el que este se mantiene en la planta.

Las podas a principios de la época de lluvias frenan el proceso de senescencia foliar y promueven una mayor eficiencia fotosintética del follaje.

2.2. Rendimiento de forraje e interacciones mediadas por luz en sistemas silvopastoriles de *Guazuma ulmifolia* Lam. asociado a tres gramíneas tropicales

Objetivo general

Describir las interacciones mediadas por luz entre el árbol *Guazuma ulmifolia* Lam. y las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth en un sistema silvopastoril en condiciones de precipitación estacional.

Objetivos particulares

Determinar el rendimiento de biomasa forrajera y calidad nutricional de la materia seca en sistemas silvopastoriles de *G. ulmifolia* asociado a tres gramíneas diferentes.

Evaluar la respuesta al establecimiento de tres gramíneas cultivadas bajo la sombra del árbol *G. ulmifolia* con altura controlada.

Evaluar el efecto de la sombra en la calidad nutricional de las gramíneas asociadas al árbol *G. ulmifolia* con altura controlada.

Caracterizar la respuesta morfológica y la eficiencia fotosintética de las gramíneas cultivadas bajo la sombra del árbol *G. ulmifolia* con altura controlada

Hipótesis general

La interacciones en las asociaciones de *G. ulmifolia* con pastos de crecimiento rastreros hacen más eficiente la productividad del sistema silvopastoril.

Hipótesis particulares

La asociación de *G. ulmifolia* con gramíneas de crecimiento rastrero promueve un mayor rendimiento y una mayor calidad nutricional del forraje comparado con la asociación con gramíneas de crecimiento erecto.

Las gramíneas de crecimiento rastrero tiene mayor capacidad de adaptación al establecimiento que las gramíneas de crecimiento erecto en sistemas silvopastoriles de *G. ulmifolia* con altura controlada.

La sombra ejercida por *G. ulmifolia* a una altura moderada influye favorablemente en la calidad nutricional de las gramíneas asociadas.

Las gramíneas de crecimiento rastrero hacen un mejor aprovechamiento de los recursos (suelo, luz y agua) y tiene un mayor crecimiento que las gramíneas de crecimiento erecto en sistemas silvopastoriles de *G. ulmifolia* con altura controlada.

3. Revisión de Literatura

3.1. Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son una forma de cultivo multiestrato, en el que se combinan espacial y temporalmente los componentes árboles, cultivos y animales, los cuales interactúan biológicamente, haciendo un mejor uso del espacio vertical y horizontal (Farrell y Altieri, 1999; Navia, 2000). En los sistemas agroforestales se establecen y/o conservan deliberadamente árboles o leñosas perennes en las áreas de producción agropecuaria, en las que tanto las especies agrícolas presentes como el productor se benefician de las interacciones biológicas, ecológicas y económicas resultantes (Nair, 1985; Somarriba, 1990; Aguilar-Luna *et al.*, 2011).

Los sistemas agroforestales presentan los atributos de cualquier sistema: límites (bordes físicos del conjunto), componentes (elementos físicos, biológicos y socioeconómicos), ingresos (energía solar, mano de obra, insumos) y egresos (ganancia de peso, producción de leche, madera o frutos), interacciones (relaciones entre los componentes), una relación jerárquica con la organización de la finca y la dinámica de los componentes (Navia, 2000).

En estos sistemas se busca la diversificación y optimización de la producción; esto se logra gracias a las distintas funciones que los árboles tienen y que aumentan los niveles de materia orgánica en el suelo y la fijación de nitrógeno atmosférico, modificando el ciclo de los nutrientes y el microclima, además de proveer de servicios ambientales, como la captura de carbono, conservación de los suelos y regulando el ciclo del agua, participando en la conservación de la biodiversidad en zonas de amortiguamiento y áreas protegidas e incluso aportando valores estéticos como lo son áreas de recreación para el turismo agroecológico (Beer *et al.*, 2003; Romero, 2006), procurando respetar los principios de sustentabilidad y la compatibilidad con las condiciones socio-culturales de la población y servir para mejorar las condiciones de vida de la región (Somarriba, 1990; Montagnini *et al.*, 1999; Ibrahim *et al.*, 2007).

Para clasificar los sistemas agroforestales se han empleado varios criterios, aunque los más comúnmente utilizados se han basado en su estructura (composición y distribución de los componentes), función, escala socioeconómica, y distribución ecológica (Nair, 1985; Farrell y Altieri, 1999). Así, dentro de los sistemas agroforestales se incluyen a los sistemas silvopastoriles, los cuales tienen su base funcional en el producto que se desea obtener y el papel que juega cada componente dentro del sistema, en especial los árboles.

3.2. Sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles asocian el componente arbóreo con gramíneas y animales; y se puede considerar como una técnica que combina los principios de la agricultura, la ganadería y la silvicultura para aumentar la productividad global de la tierra, con el fin de obtener beneficios de las interacciones ecológicas y económicas resultantes (Vélez y Moreno, 1993; Santana *et al.*, 1999; da Veiga, 2001; Russo y Botero, 2005).

Los sistemas silvopastoriles se practican a diferentes niveles; desde las grandes plantaciones de árboles comerciales (frutales o maderables) con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales en acahuals como complemento a la ganadería de subsistencia; en estos sistemas, el objetivo principal es la ganadería, la producción de madera, leña o frutas es secundaria (Maldonado *et al.*, 2008; Iraola *et al.*, 2011). Al incorporar el uso de especies arbóreas forrajeras se pueden incrementar los beneficios ecológicos, como lo son el aumento de la productividad y sustentabilidad de los sistemas ganaderos existentes, ya que algunas arbóreas, especialmente las leguminosas mejoran la calidad del suelo y el rendimiento de las gramíneas, hay un mejor aprovechamiento de la humedad del suelo debido a su sistema radicular profundo (Paterson *et al.*, 1998; Farrell y Altieri, 1999; da Veiga, 2001; Beer *et al.*, 2003).

En las regiones tropicales de México existe una gran variedad de especies de árboles y arbustos que tienen potencial para ser incorporados en los sistemas de producción animal

(Toledo *et al.*, 1995; Ruiz-Rodríguez, 2004; Russo y Botero, 2005; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008; Velázquez-Martínez *et al.*, 2010), la posibilidad de utilizar el forraje de los árboles en los sistemas ganaderos para complementar la alimentación del ganado, haría a la ganadería menos dependientes de insumos externos (concentrados energéticos y proteicos) que tienen que ser adquiridos a un costo elevado para el productor (Enkerlin *et al.*, 1997).

3.3. Árboles forrajeros

En las zonas tropicales son varias las especies arbóreas con potencial forrajero, ya sea por su follaje o por sus frutos. Su importancia en la ganadería tropical radica en la diversidad de funciones que pueden desempeñar dentro de los sistemas de producción (árboles multipropósito), algunas de estas son la protección contra la erosión, mejoran la calidad del suelo, brindan confort a los animales (sombra), aportan biomasa comestible, propician la recirculación de nutrientes; además ofrecen beneficios al productor, pues algunas especies tiene usos medicinales, son fuente de combustible (leña) o se utilizan para la fabricación de artesanías, entre otros usos (Camacho *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2002; Palma, 2005; Villaherrera *et al.*, 2009).

Aun cuando la producción de materia seca a partir de árboles forrajeros es menor que la producida por los pastos, esta producción se tiene prácticamente durante todo el año y además con una calidad muy superior a la de las gramíneas tropicales (Mejías *et al.*, 2007). La suplementación con forraje arbóreo con alto contenido de proteína mejora la digestibilidad de los forrajes fibrosos como el rastrojo de maíz, henos y ensilados (Kabatange y Shayo, 1991), recursos muy utilizados en las zonas donde la producción de las pasturas es estacional.

Para que un árbol o arbusto pueda ser considerado como forrajero debe reunir características agronómicas que permitan su mejor utilización. Al respecto, Ivory (1990) y Benavides (1994) destacan las siguientes: que sea de fácil propagación (por semilla o material vegetativo), de fácil establecimiento, con alta productividad de biomasa, de alto

valor nutritivo, ser tolerante a repetidos cortes o pastoreos, conocer cuál es el tipo y momento óptimo para realizar las podas, con facilidad para asociarse con otras especies (gramíneas preferentemente). Además debe requerir un mínimo de fertilización, su consumo debe promover cambios en parámetros productivos del ganado, y que los niveles de compuestos secundarios no afecten su consumo (Camero, 1995; Enríquez *et al.*, 1999).

Las desventajas de utilizar árboles forrajeros son relativamente pocas, en general podemos mencionar que el crecimiento de las pasturas es menor cuando éstas crecen bajo la copa de los árboles, ya que estas plantas presentan una actividad fotosintética menor que las que crecen a pleno sol; sin embargo, mantienen su calidad nutricional por mayor tiempo (Hernández y Simón, 1994; Belsky, 1994; Cruz *et al.*, 1999; Guenni *et al.*, 2008; Gamboa, 2009). A pesar de la calidad del follaje arbóreo, la presencia de compuestos secundarios (taninos y alcaloides, principalmente) en su follaje es una limitante para el consumo (Ramos *et al.*, 1998; Makkar, 2006; Kaplan *et al.*, 2008). En los sistemas manejados en pastoreo directo un ramoneo excesivo puede causar daños severos, que derivan en una recuperación más lenta e incluso muerte de árboles (Benavides, 1994; Pezo e Ibrahim, 1996 y 1999). Por lo anterior, un aspecto de gran importancia es el manejo agronómico de los árboles y las pasturas interactuando en el mismo sistema.

Existe diversidad de especies con potencial forrajero para el trópico mexicano, y aunque el mayor potencial se le ha atribuido a las especies de la familia Fabaceae, existe una gran variedad de árboles potencialmente aptos para su uso forrajero, y su productividad estará en función del manejo, de las especies que se asocien e interactúen, y las características ambientales y socioeconómicas de la zona (Sosa *et al.*, 2004; Palma, 2005; Gómez *et al.*, 2006; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008).

3.4. Manejo agronómico de los árboles forrajeros

Dentro de los sistemas silvopastoriles ya establecidos, las prácticas de manejo más importantes son la poda (da Veiga, 2001; Beer *et al.*, 2003); la altura, forma y frecuencia

de poda determinan la productividad de los sistemas, ya que con estas se realizan modificaciones en la intensidad de luz bajo el dosel (Fassola *et al.*, 2002), que provoca variaciones en el rendimiento, cambios morfológicos en el estrato herbáceo y variaciones en el contenido de nutrientes en el suelo (Belsky, 1994; Cruz *et al.*, 1999; Pachas *et al.*, 2004; Lacorte *et al.*, 2004).

Williamson (1994) define a la poda como el corte selectivo de partes de la planta para obtener un crecimiento y desarrollo deseado; en el sistema silvopastoril además de la poda, el ramoneo directo por parte de los animales es una forma en la que se realiza la defoliación y eliminación de ramas en los árboles. Las podas además de afectar la morfología de la planta, también la afectan fisiológicamente, ya que se disminuye el área fotosintética con la eliminación de ramas y tallos que, además, son zonas de almacenamiento de carbohidratos (Berninger *et al.*, 2000; Francisco, 2003a).

La recuperación después de la poda está en función de las reservas de carbohidratos en los órganos de almacenamiento de la planta, de la presencia de tejido meristemático, de la capacidad del área foliar residual para maximizar la asimilación de carbono después de la defoliación y de la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo (Stür *et al.*, 1994; Berninger *et al.*, 2000; Wencomo y Ortiz, 2011). Aspectos a considerar para efectuar la poda en árboles forrajeros son: la edad al primer corte, la altura, la frecuencia e intensidad de la poda y el momento óptimo para podar (Francisco, 2003a).

La edad a la primera defoliación es determinante en el comportamiento productivo futuro de los árboles, ya que esta afecta el engrosamiento de los tallos, el desarrollo de las raíces y la capacidad de rebrote del árbol. Estudios realizados por Ella *et al.* (1991) y Gamboa *et al.* (2000) sustentan la importancia de la edad al primer corte en la cantidad de reservas que la planta puede almacenar en sus troncos y en su sistema radicular durante los primeros meses después de establecidos en campo. De manera general, la primera poda se realiza cuando las plantas han alcanzado de 1.0 a 1.5 m de altura, o de 6 a 12 meses de edad

después de su establecimiento, aunque esto varía según la especie, sus características y las condiciones edafoclimáticas.

La altura de corte estará en función de la finalidad del sistema de producción (corte y acarreo o pastoreo directo), de la gramínea con la que se asocie y la tolerancia de las especies arbóreas a la poda; afectando con esta práctica no solo el rendimiento del árbol, sino también, el rendimiento de la gramínea (Ferrer *et al.*, 1996; Camacaro *et al.*, 2003; Francisco, 2003a; Navas, 2007; Toral e Iglesias, 2007; Partey, 2011). Experimentos con distintas arbóreas forrajeras (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp, *Albizia lebbek* (L.) Benth. y algunas especies de los géneros *Acacia* y *Calliandra*) han demostrado que con altura de corte entre 50 cm hasta los 150 cm de altura se incrementa la cantidad de biomasa producida por árbol (Hernandez *et al.*, 1996; Camacaro *et al.*, 2003; Olivares *et al.*, 2005; Toral e Iglesias, 2007).

La frecuencia de poda o intervalo de corte está directamente relacionado con la cantidad de biomasa comestible presente en los árboles. Al incrementarse el intervalo de corte hay una mayor producción de biomasa por árbol, sin embargo, la fracción comestible se reduce, ya que se incrementa el contenido de carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) en los tallos y disminuye la presencia de hojas jóvenes (Rodríguez *et al.*, 1994; Hernández-Daumás *et al.*, 2002; Solorio y Solorio, 2002; Francisco, 2003b; Hoffman *et al.*, 2003; Partey, 2011).

El momento óptimo para recolectar el forraje es cuando existe la máxima producción de biomasa comestible (cuando la fracción vegetativa representa del 50 al 60%) y se inicia la caída de hojas (senescencia foliar), lo cual varía entre las especies, densidad de siembra y las condiciones climáticas (Hernández y Benavides, 1994; Stür *et al.*, 1994; Hernández *et al.*, 1996; Francisco, 2003a). Aunque esto es más aplicable a bancos de forraje, para un sistema silvopastoril estos intervalos deben ajustarse al ciclo de vida de las gramíneas y cosecharse cuando estas tengan la mayor digestibilidad ruminal (ya sea bajo corte o pastoreo); estos periodos de corte o pastoreo puede ir desde los 28 días en la época de

lluvias, considerando el rápido crecimiento y desarrollo de los pastos y la rápida recuperación de las arbóreas, hasta los 36 días en la época seca dando prioridad a la recuperación del árbol (Francisco, 2003a; Bolio *et al.*, 2006; Villa-Herrera, 2009; Manríquez, 2010).

El momento para realizar la poda también se refiere al momento dentro del año en que es factible realizarla y al estado fisiológico del árbol, ya que el defoliar el árbol en determinada época del año (seca o lluvias) o en determinado momento de desarrollo determinará el comportamiento del rebrote (Stür *et al.*, 1994; Francisco, 2003a). Las podas al inicio o durante la época seca provocan el agotamiento de las reservas de carbohidratos del árbol y de las gramíneas, ya que existe una mayor reducción del área fotosintética y baja disponibilidad de humedad, en consecuencia hay una menor formación de rebrotes, y disminuyendo el proceso de crecimiento de la planta; así también, durante el periodo reproductivo las reservas de la planta han sido movilizadas para la formación de flores, frutos y semillas, reduciendo las posibilidades de una recuperación si se realizara una poda en ese momento (White, 1973; Mott *et al.*, 1992; Nygren *et al.*, 1996; Llamas *et al.*, 2001; Francisco, 2003a).

Aun cuando la mayoría de los árboles de clima tropical sub-húmedo y seco, son caducifolios y semi-caducifolios y pierden sus hojas conforme la precipitación disminuye, el manejo estratégico de podas al final de la época de lluvias puede retardar la floración y disminuir la pérdida de forraje por senescencia, manteniendo forraje verde en los árboles hasta meses avanzados de la época seca, esto se ha comprobado en las especies *L. leucocephala* y *G. sepium* en condiciones de trópico húmedo (Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996). Beer (1987) atribuye esta respuesta de las plantas a que al podar al final época de lluvias las plantas pueden continuar creciendo durante los primeros meses de la época seca (cuando aún hay humedad en el suelo), mientras que las no podadas frenan el crecimiento vegetativo y usan las reservas para la formación de flores y frutos, tratando de asegurar la producción de semillas.

3.5. Interacciones suelo-árbol-gramínea en el sistema silvopastoril

Las interacciones entre los componentes en el sistema silvopastoril son variadas y están en función de las condiciones ambientales y del estado de desarrollo de los componentes (Farrell y Altieri, 1999; Navia, 2000; Agnusdei *et al.*, 2001). El entendimiento y manejo de las interacciones suelo-árbol-gramínea es determinante en el balance de competencia y complementariedad entre los componentes del sistema, considerando además el componente animal, en el cual no se profundizará en esta sección, y que sin embargo también es de gran importancia para el funcionamiento eficiente del sistema (Pezo e Ibrahim, 1996; da Veiga, 2001; Casanova, 2005; Casanova *et al.*, 2007; Gamboa, 2009).

En el sistema silvopastoril, la interacción puede ser directa, como lo es la influencia que tiene sobre el animal, al proporcionarle alimento y modificando el ambiente donde vive y el beneficio del animal hacia el suelo al incorporar N mediante la orina y las heces (Pezo e Ibrahim, 1999; Botero y Russo, 1999). También hay interacciones indirectas, como los efectos de las arbóreas hacia las herbáceas, sobre el suelo e incluso hacia la actividad ganadera; a su vez, el árbol es influenciado por el resto de la vegetación, por el suelo y por los animales. Todo hace a este un sistema dinámico, con relaciones entre cada uno de los componentes (Vetaas, 1992; Belsky, 1994; Botero y Russo, 1999; Harmand *et al.*, 2002; Silva-Pando *et al.*, 2002; Medina *et al.*, 2008).

Entre los efectos ecológicos que se destacan, el componente arbóreo en los agroecosistemas tropicales húmedos es la conservación del suelo (da Veiga, 2001); el bombeo del agua y nutrientes de estratos superficiales contribuye también a un aprovechamiento forrajero, ofreciendo recursos alimenticios de alta calidad para el ganado, que no compiten con la alimentación humana y poseen un alto índice de eficiencia de uso de la radiación solar. Eso constituye una estrategia atractiva para afrontar los desafíos actuales de los sistemas de producción animal tropical (Russo y Botero, 2005), además de favorecer la vegetación herbácea asociada ya que mediante el reciclaje de nutrientes pueden acceder a estos, en especial en los sistemas silvopastoriles (Montagnini, 1992).

Uno de los principales beneficios proporcionados por los árboles es la fijación de N atmosférico al suelo, principalmente de arbóreas leguminosas, lo cual favorece a las gramíneas; además, las raíces profundas de los árboles permiten la movilización de nutrientes hacia capas superiores del suelo, donde pueden ser mejor aprovechadas (Hernández y Simón, 1994; Clavero, 1996; Gómez *et al.*, 2002; Casanova *et al.*, 2007; Medina *et al.*, 2008). Por otra parte, la deposición de materia orgánica en el suelo por parte de los árboles (ramas y hojas muertas) y la disposición de las raíces modifican la estructura del suelo, haciéndolo más poroso, favoreciendo la mejor infiltración de agua de lluvia; así también, la sombra de la copa de los árboles ayuda a conservar esa humedad por un mayor tiempo (Jaramillo, 1994; Crespo *et al.*, 1995; Febles *et al.*, 1995; Navia, 2000; da Veiga, 2001).

El efecto de la sombra de los árboles sobre los pastos afecta principalmente: la producción de biomasa, propicia cambios morfológicos y fenológicos sobre los pastos además de promover cambios en la calidad nutritiva. La intercepción de la radiación solar, afecta a dos elementos importantes para el desarrollo de las gramíneas: la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la temperatura; lo que altera en consecuencia, la humedad de la capa superior del suelo, importante para el balance hídrico y la asimilación de nutrientes (Salisbury, 1971; Lemaire, 2000; Guenni *et al.*, 2008). Así también una sombra moderada reduce la temperatura bajo la copa del árbol (mejoramiento del microclima), lo cual beneficia tanto a los animales que se protegen bajo esa sombra, como a las gramíneas asociadas (Belsky, 1994; Silva-Pando *et al.*, 2002; Solorio y Solorio, 2002; Sánchez *et al.*, 2008).

Al haber una menor temperatura bajo el dosel arbóreo, también se reduce la tasa fotosintética y en consecuencia hay una menor producción de hojas. Al reducirse la tasa de aparición de hojas, en comparación con plantas en pleno sol, hay un menor transporte de nutrientes a órganos de almacenamiento por lo que la RuBisCO y la clorofila se mantienen por mayor tiempo en las hojas, esto resulta en una mayor concentración de N en las hojas

(proteína cruda) de las pasturas (Cruz *et al.*, 1999; Silva-Pando *et al.*, 2002; Guenni *et al.*, 2008; Gamboa, 2009). Durante la estación seca, la sombra del árbol mejora el régimen hídrico de la pastura permitiendo prolongar el crecimiento, retardando en cierto modo la maduración del forraje y la senescencia foliar (Pentón, 2000; Silva-Pando *et al.*, 2002; de Andrade *et al.*, 2004; Guenni *et al.*, 2008).

3.6. Efecto de la disponibilidad de luz en los sistemas silvopastoriles

En general, las gramíneas que crecen bajo sombra tienen que mantener un balance de carbono que se usa principalmente para incrementar la expansión de las hojas debido a la competencia por luz (Salisbury, 1971; Lemaire, 2000; Guenni *et al.*, 2008; Cayssials, 2010). Estas hojas son más pequeñas y delgadas (físicamente y en la pared de las células epidérmicas) a diferencia de las hojas expuestas constantemente al sol; debido a esto, su tasa de asimilación de CO₂ es más baja. Por su parte las hojas expuestas totalmente al sol son más gruesas y con un mayor contenido de nitrógeno que se usa en la formación de enzimas fotosintéticas que poseen una mayor capacidad de asimilación de CO₂ (Ludlow y Wilson, 1971; Allard *et al.*, 1991; Deinum *et al.*, 1996; Cruz *et al.*, 1999; Durr y Rangel, 2000; Lemaire, 2000; Guenni *et al.*, 2008).

Varios autores han estudiado los efectos de la sombra de los árboles sobre la productividad de los pastos; muchos de estos han encontrado efectos positivos, mientras que otros encontraron disminución en la productividad de los mismos (Belsky, 1992, 1994; Pentón, 2000; Silva-Pando *et al.*, 2002; de Andrade *et al.*, 2004; Guenni *et al.*, 2008).

Las variaciones en el rendimiento y calidad nutricional de los pastos están en función de la disponibilidad de luz en el sistema silvopastoril y de los requerimientos de luz de las gramíneas. La mayoría de las gramíneas tropicales son C4 y tienen una capacidad limitada de tolerancia a la sombra, disminuyendo su productividad cuando se encuentran en sitios muy sombreados; aunque se tiene referencias de la tolerancia al nivel de sombra de distintas gramíneas, y que estas varían según la densidad de plantación de los árboles y las

condiciones ambientales del sitio (Belsky, 1994; Villafuerte *et al.*, 1999; Andrade *et al.*, 2000; Penton, 2000; Restrepo, 2002; de Andrade *et al.*, 2004; Gamboa, 2009).

Se ha demostrado que las condiciones de humedad también afectan la productividad de los pastos bajo sombra (Silva-Pando *et al.*, 2002); en lugares con poca precipitación (<600 mm año⁻¹) la producción del pasto aumenta bajo el dosel arbóreo, mientras en lugares con mayor precipitación (>800 mm año⁻¹) esta producción disminuye (Gamboa, 2009). Esto puede explicarse dado que en las zonas con poca precipitación las especies arbóreas tienen raíces largas que captan la mayor cantidad de humedad de las capas más profundas del suelo, mientras que en las zonas con mayor precipitación la humedad las raíces se distribuyen más superficialmente lo que induce a una competencia por la disponibilidad de nutrientes y humedad. Aun así, la competencia se puede reducir al establecer las arbóreas a densidades moderadas, y mediante el manejo de podas a los árboles (Botero y Russo, 1999).

