



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE CUATRO
GRAMÍNEAS TROPICALES DE LOS GÉNEROS *Urochloa*
Y *Megathyrsus* A LA SOMBRA DE *Melia azedarach* L.**

FRANCISCO SANTIAGO HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VER.

2015

La presente tesis titulada: **Respuesta fisiológica y productiva de cuatro gramíneas tropicales de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus* a la sombra de *Melia azedarach* L.**, realizada por el alumno: Francisco Santiago Hernández, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

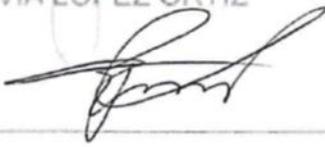
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



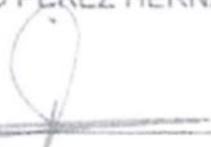
DRA. SILVIA LÓPEZ ORTIZ

ASESOR:



DR. PONCIANO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESOR:



DR. JESÚS JARILLO RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. CATARINO ÁVILA RESENDIZ

ASESOR:



DR. JUAN DE DIOS GUERRERO RODRÍGUEZ

Tepetates, Veracruz, México, 08 de Junio de 2015

**RESPUESTA FISIOLÓGICA Y PRODUCTIVA DE CUATRO GRAMÍNEAS
TROPICALES DE LOS GÉNEROS *Urochloa* Y *Megathyrsus* A LA SOMBRA DE
Melia azedarach L.**

Francisco Santiago-Hernández, MC.
Colegio de Postgraduados, 2015.

Se determinó el efecto de la sombra de *Melia azedarach* L. en la fisiología y producción de gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania y Mombaza y los híbridos de *Urochloa* Oaxaca y Yacaré. Se evaluó la producción de biomasa, calidad nutritiva y la fisiología de gramíneas en lluvias (Agosto de 2013) y nortes (Febrero de 2014), en sombra y sol. Los cultivares produjeron más biomasa forrajera ($P < 0.05$) que los híbridos. La proteína cruda (PC) no difirió entre gramíneas ($P = 0.516$), Mombaza y Tanzania tuvieron más fracción fibra detergente neutro (FDN; 49.2 y 50.2%; $P < 0.05$) y ácida (FDA; 34.4 y 34.1%; $P < 0.05$), y fueron menos digestibles (61.7 y 61.6%; $P < 0.05$) que los híbridos. En sombra, la biomasa disminuyó 44% ($P < 0.05$), aunque las hojas contenían más PC ($16.8 \pm 2.1\%$; $P < 0.05$) y menos FDA ($30.0 \pm 6.7\%$), siendo más digestibles (65.7%; $P < 0.05$); la tasa de asimilación de CO_2 disminuyó en sombra ($8.6 \pm 4.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P < 0.05$). En lluvias se produjo más biomasa ($8,236 \pm 4,257 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$; $P < 0.0001$), aunque en nortes la calidad nutritiva mejoró ($P < 0.05$). En lluvias se asimiló más CO_2 ($P < 0.0001$), y también en sol que en sombra (19.1 ± 8.2 vs. $8.6 \pm 4.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P < 0.05$). Las condiciones más favorables para la producción suceden en lluvias, aunque la calidad nutritiva mejora en nortes. En sombra, la fotosíntesis de las plantas se altera afectando la producción, aunque con efecto positivo en la calidad nutritiva de todas las gramíneas. Oaxaca y Yacaré parecen adaptarse más a condiciones de sombra respondiendo con mayor estabilidad en producción y mejor calidad nutritiva de su follaje.

Palabras Claves: *Urochloa*, *Megathyrsus*, *Melia azedarach*, Sistema Agroforestal, Biomasa, Fisiología

PHYSIOLOGICAL RESPONSE AND BIOMASS PRODUCTION OF FOUR TROPICAL GRASSES (*Urochloa* spp. and *Megathyrsus* spp.) UNDER SHADE FROM *Melia azedarach* L.