En algunas especies la sombra de los árboles sobre el estrato herbáceo beneficia el contenido de proteína cruda y la digestibilidad de las gramíneas; esto por la mayor disponibilidad de N en el suelo que favorece el crecimiento de las gramíneas. Además al restringir la disponibilidad de luz, se reduce el proceso fotosintético, por lo que la maduración de los tejidos, la degradación de los cloroplastos y el proceso de senescencia en las gramíneas se hacen más lentas (Deinum *et al.*, 1996; Tavares *et al.*, 2001; Guenni *et al.*, 2008; Obispo *et al.*, 2008).

3.7. *Guazuma ulmifolia* Lam. como alternativa forrajera

Guazuma ulmifolia es una especie arbórea con potencial para ser incorporado en los sistemas de producción animal. Se adapta fácilmente a distintas condiciones de humedad y suelo (Villa-Herrera, 2009; Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011), posee una buena calidad nutricional y un bajo contenido de metabolitos secundarios (Giraldo, 1999; Lizárraga *et al.*, 2001; Carranza *et al.*, 2003), resiste la defoliación y produce forraje en la estación seca,

que ayuda a complementar la alimentación del ganado (Villa-Herrera, 2009; Ortega *et al.*, 2009).

Este árbol se considera de usos múltiples, y se le puede encontrar como árbol de sombra en los potreros, en cercas vivas, cortinas rompevientos y árboles dispersos en potreros (Vallejo y Oviedo, 1994; Bautista, 2009; Villa-Herrera *et al.*, 2009). Entre sus ventajas están su capacidad de sobrevivir en ambientes con climas secos y suelos pobres y la posibilidad de producir forraje con alta concentración de proteína, minerales y vitaminas para la alimentación animal cuando los pastos se ven limitados por falta de humedad (Giraldo, 1999; Román, 2001; Manríquez, 2010).

Su potencial como especie forrajera radica en el alto valor nutritivo de su follaje y frutos, los cuales son palatables y comestibles para el ganado (Zamora *et al.*, 2001; Ruiz-Rodríguez, 2004; García *et al.*, 2008), su consumo ha retribuido ganancias de peso aceptables en ganado ovino y bovino, lo cual le confiere buenas características forrajeras (Sosa *et al.*, 2004; Manríquez, 2010). Varios estudios indican que el guácimo es una especie que rebrota muy bien después de podarla, resiste muy bien el ramoneo mostrando un crecimiento rápido y vigoroso, además de producir buenas cantidades de biomasa comestible para los animales en la época de menor precipitación (Francisco, 2003a; Leyva 2006; Villa-Herrera, 2009; Ortega *et al.*, 2009).

El valor nutricional de *G. ulmifolia* varía de acuerdo a las condiciones climáticas presentes en cada sitio, del suelo y del manejo (Lizárraga *et al.*, 2001; Zamora *et al.*, 2001; Villa-Herrera, 2009; Manríquez, 2010). Flores (1994) reporta 29.3% de materia seca, 18.8% de proteína cruda, 9.7% de extracto etéreo, 28.1% de fibra ácido detergente, 11.1% de cenizas y digestibilidad del 59.8%. En los estados de Colima y Chiapas, se ha encontrado 5.5 y 5.8% de proteína cruda en frutos (Contreras *et al.*, 1995; Pinto *et al.*, 2004). Así también, en la zona centro del estado de Veracruz se han determinado contenidos entre 13.5 y 22.9% de proteína cruda en el follaje, 72.5 a 83.4% de fibra detergente neutro y un contenido de fibra detergente ácido que fluctúa desde 44.9 a 47.9% (Villa-Herrera, 2009), la variación

en estos contenidos estuvo en función de la edad del follaje del árbol.

El rendimiento del forraje de esta especie es aceptable dependiendo del número de árboles por hectárea. En Costa Rica se han reportado hasta 1,224 kg MS ha⁻¹, con 20 árboles adultos por hectárea, aunque no se menciona el tipo de manejo (Giraldo, 1999). Por su parte Montaña (1991), en el estado de Colima, México, midió 25.33 kg árbol⁻¹ de hoja verde en árboles maduros. Investigaciones realizadas en la zona centro del estado de Veracruz reportan producciones de biomasa de guácimo de 4,280.87 kg ha⁻¹ (Villa-Herrera, 2009).

Entre las gramíneas tropicales que tienen potencial para incorporarse en sistemas silvopastoriles con *G. ulmifolia* se mencionan a *Digitaria eriantha* Steud., *Hiparrhenia rufa* (NES) Stapf., *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria mutica* (Forsk.) Stapf., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., entre otros (Enríquez *et al.*, 1999; Manríquez, 2010). Las características de esta arborea la hacen una especie forrajera promisoría para el trópico mexicano, principalmente en zonas con época seca prolongada y para productores con poca posibilidad para adquirir insumos externos para complementar la alimentación de su ganado en esta época del año.

4. Literatura Citada

Agnusdei, M., M. Colabelli, y R. Fernández. 2001. Crecimiento estacional de forraje de pasturas y pastizales naturales para el sudeste bonaerense. Boletín Técnico No. 152, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Balcarce, Argentina. 17 p.

Aguilar-Luna, E. J. M., F. J. Solorio-Sánchez, S. Hernández-Daumás, E. Huerta-Lwanga, y P. A. Macario-Mendoza. 2011. Interacciones radicales y aéreas en la asociación agroforestal 'cedro-limón-chaya'. Tropical and Subtropical Agroecosystems 14:441-451.

- Allard, G., C. J. Nelson, y S. G. Pallardy. 1991. Shade effects on growth of tall fescue: I-leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop Science* 31(1):163-167.
- Andrade, J. H., M. Ibrahim, F. Jiménez, B. Finegan, y D. Kass. 2000. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. *Revista Agroforestería en las Américas* 7(26):50-52.
- Andrade HJ, H. Esquivel, y M. Ibrahim. 2008. Disponibilidad de forrajes en sistemas silvopastoriles con especies arbóreas nativas en el trópico seco de Costa Rica. *Zootecnia Tropical* 26(3):289-292.
- Baumer, M. 1992. Trees as browse and to support animal production. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Animal Production and Health Paper. 10 p.
- Bautista, T. M. 2009. Sistemas agro y silvopastoriles en El Limón, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 70 p.
- Beer, J. W. 1987. Experiences with fence line fodder trees in Costa Rica and Nicaragua. *In: Beer J. W., H. W. Fassbender, J. Heuedop. (Eds.) Advances in Agroforestry Research. Costa Rica. pp. 215-222.*
- Beer, J., M. Ibrahim, E. Somarriba, A. Barrance, and R. Leakey. 2003. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. *In: Cordero J., D. H. Boshier. (Eds.) Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba, Costa Rica. pp. 197-242.*
- Belsky, A. J. 1992. Effects of trees on nutritional quality of understory gramineous forage in tropical savannas. *Tropical Grasslands* 26(1):12-20.
- Belsky, A. J. 1994. Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* 75(4):922-932.
- Benavides, J. E. 1994. Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Volumen 1. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 419 p.

- Benavides, J. E. 1999. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. *In: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. pp. 449-477.
- Benavides, J. E., R. A. Rodríguez, y R. Borel. 1994. Producción y calidad de forraje de King Grass (*P. purpureum* x *P. typhoides*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) en asociación. En: Benavides JE (Ed.) Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. Vol. II. pp. 441-452.
- Berninger, F., E. Nikimaa, R. Sievänen, y P. Nygren. 2000. Modeling of reserve carbohydrate dynamics, regrowth, and nodulation in a N₂-fixing tree managed by periodic prunings. *Plant, Cell and Environment* 23:1025-1040.
- Bolio, O. R. E., P. E. Lara L., M. A. Magaña M., y J. R. Sanginés G. 2006. Producción forrajera del tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*) según intervalo de corte y densidad de siembra. *Técnica Pecuaria en México* 44(03):379-388.
- Botero, R. y R. O. Russo. 1999. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de conferencia electrónica.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. pp. 172-192.
- Bronstein, G. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, asociada con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis Magister Scientiae. Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- Camacaro, S., N. Baute, y W. Machado. 2003. Efecto de la poda y el pastoreo sobre la producción de biomasa de *Gliricidia sepium*. *Zootecnia Tropical* 21(4):399-412.
- Camacho, D., J. Nahed, S. Ochoa, G. Jiménez, L. Soto, and D. Grande. 1999. Traditional knowledge and fodder potential of the genus *Buddelia* in the highlands of Chiapas, Mexico. *Animal Feed Science and Technology* 80:123-134.
- Camero, A. 1995. Experiencias del CATIE sobre el uso de follaje de leguminosas arbóreas en la producción de carne y leche de bovinos. *Pastos y Forrajes* 18(1):73-80.
- Carranza, M. M. A., L. R. Sánchez V., M. R. Pineda L., y R. Cuevas G. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de

Manantlán, México. *Agrociencia* 37(2):203-210.

- Casanova, L. F. 2005. Interacción espacial y temporal de raíces de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit y *Panicum maximum* (Jacq.) en presencia de nutrimentos bajo condiciones controladas. XL Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Mérida, Yucatán, México. 194 p.
- Casanova, F., L. Ramírez, y F. Solorio. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances de Investigación Agropecuaria*. 11(3):41-52.
- Cayssials, C. V. 2010. Relación entre atributos de las gramíneas nativas de pastizales uruguayos y el ambiente: efectos del hábitat y del pastoreo. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, opción Ecología. Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas-PEDECIBA Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 71 p.
- Clavero, T. 1996. Las leguminosas forrajeras arbóreas: Sus perspectivas para el trópico americano. En: Clavero T. (Ed.) *Leguminosas forrajeras arbóreas en agricultura tropical*. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela. pp. 49-63.
- Contreras, D., C. H. Gutiérrez, C.T. Ramírez, y R. López. 1995. Mejoramiento del valor nutritivo de frutos secos de guácima (*Guazuma ulmifolia*) con urea e hidróxido de sodio. *Archivos de Zootecnia* 44(165):48-53.
- Crespo, G., O. Arteaga, Y. Hernández, y I. Rodríguez. 1995. Mantenimiento de la fertilidad de los suelos ganaderos sin la participación de los fertilizantes químicos. XXX Aniversario Instituto de Ciencia Animal. Seminario Científico Internacional. La Habana, Cuba. pp. 50-54.
- Cruz, P., J. Sierra, J. R. Wilson, M. Dulormne, y R. Tournebize. 1999. Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. *Annals of Arid Zone* 38(3&4):335–361.
- da Veiga, J. B. 2001. Sistemas silvopastoriles en la Amazonia Oriental. En: *Protección de los recursos naturales en sistemas ganaderos: los sistemas agroforestales pecuarios en América Latina*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. pp. 23-24.

- de Andrade, S. C. M., J. Ferreira V., J. da Costa C., y A. Vaz F. 2004. Crecimiento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(3):263-270.
- Deinum, B., R. D. Sulastri, M. H. J. Zeinab, and A. Maassen. 1996. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume*). *Netherlands Journal of Agricultural Sciences* 44:111–124.
- Durr, P. A., and J. Rangel. 2000. The response of *Panicum maximum* to a simulated subcanopy environment I. Soil x shade interaction. *Tropical Grasslands* 34(2):110-117.
- Ella, A., G. J. Blair, and W. W. Stür. 1991. Effect of forage tree legumes at the first cutting on subsequent production. *Tropical Grasslands* 25(3):275-280.
- Enkerlin, E., G. Cano, R. Garza, y E. Vogel. 1997. *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. International Thomson Editores. México, DF. 666 p.
- Enríquez, J. F., F. Meléndez, y E. D. Bolaños. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. Libro Técnico Núm. 7. División Pecuaria. Veracruz, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Papaloapan. 262 p.
- Farrell G. J., y M. Altieri A. 1999. Sistemas agroforestales. *In*: Altieri, A. M. (Ed). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan–Comunidad. pp. 229-243.
- Fassola, H. E., P. Ferrere, S. M. Lacorte, y F. Rodríguez A. 2002. Predicción de la producción de un pastizal bajo distintas estructuras de canopia de *Pinus taeda* L. en el Noreste de Corrientes, Argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 31(2): 73-96.
- Fassola, H. E., S. M. Lacorte, A. N. Pachas, y R. Pezzuti. 2005. Factores que influyen en la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls, bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el nordeste de Corrientes. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 34(3):21-38.
- Febles, G., T. E. Ruiz, y L. Simón. 1995. Consideraciones acerca de la integración de los sistemas silvopastoriles a la ganadería tropical y subtropical. Seminario Científico

Internacional, XXX Aniversario del Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. 55 p.

Ferrer, O., A. Higuera, C. Castro, B. García, Y. López, R. Soto, G. Carrillo, M. Mogollon, y J. Urdaneta. 1996. Efecto de la altura y tiempo de corte sobre la digestibilidad *in vitro*, el valor energético y el contenido de carbohidratos estructurales y no estructurales en hojas y tallos de tres variedades forrajeras de quichoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp). *Interciencia* 21(1):42-47.

Flores, R. O. 1994. Caracterización y evaluación de follajes arbóreas para la alimentación de rumiantes en el departamento de Chiquimula, Guatemala. *In: Benavides J. E. (Ed.) Árboles y arbustos forrajeros en América central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. pp. 117-133.*

Flores, O. I., M. D. Boliva, J. A. Botero, y M. A. Ibrahim. 1998. Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el trópico. *Livestock Research for Rural Development* 10:1-7.

Francisco, A. G. 2003a. Manejo estratégico de las defoliaciones en especies arbóreas. *Pastos y Forrajes* 26 (3):185-195.

Francisco, A. G. 2003b. Efecto de diferentes frecuencias de defoliación en la producción de biomasa de *Albizia lebbbeck*. I. Hojas y tallos tiernos. *Pastos y Forrajes* 26(2):125-130.

Gamboa, M. A. 2009. Efecto de la sombra de Genízaro (*Albizia saman* Jacq.) y Coyote (*Platymiscium parviflorum* Benth.) sobre la productividad primaria neta aérea y la composición química de pastizales seminaturales en fincas ganaderas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Turrialba, Costa Rica. 81 p.

Gamboa, M. A., H. Mendoza, A. Medina, y F. J. Solorio. 2000. Evaluación agronómica y producción de forraje de cinco especies de árboles forrajeros en Yucatán. Memorias IV Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería tropical", Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 188 p.

García, D. E., M. G. Medina, y L. J. Cova. 2008. Aceptabilidad de follajes arbóreos tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 26(3):191-196.

- Giraldo, V. L. A. 1999. Potencial de la arborea guácimo (*Guazuma ulmifolia*), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. *In: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de conferencia electrónica. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. pp. 295-308.*
- Gómez, M. E., L. Rodríguez, E. Murgueitio, C. I. Ríos, M. M. Rosales, M. C. Hernán, M. C. Hernando, E. Molina, y J. P. Molina. 2002. Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria-CIPAV, Cali, Colombia. 147 p.
- Gómez, C. H., J. Nahed T., T. Assefaw, R. Pinto R., y J. López M. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México* 44(2):219-230.
- Guenni, O., S. Seiter, and R. Figueroa. 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands* 42(2):75–87.
- Harmand, J. M., P. Ndonfack, y N. C. Forkong. 2002. Efectos de varias especies de árboles sobre el estrato herbáceo y la dinámica del nitrógeno del suelo en la zona Sudanesa de Camerún. *Agroforestería en las Américas* 9(33-34):14-18.
- Hernández-Daumás, S., G. Russell, y J. Arah. 2002. Modeling carbon and nitrogen cycling in a humid tropical silvopastoral system. *In: FAO Corporate Document Repository (Ed.) International symposium on silvopastoral systems and second congress of livestock production in Latin America. 478 p. <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6109E/X6109E00.HTM>. Consultado febrero 2012.*
- Hernández, I., J. Benavides, y L. Simón. 1996. Manejo de las podas de *Leucaena leucocephala* para la producción de forraje en el periodo seco en Cuba. *Agroforestería de las Américas* 3:11-12.
- Hernández, M., y J. Benavides. 1994. Podas estratégicas en cercos vivos de piñón cubano (*Gliricidia sepium*) para la producción de forraje en la época seca. *In: Benavides J. E. (Ed.) Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Volumen II. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica. Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No. 236. pp. 559-582.*
- Hernández, I., y L. Simón. 1994. Razones para emplear plantas perennes leñosas en la

- ganadería vacuna. *In*: Memoria del taller internacional sistemas silvopastoriles en la producción ganadera. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba. 34 p.
- Hoffman, P. C., K. M. Lundberg, L. M. Bauman, and D. R. Shaver. 2003. The effect of maturity on NDF digestibility. University of Wisconsin Team Forage. Focus on Forage Fact Sheets. Vol. 5, No. 15.
- Ibrahim, M., C. Villanueva, y F. Casasola. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. XX Reunión Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XXX Reunión Asociación Peruana de Producción Animal. Cusco, Perú. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 15(Supl. 1):74-88.
- Iraola, J., J. L. Hernández, E. Muñoz, A. Díaz, y E. Moreira. 2011. Árboles maderables y frutales en sistemas silvopastoriles con ganado para carne. Notas Técnicas, Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA). 24 p.
- Ivory, D. A. (1990) Major characteristics, agronomic features and nutritional value of shrub and tree fodders for farm animals. En: Devendra C (Ed.). Shrub and tree fodders for farm animals. Proceedings of a workshop in Denpasar, Indonesia, 24-29 July, 1989, IDCR-276e. Ottawa, Ontario, Canadá. pp. 22-38.
- Jaramillo, V. V. 1994. Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas tropicales de México. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos e Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural, México, DF. 38 p.
- Jiménez-Ferrer, G., M. López-Carmona, J. Nahed-Toral, S. Ochoa-Gaona, y B. de Jong. 2008. Árboles y arbustos forrajeros de la región Norte-Tzotzil de Chiapas, México. Revista Electrónica Veterinaria México 39(2):199-213.
- Kabatange, M. A., y C. M. Shayo. 1991. Rumen degradation of maize stover as influenced by *Leucaena* hay supplementation. Livestock Research for Rural Development 3(2):19-22.
- Kaplan, I., R. Halitschke, A. Kessler, S. Sardanelli, y R. F. Denno. 2008. Constitutive and induced defenses to herbivory in above- and below-ground plant tissues. Ecology 89:392-406.

- Lacorte, S. M., H. E. Fassola, N. Pachas, y L. Colcombet. 2004. Efecto de diferentes grados de sombreado, con y sin fertilización fosfórica, sobre la producción de un pastizal modificado con predominio de *Axonopus compressus* en el sur de Misiones, Argentina. 11^a. Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias-Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de México. Eldorado, Misiones, Argentina. 9 p.
- Lemaire, G. 2000. Grassland ecophysiology and grazing ecology. CABI Publishing, London, UK. 429 p.
- Leyva, V. 2006. Uso, extracción y manejo de los acahuals de la selva baja caducifolia en las localidades Acazónica y Paso de Ovejas de la zona sotavento del estado de Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Agroecosistemas Tropicales, Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Veracruz, México. 144 p.
- Lizárraga, S. H., F. Solorio S, and C. Sandoval C. 2001. Agronomic evaluation of tree species for forage production in the Yucatán Peninsula. *Livestock Research for Rural Development* 13(6):1-10.
- Llamas, E., J. B. Castillo, C. Sandoval, and F. Bautista. 2001. Tree forage production and quality on a quarry soil in Mérida, Yucatán, México. *In: International Symposium on Silvopastoral Systems. Second Congress of Livestock Production in Latin America.* San José, Costa Rica. 355 p.
- Lowry, J. B., and J. R. Wilson. 1999. Nutritional quality of tree and understory forage in silvopastoral systems. *Annals of Arid Zone* 38:363-384.
- Ludlow, M. M., and G. L. Wilson. 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants. 2. Temperature and illuminance history. *Australian Journal of Biological Sciences* 24:1065-1076.
- Makkar, H. P. S. 2006. Chemical and biological assays for quantification of major plant secondary metabolites. *In: Sandoval-Castro C. A., J. F. Torres-Acosta, A. Ayala.* (Eds.) *Herbivores: The assessment of intake, digestibility and the roles of secondary compounds.* Nottingham Univ. British Society of Animal Science, Publication Number 34. Nottingham, UK. pp. 235-249.
- Maldonado, N. M., J. D. Grande, E. E. Fuentes, S. Hernández, F. Pérez-Gil, and A. Gómez. 2008. Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México: El caso de Tabasco. *Zootecnia Tropical* 26(3):305-308.

- Manríquez, M. L. 2010. Establecimiento, calidad del forraje y productividad de un sistema silvopastoril intensivo bajo pastoreo de bovinos y ovinos en el trópico sub-húmedo. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Posgrados en Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Veracruz, México. 89 p.
- Manríquez-Mendoza, L., S. López-Ortiz, C. Olgún-Palacios, P. Pérez-Hernández, P. Díaz-Rivera, and Z. López-Tecpoyotl. 2011. Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13:573-584.
- Medina, S. M., H. Orozco, y M. C. Díez. 2008. Establecimiento de un sistema silvopastoril mediante las especies *Alnus acuminata* H.B.K. y *Acacia decurrens* Willd y respuesta al empleo de organismos rizosféricos en San Pedro (Antioquia). *Livestock Research for Rural Development* 20(7):1-10.
- Mejías, R., R. Herrera, E. Gutiérrez, H. Bernal, y Y. Ruiz. 2007. Arbustivas leguminosas en sistemas ganaderos: una alternativa atractiva. Revista electrónica. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba-Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. <http://www.unionganaderanl.org.mx/revista.asp>. Consultado febrero de 2011.
- Montagnini, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2ª ed. San José, Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales (OET). 622 p.
- Montagnini, F., C. F. Jordan, y R. M. Matta. 1999. Reciclaje y eficiencia de nutrientes en sistemas agroforestales. *Yvyrareta* 9:21-40.
- Montaño, H. 1991. Diagnóstico de distribución geográfica y potencial forrajero de la guasima (*Guazuma ulmifolia* Lam.) en la zona centro del estado de Colima. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México. pp. 8-30.
- Mott, J. J., M. M. Ludlow, J. H. Richards, and A. D. Parsons. 1992. Effects of moisture supply in the dry season and subsequent grasses *Themeda triandra*, *Heteropogon contortus* and *Panicum maximum*. *Australian Journal of Agricultural Research* 43(2):241-260.
- Murgueitio, E. 2005. Silvopastoral systems in the Neotropics. In: Mosquera R. M., J. McAdam, A. Regueiro-Rodriguez. (Eds.) *Silvopastoralism and sustainable land management*. CAB International Publishing, USA. pp. 24-29.

- Nair, P. K. R. 1985. Classification of agroforestry systems. Working Paper No. 28. Nairobi, Kenya, International Center for Research in Agroforestry. 52 p.
- Naranjo, G. L. 2001. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad. En: II Conferencia Electrónica sobre Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma. pp. 13-25.
- Navas, P. A. 2007. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. En: Sitio Argentino de Producción Animal. Producción y manejo de pasturas/manejo silvopastoril o forestoganadero. Archivo No. 85. 3 p. <http://www.produccion-animal.com.ar/>. Consultado en marzo de 2012.
- Navia, E. J. F. 2000. Agroforestería. Editorial Centenario, Republica Dominicana. 159 p.
- Niembro, A. 1986. Árboles y arbustos útiles de México. Editorial Limusa, México, DF. 206 p.
- Nygren, P., P. Kiema, and S. Rebotaro. 1996. Canopy development, CO₂ exchange and carbon balance of a modeled agroforestry tree. *Tree Physiology* 16:733-745.
- Obispo, N. E., Y. Espinoza, J. L. Gil, F. Ovalles, y M. F. Rodríguez. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Tropical* 26(3):285-288.
- Olivares, P. J., R. Jiménez G., S. Rojas H., y P. A. Martínez H. 2005. Uso de las leguminosas arbustivas en los sistemas de producción animal en el trópico. *Revista Electrónica de Veterinaria* 6(5):1-18. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050505.html>. Consultado en marzo de 2012.
- Ortega, V. E., S. López O., C. Ávila R., y J. A. Burgueño F. 2009. Efecto de podas estratégicas en *Guazuma ulmifolia* Lam. sobre la producción de forraje en la época seca. XXII Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Veracruz 2009. Veracruz, Veracruz, pp. 380-386.
- Pachas, N., A. Keller, H. E. Fassola, S. M. Lacorte, y M. Pinaso. 2004. Producción, morfología y calidad nutritiva de *Axonopus catarinensis* Valls bajo diferentes condiciones lumínicas e hídricas. 11ª Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – Facultad de Ciencia Forestales de la Universidad Nacional Autónoma de México– Estación Experimental Agropecuaria Montecarlo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Misiones, Argentina. 12 p.

- Palma, J. M. 2005. Los árboles en la ganadería tropical. *Revista Avances Investigación Agropecuaria* 9(1):1-9.
- Partey, T. S. 2011. Effect of pruning frequency and pruning height on the biomass production of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Agroforestry Systems* 83:181–187.
- Paterson, R. T., G. M. Karanja, O. Z. Nyaata, I. W. Kariuki, and R. L. Roothaert. 1998. A review of tree fodder production and utilization within smallholder agroforestry systems in Kenya. *Agroforestry Systems* 41:181-199.
- Pentón, F. G. 2000. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis de Master en Pastos y Forrajes. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba. 42 p.
- Pentón, G., y F. Blanco. 2001. Influencia de la sombra de *Albizia lebbek* en la composición química del pastizal. *Pastos y Forrajes* 24(4):305-315.
- Pezo, D., y M. Ibrahim. 1996. Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. *In: Foro Internacional sobre “Pastoreo intensivo sobre zonas tropicales”*. Morelia, Michoacán, México.
- Pezo, D., y M. Ibrahim. 1999. *Sistemas silvopastoriles*. Segunda edición. Módulos de enseñanza agroforestal. Turrialba, Costa Rica. 275 p.
- Pinto, R., H. Gómez, B. Martínez, A. Hernández, F. Medina, L. Ortega, y L. Ramírez. 2004. Especies forrajeras utilizadas bajo silvo-pastoreo en la zona centro de Chiapas. *Avances de Investigación Agropecuaria, Universidad de Colima, México* 8(2):1-11.
- Pizarro, E. A. 2005. Especies arbustivas, gramíneas y leguminosas para el trópico americano. En: IX Seminario de pastos y forrajes. (http://www.avpa.ula.ve/eventos/ix_seminario_pastosyforraje/TiraConferencias.htm) . Consultado en marzo 2012.
- Plata. P., G. Franco, M. Mendoza, y V. Ricalde. 2004. El recurso forrajero. Conceptos básicos sobre el animal y la planta. Guía para estudiantes de medicina, veterinaria y zootecnia. *Archivos de Zootecnia*. 53:419-422.

- Ramos, G., P. Frutos, F. J. Giráldez., A. R. Mantecón. 1998. Los compuestos secundarios de las plantas en la nutrición de los herbívoros. *Archivos de Zootecnia* 47(180):597-620.
- Restrepo, S. C. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco, Cañas, Costa Rica. Tesis Magíster Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 102 p.
- Riis, N. A., C. Skarpe, y M. Stein. 2009. La conducta del ganado con respecto a la distancia a los árboles en Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 47:61-67.
- Rodríguez, C., R. Arias, y J. Quiñones. 1994. Efecto de la frecuencia de poda y el nivel de fertilización nitrogenada, sobre el rendimiento y calidad de la biomasa de Morera (*Morus* sp.) en el trópico seco de Guatemala. *In*: Benavides J. E. (Ed.) Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. Vol. II. pp. 515-528.
- Román, M. M. L. 2001. Evaluación de cinco especies arbóreas nativas como fuente de alimento para rumiantes en el trópico seco. Tesis de Doctorado en Ciencias Pecuarias, Universidad de Colima. Colima, México. 225 p.
- Romero, L. S. A. 2006. Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* var. Caturra), con tres niveles de manejo. Tesis Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- Ruiz-Rodríguez, J. M. 2004. Potencial de árboles y arbustos forrajeros para la alimentación animal tropical. Documento presentado en 3er. Seminario de producción intensiva de ovinos, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México. pp. 42-49.
- Russo, R.O., y R. Botero B. 2005. El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. *In*: Sitio Argentino de Producción Animal. Producción y manejo de pasturas/Manejo silvopastoril o forestogadero. Archivo No. 42. 9 p. (<http://www.produccion-animal.com.ar/>). Consultado en marzo de 2012.
- Salisbury, F. B. 1971. Effects of light and photoperiod on morphogenesis. *In*: Plant morphogenesis as the basis for scientific management of range resources. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. Berkeley, California, USA. pp. 219-232.

- Sánchez, T., E. R. Ørskov, L. Lamela, R. Pedraza, y O. López. 2008. Valor nutritivo de los componentes forrajeros de una asociación de gramíneas mejoradas y *Leucaena leucocephala*. *Pastos y Forrajes* 31(3):271-281.
- Santana, R. M. O., J. D. Valencia R., y C. A. Díaz D. 1999. Memoria: Evaluación de tres sistemas silvopastoriles de guayaba dulce (*Psidium guajaba*), cañafistola (*Peltophorum dubium*) y guayaba-cañafistola, con *Brachiaria humidicola* en el Bajo Cauca Antioqueño. Informe Técnico Código: 2.3.4.04.01.99. Editorial Piloto. Corpoica - Caucasia, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia-Medellín, Pronatta. 79 p.
- Silva-Pando, F. J., M. P. González-Hernández, and M. J. Rozados-Lorenzo. 2002. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables on the Atlantic coast of Spain. *Agroforestry Systems* 56:203-211.
- Solorio, S. F. J., and B. Solorio S. 2002. Integrating fodder trees into animal production systems in the tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1:1-11.
- Somarriba, E. 1990. Pasture growth and floristic composition under the shade of guajava (*Psidium guajava*) trees in Costa Rica. *Agroforestry Systems* 6(1):153-162.
- Sosa, E. E., D. Pérez, L. Ortega, y G. Zapata. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México* 42(2):129-144.
- Stür, W. W., H. M. Shelton, and R. C. Gutteridge. 1994. Defoliation management of forage tree legumes. *In: Gutteridge R. C., and H. M. Shelton. (Eds.) Forage tree legumes in tropical agriculture. CAB International, UK. pp. 341-348.*
- Tavares, C. C. R., R. García, M. Mesquita, C., y V. de Paula, F. 2001. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30(6):1959-1968.
- Toledo, V., A. Batiz, R. Becerra, E. Martínez, y H. C. Ramos. 1995. La selva útil: Etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia* 20(4):177-187.
- Toral, O., y J. M. Iglesias. 2007. Efecto de la poda en el rendimiento de biomasa de 20 accesiones de especies arbóreas. *Pastos y Forrajes* 30(3):341-355.

- Torres, F. 1983. Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry Systems* 1:131-163.
- Vallejo, M., y F. Oviedo. 1994. Características botánicas, usos y distribución de los principales árboles y arbustos con potencial forrajero de América Central. *In: Benavides J. E. (Ed.) Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central.* pp. 665-694.
- Velázquez-Martínez, M., S. López-Ortiz, O. Hernández-Mendo, P. Díaz-Rivera, S. Pérez-Elizalde, and J. Gallegos-Sánchez. 2010. Foraging behavior of heifers with or without social models in an unfamiliar site containing high plant diversity. *Livestock Science* 131(1):73-82.
- Vélez, G., y F. Moreno. 1993. Principios de Agrosilvicultura. *In: Crónica Forestal y del Medio Ambiente, No. 8.* Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. pp. 43-57
- Vetaas, O. R. 1992. Micro-site effects of trees and shrubs in dry savannas. *Journal of Vegetation Science* 3(3):337-344.
- Villa-Herrera, A. 2009. Productividad del sistema silvopastoril con *Guazuma ulmifolia* Lam. y la utilización de la especie en los agroecosistemas de Angostillo, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Veracruz, México. 41 p.
- Villa-Herrera, A., M. E. Nava-Tablada, S. López-Ortiz, S. Vargas-López, E. Ortega-Jimenez, and F. Gallardo-López. 2009. Use of Guacimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) as a forage source for extensive livestock production in a tropical area of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10:253–261.
- Villafuerte, L., J. Arze, y M. Ibrahim. 1999. Rendimiento de pasturas con y sin sombra en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6(23):54-56.
- Wencomo, H. B., y R. Ortiz. 2011. Capacidad de recuperación de 23 accesiones de *Leucaena* spp. después de la poda. *Pastos y Forrajes* 34(1):53-68.
- Williamson, J. G. 1994. Pruning and Training Deciduous Fruit Trees for the Dooryard. Document HS82, Horticultural Sciences Department Series, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), University of Florida (<http://www.hammock.ifas.ufl.edu>). Consultado abril de 2009.

- Wilson, J. R., K. Hill, D. M. Cameron, and H. M. Shelton. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. *Tropical Grasslands* 24(1):24-28.
- White, M. L. 1973. Carbohydrate reserves of grasses: A review. *Journal of Range Management* 26:13-18.
- Zamora, S., J. García, G. Bonilla, H. Aguilar, C. A. Harvey, y M. Ibrahim. 2001. Uso de frutos y follaje arbóreo en la alimentación de vacunos en la época seca en Boaco, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 8(31):31-38.

CAPÍTULO 1.
PODAS ESTRATÉGICAS EN *Guazuma ulmifolia* Lam., PARA LA
CONSERVACIÓN DE FORRAJE EN LA ÉPOCA SECA

Ortega Vargas Eloisa¹, López Ortiz Silvia¹, Burgueño Ferreira Juan Andrés², Campbell W.
Bruce¹, Jarillo Rodríguez Jesús³.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Km. 88.5 de la Carretera Federal Xalapa - Veracruz (vía Paso de Ovejas), Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. Tel: (229) 2010770, Ext. 64333. E-mail: eortega@colpos.mx, silvialopez@colpos.mx, bruce_campbell3@hotmail.com

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Estación Experimental El Batán, Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, Edo. de México. CP 56130, México. Tel: (595) 9521900. E-mail: juanburg@hotmail.com

³Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), Km 5.5 Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Municipio de Tlapacoyan, Veracruz, México. Tel. (232) 3243941. E-mail: jarillorj22@hotmail.com

Resumen

Se efectuaron podas estratégicas en *Guazuma ulmifolia* Lam. con el objetivo de determinar el momento en que debe ser podado en la época de lluvias para promover la producción de forraje que se conserve verde por mayor tiempo durante la época seca. Se realizaron tres podas (P-1 en agosto, P-2 en septiembre y P-3 en octubre) en la época de lluvias y cuatro cosechas (C-a en febrero, C-b y C-c en marzo y C-d en abril) en la época seca durante dos años. Se midió el rendimiento de forraje (g MS árbol^{-1}) y sus componentes (hoja, tallo y materia muerta), la altura del árbol (cm), largo (cm) y número de ramas, senescencia foliar (g MS árbol^{-1}), fotosíntesis (A_N , E, g_s y WUE), clorofila en las hojas (unidades SPAD), índice de área foliar (LAI) y calidad nutricional de forraje (PC, fibras y digestibilidad; %). La fecha de poda afectó la cantidad de biomasa total ($P = 0.001$) y fue mayor en P-1; también hubo variación por la interacción cosecha*año ($P < 0.037$) en el rendimiento y sus componentes morfológicos, en ambos años, la biomasa forrajera y los tallos fueron mayores en C-b ($P < 0.050$); la hoja en C-a ($P < 0.001$) y la materia muerta en C-b y C-d ($P = 0.013$). La longitud de ramas y altura del árbol variaron por la poda ($P < 0.050$) y fueron mayores en P-3. La hoja senescente fue mayor en P-1 y en los árboles de C-b y C-d ($P < 0.001$). La fotosíntesis y LAI variaron según la poda ($P < 0.010$). La clorofila en hojas varió entre cosechas y fue mayor en C-d ($P < 0.050$). La PC difirió por la interacción poda*cosecha*año ($P = 0.035$) y osciló entre el 10-19%. Las fibras y la digestibilidad variaron por la interacción cosecha*año ($P < 0.005$); fueron menores en C-a. El mejor momento para podar *G. ulmifolia* es en agosto cuando produce una mayor cantidad de biomasa total y mayor contenido de proteína en el forraje; y el momento idóneo para cosechar el forraje es en febrero, pues posee una mayor cantidad de hoja, menor pérdida de biomasa por senescencia, menor contenido de fibras y mayor digestibilidad.

Palabras clave: cosecha, poda, forraje, senescencia, interacción, *Guazuma ulmifolia* Lam.

Abstract

Strategic prunings of *Guazuma ulmifolia* Lam. were performed to determine when the trees should be pruned during the rainy season to extend the production of green forage during the dry season. Three prunings (P-1 in August, P-2 in September and P-3 in October) were carried out during the rainy season and four forage-harvests (C-a in February, C-b and C-c in March and C-d in April) during the dry season over two years. Forage production was measured (g DM tree^{-1}) as were its components (leaves, stems and dead matter), tree height (cm), length (cm) and number of branches, foliar senescence (g DM tree^{-1}), photosynthesis (AN, E, g_s and WUE), leaf chlorophyll (SPAD units), foliar area index (LAI) and forage nutritional quality (CP, fiber and digestibility; %). The date of pruning affected total biomass ($P = 0.001$) and was greatest in P-1. The interaction forage-harvests*year was significant ($P < 0.037$) for forage production and its morphological components; in both years forage biomass and the number of stems were greater in C-b ($P < 0.050$), leaves in C-a ($P < 0.001$) and dead matter in C-b and C-d ($P = 0.013$). Branch length and tree height varied according to pruning date ($P < 0.050$) and they were greater in P-3. Leaf senescence was greater in P-1 and in the trees from which C-b and C-d were obtained ($P < 0.001$). Photosynthesis and LAI varied according to pruning date ($P < 0.010$). Leaf chlorophyll varied among forage-harvests and was greater in C-d ($P < 0.050$). Crude protein was influenced by the interaction pruning*forage-harvest*year ($P = 0.035$) and varied between 10-19%. Fiber and digestibility were influenced by the interaction forage-harvests*year ($P < 0.005$), and were lowest in C-a. The best time to prune *G. ulmifolia* is in August when total forage biomass and crude protein are highest, and the best time for forage-harvest is in February, when there is a greater quantity of leaves, a smaller loss of biomass from leaf senescence, a lower fiber content and greater digestibility.

Key Words: *Guazuma ulmifolia* Lam., forage biomass, pruning, foliage harvest, senescence, interaction.

1.1. Introducción

La incorporación de árboles y arbustos forrajeros en la ganadería, se considera una buena estrategia para reducir la escasez de forraje en las zonas con precipitación estacional, donde la producción de forraje de gramíneas es abundante en la época de lluvias y escasa en la época de menor precipitación. Los árboles producen forraje de buena calidad nutricional por periodos más prolongados que los pastos aun en la época seca, mejorando la oferta de forraje durante el año y la calidad de la dieta del ganado (Murgueitio, 2005; Jiménez-Ferrer et al., 2008).

En las regiones tropicales de México existen una gran variedad de especies de árboles y arbustos que tienen potencial para ser incorporados en los sistemas de producción animal, aun cuando se considera que el mayor potencial se encuentra en las especies leguminosas, se han encontrado resultados aceptables en varias especies nativas del trópico, tanto por la producción de biomasa como por su calidad nutricional (Toledo *et al.*, 1995; Ruiz-Rodríguez, 2004; Toral e Iglesias, 2007; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008). La posibilidad de utilizar el forraje de los árboles en los sistemas ganaderos para complementar la alimentación del ganado, haría a la ganadería menos dependientes de insumos externos (concentrados energéticos y proteicos) que tienen que ser adquiridos a un costo elevado (Enkerlin *et al.*, 1997).

Se reconoce que la producción de materia seca de los árboles forrajeros es menor que la de los pastos; y que su ventaja estriba en que bajo condiciones de manejo, los árboles están en producción prácticamente durante todo el año y el rendimiento conjunto de estos componentes es mayor en cantidad y calidad nutricional que en monocultivo de gramíneas (Mejías *et al.*, 2007).

La mayoría de los árboles de clima tropical subhúmedo y seco se comportan como caducifolios, por lo que anualmente las hojas maduras se desprenden del árbol (senescencia) a principios del otoño, como un mecanismo natural en el que la planta busca reducir la pérdida de humedad por el estrés hídrico, en zonas de precipitación estacional este mecanismo se acentúa (Torres, 1983; Buchanan-Wollaston, 1997; Matile, 2000; Buchanan-Wollaston *et al.*, 2003).

La pérdida natural de follaje por senescencia puede manejarse mediante la defoliación en determinada época del año, que puede retardar el proceso de senescencia además de promover el crecimiento de follaje nuevo que puede mantenerse en los árboles por periodos prolongados, aún en ausencia de precipitación (Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996; Alonso *et al.*, 2003; Francisco, 2003). El manejo del proceso natural de crecimiento del follaje arbóreo, mediante la defoliación, modifica el momento en que se inicia la etapa de senescencia foliar, promoviendo crecimiento nuevo de brotes, a esto se puede considerar como poda estratégica.

En el caso de la especie arbórea *Guazuma ulmifolia* Lam., observaciones de campo indican que a pesar de ser un árbol de selva baja y tener la característica de caducifolio, las podas durante la época de lluvias promueven un crecimiento del follaje que mantiene verde hasta meses después de que ha iniciado la época seca. Por otra parte, es un árbol con buenas características forrajeras, además se sabe que responde a la defoliación rápidamente y produce cantidades importantes de biomasa comestible para los animales (CATIE, 1986; Villa-Herrera *et al.*, 2009; Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011).

El objetivo de esta investigación fue determinar el momento en que *G. ulmifolia* debe ser podado durante la época de lluvias para promover una mayor producción de forraje que se conserve verde en el árbol por mayor tiempo durante la época seca.

1.2. Materiales y Métodos

1.2.1 Sitio experimental

El sitio experimental está localizado en las coordenadas 19° 17' latitud Norte y 96° 26' longitud Oeste, a 260 msnm. El clima es de tipo Aw^w₀ (w) (i') g el más seco de los cálidos húmedos, con lluvias en verano con presencia de sequía intraestival (García, 1973). La temperatura media anual es 25°C, la precipitación es estacional, con una media anual menor a 1000 mm, siendo más alta en los meses de junio a octubre y escasa o nula de diciembre a mayo (Figura 1); y la humedad relativa promedio es 81.3%. El sitio fue un potrero de 0.25 ha, donde el suelo es de tipo arcilloso y pedregoso, con buen drenaje y pendiente moderada (< 5%); el pH era de 6.1, la conductividad eléctrica de 0.38 dS m⁻¹, 14.04 cmol kg⁻¹ de Ca⁺⁺, 7.25 cmol kg⁻¹ de Mg⁺⁺, 0.37 cmol kg⁻¹ de K, 0.26 cmol kg⁻¹ de Na⁺ y el total de nitrógeno en el suelo de 0.18%.

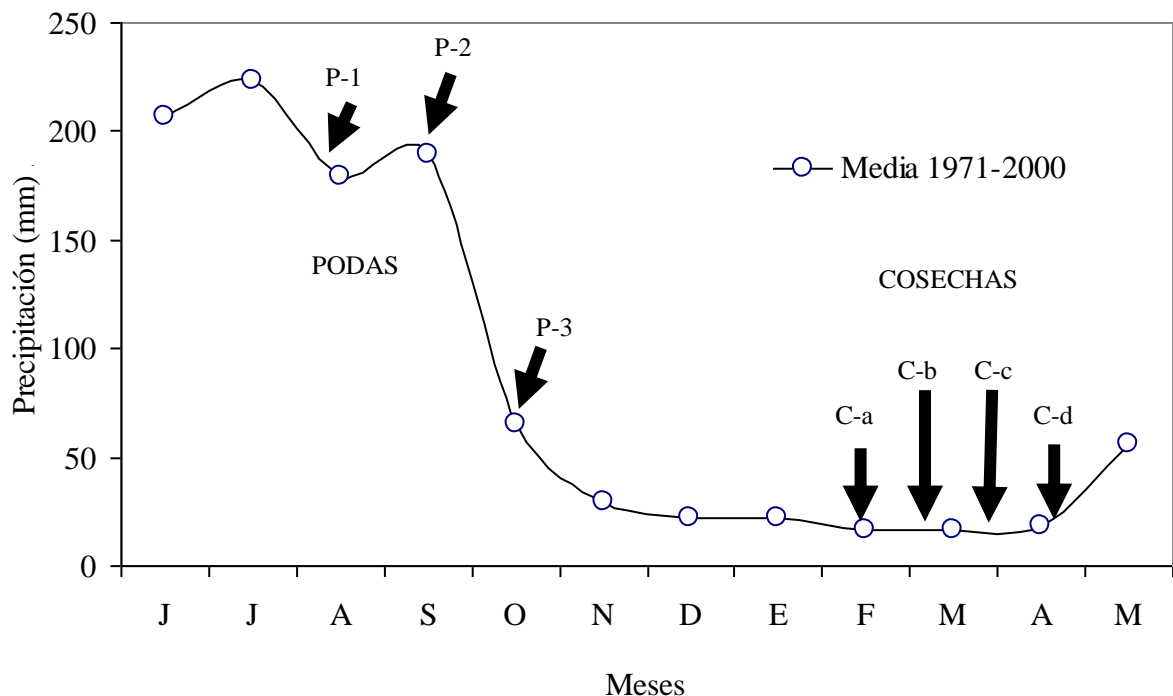


Figura 1. Esquema de las fechas de podas y cosechas durante el experimento con base en la curva de precipitación en la zona de estudio (CONAGUA, 2008).

1.2.2. Árboles experimentales

Se utilizaron árboles de *G. ulmifolia* establecidos por medio de semillas en el periodo de junio a agosto del 2006, sembrados en un arreglo espacial de tres bolillo a 2 m de distancia entre plantas; los cuales estuvieron bajo pastoreo intermitente de los 6 a los 18 meses después de plantados en campo, y a partir de diciembre de 2007 se dejaron en descanso para promover un mayor tamaño al inicio del experimento. Después de sembrados en campo, los árboles recibieron humedad únicamente de la precipitación estacional.

Inicialmente se tomó una muestra aleatoria de 120 árboles de una población de 1104 con 54 ± 13 cm de altura (en junio de 2008). Debido a la variabilidad de tamaño en los árboles, a pesar de tener la misma edad, se clasificaron en árboles muy grandes, grandes, medianos y chicos, tomando como criterio la altura del árbol y el volumen de su copa; para utilizar una muestra homogénea se incluyeron en el experimento solo los árboles medianos y grandes.

1.2.3. Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 3x4 con tres fechas de poda en la época de lluvias que fueron el 16 de agosto, 20 de septiembre y 25 de octubre (P-1, P-2 y P-3) y cuatro fechas de cosecha en la época seca que se efectuaron el 17 de febrero, 9 de marzo, 29 de marzo y 21 de abril (C-a, C-b, C-c y C-d). El experimento se realizó durante un periodo de dos años (agosto de 2008 a abril de 2010). Se asignaron aleatoriamente 40 árboles a cada fecha de poda (medianos y grandes en la misma proporción) y estos mismos se distribuyeron de manera aleatoria entre las fechas de cosecha (10 árboles por cada fecha de cosecha).

1.2.4. Procedimiento experimental

Se realizó una poda inicial para uniformar los árboles experimentales (para cada año de evaluación), 62 días antes de realizar la primera poda estratégica. El criterio para uniformar fue eliminar ramas demasiado largas y brotes leñosos muy pequeños que crecen cerca del tallo principal y no se desarrollan por la poca disponibilidad de luz provocada por

sombreado de ramas de mayor tamaño; procurando dejar de un tamaño similar árboles medianos y grandes, respectivamente.

La altura de corte en cada poda estratégica se determinó al medir la altura total de los árboles, un día antes de la poda correspondiente, y se determinó la altura media para árboles medianos y grandes por separado, esta se utilizó como altura de corte (varió de acuerdo la fecha de poda y al tamaño de los árboles). En la poda se utilizaron tijeras de jardinería para el corte de ramas y brotes leñosos, y la defoliación manual para la remoción de hojas y brotes tiernos.