Francisco Santiago-Hernández, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015

We evaluate the effect of shade from *Melia azedarach* L. on the physiology and biomass production in *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania and Mombaza and *Urochloa* hybrid Yacare and Oaxaca. Forage biomass, nutritive value and grass physiology were assessed during the rainy (August 2013) and windy (February 2014) seasons, under shade and light conditions. The cultivars produced more forage biomass ($p < 0.05$) than hybrids. While crude protein (CP) did not differ among grasses ($p = 0.516$), Mombasa and Tanzania had more neutral detergent fiber (NDF; 49.2 and 50.2%, respectively; $p < 0.05$), and more acid detergent fiber (ADF; 34.4 and 34.1%, respectively; $P < 0.05$), and were less digestible (61.7 and 61.6%; $P < 0.05$) than Oaxaca and Yacare. Under shade, forage biomass decreased 44% ($P < 0.05$), although the leaves contained more CP ($16.8 \pm 2.1\%$; $P < 0.05$) and less ADF ($30.0 \pm 6.7\%$), and were more digestible (65.7%; $P < 0.05$). The CO_2 assimilation rate also decreased under conditions of shade ($8.6 \pm 4.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P < 0.05$). More biomass was produced during the rainy season ($8,236 \pm 4,257 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ harvest}^{-1}$; $P < 0.0001$), whereas during the windy season nutritional quality improved ($P < 0.05$). During the rainy season, CO_2 uptake was greater ($P < 0.0001$), and more in sun than in shade (19.1 ± 8.2 vs. $8.6 \pm 4.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P < 0.05$). The most favorable time period for biomass production was during the rainy season, although nutritional quality improved during the windy season without regard to grass strain. Under shade, altered plant photosynthesis affected production, although positive effects on nutritional quality were observed. The Oaxaca and Yacare strains seem more adapted to shade, responding with greater production stability and better nutritional quality of foliage production.

Keywords: *Urochloa*, *Megathyrsus*, *Melia azedarach*, agroforestry system, biomass, physiology.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las Instituciones y personas que influyeron durante la culminación de esta nueva etapa de mi vida profesional:

Al pueblo mexicano, que por intermediación del **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** me otorgaron el apoyo económico para realizar mis estudios de Maestría.

Al **Colegio de Postgraduados (CP), Campus Veracruz**, por ser una Institución de Enseñanza e Investigación de excelencia en México, y por haberme acogido como uno de sus estudiantes durante la Maestría.

Al **Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT)** de la Universidad Autónoma de México, por aceptar mi estancia académica y al mismo tiempo permitirme hacer uso de sus instalaciones.

Al **Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)** porque fue parte de mi formación durante mi estancia.

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 los miembros del **Consejo Particular**, integrado por la Dra. Silvia López Ortiz, Dr. Jesús Jarillo Rodríguez, Dr. Catarino Ávila Reséndiz, Dr. Juan de Dios Guerrero

Rodríguez, Dr. Ponciano Pérez Hernández, por sus paciencia, sus consejos, amistad y apoyo. Gracias porque sus observaciones me ayudaron para el desarrollo de esta tesis.

Al **Dr. Jesús Jarillo Rodríguez**, por ser una gran persona y haber dado las facilidades para realizar la investigación en su predio, brindando su apoyo durante los muestreos y mi estancia en el CEIEGT.

Agradezco a todos y cada uno de los profesores (as) e investigadores (ras), por aportar sus conocimientos y brindar lo mejor para mi formación profesional.

A mis compañeros (as) y amigos (as) que me ofrecieron su amistad y su compañerismo, que de una o de otra forma fueron parte de mi desarrollo profesional.

A todo el personal académico y administrativo dentro de la institución, por sus valiosas contribuciones en la logística, durante mi estudio de Maestría.

A todos aquellos que de alguna u otra manera contribuyeron para llevar a buen término mis estudios.

A todos y cada uno de ellos

Muchas gracias

DEDICATORIA

A **Dios**, porque gracias a su gran amor y ricas bendiciones me ha permitido escalar un peldaño más en el mundo del conocimiento. Este logro es parte de sus bendiciones.

A **mis padres**, Romeo Santiago López y Ortencia Hernández López a quienes les debo mucho de lo que soy, con su cariño y comprensión mostraron en su total apoyo el criterio amplio hacia mis decisiones, sin olvidar los consejos y orientaciones que agradezco y valoro mucho. Este logro es parte de ustedes.