Las podas estratégicas se realizaron durante la época húmeda de ambos años (2008 y 2009; Figura 1), con un intervalo de 5 semanas entre podas y consistió en cortar ramas principales a la altura media de los árboles asignados a cada poda (90.0-111.0 cm en P-1, 108.0-146.0 cm en P-2 y 150.0-171.0 cm en P-3; respectivamente para cada fecha de poda); y las ramas secundarias se cortaron a 40.0 cm desde su inserción a la rama principal, removiendo todas las hojas, tallos tiernos y el material leñoso alrededor del mismo.

Las cuatro cosechas de forraje se realizaron en la época seca de ambos años (2009 y 2010; Figura 1) en intervalos de tres semanas entre cosechas. En cada cosecha se removió el total de hoja verde y tallos comestibles para el ganado; tomando como criterio cortar los tallos tiernos y con diámetro menor a 0.5 cm, ya que estos están menos lignificados y son de más fácil consumo para el ganado.

1.2.5. Variables evaluadas y su medición

Se evaluó el rendimiento de biomasa forrajera y sus componentes morfológicos (hoja, tallos y materia muerta), altura antes de la cosecha, longitud de ramas, número de ramas, senescencia foliar y calidad nutricional (para el primer año de evaluación). En el segundo año se midieron el contenido de clorofila, la eficiencia fotosintética en las hojas y el índice de área foliar por árbol.

El rendimiento por árbol (en cada fecha de cosecha) se evaluó, tomando como criterio cortar todo el material comestible para el ganado, incluyendo todas las hojas, tallos herbáceos y rebrotes. Todo el follaje cosechado se pesó en campo y posteriormente se secó en un horno de aire forzado a 60°C por 48 horas. Una vez seco, se pesó el total del follaje y se separaron las porciones de hoja y el tallo de cada árbol, para después pesarlo por separado. Para determinar la proporción de materia muerta se recolectaron todas las hojas con coloración amarillenta pegadas al árbol y hojas muertas que ya habían caído (hojas senescentes que cayeron y se recolectaron de la base del árbol). La recolección de hojas caídas se realizó colocando malla recolectora en la base de los árboles que evitara que las hojas se mezclaran con las de árboles vecinos. Las recolecciones se realizaron cada 7 días, iniciando a partir de la sexta semana después de cada poda y concluyendo hasta que se realizó la cosecha del forraje de cada árbol (35 semanas después de la primera poda estratégica).

Se tomó lectura de la precipitación pluvial durante los dos años, con una estación meteorológica portátil (Davis Instruments, modelo Pro2TM, California, USA) instalada dentro de un radio de un kilómetro del sitio experimental. Estos datos fueron utilizados para asociarlos con la tendencia de la senescencia foliar, según la fecha de poda, en el transcurso del experimento.

Se midió la altura de los árboles antes de cada cosecha tomando la longitud de cada árbol desde el nivel del suelo hasta el ápice de la rama más alta. También se midió la longitud y número de ramas para lo cual se visualizó un prisma rectangular alrededor del árbol y se seleccionó aleatoriamente una de las caras para contar el número de ramas que crecieron en ese lado del árbol y se multiplicó por 4 (número de caras del prisma), del mismo modo se midió el largo de todas las ramas nuevas que se hallaron en la parte seleccionada.

Para determinar la eficiencia fotosintética se midió en las hojas del árbol la tasa neta de asimilación de CO₂ (A_N), la transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s) en cuatro árboles por tratamiento seleccionados al azar (Lc Pro+ Portable Photosynthesis System,

ADC BioScientific Limited, Hertfordshire, Inglaterra), en la octava semana después de cada poda (momento en el que las hojas alcanzaron el tamaño necesario para poder realizar la medición); tomando la lectura entre las 12:00-14:00 horas en hojas de dos ramas seleccionadas aleatoriamente (con dirección Este y Oeste), y en la cuarta hoja contando desde el ápice de la rama. Además, se calculó la eficiencia en el uso del agua (WUE, por sus siglas en inglés Water-Use Efficiency) en la planta dividiendo A_N entre E.

La hora en que se tomó la lectura se fijó según el momento en que la curva de eficiencia fotosintética del árbol alcanzaba el punto más alto y el tiempo que este valor se mantenía, para esto se hizo una prueba inicial para obtener la curva de eficiencia, en la que se tomó lectura de este valor, de la forma ya descrita, cada dos horas por un periodo de 12 horas (07:00-19:00 horas).

Se midió el contenido de clorofila en las hojas (SPAD 502 Chlorophyll Meter, Spectrum Technologies, Illinois, USA) en unidades SPAD (por sus siglas en inglés Soil Plant Analysis Development), cada 7 días a partir de la sexta semana después de cada poda, seleccionando al azar una muestra de tres árboles por tratamiento y en cada árbol se seleccionaron al azar dos ramas (con dirección Este y Oeste) de las cuales se tomó lectura del contenido de clorofila en cuatro hojas.

Se determinó el índice de área foliar (LAI 2000 Plant Canopy Analyzer, LI-COR; Nebraska, USA) en 10 árboles por fecha de poda, esta medición se realizó en la semana 16 después de cada poda. La lectura se realizó en seis puntos diferentes del árbol para una mayor precisión; utilizando el limitador del campo visual en 5/6 de la lente.

Para determinar la calidad nutricional se utilizó una muestra de tres árboles por tratamiento. Se determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA) y neutro (FDN), lignina y digestibilidad *in vitro*. Para determinar la proteína cruda se utilizó el método macro-Kjeldahl (AOAC, 1980); la FDA y FDN se determinaron con el método de la bolsa de filtro Ankom y el equipo Ankom²⁰⁰ (Ankom Technology; New

York, USA; Ankom, 2010); la lignina se obtuvo por el método de vaso de precipitados con H₂SO₄ al 72% (AOAC, 1997) y bolsas de filtro; y la digestibilidad *in vitro* se determinó con el método de la bolsa de filtro y el equipo Daisy^{II} (Ankom Technology, New York, USA; Ankom, 2010).

1.2.6. Análisis estadístico

Las variables biomasa total y sus componentes (hoja, materia muerta y tallos), altura antes de la cosecha, largo y número de ramas, senescencia, clorofila y calidad nutricional se analizaron bajo un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 3x4, utilizando el procedimiento MIXED y covarianza no estructurada de Statistical Analysis System, versión 4.3.0 (SAS Inc., 2010).

El modelo incluyó el efecto de año, poda y cosecha como factores principales y la interacción de poda*cosecha, año*poda, año*cosecha y año*poda*cosecha. Para la variable clorofila el modelo incluyó los efectos de poda, cosecha y la interacción poda*cosecha. En las variables eficiencia fotosintética e índice de área foliar se utilizó el procedimiento GLM, y el modelo incluyó solo el efecto de la poda como factor principal. Además para la variable senescencia se hizo un análisis del momento en que se alcanzó el punto máximo de caída de hojas, el momento en que se alcanzó el 10 y 90% del total acumulado de hoja senescente recolectada, utilizando el procedimiento MIXED y covarianza diagonal, el cual incluyó la fecha de cosecha como factor principal. En todas las variables en que se observaron diferencias significativas se utilizó la prueba de medias LSmeans con un $\alpha = 0.05$.

1.3. Resultados

1.3.1 Biomasa forrajera y componentes morfológicos

La cantidad de biomasa forrajera en el segundo año (123.2 g MS árbol⁻¹) fue mayor que en el primero (106.0 g MS árbol⁻¹; P < 0.001). La fecha de poda afectó esta producción (P =

0.001) y la mayor cantidad se obtuvo con P-1 (141.1 g MS árbol⁻¹; P < 0.001), seguida de P-2 (105.3 g MS árbol⁻¹) y P-3 (95.3 g MS árbol⁻¹) que fueron similares (P = 0.432).

La cantidad de biomasa por árbol varió por efecto de la fecha de cosecha y su interacción con el año de evaluación (P = 0.037; Figura 2). En el 2009 las mejores cosechas fueron C-b y C-a, que fueron similares (P = 0.086), y C-d (P < 0.001) produjo menos. Sin embargo, en el 2010 C-b fue diferente de C-a (P = 0.014), C-c (P < 0.001) y C-d (P < 0.001), y estas últimas a su vez fueron similares entre sí (P > 0.050).

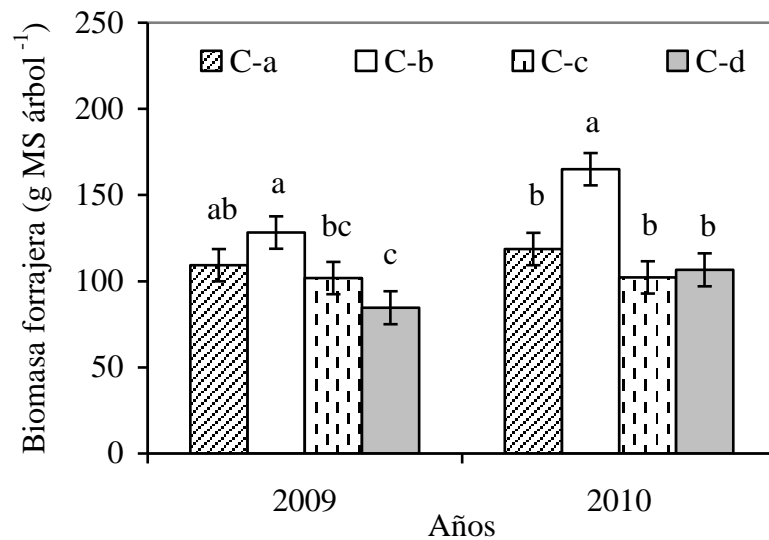


Figura 2. Rendimiento de biomasa forrajera (g MS árbol⁻¹) en dos años de evaluación del árbol *Guazuma ulmifolia* Lam. en cuatro cosechas en la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d).. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares (P > 0.050). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

La fecha de poda no influyó en la cantidad de hoja (21.5 ± 2.7 g MS árbol⁻¹; P = 0.201) como componente de la biomasa forrajera. Sin embargo, se observó un efecto de la interacción poda*año en tallos (P = 0.022) y materia muerta (P = 0.032; Cuadro 1). En el 2009, la mayor cantidad de tallos se produjo en P-1 (P < 0.001); mientras que en el segundo año, la mayor cantidad se obtuvo en P-3 (P < 0.001). En ambos años, la materia muerta fue mayor en P-1 (P = 0.002), seguida de P-2 y finalmente P-3 (P < 0.001). Sin embargo, en los árboles de P-1 (P < 0.002) y P-3 (P < 0.001) la materia muerta fue mayor en 2009, mientras que para los árboles de P-2 (P < 0.001) fue mayor en 2010.

Cuadro 1. Componentes de la biomasa forrajera (g MS árbol⁻¹) del árbol *Guazuma ulmifolia* Lam., podado en diferentes momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) en dos años de evaluación.

Poda	2009 ^b			2010 ^a		
	Hoja	Tallo	Materia muerta	Hoja	Tallo	Materia muerta
P-1	14.2 ^a (2.7)	50.3 ^a (3.0)	75.9 ^a (3.6)	26.8 ^a (2.7)	46.7 ^{ab} (5.2)	69.1 ^a (5.2)
P-2	11.5 ^a (2.7)	42.3 ^b (3.0)	43.7 ^b (3.6)	26.4 ^a (2.7)	43.6 ^b (5.2)	47.9 ^b (5.1)
P-3	13.6 ^a (2.7)	44.5 ^{ab} (2.9)	23.0 ^c (3.6)	36.5 ^a (2.7)	57.7 ^a (5.1)	15.3 ^c (5.1)

Valores entre paréntesis representan el error estándar.

Medias de podas con la misma literal dentro de la misma columna son similares (P > 0.05).

Distinta literal entre años indica diferencia (P < 0.05).

Todos los componentes de la biomasa forrajera variaron por efecto de la interacción cosecha*año (P < 0.030). La hoja en el primer año fue superior solo en la primera cosecha (C-a; P < 0.001), mientras que en el segundo año fue superior en las dos primeras cosechas (Cuadro 2). La cantidad de tallo en 2009 fue menor en la última cosecha (C-d; P = 0.013), mientras que en 2010 C-d aumentó hasta ser similar a C-c y C-a (P > 0.050). En 2009, la materia muerta fue mayor en C-b (P < 0.050), mientras que en 2010 fue mayor en C-d y C-b (P = 0.002), y C-a fue menor que en el 2009.

Cuadro 2. Componentes de la biomasa forrajera (g MS árbol⁻¹) del árbol *Guazuma ulmifolia* Lam., en cuatro cosechas en distintos momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) en dos años de evaluación.

Cosecha	2009 ^b			2010 ^a		
	Hoja	Tallo	Materia muerta	Hoja	Tallo	Materia muerta
C-a	22.0 ^a (2.1)	44.1 ^b (3.4)	43.3 ^b (4.2)	48.6 ^a (5.2)	40.7 ^b (6.0)	29.5 ^b (5.9)
C-b	15.5 ^b (2.1)	57.2 ^a (3.4)	55.5 ^a (4.1)	51.5 ^a (5.2)	63.0 ^a (6.0)	50.5 ^a (5.9)
C-c	8.8 ^c (2.1)	49.3 ^b (3.4)	43.8 ^b (4.2)	13.8 ^b (5.2)	46.7 ^b (6.0)	41.8 ^{ab} (5.9)
C-d	5.8 ^c (2.1)	31.5 ^c (3.5)	47.3 ^{ab} (4.2)	5.1 ^b (5.3)	46.9 ^b (6.0)	54.6 ^a (6.0)

Valores entre paréntesis representan el error estándar.

Medias de cosechas con la misma literal dentro de la misma columna son similares (P > 0.05).

Distinta literal entre años indica diferencia (P < 0.05).

1.3.2. Morfología de los árboles

La altura de los árboles fue superior en 2010 (133.3 ± 5.0 cm en 2009 y 169.2 ± 4.0 cm en 2010; $P < 0.001$) y similar entre cosechas ($P = 0.122$). Hubo variación por efecto de la poda con relación al año ($P < 0.001$); la altura en los árboles de P-3 fue más alta en ambos años ($P < 0.001$), pero P-1 y P-2 fueron distintas en 2009 ($P < 0.001$) e iguales en 2010 ($P = 0.668$; Figura 3).

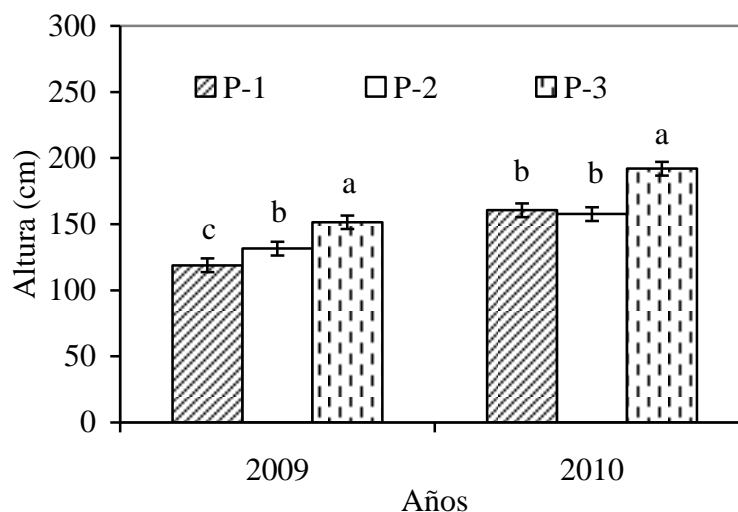


Figura 3. Altura (cm) de los árboles de *Guazuma ulmifolia* Lam. podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) en dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

El número de ramas por árbol fue similar en todas las fechas de poda (20 ± 0.8 ; $P > 0.050$). La longitud de ramas varió según la poda y fue mayor en árboles de P-3 (25.1 ± 0.5 cm; $P < 0.005$), seguido por P-1 (23.1 ± 0.5 cm; $P < 0.001$) y P-2 (20.1 ± 0.5 cm; $P < 0.001$). La longitud de ramas también varió por efecto de la cosecha con relación al año ($P = 0.008$), en 2009 los árboles de C-b presentaron ramas más largas ($P < 0.001$) y los de C-a tuvieron la menor longitud; sin embargo en 2010 fueron los árboles de C-b y C-a los que presentaron ramas de mayor longitud, y C-d presentó ramas más cortas en este año (Figura 4).

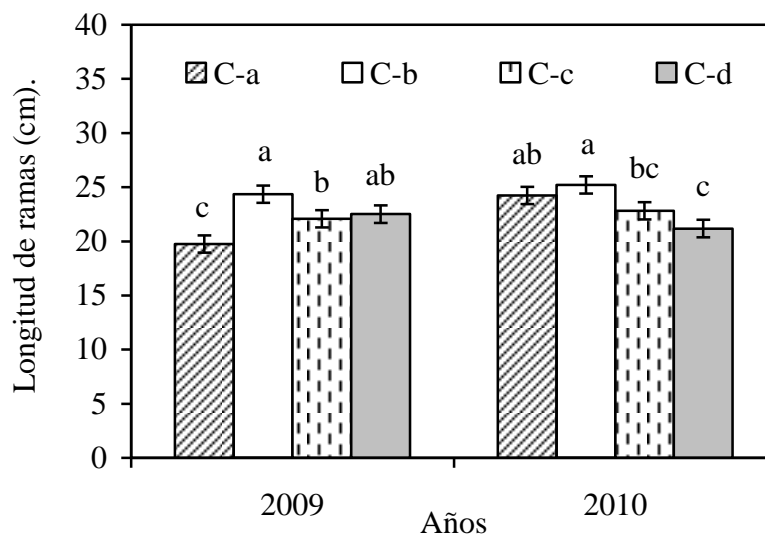


Figura 4. Longitud de ramas (cm) en el árbol *Guazuma ulmifolia* Lam. cosechados en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

1.3.3. Senescencia del follaje

La cantidad de hoja senescente acumulada varió por efecto de la interacción poda*año ($P = 0.021$). En 2009 y en 2010 los árboles de P-1 presentaron mayor cantidad de hoja senescente (73.5 y 69.4 g MS árbol⁻¹, respectivamente; $P < 0.001$) seguido de los árboles de P-2 (41.7 y 42.5 g MS árbol⁻¹, respectivamente; $P < 0.001$) y P-3 (23.3 y 16.9 g MS árbol⁻¹, respectivamente; $P < 0.001$). En 2009 hubo una mayor cantidad de hoja senescente que en 2010, esto para P-1 y P-3; mientras que para P-2 la esta cantidad fue ligeramente mayor en 2010.

También se observó una variación por efecto de la interacción cosecha*año ($P = 0.001$). En el 2009 C-b ($P < 0.001$) tuvo la mayor cantidad de biomasa senescente y fue similar a C-d ($P = 0.192$), mientras que C-a y C-c ($P = 0.040$) tuvieron la menor cantidad. En 2010, la C-d, C-b y C-c fueron similares ($P > 0.050$) y la C-a es menor que las otras cosechas ($P = 0.002$; Figura 5).

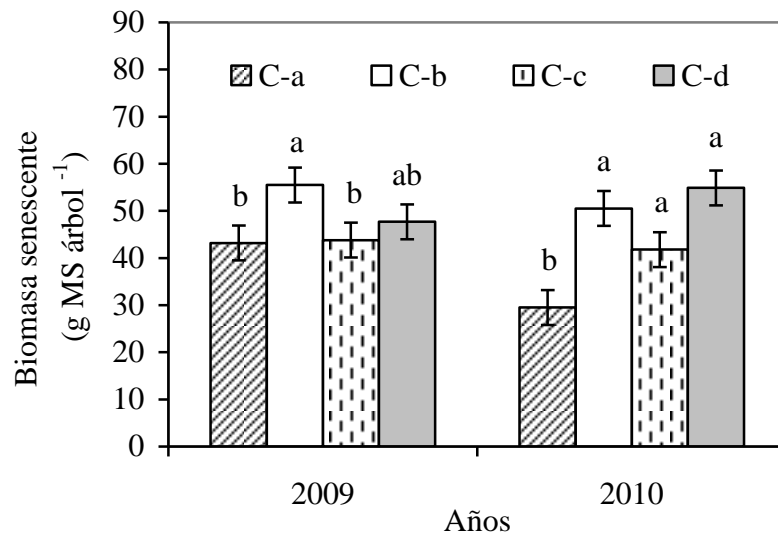


Figura 5. Biomasa senescente (g MS árbol⁻¹) acumulada del árbol *Guazuma ulmifolia* Lam. en cuatro cosechas en la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

La caída de hoja senescente a lo largo del experimento, se observó en periodos específicos después de la época de lluvias (Figura 6). La fecha de poda afectó el momento en que se alcanzó el punto máximo de caída de hojas ($P < 0.001$), los árboles de P-1 presentaron la máxima caída de hojas entre las semanas 19 y 22, mientras que los de P-2 y P-3 alcanzaron el punto máximo entre las semanas 25 y 28. Sin embargo, P-1 presenta un segundo pico de caída de hojas que coincide con el punto máximo de caída de hojas de las otras podas.

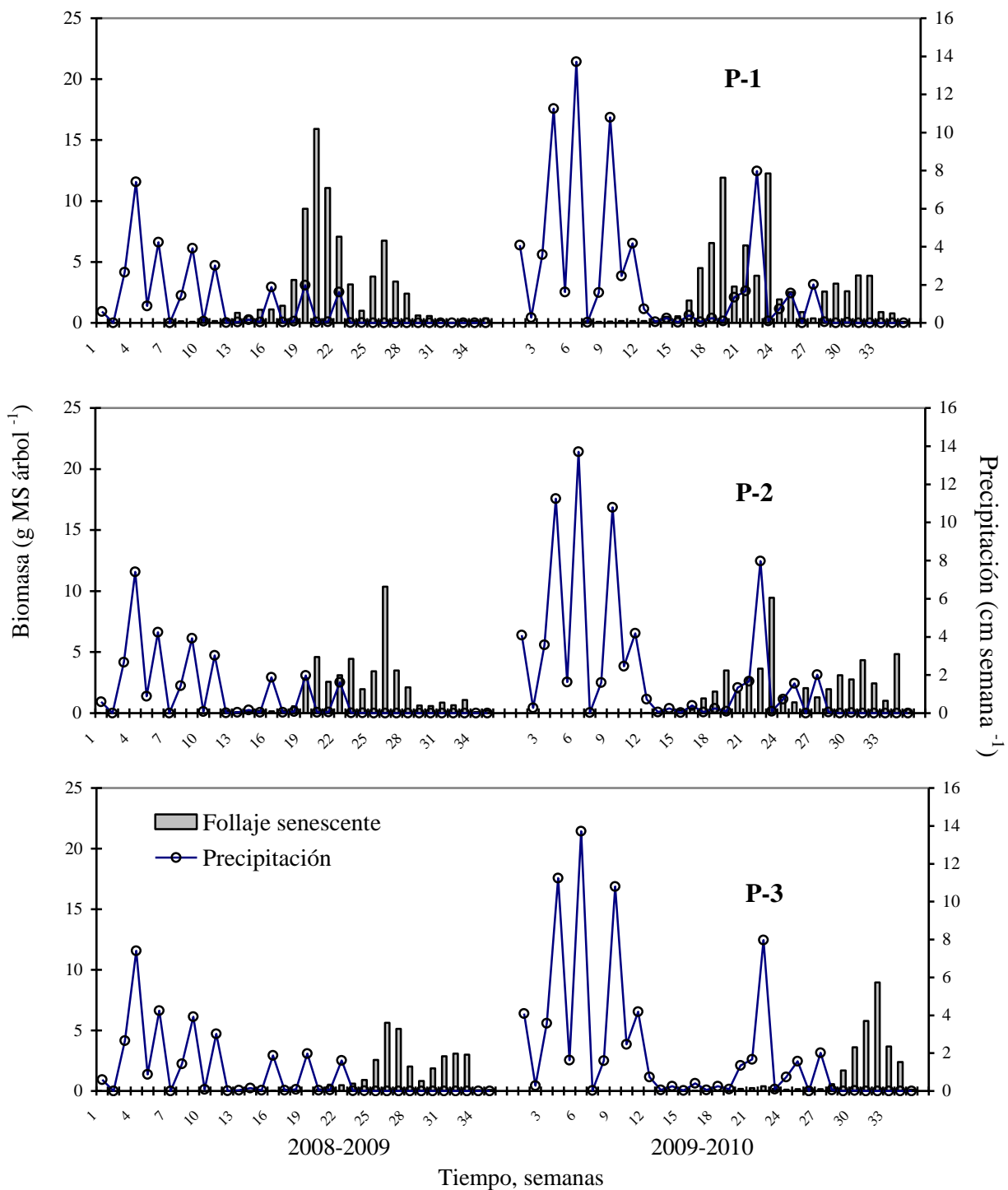


Figura 6. Tendencia de la caída de hojas senescentes de árboles podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y su relación con la precipitación pluvial en árboles de *Guazuma ulmifolia* Lam., en dos años de evaluación (semana 1 a 35 en cada año).

Entre las semanas 17 y 33 se recolectó del 10 al 90% del total de hoja senescente (Figura 7). La poda afectó el momento en que se alcanzó el 90% del total acumulado ($P < 0.001$), los árboles de P-1 alcanzaron primero este porcentaje (semana 26; $P = 0.001$), seguido de P-2 y P-3 (semana 28 y 32, respectivamente; $P < 0.001$), 13 semanas después de la última lluvia en el otoño (entre el 1 y 8 de noviembre).

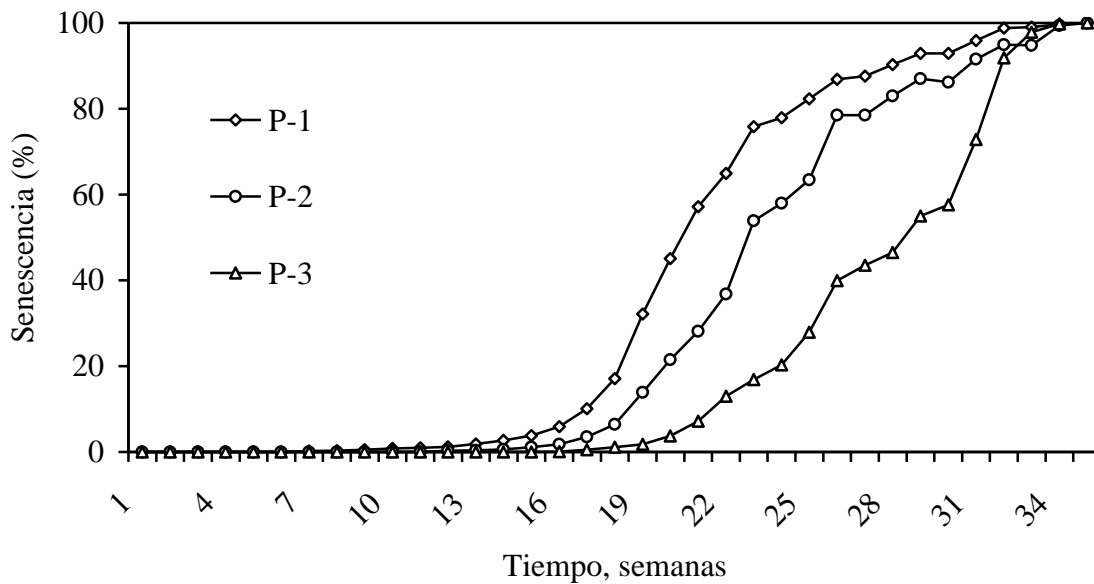


Figura 7. Hoja senescente acumulada de árboles de *Guazuma ulmifolia* Lam. podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) en un periodo de 35 semanas.

1.3.4. Clorofila en las hojas

El contenido de clorofila en las hojas difirió por efecto de la interacción poda*cosecha ($P = 0.043$). El mayor contenido se observó en el follaje de C-d ($P < 0.050$; Figura 8) y el menor en los árboles de C-a ($P < 0.002$) en todas las fechas de poda. Para los árboles de las tres podas la tendencia es a incrementar el contenido de clorofila conforme se van realizando las últimas cosechas; sin embargo, en los árboles de P-1 y P-2 este incremento fue más uniforme, mientras que para los árboles de P-3 hay una mayor diferencia entre la cantidad de clorofila de las primeras cosechas y de las últimas.

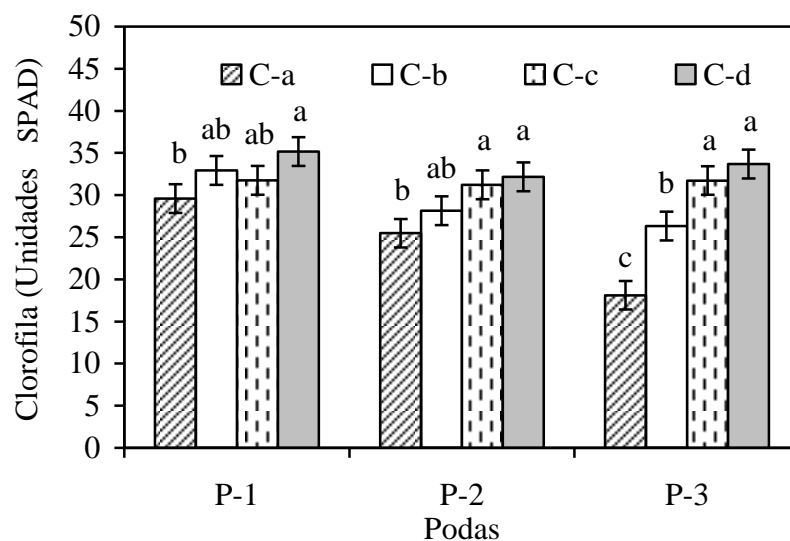


Figura 8. Contenido de clorofila (unidades SPAD) en las hojas del árbol *Guazuma ulmifolia* Lam. podado en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y cosechado en cuatro momentos la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d). Barras con la misma literal dentro de cada poda son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

A lo largo del experimento, el contenido de clorofila en las hojas varió solo por efecto de la poda ($P = 0.002$). En los árboles de P-1 y P-2 se mantiene por encima de las 40 unidades SPAD hasta la semana 17 (Figura 9), y a partir de ese momento comienza a descender, esto coincide con el momento en que la senescencia alcanza el 10% del total acumulado en el periodo (Figura 7); mientras que en los árboles de P-3 los niveles de clorofila se mantienen elevados hasta la semana 25 (26% de la senescencia acumulada) y disminuye drásticamente a partir de la semana 26.

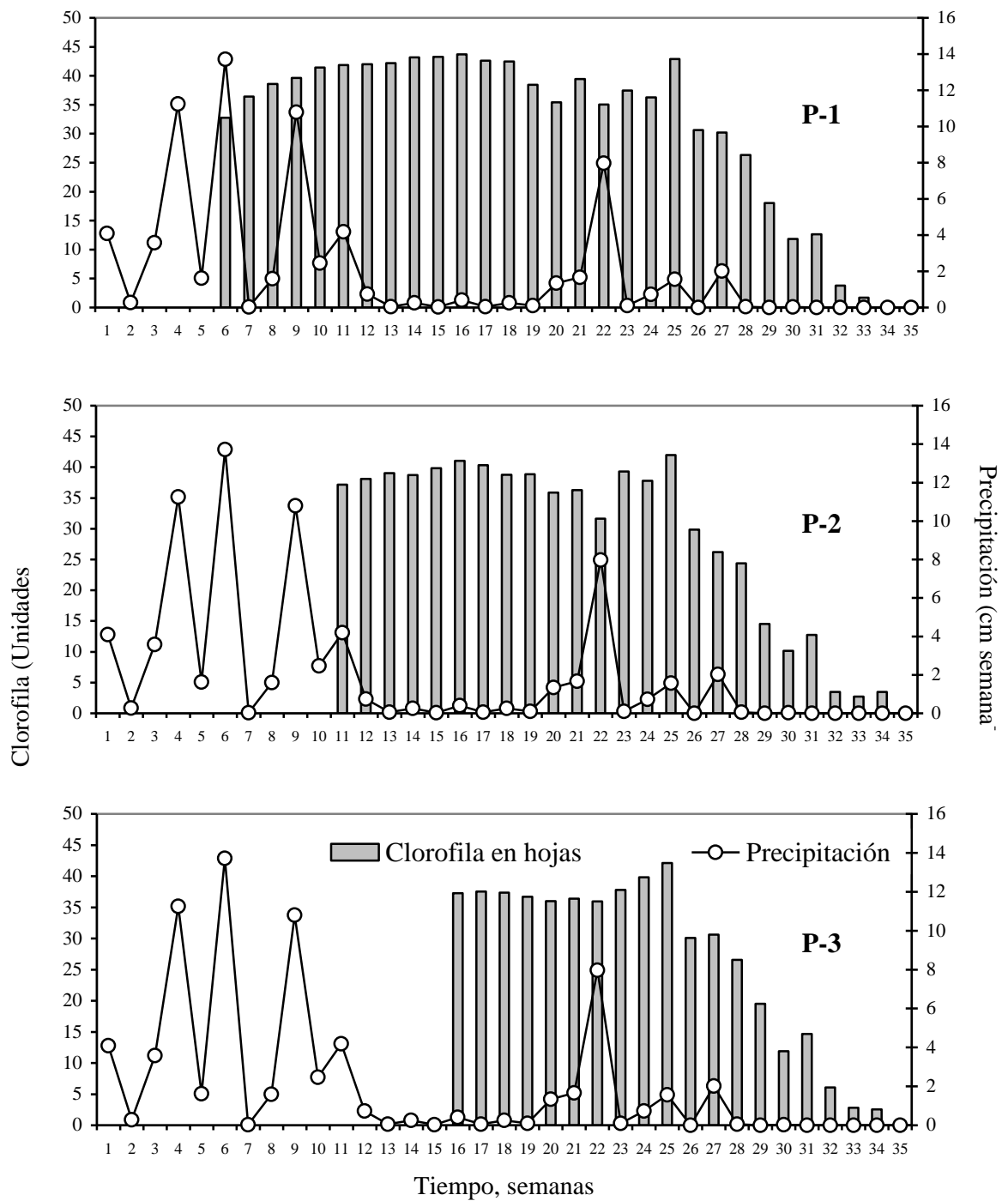


Figura 9. Contenido de clorofila en las hojas de árboles de *Guazuma ulmifolia* Lam. podados en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y su relación con la precipitación pluvial, a partir del momento de inicio de la senescencia foliar en un periodo de 35 semanas del segundo año de evaluación (2009- 2010).

Las lluvias esporádicas de la semana 20-22 (enero) provocaron un incremento en la clorofila en los árboles independientemente de la fecha de poda; y a partir de la semana 26, disminuyó gradualmente, hasta llegar a cero en la semana 35. Este periodo coincide con la ausencia de precipitación de la época seca y los puntos máximos de caída de hoja por senescencia (Figura 6).

1.3.5. Fotosíntesis

La tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N), la transpiración (E), la conductancia estomática (g_s) y la eficiencia en el uso del agua (WUE) variaron por efecto de la fecha de poda ($P < 0.007$). Al realizar la medición de fotosíntesis, el contenido de clorofila era de 38, 39 y 37 unidades SPAD para P-1, P-2 y P-3, respectivamente (Figura 9).

En la Figura 10 se observa que los valores más altos de A_N se encontraron en los árboles de P-3 ($P = 0.001$), que fueron similares a los valores de P-1 ($P = 0.067$); mientras que en P-2 fueron más bajos ($P = 0.002$). La transpiración fue mayor en los árboles de P-1 ($P < 0.001$), y menor en los de P-2 y P-3, estos a su vez fueron similares entre sí ($P = 0.151$). Los árboles de P-2 tuvieron los valores más altos de g_s ($P = 0.031$), y los árboles de P-3 tuvieron los valores más bajos ($P < 0.001$); que a su vez mostraron mayor eficiencia en el uso del agua ($P < 0.001$).

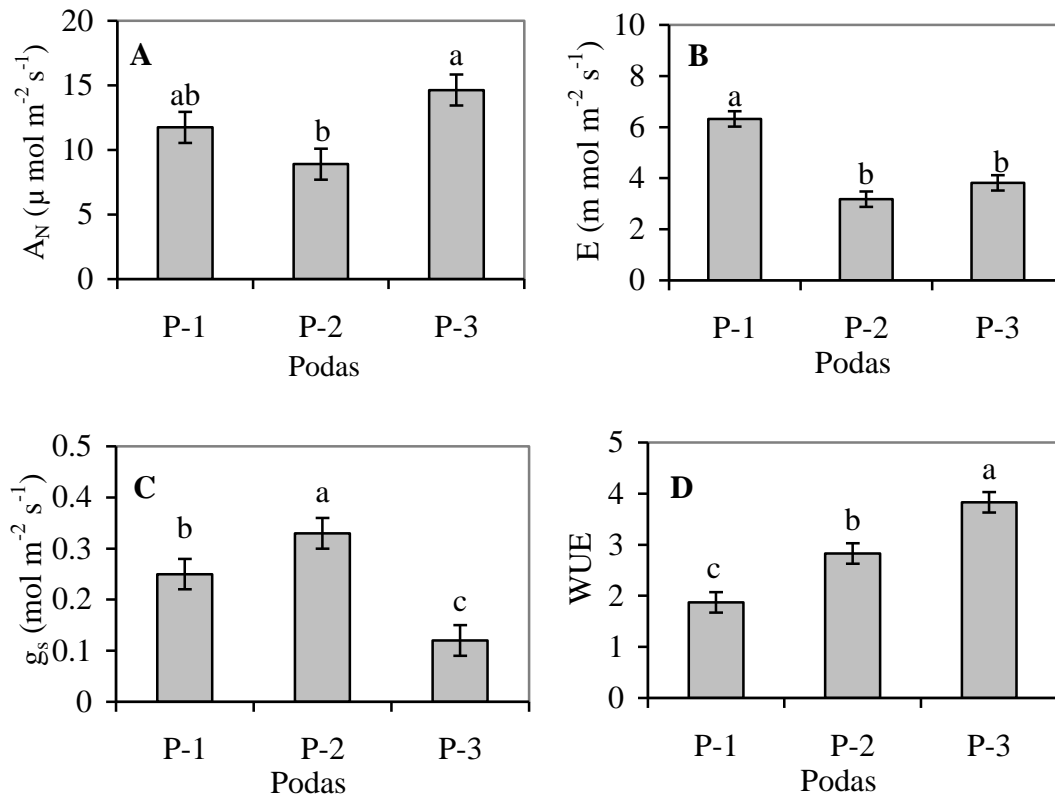


Figura 10. A) Tasa neta de asimilación de CO₂ (A_N); B) transpiración (E); C) conductancia estomática (g_s) y D) eficiencia en el uso del agua (WUE) en árboles de *Guazuma ulmifolia* Lam. podados en tres momentos distintos de la época de lluvias en 2009. Barras con la misma literal dentro de cada variable son similares (P > 0.050). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

1.3.6. Índice de área foliar (LAI)

La fecha de poda también influyó en los valores del índice de área foliar (P < 0.010); los árboles de P-1 tuvieron los valores máximos (0.91) mientras que los árboles P-2 (0.45) y P-3 (0.39) tuvieron los índices más bajos y fueron similares entre sí (P > 0.050).

1.3.7. Calidad nutricional

El contenido de PC varió por efecto de la interacción poda*cosecha*año (P = 0.035). Para los árboles de P-1, en el 2009, hubo mayor contenido de PC cosechando en C-b y C-c (P < 0.005); sin embargo, en 2010 sucede de manera contraria siendo C-a y C-d los que presentaron un mayor contenido (P = 0.024; Figura 11). En los árboles de P-2, en 2009 C-b

es superior a las otras cosechas ($P < 0.001$), mientras que en 2010 todas la cosechas son iguales ($P > 0.050$). En los árboles de P-3, no hubo diferencia entre cosechas en el primer año ($P > 0.050$), pero en el segundo año C-a presentó mayor contenido ($P = 0.023$) y C-c tuvo el valor más bajo ($P < 0.001$).

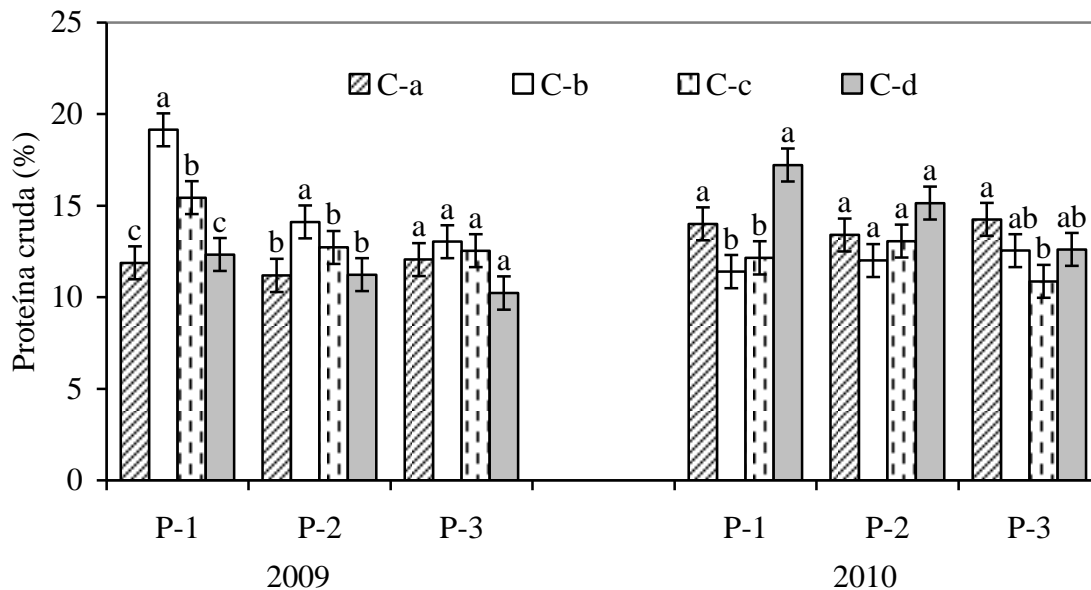


Figura 11. Contenido de proteína cruda (%) en el forraje de *Guazuma ulmifolia* Lam. podado en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y cosechada en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada poda son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

El contenido de FDA (46.1%), FDN (31.5%) y lignina (18.6%) fueron similares en todas las fechas de poda ($P > 0.050$); aunque varió por la interacción cosecha*año ($P < 0.001$). En el 2009 se observa que el contenido de fibras en la cosecha de C-a fue menor que en el 2010 ($P = 0.003$; Cuadro 3); a diferencia de C-b, C-c y C-d en la que el contenido de fibras fue mayor en el 2009 ($P < 0.001$).

Cuadro 3. Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en el forraje de *Guazuma ulmifolia* Lam., cosechado en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) en dos años de evaluación.

Cosecha	2009	2010
..... FDA (%)		
C-a	27.33 ^b (1.7)	33.70 ^a (1.6)
C-b	35.39 ^a (2.7)	27.64 ^b (2.7)
C-c	35.15 ^a (1.7)	27.21 ^b (2.5)
C-d	39.34 ^a (2.8)	30.70 ^b (2.8)
..... FDN (%).....		
C-a	44.26 ^b (1.1)	48.32 ^a (1.0)
C-b	48.12 ^a (1.6)	43.81 ^b (1.6)
C-c	49.21 ^a (1.1)	44.94 ^b (1.5)
C-d	49.03 ^a (1.7)	42.42 ^b (1.7)
..... Lignina (%)		
C-a	15.12 ^b (1.1)	20.82 ^a (1.1)
C-b	21.31 ^a (1.9)	14.56 ^b (1.9)
C-c	23.53 ^a (1.1)	14.36 ^b (1.7)
C-d	24.44 ^a (1.9)	17.22 ^b (1.9)

Valores entre paréntesis representan el error estándar.

Medias de cosechas con la misma literal dentro de la misma fila son similares ($P > 0.05$).

La digestibilidad *in vitro* varió por efecto de la interacción cosecha*año ($P = 0.002$). En el 2009 la mayor digestibilidad la presentaron los árboles de C-a ($P = 0.008$) que fue similar a C-b y C-c ($P > 0.050$), y la menor fue en C-d ($P = 0.003$); sin embargo en el 2010, C-a descende siendo la menor ($P < 0.001$), mientras que C-d tiene la mayor digestibilidad y también es similar a C-b y C-c ($P > 0.050$; Figura 12).

También hubo variación por la interacción poda*cosecha ($P = 0.005$). En P-1 se obtiene una mayor digestibilidad con C-c ($P < 0.001$); sin embargo para P-2 y P-3 la mayor digestibilidad se tiene con C-a y C-b que fueron similares entre sí ($P > 0.050$; Figura 13).

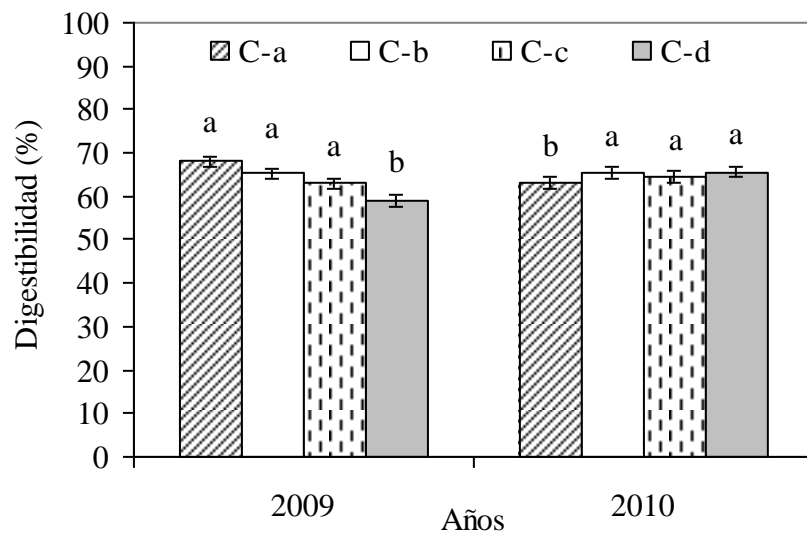


Figura 12. Digestibilidad *in vitro* (%) de la biomasa forrajera de *Guazuma ulmifolia* Lam. cosechado en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d) de dos años de evaluación. Barras con la misma literal dentro de cada año son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

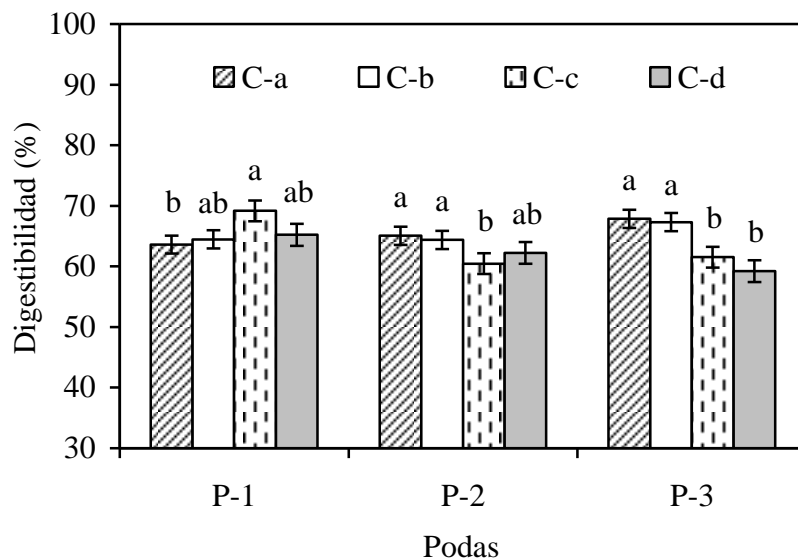


Figura 13. Digestibilidad (%) *in vitro* de la biomasa forrajera de *Guazuma ulmifolia* Lam. podado en tres momentos de la época de lluvias (P-1, P-2 y P-3) y cosechado en cuatro momentos de la época seca (C-a, C-b, C-c y C-d). Barras con la misma literal dentro de cada poda son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

1.4. Discusión

La evaluación de podas estratégicas en los árboles forrajeros *Gliricidia sepium* (Hernández y Benavides, 1994) y *Leucaena leucocephalla* (Hernández *et al.*, 1996) en condiciones de trópico húmedo (en Costa Rica y Cuba, respectivamente); se ha confirmado que la poda al final de la época de lluvias (diciembre) detiene la floración y estimula la producción de forraje en los meses más críticos de la época seca (abril y mayo) (Hernández *et al.*, 1987; Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996; Francisco, 2003). Sin embargo, en *G. ulmifolia* las podas que promovieron una mayor producción de biomasa forrajera fueron las efectuadas a mediados de la época de lluvias (P-1), aunque esta producción se mantiene solo los primeros meses de la época seca (febrero y marzo), así también, observaciones de campo mostraron un retraso en la formación de frutos y en el proceso de senescencia foliar.

La diferencia en la producción de biomasa forrajera de *G. ulmifolia* entre los dos años estuvo directamente relacionada con la cantidad de precipitación y la duración de la época de lluvias en cada año, al igual que en otras investigaciones realizadas con árboles forrajeros (Ella *et al.*, 1989; Toral e Iglesias, 2007). En este caso, una mayor precipitación en la época de lluvias del 2009 promovió una mayor cantidad de biomasa forrajera en las cosechas del 2010, principalmente en C-b.

La cantidad de materia seca de cada componente de la biomasa forrajera y la capacidad de respuesta del árbol después de la cosecha también pudo estar influenciada por la cantidad de reservas de carbohidratos que el árbol pudo haber almacenado durante la época de lluvias (Ella *et al.*, 1989; Ella *et al.*, 1991). Los árboles de P-1 y P-2 (podados más temprano) tuvieron una mayor posibilidad de almacenar reservas que los árboles de P-3, ya que estos últimos se podaron en condiciones de mayor estrés y utilizaron las reservas de carbohidratos ya movilizadas para formar follaje nuevo que le permitiera sobrevivir (Pezo e Ibrahim, 1998). Una respuesta similar se observó en *G. sepium*, que disminuyó su rendimiento conforme la poda se aproxima más al final de la época de lluvias (Hernández y

Benavides, 1994) y al igual que *G. ulmifolia* produjo una mayor cantidad de biomasa con la primera poda.

En *G. ulmifolia*, la tendencia fue a disminuir la proporción de hoja y aumentar el contenido de tallos conforme avanzaban los meses de la época seca. Al cosechar el forraje en febrero (C-a) se cuenta con una mayor cantidad de hoja y menor cantidad de tallos, esto coincide con los resultados encontrados en *G. sepium*, que produce una mayor proporción de material comestible en los primeros meses de la época seca (Hernández y Benavides, 1994). Aun cuando la cantidad de materia seca no es la más alta en C-a, esta cosecha permite la formación de nuevos brotes, que serán útiles en meses subsecuentes de la época seca (abril y mayo), quizá porque el árbol aún cuenta con reservas de nutrientes suficientes para promover el crecimiento. Además, en la zona de estudio, en los meses de enero y febrero suceden lluvias esporádicas (Figura 6) que permiten la recuperación del árbol después de la cosecha; permitiendo una segunda cosecha del forraje a finales del mes de abril (esta producción no se evaluó en el experimento, pero se observó el mismo comportamiento en los dos años).

La cantidad de materia muerta (hojas muertas) fue fuertemente influenciada por la disponibilidad de humedad en el suelo (Ella *et al.*, 1989). El hecho de que las cantidades de este componente fueran superiores en los árboles de P-1, comparado con los árboles podados posteriormente, se debió a que los árboles de esta poda poseían hojas de mayor tamaño (P-1 tenía un mayor LAI) más que al aprovechamiento del agua en el suelo (WUE). En agosto había mejores condiciones para el desarrollo de ese follaje (humedad y radiación solar), por lo que el desarrollo fue más rápido y en mayor cantidad a comparación de las otras podas.

La precipitación y la radiación solar son factores importantes en la cantidad de forraje que se conserva en el árbol y en su morfología, ya que dependiendo de los niveles de humedad en el ambiente habrá un mayor o menor crecimiento (Francisco, 2003; Taiz y Zeiger, 2006). En *G. ulmifolia*, las podas a principios de la época de lluvias permiten la formación

de ramas secundarias fuertes que producirán una mayor cantidad de biomasa. Conforme se poda a final de la época de lluvias (octubre y noviembre) esta capacidad de los árboles disminuye incrementándose el vigor de los mismos, razón por la cual los de la tercera poda formaron ramas de mayor longitud, con entrenudos más separados, lo cual disminuye el número de brotes por rama (Grisvard, 1994; Pezo e Ibrahim, 1998). Además, la menor radiación solar al final del otoño y la movilización de reservas por la planta para soportar el invierno y la época seca por venir, dará lugar un menor número de brotes en el árbol y hojas más pequeñas (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Barcelo *et al.*, 2001; Francisco, 2003; Taiz y Zeiger, 2006); esto lo podemos corroborar si observamos los valores de LAI y biomasa en los árboles de P-3.

La mayor altura en los árboles de P-3 se dio principalmente porque estos tuvieron la yema apical por más tiempo lo que permitió un crecimiento más erecto en los árboles de esta poda, que se realizó 10 semanas después que P-1. En consecuencia, por esta diferencia entre los momentos de poda, los árboles de P-3 tuvieron una altura mayor antes de la cosecha.

La mayoría de los reportes de evaluaciones en senescencia se han realizado en herbáceas (Bleekerl and Patterson, 1997; Rajcan *et al.*, 1999; Hanaoka *et al.*, 2002); aun cuando los procesos fisiológicos son similares, no es sencillo compararlo con los resultados obtenidos en nuestro experimento ya que además de tratarse de especies diferentes, la senescencia foliar en nuestro experimento, estuvo influenciada por factores climáticos y por el manejo que se le dio a la arbórea.

Guazuma ulmifolia es un árbol que tiende a defoliarse a principios del otoño como respuesta al estrés hídrico, movilizandando los nutrientes de la hoja a órganos de almacenamiento y promoviendo la formación de frutos (Smart *et al.*, 1995; Barcelo *et al.*, 2001; Taiz y Zeiger, 2006). Al efectuar las podas estratégicas al principio de la época de lluvias la senescencia foliar se retrasa (Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996; Francisco, 2003); aun cuando no se tienen datos de esto en *G. ulmifolia*, en este

experimento, se pudo observar que los árboles podados tenían hojas verdes cuando los árboles de la parcela vecina, los cuales no fueron podados, ya habían perdido la mayoría de sus hojas por senescencia y se encontraban en proceso de fructificación.

En este experimento, el momento de inicio para medir la senescencia fue cuando aparecieron las primeras hojas cloróticas, sin embargo es bien sabido que cuando las hojas manifiestan el color amarillento es porque la senescencia foliar ya ha avanzado más del 50% en ellas y la movilización de nutrientes se ha realizado en su mayor parte (Gan y Amasino, 1997; Matile, 2000). Así también, en los árboles, la movilización de nutrientes y degradación de los componentes celulares en cada hoja es independiente de las otras y no ocurre en un solo momento, sino que es un proceso que se lleva a cabo lentamente (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2004). Además, la caída de las hojas no solo fue por la senescencia; la intensidad de los vientos también influyó en este proceso. En la zona de estudio y en el caso de *G. ulmifolia*, la caída de las hojas se vio afectada por los vientos del norte que afectan la región, aun cuando no se presentan los datos de la velocidad del viento durante el experimento, esto se pudo observar durante las mediciones en campo.

La disponibilidad de humedad en el ambiente y la cantidad de radiación solar, promovió un mejor desarrollo en las hojas de la primera poda incrementando la cantidad y tamaño de la hoja senescente, a diferencia de las otras podas que tuvieron hojas pequeñas. El hecho de que las cosechas realizadas después de febrero (C-a) fueran proporcionalmente mayores podría deberse a la presencia de lluvias esporádicas en ambos años en los meses de enero y febrero. Estas lluvias permitieron la formación de nuevos brotes, que al volver a las condiciones de estrés por la sequía aceleraron la senescencia foliar, aumentando así la cantidad de biomasa senescente en C-b, C-c y C-d.

Los picos máximos de caída de hoja (Figura 6) están relacionados, el primero a la edad misma de las hojas (en el caso de los árboles de P-1) y el segundo pico al estrés provocado por las deficiencias hídricas, el cual coincide en las tres podas. Relacionando esto con la

precipitación durante el experimento, podemos observar que conforme descienden estos niveles de precipitación la caída de hoja aumenta y viceversa. De modo contrario, el contenido de clorofila en las hojas desciende conforme disminuyen los niveles de precipitación, dado por la degradación de los cloroplastos y a la movilización de nutrientes (Smart *et al.*, 1995; Himelblau and Amasino, 2001).

En las observaciones de campo se encontró que en presencia de lluvias esporádicas, como las que ocurrieron en enero y febrero (semanas 22 a 25), el proceso de senescencia se frena e incluso se revierte en algunas hojas (Hernández y Benavides, 1994; Buchanan-Wollaston, 1997; Zavaleta-Mancera *et al.*, 1999; Thomas and Donnison, 2000; Buchanan- Wollaston *et al.*, 2003), observando un incremento de la clorofila en las hojas, corroborando con esto que la senescencia foliar en *G. ulmifolia* se puede revertir.

Tomando en cuenta la reversibilidad de la senescencia (Thomas and Donnison, 2000), la presencia de pequeñas cantidades de humedad, y que el pico máximo de senescencia coincide con el momento en que los árboles pierden aproximadamente el 90% de sus hojas (lo que sucede en menos de una semana); esto podría aplicarse a un sistema de pastoreo rotacional, donde podría introducirse al ganado a ramonear antes de que la caída de hojas llegue al punto máximo, para aprovechar el forraje disponible antes de que caiga. Estos hallazgos son de especial importancia en lugares con precipitación estacional donde las oportunidades para la irrigación son escasas por la limitada disponibilidad de agua, sin embargo, en áreas donde el agua de riego está disponible podría complementarse con la aplicación de un riego ligero que promovería el rebrote y el crecimiento del forraje después de ese ramoneo, y así hacer un uso eficiente del agua para producir forraje cuando más necesidad se tiene.

El contenido de clorofila y la eficiencia fotosintética se han considerado como los elementos que podrían ayudar a describir el proceso de senescencia foliar; a su vez estos dos tienen influencia directa sobre el área foliar de las plantas y su producción de biomasa (Smart *et al.*, 1995). Las podas estratégicas en *G. ulmifolia* han demostrado tener efecto

sobre estos tres elementos; ya que al podar el área foliar se reduce y con esto se limita la asimilación de CO₂, aunque en condiciones favorables de humedad y radiación esto se compensa, ya que en el follaje remanente existe una mejor exposición a la radiación solar y por ende el follaje arbóreo se recupera con mayor velocidad (Berninger *et al.*, 2000; Francisco, 2003).

El nivel de clorofila al momento de medir la fotosíntesis fue similar en las hojas de las tres podas, por lo que podemos inferir que la mayor tasa neta de asimilación de CO₂ en los árboles de P-3, aun estando en condiciones de estrés hídrico, puede estar dada por la mejor exposición de las hojas a la radiación solar, ya que tuvieron una menor área foliar y sus hojas eran menos maduras aun teniendo la misma edad. Además, las hojas presentes eran las responsables de llevar a cabo la fotosíntesis en esas condiciones de estrés por lo cual tuvieron que maximizar la eficiencia en la asimilación de CO₂ para promover la recuperación del árbol y una nueva movilización de nutrientes (Barcelo *et al.*, 2001; Taiz y Zeiger, 2006). Así también, la mayor conductancia estomática en los árboles de P-1 provocó que hubiera una mayor pérdida de agua en la planta por transpiración y por ende una menor eficiencia en el uso del agua lo cual provocó un descenso en la tasa neta de asimilación del CO₂.

La variación en el contenido de proteína en la materia seca pudo darse principalmente por la formación de hojas y brotes nuevos después de las precipitaciones esporádicas sucedidas en febrero, como sucedió con *G. sepium* y *L. leucocephalla* que presentaron menos proteína en abril y mayor en mayo, por las razones ya expuestas (Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996). La mayor precipitación en 2010 causó que la caída natural de las hojas en las cosechas de marzo se retrasara (C-b y C-c), provocando que al momento de cosechar ese forraje tuviera una menor calidad que en el 2009, ya que las hojas cosechadas era más maduras. De manera contraria sucedió con C-a y C-d con las que se incrementó en contenido; en el caso de febrero por las precipitaciones que se presentaron pocas semanas atrás y que pudieron revertir el proceso de senescencia, incrementando la calidad del follaje, y en el caso de abril, pudo deberse a que de los árboles ya se habían

desprendido de las hojas viejas y habían formado brotes nuevos, aunque más pequeños, tenían un mayor contenido de PC.

El contenido de fibra y la digestibilidad *in vitro* están en relación directa con la edad del follaje de las especies forrajeras arbóreas, un follaje de mayor edad tiene mayor contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina las cuales hacen menos digestible el forraje (Hernández y Benavides, 1994; Hernández *et al.*, 1996; Francisco, 2003; Hoffman *et al.*, 2003; Boschini, 2006). Así también, el mayor contenido de fibras en el 2009 está dado por la menor precipitación en la época húmeda anterior, que favoreció la lignificación de tallos y la maduración de hojas.

La digestibilidad disminuye conforme avanzan los meses de la época seca y la planta madura (Ferrer *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 1996; Francisco, 2003; Hoffman *et al.*, 2003), esto porque los árboles que se cosecharon en ese momento contenían más fibra, dada principalmente por el mayor número de tallos y menor cantidad de hojas verdes. Las variaciones entre año podrían deberse a las precipitaciones en enero y febrero que promovieron la formación de nuevos brotes. En el 2009 solo hubo lluvia en enero por lo que la digestibilidad siguió su tendencia a disminuir conforme avanzaba la época seca, en cambio, en 2010 llovió en enero y en febrero, lo cual permitió que las cosechas posteriores a C-a tuvieran una mayor digestibilidad.

La mayor digestibilidad en los árboles de P-1 y cosechados en C-c y C-d, es por la presencia de hoja más joven en estas cosechas, ya que estos árboles eliminaron la mayoría de sus hojas por la senescencia (por la edad de las hojas) y formaron nuevos brote aunque de menor tamaño. Mientras que en los árboles de P-2 y P-3, eran más digestibles en las primeras cosechas por la menor edad de las hojas, de 6 y 12 semanas más jóvenes que los árboles de P-1, por lo que en las cosechas C-c y C-d eran hojas maduras y hojas senescentes, y no había brotes nuevos.

1.5. Conclusiones

Los niveles de precipitación en la época húmeda influyen directamente en la cantidad de forraje producido y el tiempo que este se mantendrá en el árbol durante la época seca, así también sobre el contenido de fibra y la digestibilidad de este forraje.

El momento óptimo para podar *G. ulmifolia* es en agosto, ya que podando en este momento se produce una mayor cantidad de biomasa, la cual al tener un mayor contenido de clorofila brinda un mayor contenido de proteína en el forraje.

Es recomendable cosechar el forraje conservado en el árbol en febrero, pues cosechando en este momento se promueve la formación de brotes que pueden ser utilizados para la alimentación animal a finales de abril. Además de que esta cosecha posee, en proporción al total de biomasa, un mayor contenido de hoja.

La tendencia de caída de hoja por senescencia y el contenido de clorofila en las hojas se ve fuertemente influenciado por los niveles de precipitación durante la época húmeda. Mientras que el índice de área foliar y el contenido de clorofila en hojas no presentaron relación directa con la eficiencia fotosintética del follaje de *G. ulmifolia*.

Guazuma ulmifolia Lam. mostró que puede conservar una mayor cantidad de forraje verde para la época seca, cuando fue podado en el punto más alto de precipitación de la época de lluvias (agosto en la zona donde se realizó el experimento); para la aplicación de estos conocimientos y considerando los cambios en los últimos años en los periodos y niveles de precipitación entre las diferentes regiones del trópico, es posible adecuar las fechas de podas según el periodo de lluvias de la zona en la que se aplicará.

La producción de biomasa forrajera (kg MS ha^{-1}) varía según la densidad de siembra de los árboles. En este experimento la densidad fue de 2500 árboles por hectárea, sin embargo se han establecido bancos de forraje de *G. ulmifolia* con densidades hasta de 8000 árboles por

hectárea y sistemas silvopastoriles con densidades de 4000 árboles por hectárea, en los cuales, la cantidad de forraje en la época seca se incrementaría considerablemente si las podas estratégicas se aplicaran como método de conservación de forraje.

1.6. Literatura Citada

- Alonso J, Ruiz T, Febles G, Acha G (2003) Comparación de métodos de poda en un sistema silvopastoril leucaena-guinea. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 37(4):433-444.
- Ankom Technology (2010) Instrument Manuals. <http://www.ankom.com/instrument-manuals.aspx>. Consultado 12 de Feb. 2012.
- AOAC (1980) Official Method 4.2.11 Protein (Crude) in animal feeds, forage (plant tissue), grain, and oilseeds. En: *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 13th edition. AOAC International, Washington D.C., USA.
- AOAC (1997) Official Method 973.18. Fiber (acid detergent) and lignin in animal feed. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th edition. AOAC International, Washington D.C., USA.
- Azcón-Bieto J, Talón M (2000) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw Hill Internacional. Madrid, España. 522 p.
- Barcelo CJ, Nicolás RG, Sabater GB, Sánchez TR (2001) *Fisiología Vegetal*. Ediciones pirámide, Madrid, España. 566 p.
- Bleeckerl AB, Patterson SE (1997) Last exit: Senescence, abscission, and meristem arrest in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 9:1169-1179.
- Berninger F, Nikimaa E, Sievänen R, Nygren P (2000) Modelling of reserve carbohydrate dynamics regrowth and nodulation in a N₂ – fixing tree managed by periodic prunings. *Plant Cell and Environment* 23:1025-1040.
- Boschini FC (2006) Nutriente digeribles, energía neta y fracciones proteicas de la morera (*Morus alba*) aprovechables en vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana* 17(2):141-150.

- Buchanan-Wollaston V (1997) The molecular biology of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany* 48(307):181-199.
- Buchanan-Wollaston V, Earl S, Harrison E, Mathas E, Navabpour S, Page T, Pink D (2003) The molecular analysis of leaf senescence – a genomics approach. *Plant Biotechnology Journal* 1(2003):3–22.
- CATIE (1986) *Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América central: resultados de cinco años de investigación*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica No. 86. Turrialba, Costa Rica. 220 p.
- CONAGUA (2008) Comisión Nacional del Agua. Base de datos electrónica. Enero 2008. Boca del Rio, Veracruz, México.
- Ella A, Jacobsen C, Stür WW, Blair G (1989) Effect of plant density and cutting frequency on the productivity of four tree legumes. *Tropical Grasslands* 23(1):28-34.
- Ella A, Blair GJ, Stür WW (1991) Effect of forage tree legumes at the first cutting on subsequent production. *Tropical Grasslands* 25(3):275-280.
- Enkerlin E, Cano G, Garza R, Vogel E (1997) *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. International Thomson Editores. México, D.F. 666 p.
- Ferrer O, Higuera A, Castro C, García B, López Y, Soto R, Carrillo G, Mogollon M, Urdaneta J (1996) Efecto de la altura y tiempo de corte sobre la digestibilidad *in vitro*, el valor energético y el contenido de carbohidratos estructurales y no estructurales en hojas y tallos de tres variedades forrajeras de quichoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp). *Interciencia* 21(1):42-47.
- Francisco AG (2003) Manejo estratégico de las defoliaciones en especies arbóreas. *Pastos y Forrajes* 26 (3):185-195.
- Gan S, Amasino RM (1997) Making sense of senescence: Molecular genetics regulation and manipulation and manipulation of leaf senescence. *Plant Physiology* 113:313-319.
- García E (1973) *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana)*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 357 p.

- Grisvard P (1994) La poda de los árboles frutales: peral-manzano. Mundi-Prensa Libros, 127 p.
- Guo Y, Cai Z, Gan S (2004) Transcriptome of *Arabidopsis* leaf senescence. *Plant, Cell and Environment* 27:521-549.
- Hanaoka H, Noda T, Shirano H, Kato T, Hayashi H, Shibata D, Tabata S, Ohsumi Y (2002) Leaf senescence and starvation-induced chlorosis are accelerated by the disruption of an *Arabidopsis* autophagy gene. *Plant Physiology* 129:1181-1193.
- Hernández CA, Alfonso A, Duquesne P (1987) Producción de carne basada en pastos naturales mejorados con leguminosas arbustivas y herbáceas II: Ceba final. *Pastos y Forrajes* 10(3):246-255.
- Hernández M, Benavides J (1994) Podas estratégicas en cercos vivos de piñón cubano (*Gliricidia sepium*) para la producción de forraje en la época seca. En: Benavides JE (Ed.) Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Volumen II. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica. Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No. 236. pp. 559- 582.
- Hernández I, Benavides J, Simón L (1996) Manejo de las podas de *Leucaena leucocephala* para la producción de forraje en el periodo seco en cuba. *Agroforestería de las Américas* 3:11-12.
- Himelblau E, Amasino RM (2001) Nutrients mobilized from leaves of *Arabidopsis thaliana* during leaf senescence. *Journal Plant Physiology* 158:1317-1323.
- Hoffman PC, Lundberg KM, Bauman LM, and Shaver DR (2003) The effect of maturity on NDF digestibility. University Wisconsin Team Forage. Focus on Forage Fact Sheets. Vol. 5, num. 15.
- Jiménez-Ferrer G, López-Carmona M, Nahed-Toral J, Ochoa-Gaona S, de Jong B (2008) Árboles y arbustos forrajeros de la región Norte-Tzotzil de Chiapas, México. *Revista electrónica Veterinaria México* 39(2):199-213.
- Manríquez-Mendoza L, López-Ortiz S, Olguín-Palacios C, Pérez-Hernández P, Díaz-Rivera P, López-Tecpoyotl Z (2011) Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13:573-584.

- Matile P (2000) Biochemistry of Indian summer: physiology of autumnal leaf coloration. *Experimental Gerontology* 35:145-158.
- Mejías R, Herrera R, Gutiérrez E, Bernal H, Ruiz Y (2007) Arbustivas leguminosas en sistemas ganaderos: una alternativa atractiva. *Revista electrónica. Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba. Facultad de Agronomía. FAUANL.* <http://www.unionganaderanl.org.mx/revista.asp>. Consultado en marzo 2009.
- Murgueitio E (2005) Silvopastoral systems in the Neotropics. En: Mosquera RM, McAdam J, Regueiro-Rodríguez A (Eds). *Silvopastoralisms and sustainable land management.* CAB International Publishing. USA. pp. 24-29.
- Pezo D, Ibrahim M (1998) *Sistemas silvopastoriles.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica. 258 p.
- Ruiz-Rodríguez JM (2004) Potencial de árboles y arbustos forrajeros para la alimentación animal tropical. Presentado en 3er. Seminario de producción intensiva de ovinos, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México. pp. 42-49.
- Rajcan I, Dwyerb ML, Tollenaar M (1999) Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. *Field Crops Research* 63(1999):13-17.
- SAS (2010) *Statistical Analysis System, Enterprise Guide ver. 4.3.0.* SAS Institute, Inc. Cary, N.C., USA.
- Smart MC, Hosken SE, Tomas H, Greaves JA, Blair BG, Schuch W (1995) The timing of maize leaf senescence and characterization of senescence-related cDNAs. *Physiologia Plantarum* 93:673-682.
- Taiz L, Zeiger E (2006) *Plant Physiology, Fourth Edition.* Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts, USA. 764 p.
- Thomas H, Donnison I (2000) Back from the brink: plant senescence and its reversibility. En: Bryant J, Hughes SG and Garland JM (Eds). *Programmed Cell Death in Health and Disease.* Bios Scientific Press, Oxford, UK. pp. 149–162.

- Toledo V, Batiz A, Becerra R, Martínez E, Ramos HC (1995) La selva útil: Etnobotánica cuantitativa de los grupos indígenas del trópico húmedo de México. *Interciencia* 20(4):177-187.
- Toral O, Iglesias JM (2007) Efecto de la poda en el rendimiento de biomasa de 20 accesiones de especies arbóreas. *Pastos y Forrajes* 30(3):341-355.
- Torres F (1983) Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry Systems* 1:131-163.
- Villa-Herrera A, Nava-Tablada ME, López-Ortiz S, Vargas-López S, Ortega-Jimenez E, Gallardo-López F (2009) Use of Guacimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) as a forage source for extensive livestock production in a tropical area of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 253–261.
- Zavaleta-Mancera HA, Thomas BJ, Thomas H, Scott IM (1999) Regreening of senescent *Nicotiana* leaves II: Redifferentiation of plastids. *Journal of Experimental Botany* 50(340):1683–1689.

CAPÍTULO 2.

RENDIMIENTO DE FORRAJE E INTERACCIONES MEDIADAS POR LUZ EN SISTEMAS SILVOPASTORILES DE *Guazuma ulmifolia* Lam. ASOCIADO A TRES GRAMÍNEAS TROPICALES

Ortega Vargas Eloisa¹, López Ortiz Silvia¹, Burgueño Ferreira Juan Andrés², Ávila Reséndiz Catarino¹, Ortega Jiménez Eusebio¹.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Km. 88.5 de la Carretera Federal Xalapa - Veracruz (vía Paso de Ovejas), Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. Tel: (229) 2010770, Ext. 64333. E-mail: eortega@colpos.mx, silvialopez@colpos.mx, bruce_campbell3@hotmail.com

²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Estación Experimental El Batán, Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, Edo. de México. CP 56130, México. Tel: (595) 9521900. E-mail: juanburg@hotmail.com

Resumen

Con el objetivo de determinar el rendimiento del forraje en sistemas silvopastoriles con *Guazuma ulmifolia* Lam. asociada a las gramíneas *Digitaria eriantha*, *Megathyrsus maximus* y *Andropogon gayanus*; y el efecto de la sombra en las gramíneas, durante 3 meses (septiembre, octubre y noviembre) se midió el rendimiento y calidad nutricional del forraje, cobertura del suelo, índice de área foliar, fotosíntesis: transpiración (E), tasa neta de asimilación de CO₂ (A_N), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso del agua (WUE); la dinámica de crecimiento de las gramíneas: tasa de elongación foliar (TEF), elongación de tallos (TET), aparición de hojas (TAH), senescencia foliar (TSF) y el crecimiento neto foliar (CNF). El rendimiento de forraje fue mayor en septiembre en la asociación *G. ulmifolia*-*D. eriantha* (P = 0.001). Hubo mayor cobertura de suelo en la asociación *G. ulmifolia*-*D. eriantha* (P < 0.001) y no se encontró diferencia en el índice de área foliar (P = 0.555) entre las asociaciones. E, g_s y A_N variaron entre periodos (P < 0.010) y fueron más altos en octubre (P < 0.001). WUE fue mejor en la asociación *G. ulmifolia*-*D. eriantha*. *Andropogon gayanus* tuvo las mayores TET, TEF, TSF y CNF, y *D. eriantha* presentó mayor TAH. La proteína y digestibilidad fueron mayores en *M. maximus* (P < 0.001). En *G. ulmifolia*, la digestibilidad (P = 0.045) fue mayor cuando se asoció a *D. eriantha* y no hubo diferencia en la proteína (P = 0.763). La mejor asociación fue *G. ulmifolia*-*D. eriantha*, pues tiene mayor rendimiento y digestibilidad; su cobertura del suelo y WUE permite un mejor aprovechamiento de los recursos.

Palabras clave: asociación, gramíneas, sombra, rendimiento, calidad.

Abstract

The forage production in a silvopastoral system using *Guazuma ulmifolia* Lam. associated with the grasses *Digitaria eriantha*, *Megathyrsus maximus* and *Andropogon gayanus* was assessed. The effect of shade on the grasses over 3 months (September, October and November) was assessed by measuring forage production and nutritional quality, soil cover, foliar area index, photosynthesis: transpiration (E), net rate of CO₂ assimilation (A_N), stomatic conductance (g_s) and water use efficiency (WUE), grass growth dynamics: foliar elongation rate (FER), stem elongation (SE), leaf appearance (LA), foliar senescence (FS) and net foliar growth (NFG). Forage production was greater in September in the association *G. ulmifolia*-*D. eriantha* (P = 0.001). There was greater soil cover in the association *G. ulmifolia*-*D. eriantha* (P < 0.001) and no significant difference was observed for the foliar area index (P = 0.555) among the tree-grass associations. The variables E, g_s and A_N were influenced by time period (P < 0.010) and they were higher in October (P < 0.001). Water Use Efficiency was best in the association *G. ulmifolia*-*D. eriantha*. *Andropogon gayanus* had the greater SE, FER, FS and NFG, while *D. eriantha* had greater LA. Protein and digestibility were highest in *M. maximus* (P < 0.001). In *G. ulmifolia*, digestibility was greater (P = 0.045) when associated with *D. eriantha*, and there was difference in protein (P = 0.763). The best association was *G. ulmifolia*-*D. eriantha*, due to its greater production and digestibility; its soil cover and WUE permit better resource use.

Key Words: association, forage production, grasses, nutritional quality, shade.

2.1. Introducción

La utilización de árboles y arbustos forrajeros en asociación con gramíneas (sistemas silvopastoriles), son considerados como una estrategia factible para mejorar la producción de forraje en los sistemas ganaderos actuales, ya que, además de ser fuente de alimento para el ganado y la fauna silvestre durante la época seca, el valor forrajero de las hojas y frutos de muchas especies es superior que el de plantas herbáceas, particularmente las leguminosas (Baumer, 1992; Murgueitio, 2005; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008).

Un aspecto importante de las asociación entre árboles y gramíneas es la interacción mediada por luz como recurso, que puede modificarse y cuyo efecto puede ser benéfico o negativo dependiendo del manejo (Belsky, 1994; Benavides, 1999; Alonso *et al.*, 2003; de Andrade *et al.*, 2004). Existe evidencia del efecto positivo de densidades moderadas de árboles que provoca incrementos en el rendimiento y calidad nutricional de las gramíneas, en zonas de precipitación estacional (Pentón y Blanco, 2001; de Andrade *et al.*, 2004; Guenni *et al.*, 2008). También se reconoce el incremento del tiempo en que las gramíneas se mantienen en crecimiento durante la estación seca, debido, principalmente, al mejoramiento de la fertilidad de suelo bajo el dosel y a la disminución de la temperatura modificando el microclima que se crea bajo la copa de los árboles, que tiene efectos directos en la permanencia y fisiología de las gramíneas (Silva-Pando *et al.*, 2002; Guenni *et al.*, 2008).

Sin embargo, las interacciones físicas y biológicas que suceden dentro de los sistemas silvopastoriles son diversas y varían según las condiciones climáticas, edáficas, y según las especies que se asocian; por lo que, para utilizar árboles en los sistemas de producción ganaderos es necesario conocer el efecto del sombreado de un componente vegetal en el otro y el beneficio de la asociación (Belsky, 1994; Guenni *et al.*, 2008). Las interacciones positivas y negativas entre el componente leñoso y el herbáceo del sistema incluyen los cambios en el microclima creado sobre la pastura, de los cuales podría considerarse el más notorio, la modificación de la cantidad y calidad de luz que llega al componente herbáceo

debido a la intercepción de la luz por el dosel, cambiando el rendimiento y la calidad del forraje (Cruz *et al.*, 1999; Silva-Pando *et al.*, 2002).

Se han encontrado incrementos en el rendimiento del forraje en asociaciones árbol-gramíneas con diferentes niveles de luz en condiciones naturales y artificiales y con diversas especies de árboles y pastos (Bronstein, 1984; Wilson, 1990; Benavides *et al.*, 1994; Páez *et al.*, 1994; Pentón, 2000).

Silva-Pando *et al.* (2002) encontró que la producción de materia seca de *Dactylis glomerata* L. tenía una menor variación entre la época húmeda y la época seca cuando se asoció en un sistema silvopastoril con *Pinus pinaster* Ait., manteniendo su producción por mayor tiempo, a diferencia de donde no había árboles. Por su parte, Pentón y Blanco (2001) encontraron una menor producción de biomasa de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (nombrada como *Panicum maximum* Jacq.) cuando se encontró bajo sombra de *Albizia lebbek* (L.) Benth, sin embargo, también observaron un incremento en el contenido de proteína y una disminución en el contenido de fibras en la gramínea en condiciones de sombra. Bustamante *et al.* (1998) evaluaron diferentes gramíneas asociadas a *Erythrina poeppigiana* (Walp) O.F. Cook en las que demostraron que el rendimiento de materia seca de las gramíneas puede incrementarse si se utiliza un espaciamiento adecuado entre árboles y si se aumenta la frecuencia de poda.

En experimentos realizados en la zona centro del estado de Veracruz, en un clima tropical subhúmedo con lluvias en verano, se ha observado que la productividad de los sistemas silvopastoriles con *Guazuma ulmifolia* Lam. es diferente cuando se asocia a distintos pastos (Manríquez-Mendoza *et al.*, 2011) sugiriendo interacciones árbol gramínea que pudieran ser a nivel de sistema radicular debido a la competencia por nutrientes y agua en el suelo; o en la interfaz aérea por intersección de radiación solar que llega al estrato herbáceo (efecto de la sombra sobre el pasto); donde la productividad del sistema completo dependerá de la capacidad de los componentes vegetales para adaptarse y aprovechar las

condiciones de humedad, nutrientes y radiación solar dentro del sistema (Belsky, 1994; Fassola *et al.*, 2005; Guenni, 2008).

El objetivo de esta investigación fue determinar el rendimiento de forraje en sistemas silvopastoriles con *Guazuma ulmifolia* asociada a las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth; así como la respuesta morfológica y fisiológica de las gramíneas bajo un nivel de sombra moderada creada por los árboles.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Sitio experimental

El experimento se realizó en la comunidad Angostillo, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, localizada a 13.5 km al Oeste de la cabecera municipal, por el camino rural Paso de Ovejas-Acazónica (19°13'3'' Lat. N y 96°32'38'' Long. O), a 240 msnm. El clima es cálido sub-húmedo del tipo Aw⁰ (w) (i') g con lluvias en verano distribuidas entre junio y octubre (García, 1973), con precipitación media anual menor a 1000 mm, y los suelos que predominan son las rendzinas o molisoles, pedregosos y poco profundos.

El sitio experimental fue una parcela de 576.0 m², con pendiente moderada (< 5%), el suelo es arcilloso, con pH 6.1, conductividad eléctrica de 0.38 dS m⁻¹, 14.04 cmol kg⁻¹ de Ca⁺⁺, 7.25 cmol kg⁻¹ de Mg⁺⁺, 0.37 cmol kg⁻¹ de K y 0.26 cmol kg⁻¹ de Na⁺; y 0.18% de N en el suelo.

2.2.2. Establecimiento de parcelas experimentales

Las parcelas experimentales se establecieron en una plantación de árboles de *G. ulmifolia*, estos árboles provenían de semillas que se trasplantaron a campo en agosto de 2006 en un arreglo de tres bolillo a 2 m de distancia entre sí. La plantación estuvo sujeta al pastoreo temporal desde los 6 a los 18 meses de establecida y desde diciembre de 2007 se dejó en descanso hasta el inicio de un experimento con podas estratégicas (agosto 2008-abril

2010); al momento de inicio de este experimento (septiembre 2010) los árboles tenían cuatro años y tres meses de edad.

Las gramíneas utilizadas en el experimento (*Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth) se sembraron entre los árboles de *G. ulmifolia* utilizando rizomas que se recolectaron en potreros dentro de la zona de estudio en mayo de 2010. Para promover una mayor sobrevivencia al momento del establecimiento en campo los rizomas se mantuvieron en una etapa de vivero de dos meses (mayo a julio de 2010), y se establecieron en campo en julio del mismo año.

El sitio experimental se dividió en nueve subparcelas de 8x8 m, para el establecimiento de cada especie de gramínea se destinaron tres sub-parcelas, se sembró en forma de mateado a 50 cm entre matas en un arreglo espacial de tres bolillo y se fertilizó con 100 g de nitrógeno al 46% (urea) en cada división a los 30 días de la siembra (agosto de 2010).

2.2.3. Diseño experimental y tratamientos

El experimento tuvo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, en el que se evaluaron tres tratamientos que fueron las asociaciones *G. ulmifolia*–*D. eriantha*, *G. ulmifolia*–*M. maximus* y *G. ulmifolia*–*A. gayanus*. Todas las asociaciones se evaluaron como en un sistema de pastoreo rotacional con 28 días de descanso entre cortes, en tres periodos (agosto, septiembre y octubre).

2.2.4. Variables evaluadas y su medición

Rendimiento del forraje y calidad nutricional

Se determinó el rendimiento del forraje en cada asociación árbol-gramínea. En las gramíneas se seleccionaron al azar cuatro puntos de muestreo por repetición y se cortó todo el pasto a 10 cm sobre el nivel del suelo dentro de marcos de 50 x 50 cm. Además, para determinar si había algún efecto de la sombra del árbol sobre la calidad nutricional del pasto, se tomaron muestras dirigidas a puntos de sol o sombra, de manera que, si el punto

seleccionado al azar en donde se haría el corte era un punto sombreado, se tomaba una muestra dirigida en el punto soleado más próximo y viceversa.

Por otra parte, el rendimiento de forraje en los árboles se estimó con una muestra de cuatro árboles por repetición seleccionados al azar, excluyendo árboles de los límites de la parcela (efecto orilla). Cada árbol se defolió totalmente y se incluyeron tallos tiernos en la muestras. Se utilizaron tijeras de jardinería para cortar ramas (con diámetro menor a 0.5 cm) y las partes más jóvenes del árbol (hojas, brotes y tallos finos) se recolectaron manualmente según el método utilizado por Villa-Herrera (2009).

Para determinar la calidad del forraje, se realizaron análisis químicos del follaje de las gramíneas y el árbol en cada tratamiento. Se usó una muestra compuesta del forraje de las gramíneas y los árboles colectada en el periodo de octubre, la selección del periodo en el que se harían los análisis fue al azar. Se determinó el porcentaje de proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN), lignina y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) tanto en las gramíneas como en el árbol. El contenido de PC se obtuvo por el método macro-Kjeldahl (AOAC, 1980); la FDA y FDN se determinó con el método de la bolsa de filtro Ankom y el equipo Ankom²⁰⁰ (Ankom Technology; New York, USA; Ankom, 2010); la lignina se obtuvo por el método de vaso de precipitados con H₂SO₄ al 72% (AOAC, 1997) y bolsas de filtro; y DIVMS se determinó con el método de la bolsa de filtro y el equipo Daisy^{II} (Ankom Technology, New York, USA; Ankom, 2010).

Dinámica de crecimiento de las gramíneas

Para medir la dinámica de crecimiento (morfogénesis) de las gramíneas se calcularon las tasas de aparición de hojas (TAH), elongación foliar (TEF), elongación de tallo (TET), senescencia foliar (TSF) y el crecimiento neto foliar (CNF), según el método utilizado por Ramírez *et al.* (2010). Para poder calcular las TET, TAH y TEF se midió en campo el número de hojas (NH) y la longitud del tallo (LT) por hijato y la longitud de la lámina

foliar (LLF) de todas las hojas de cada hijato. Estas mediciones se realizaron cada 28 días por tres periodos.

En los pastos amacollados (*M. maximus* y *A. gayanus*) se seleccionaron al azar 10 macollas en cada repetición y en cada macolla cinco hijatos para hacer las mediciones (n = 50 hijatos por repetición). En *D. eriantha*, por sus característica de crecimiento rastrero, se trazaron aleatoriamente cinco transectos por repetición en el que se seleccionaron 10 hijatos por transecto (n = 50 hijatos por repetición), cada hijato dentro del transecto se encontraba aproximadamente a 10 cm uno de otro. Se marcó cada hijato con un alambre de color distinto para identificarlo en cada medición.

La longitud de tallos se midió tomando la distancia desde la base del tallo hasta la lígula de la última hoja expandida. Se contó el número de hojas por hijato y la longitud de la lámina foliar se midió considerando como punto de referencia el punto de inserción de la hoja hasta el extremo superior del ápice de la misma, o hasta la base del tejido clorótico si la hoja estaba en proceso de senescencia.

La tasa de elongación de tallos se calculó como la diferencia entre la longitud final del tallo (LT_f) menos la longitud inicial (LT_i) dividido entre el número de días (Nd) que transcurrieron (Santos *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2010).

$$TET = \frac{LT_f - LT_i}{Nd}$$

La tasa de aparición de hojas se estimó calculando la diferencia entre el número de hojas al final del intervalo de corte (NH_f) menos el número de hojas al inicio (NH_i) entre el número de días (Nd) que transcurrieron (Alexandrino *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2010).

$$TAH = \frac{NH_f - NH_i}{Nd}$$

Para calcular las tasas de elongación foliar, senescencia foliar y crecimiento neto foliar se utilizaron las fórmulas descritas por Hernández-Garay *et al.* (1997) y Ramírez *et al.* (2010).

La tasa de elongación foliar se calculó para las hojas expandidas, la cual fue la diferencia de las longitudes de las láminas foliares final (LLF_f) e inicial (LLF_i) dividida entre el número de días (Nd). La TEF fue necesario para calcular el crecimiento neto foliar.

$$TEF = \frac{LLF_f - LLF_i}{Nd}$$

La tasa de senescencia foliar se calculó del día 21 al 28 de cada periodo, que fue el momento en que se observó la presencia de tejido clorótico en la hojas. La TSF se obtuvo de manera indirecta, mediante la diferencia de las longitudes de hojas en proceso de senescencia, entre mediciones sucesivas, es decir, la diferencia entre la longitud de la lámina foliar inicial (LLF_i) y final (LLF_f) dividida entre el número de días.

$$TSF = \frac{LLF_i - LLF_f}{Nd}$$

Se calculó el crecimiento neto foliar mediante la diferencia entre TEF y TSF.

Fisiología de las gramíneas

Se midió la cobertura del suelo en el estrato herbáceo cada 28 días utilizando un marco de 50 x 50 cm dividido en cuatro secciones, con el cual se hacía una estimación de la proporción del suelo que estaba cubierta por la gramínea. El cuadro se colocó en 10 puntos seleccionados de forma aleatoria dentro de cada repetición y estos puntos variaron según el periodo de medición (cada 28 días se hacía una nueva asignación de puntos de medición).

Se determinó el índice de área foliar (LAI) cada siete días durante todos los periodos, utilizando el aparato LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR Biosciences; Nebraska,

USA). Se tomaron cinco lecturas dentro de cada repetición ($n = 15/\text{tratamiento}$), seleccionando al azar cada punto y midiendo desde la superficie del suelo para incluir el área foliar tanto del árbol como de la gramínea.

Para determinar la eficiencia fotosintética de las gramíneas se midió la tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N), la transpiración (E), la conductancia estomática (g_s) y la radiación fotosintéticamente activa incidente (Q) utilizando el aparato Lc Pro + Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited; Hertfordshire, Inglaterra), además, se calculó la eficiencia en el uso del agua (WUE, por sus siglas en inglés Water-Use Efficiency) en la planta, dividiendo A_N entre E . La lectura se tomó en dos puntos bajo sombra y dos a cielo abierto dentro de cada repetición, una vez dentro de cada intervalo de corte en cada uno de los tratamientos, la medición se realizó en la tercera semana de cada periodo, entre los días 15 y 21; según lo permitieran las condiciones climáticas. En septiembre no se realizó la medición de fotosíntesis, debido a que el 17 de septiembre del 2010 el huracán Karl tocó tierra en las costas de Veracruz, el acceso al sitio experimental quedó bloqueado por una semana.

2.2.5. Análisis estadístico

Las variables rendimiento, índice de área foliar, eficiencia fotosintética y dinámica de crecimiento se analizaron usando el procedimiento MIXED y varianza de componentes de Statistical Analysis System, versión 4.3.0 (SAS Inc., 2010). El modelo incluyó el efecto de la asociación, el periodo y la repetición como factores principales y las interacciones de la asociación*periodo y asociación*periodo*repetición.

Las variables indicadoras de calidad nutricional y cobertura del suelo se analizaron por el procedimiento GLM con la misma estructura de covarianza que las variables anteriores. Para el modelo se consideraron los efectos de la asociación y periodo, y la interacción de la asociación*periodo como efectos principales.

El modelo para las variables de calidad nutricional y eficiencia fotosintética además incluyeron la variable “tipo” para analizar el pasto en su condición de sol y de sombra. Se utilizó radiación fotosintéticamente activa (Q) como covariable para el análisis de la eficiencia fotosintética. Cuando se encontraron diferencias entre tratamientos se realizaron pruebas de medias LSmeans a un $\alpha = 0.05$.

2.3. Resultados

2.3.1. Rendimiento de forraje

El rendimiento total de forraje varió por la interacción entre el tipo de asociación y el periodo de corte ($P = 0.003$; Figura 14). En septiembre, el rendimiento fue similar en todas las asociaciones; en octubre y noviembre, las asociaciones *G. ulmifolia*-*M. maximus* y *G. ulmifolia*-*A. gayanus* disminuyeron drásticamente ($P < 0.001$), y *G. ulmifolia*-*D. eriantha* fue la asociación con mayor producción ($P < 0.001$).

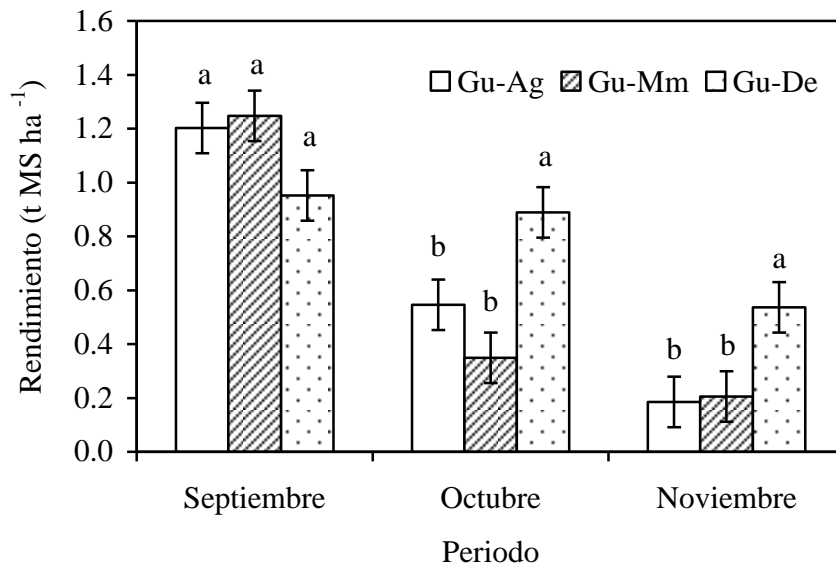


Figura 14. Rendimiento de forraje (t MS ha⁻¹) en tres asociaciones de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Gu) y las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud. (De), *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (Mm) y *Andropogon gayanus* Kunth (Ag), en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) cada 28 días. Barras con la misma literal dentro de cada periodo son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

El rendimiento del componente gramínea también varió de acuerdo al tipo de asociación ($P < 0.001$); en *D. eriantha* fue mayor en todos los periodos ($P < 0.001$); mientras que *A. gayanus* y *M. maximus* fueron similares ($P = 0.729$; Figura 15). Se encontró efecto del periodo de corte sobre el rendimiento ($P = 0.027$); la mayor producción de biomasa forrajera se obtuvo en septiembre y octubre ($P = 0.001$).

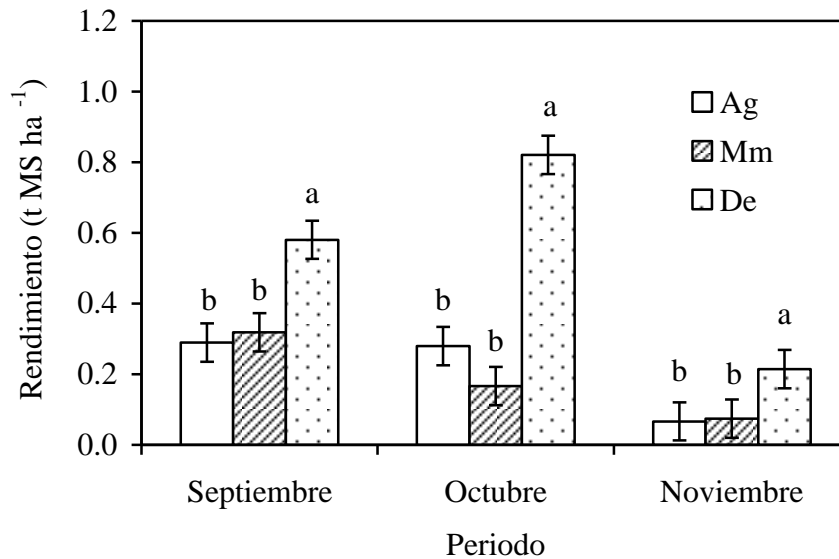


Figura 15. Biomasa forrajera (t MS ha⁻¹) de las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud. (De), *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (Mm) y *Andropogon gayanus* Kunth (Ag) asociadas con *Guazuma ulmifolia* Lam. en un sistema silvopastoril, en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) cada 28 días. Barras con la misma literal dentro de cada periodo son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

El rendimiento de forraje arbóreo varió por efecto de la interacción entre el tipo de asociación y el periodo de corte ($P < 0.001$; Figura 16). En septiembre la mayor producción de biomasa forrajera se obtuvo cuando el árbol se asoció a *M. maximus* y *A. gayanus*, que fueron similares entre sí ($P = 0.869$); en octubre y noviembre no hay diferencia en el rendimiento de este componente ($P > 0.05$).

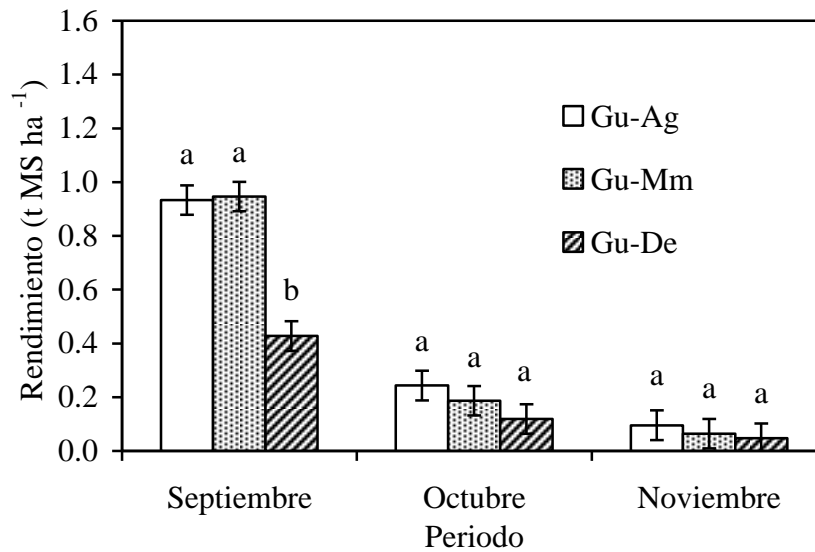


Figura 16. Biomasa forrajera (t MS ha⁻¹) de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Gu) asociada a las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud. (De), *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs (Mm) y *Andropogon gayanus* Kunth (Ag) en un sistema silvopastoril, en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) cada 28 días. Barras con la misma literal dentro de cada periodo son similares ($P > 0.050$). Las marcas sobre las barras representan el error estándar.

2.3.2. Calidad nutricional de gramíneas y árbol

La PC, FDA y FDN en el forraje de las distintas gramíneas fueron similares bajo sol y sombra ($P > 0.104$). Sin embargo, la interacción del tipo de asociación y la condición de sol y sombra afectaron el contenido de lignina ($P = 0.020$) y la DIVMS ($P = 0.019$; Cuadro 4). *D. eriantha* presentó el mayor contenido de lignina ($P = 0.003$) y fue mayor en el sol; mientras que en *M. maximus* ($P < 0.001$) y *A. gayanus* ($P < 0.001$) fueron similares y presentaron mayor lignina en la sombra. La DIVMS fue similar entre *M. maximus* y *A. gayanus* ($P = 0.248$) y fueron mayores que *D. eriantha* ($P < 0.001$). En condiciones de sol la DIVMS de todos los pastos se mantiene en 60%, mientras que en la sombra *M. maximus* y *A. gayanus* se incrementan hasta el 65% y *D. eriantha* disminuye hasta el 58%.

Cuadro 4. Composición químico nutricional (%) de las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth asociadas a *Guazuma ulmifolia* Lam. en un sistema silvopastoril.

Gramíneas	PC	FDA	FDN	Lignina	DIVMS
<i>A. gayanus</i>	9.0 ^a (0.3)	37.2 ^a (7.8)	65.2 ^a (1.6)	6.3 ^c (0.7)	62.7 ^a (2.9)
<i>M. maximus</i>	9.4 ^a (0.3)	39.4 ^a (7.8)	64.0 ^a (1.6)	8.1 ^b (0.7)	63.8 ^a (2.9)
<i>D. eriantha</i>	7.4 ^b (0.3)	40.1 ^a (7.8)	61.8 ^b (1.6)	11.1 ^a (0.7)	58.7 ^b (2.9)

Valores con igual literal dentro de la misma columna son similares (P < 0.05).

PC= Proteína cruda; FDA= Fibra detergente acida; FDN= Fibra detergente neutro; DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

La PC (P < 0.001) y FDN (P = 0.002) variaron según el tipo de pasto asociado. En el Cuadro 4 se puede observar que *D. eriantha* tuvo el menor contenido de proteína (P < 0.001) y de FDN (P = 0.011); mientras *M. maximus* y *A. gayanus* tuvieron valores más altos y fueron similares (P = 0.149). La FDA de las gramíneas fue igual en todas las asociaciones (P = 0.209).

En el forraje arbóreo, el contenido de PC (P = 0.763), FDA (P = 0.068), FDN (P = 0.102) y DIVMS (P = 0.077) fueron similares en todas las asociaciones (Cuadro 5). La lignina (P = 0.010) varió según el tipo de pasto asociado. El menor contenido de lignina (P < 0.008) se encontró en los árboles asociados a *D. eriantha*; mientras que las asociaciones con *M. maximus* y *A. gayanus* fueron similares (P = 0.881).

Cuadro 5. Composición químico nutricional (%) de *Guazuma ulmifolia* Lam., asociado a las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth en un sistema silvopastoril.

Gramíneas	PC	FDA	FDN	Lignina	DIVMS
<i>A. gayanus</i>	12.9 ^a (2.2)	28.1 ^a (10.4)	44.7 ^a (8.9)	13.0 ^a (0.5)	62.9 ^a (10.3)
<i>M. maximus</i>	12.0 ^a (2.2)	30.1 ^a (10.4)	47.2 ^a (8.9)	13.1 ^a (0.5)	60.6 ^a (10.3)
<i>D. eriantha</i>	12.0 ^a (2.2)	22.6 ^a (10.4)	40.9 ^a (8.9)	10.7 ^b (0.5)	67.9 ^a (10.3)

Valores con igual literal dentro de la misma columna son similares (P < 0.05).

PC= Proteína cruda; FDA= Fibra detergente acida; FDN= Fibra detergente neutro; DIVMS= Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

2.3.3. Dinámica de crecimiento de las gramíneas

La TET y la TEF de las gramíneas variaron por el efecto de la interacción de la asociación y el periodo ($P < 0.001$; Cuadro 6). En septiembre no se encontró diferencia en la TET entre los pastos asociados a *G. ulmifolia* ($P = 0.247$); en octubre y noviembre *A. gayanus* presentó los valores más altos ($P < 0.001$), y las otras dos gramíneas fueron similares ($P = 0.571$). En septiembre y octubre, la TEF fue mayor en *A. gayanus* ($P < 0.001$) y en noviembre, *M. maximus* ($P < 0.001$) fue mayor y a la vez similar a *A. gayanus* ($P = 0.305$), mientras *D. eriantha* tuvo los valores más bajos en los tres periodos ($P = 0.003$).

Cuadro 6. Tasa de elongación de tallos (TET) y tasa de elongación foliar (TEF) de las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth asociadas a *Guazuma ulmifolia* Lam. en un sistema silvopastoril, en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) de 28 días.

Periodo	<i>A. gayanus</i>	<i>M. maximus</i>	<i>D. eriantha</i>
..... TET (cm día ⁻¹)			
Septiembre	1.02 ^a (0.08)	1.15 ^a (0.08)	1.24 ^a (0.08)
Octubre	1.26 ^a (0.07)	0.42 ^b (0.07)	0.49 ^b (0.07)
Noviembre	1.16 ^a (0.09)	0.30 ^b (0.09)	0.38 ^b (0.09)
..... TEF (cm día ⁻¹)			
Septiembre	1.79 ^a (0.06)	1.14 ^b (0.06)	0.20 ^c (0.06)
Octubre	0.99 ^a (0.04)	0.71 ^b (0.04)	0.14 ^c (0.04)
Noviembre	0.47 ^a (0.02)	0.51 ^a (0.02)	0.11 ^b (0.02)

Valores con igual literal dentro de la misma fila son similares ($P > 0.05$).
Valor entre paréntesis representa el error estándar.

La TAH varió entre asociaciones ($P < 0.001$), y fue más alta en *D. eriantha* (0.34 ± 0.01 hojas día⁻¹; $P < 0.001$), y en las otras dos no hubo diferencia (0.13 ± 0.01 hojas día⁻¹; $P > 0.050$). También, el efecto de periodo ($P = 0.001$) se reflejó en menor TAH durante noviembre (0.18 ± 0.01 hojas día⁻¹; $P < 0.001$); y menor en septiembre y octubre que a su vez fueron similares (0.21 y 0.22 ± 0.01 hojas día⁻¹; $P < 0.050$).

Los indicios de senescencia foliar se observaron entre los días 21 y 28 en todos los periodos evaluados ($P < 0.008$), excepto septiembre, que por causa del huracán Karl (17 de septiembre de 2010) no se evaluó. En octubre, la mayor TSF se encontró en *A. gayanus* ($0.65 \pm 0.16 \text{ cm día}^{-1}$; $P < 0.001$), *M. maximus* fue menor ($0.08 \pm 0.16 \text{ cm día}^{-1}$; $P < 0.001$) y *D. eriantha* presentó una TSF casi nula. En noviembre *A. gayanus* y *M. maximus* fueron similares ($P = 0.350$) con valores de $0.25 \pm 0.16 \text{ cm día}^{-1}$ y $0.09 \pm 0.16 \text{ cm día}^{-1}$, respectivamente; y *D. eriantha* tuvo respuesta similar al periodo anterior.

El CNF varió por efecto de la interacción entre la asociación y el periodo de corte ($P < 0.001$; Cuadro 7). *D. eriantha* tuvo menor crecimiento en los tres periodos ($P = 0.003$); *A. gayanus* fue mayor que *M. maximus* en septiembre y octubre ($P < 0.001$); sin embargo, en noviembre estos dos fueron similares ($P = 0.319$).

Cuadro 7. Crecimiento neto foliar (CNF, cm día^{-1}) de las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth asociadas a *Guazuma ulmifolia* Lam. en un sistema silvopastoril en tres periodos de corte (septiembre, octubre y noviembre) de 28 días.

Periodo	<i>A. gayanus</i>	<i>M. maximus</i>	<i>D. eriantha</i>
Septiembre	3.58 ^a (0.13)	2.28 ^b (0.13)	0.39 ^c (0.13)
Octubre	1.99 ^a (0.09)	1.42 ^b (0.09)	0.27 ^c (0.09)
Noviembre	0.94 ^a (0.05)	1.01 ^a (0.05)	0.21 ^b (0.05)

Valores con igual literal dentro de la misma fila son similares ($P > 0.05$).
Valor entre paréntesis representa el error estándar.

2.3.4. Fisiología de las gramíneas

La cobertura de suelo fue diferente entre asociaciones ($P < 0.001$). La mayor se observó cuando el árbol se asoció con *D. eriantha* ($64.3 \pm 4.6 \%$; $P < 0.001$), seguida de la asociación con *M. maximus* ($23.5 \pm 4.6 \%$; $P < 0.001$) y *A. gayanus* ($11.7 \pm 4.6 \%$; $P < 0.001$). También hubo variación según el periodo de corte ($P < 0.001$). En septiembre y octubre hubo mayor cobertura del suelo (41.2 y $38.3 \pm 4.6 \%$, respectivamente; $P < 0.001$), y en noviembre disminuyó notablemente ($19.9 \pm 4.6 \%$; $P < 0.001$).

El índice de área foliar fue similar entre asociaciones ($P = 0.555$) y entre periodos de corte ($P = 0.536$). Los índices fueron de 1.23 ± 0.25 con *A. gayanus*, 1.41 ± 0.25 con *D. eriantha* y 1.49 ± 0.25 con *M. maximus*. La A_N , E , g_s y WUE de las tres gramíneas fue similar en condiciones de sol y de sombra ($P > 0.050$). La A_N , E y g_s difirieron entre periodos de corte ($P < 0.001$). Además, A_N se vio influenciada por la radiación (Q ; $P = 0.003$). En octubre se registraron los valores más altos en cada una de las variables ($P < 0.050$; Cuadro 8).

Cuadro 8. Tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N), transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y radiación fotosintéticamente activa (Q), en las gramíneas *Digitaria eriantha* Steud., *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y *Andropogon gayanus* Kunth asociadas a *Guazuma ulmifolia* Lam. en un sistema silvopastoril, en dos periodos de corte (octubre y noviembre) de 28 días.

Periodo	A_N ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Q ($\text{m mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Octubre	13.12 ^a (1.36)	845.92 ^a (57.61)	3.07 ^a (0.30)	0.15 ^a (0.03)
Noviembre	5.10 ^b (1.36)	672.28 ^b (57.61)	1.33 ^b (0.30)	0.03 ^b (0.03)

Valores con igual literal dentro de la misma columna son similares ($P > 0.05$).

Valor entre paréntesis representa el error estándar.

La E , g_s y WUE variaron según el tipo de pasto asociado ($P > 0.050$). *D. eriantha* presentó los valores más bajos de E y g_s ($P < 0.001$) y una mayor WUE ($P < 0.001$); mientras que los valores más altos de E y g_s los tuvo *M. maximus* ($P < 0.001$) y *A. gayanus* presentó una la menor WUE ($P < 0.001$; Cuadro 9).

Cuadro 9. Transpiración (E), conductancia estomática (g_s) y eficiencia en el uso del agua (WUE) en las gramíneas asociadas a *Guazuma ulmifolia* Lam. en un sistema silvopastoril con periodos de corte de 28 días.

Gramíneas	E ($\text{m mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	WUE
<i>A. gayanus</i>	2.22 ^b (0.2)	0.06 ^b (0.01)	3.63 ^c (0.5)
<i>M. maximus</i>	2.70 ^a (0.2)	0.08 ^a (0.01)	4.31 ^b (0.5)
<i>D. eriantha</i>	1.61 ^c (0.2)	0.05 ^b (0.01)	5.40 ^a (0.5)

Valores con igual literal dentro de la misma columna son similares ($P > 0.05$).

Valor entre paréntesis representa el error estándar.

2.4. Conclusiones

En condiciones de clima con precipitación estacional, la mejor asociación árbol-gramínea es *G. ulmifolia-D. eriantha*, en la que hay una mayor producción de biomasa forrajera. La asociación con esta gramínea favorece las condiciones para que *G. ulmifolia* reduzca el contenido de fibras (FDN, FDA, y lignina) en su forraje. Además, las características fenológicas de *D. eriantha* permiten un mejor aprovechamiento del suelo y del agua en el sistema.

En un sistema silvopastoril donde los árboles se manejan para producir forraje en alturas cortas para el ramoneo, el recurso luz no llega a ser un factor limitante de la productividad de las gramíneas. La cantidad de luz incidente sobre el estrato herbáceo se relaciona mayormente con la época del año, y consecuentemente, afecta la productividad de las gramíneas a través del tiempo.

Las variaciones en la dinámica de crecimiento de las gramíneas evaluadas (TET, TAH, TEF, TSF y CFN) están relacionadas principalmente con las características fenológicas propias de cada especie. Bajo condiciones de precipitación estacional las diferencias en la tasa de elongación de tallos y la tasa de senescencia foliar son más notorias entre gramíneas conforme descienden los niveles de precipitación. Por consiguiente, *D. eriantha* es la gramínea con mejores características de crecimiento bajo estas condiciones.

2.5. Literatura Citada

- Alexandrino E, Nascimento DJ, Mosquim PR, Regazzi AJ, Cipriano RF (2004) Características morfogênicas e estruturais na rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a três doses de nitrogênio. Revista Brasileira de Zootecnia 33:1372-1379.
- Alonso J, Ruiz T, Febles G, Acha G (2003) Comparación de métodos de poda en un sistema silvopastoril leucaena-guinea. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 37(4):433-444.

- Ankom Technology (2010) Instrument Manuals. <http://www.ankom.com/instrument-manuals.aspx>. Consultado 12 de Feb. 2012.
- AOAC (1980) Official Method 4.2.11 Protein (Crude) in animal feeds, forage (plant tissue), grain, and oilseeds. En: Official Methods of Analysis of AOAC International, 13th edition. AOAC International, Washington D.C., USA.
- AOAC (1997) Official Method 973.18. Fiber (acid detergent) and lignin in animal feed. En: Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th edition. AOAC International, Washington D.C., USA.
- Baumer M (1992) Trees as browse and to support animal production. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Animal production and Health Paper. 10 p.
- Belsky AJ (1994) Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology* 75(4):922-932.
- Benavides JE, Rodríguez RA, Borel R (1994) Producción y calidad de forraje de King Grass (*P. purpureum* x *P. typhoides*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) en asociación. En: Benavides JE (Ed.) Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Vol. II. pp. 441-452.
- Benavides JE (1999) Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. Pp. 449-477.
- Bronstein G (1984) Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, asociada con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis *Magister Scientiae*, Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- Bustamante J, Ibrahim M, Beer J (1998) Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril con Poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Turrialba. *Avances de investigación, Agroforestería en las Américas* 5(19):11-16.

- Cruz P, Sierra J, Wilson JR, Dulormne M, Tournebize R (1999) Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. *Annals of Arid Zone* 38(3&4):335–361.
- de Andrade SCM, Ferreira VJ, da Costa CJ, Vaz FA (2004) Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(3):263-270.
- Fassola HE, Lacorte SM, Pachas AN, Pezzuti R (2005) Factores que influncian la producción de biomasa forrajera de *Axonopus jesuiticus* Valls, bajo dosel de *Pinus taeda* L. en el nordeste de Corrientes. *Revista de Investigación Agropecuaria* 34(3):21-38.
- García E (1973) Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 357 p.
- Guenni O, Seiter S, Figueroa R (2008) Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands* 42:75–87.
- Hernández-Garay A, Matthew C, Hodgson J (1997) Effect of spring grazing management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 40:37-50.
- Jiménez-Ferrer G, López-Carmona M, Nahed-Toral J, Ochoa-Gaona S, de Jong B (2008) Árboles y arbustos forrajeros de la región Norte-Tzotzil de Chiapas, México. *Revista electrónica Veterinaria México* 39(2):199-213.
- Manríquez-Mendoza L, López-Ortiz S, Olguín-Palacios C, Pérez-Hernández P, Díaz-Rivera P, López-Tecpoyotl Z (2011) Productivity of a silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13:573-584.
- Murgueitio E (2005) Silvopastoral systems in the Neotropics. En: Mosquera RM, McAdam J, Regueiro-Rodriguez A (Eds.) *Silvopastoralism and sustainable land management*. CAB International Publishing, USA. pp. 24-29.
- Páez A, González ME, Pereira N (1994) Comportamiento de *Panicum maximum* en condiciones de sombreado y de luz solar total. Efecto de la intensidad de corte. *Revista de la Facultad de Agronomía* 11:25–42.

- Pentón FG (2000) Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis de Master en Pastos y Forrajes. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Matanzas, Cuba. 42 p.
- Pentón G, Blanco F (2001) Influencia de la sombra de *Albizia lebbek* en la composición química del pastizal. Pastos y Forrajes 24(4):305-315.
- Ramírez RO, Hernández GA, Carneiro SS, Pérez PJ, Jacaúna SSJ, Castro RR, Enríquez QJF (2010) Características morfogénicas y su influencia en el rendimiento del pasto mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. Tropical and Subtropical Agroecosystems 12:303-311.
- Santos MP, Corsi M, Balsalobre AMA (1999) Efeito da frequência de pastejo e da época do ano sobre a produção e a qualidade em *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça. Revista Brasileira de Zootecnia 28:244-249.
- SAS (2010) Statistical Analysis System, Enterprise Guide ver. 4.3.0. SAS Institute, Inc. Cary, N.C., USA.
- Silva-Pando FJ, González-Hernández MP, Rozados-Lorenzo MJ (2002) Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables on the Atlantic coast of Spain. Agroforestry Systems 56:203-211.
- Villa-Herrera A (2009) Productividad del sistema silvopastoril con *Guazuma ulmifolia* Lam. y la utilización de la especie en los agroecosistemas de Angostillo, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Agroecosistemas Tropicales. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Veracruz, Mexico. 41 p.
- Wilson JR, Hill K, Cameron DM, Shelton HM (1990) The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. Tropical Grasslands 24(1):24-28.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. Conclusiones

En los dos experimentos con *Guazuma ulmifolia* Lam., los niveles de precipitación y la duración de la época de lluvias tuvieron influencia importante sobre la producción de biomasa y la calidad nutricional del forraje cosechado. En consecuencia, la respuesta del árbol es mejor en los tratamientos ubicados en el punto más alto de precipitación de la época de lluvias (agosto-septiembre).

Se corroboró que la cantidad de humedad en el suelo es un factor determinante en la producción y calidad de forraje durante la época seca, dado que *G. ulmifolia* responde a pequeñas cantidades de humedad en el suelo formando brotes, revirtiendo el proceso de senescencia foliar y aumentando el contenido de clorofila en las hojas.

El recurso luz no es un factor limitante para el establecimiento de las gramíneas en los sistemas silvopastoriles con *G. ulmifolia* manejados a alturas bajas. De esta manera, hay una mejor respuesta asociando el árbol con una gramínea de crecimiento rastrero, que consecuentemente hace un mejor aprovechamiento del suelo, de los recursos luz y agua, y del espacio vertical y horizontal en el sistema.

La velocidad de adaptación al establecimiento de las distintas gramíneas asociadas a *G. ulmifolia*, manteniendo el árbol a alturas entre 1.20 m y 1.70 m, está influenciada principalmente por las características de crecimiento propias de cada gramínea y de su tolerancia a condiciones de precipitación estacional. Por consiguiente, las gramíneas de crecimiento rastrero mostraron una mejor respuesta al establecimiento bajo estas condiciones.

2. Recomendaciones

Para bancos de forraje, en zonas con precipitación estacional y como método para la conservación de forraje verde en la época seca, se recomienda podar a *G. ulmifolia* entre los meses de agosto y septiembre, dado que estas podas permitirán la formación de una mayor cantidad de forraje. También, se recomienda cosechar el forraje en los primeros meses de la época seca (febrero o principios de marzo) ya que hay mayor digestibilidad, mayor contenido de nutrientes en hojas y cosechando el forraje en esos momentos los árboles pueden formar brotes nuevos que pueden ser utilizados como forraje en meses avanzados de la época seca (abril y mayo).

En sistemas silvopastoriles intensivos donde el agua no es un factor limitante, se recomienda la aplicación de un riego mínimo en los meses de enero y febrero para promover la formación de forraje en el árbol en cual puede utilizarse como fuente de alimento para el ganado en los meses más críticos de la época seca (abril y mayo). Esto también sucede en condiciones naturales en ambientes con precipitación estacional y presencia de precipitación invernal en los meses de enero y febrero.

Se recomienda la asociación de *G. ulmifolia-D. eriantha* como una opción adecuada para zonas con precipitación estacional, considerando la alta producción de biomasa forrajera, aun cuando los niveles de precipitación sean bajos, además, por sus características de crecimiento, esta gramínea puede adaptarse a periodos de corte que le permitan al árbol recuperarse de las defoliaciones.

Para poder aplicar los conocimientos aquí generados en los sistemas ganaderos actuales, se recomienda realizar estos experimentos bajo condiciones de pastoreo, dadas las interacciones que podrían surgir al incluir el componente animal en el sistema silvopastoril.