A **mis hermanos**, Yovani, Antonio, Elsi Clauded, Brenda Zuleyma, Romeo y a ti mi Monsecita, gracias por formar parte de mi vida, este logro también es de ustedes.

A **mis sobrinos** que con sus alegrías me estimulan a seguir adelante, Mayra, Williams, Iván e Iker Alexander (que en estos momentos cuando escribo estas líneas no conozco en persona). Espero un día puedan leerlo y que les sirva de ejemplo y estímulo en su superación personal.

Con mucho cariño

Para ellos

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN...	4
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. OBJETIVOS.....	8
4.1 Objetivo general.....	8
4.2 Objetivos particulares.....	8
5. HIPÓTESIS.....	9
5.1 Hipótesis general.....	9
5.2 Hipótesis particulares.....	9
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	10
6.1 Teoría de sistemas.....	10
6.2 Enfoque de agroecosistemas.....	10
6.3 Agroforestería pecuaria.....	11
6.4 Interacción árbol-gramínea en los sistemas agroforestales pecuarios.....	12
6.4.1 Competencia por luz.....	13
6.4.2 Competencia por humedad.....	14
6.4.3 Competencia por nutrientes.....	15
7. MARCO REFERENCIAL.....	17
7.1 Fisiología de las gramíneas tropicales.....	17
7.2 Factores climáticos que intervienen en el crecimiento y calidad nutritiva de las gramíneas.....	18
7.3 Efecto de la sombra en la fisiología, producción y calidad nutritiva de las gramíneas.....	20
7.4 Características morfológicas y fisiológicas del género <i>Megathyrsus</i>	21
7.5 Características morfológicas y fisiológicas del género <i>Urochloa</i>	22
7.6 <i>Melia azedarach</i> como árbol multipropósito.....	24
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
8.1 Localización geográfica del experimento.....	27
8.2 Descripción del sitio experimental.....	28
8.3 Tratamientos y diseño experimental.....	30
8.4 Procedimiento experimental.....	31
8.5 Variables evaluadas y su medición.....	32
8.5.1 Caracterización del sistema agroforestal.....	32

8.5.2	Producción y calidad químico nutritiva de la biomasa forrajera.....	32
8.5.3	Fisiología de las gramíneas.....	33
8.5.4	Arquitectura y composición morfológica de las gramíneas.....	34
8.6	Análisis estadístico.....	35
9.	RESULTADOS.....	37
9.1	Característica del sistema.....	37
9.2	Biomasa y calidad nutritiva.....	37
9.3	Arquitectura y composición morfológica de las gramíneas.....	46
9.4	Fisiología de las gramíneas.....	46
10.	DISCUSIÓN.....	49
11.	CONCLUSIONES.....	56
12.	RECOMENDACIONES.....	58
13.	LITERATURA CITADA.....	60

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Biomasa total (kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	38
Cuadro 2.	Biomasa total (kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> y <i>Urochloa</i> híbrido bajo condición de sol y sombra, en lluvias y nortes.....	38
Cuadro 3.	Biomasa forrajera de hoja (kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	39
Cuadro 4.	Biomasa forrajera en hoja (kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> y <i>Urochloa</i> híbrido bajo condición de sol y sombra, en lluvias y nortes.....	39
Cuadro 5.	Biomasa de tallo (kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	40
Cuadro 6.	Biomasa de tallo (kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> y <i>Urochloa</i> híbrido bajo condición de sol y sombra, en lluvias y nortes.....	41
Cuadro 7.	Fibra detergente neutro (FDN) en hoja de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	42
Cuadro 8.	Fibra detergente ácido (FDA) en hoja de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	43
Cuadro 9.	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) en hoja de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	44
Cuadro 10.	Lignina (%) en hoja de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré, en lluvias y nortes.....	45
Cuadro 11.	Lignina (%) en tallo de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y	

	Yacaré, en lluvias y nortes.....	45
Cuadro 12.	Ángulo de inclinación de tallo y hoja, área foliar (cm ² /g) de las gramíneas <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza y Tanzania y <i>Urochloa</i> híbridos Oaxaca y Yacaré.....	46
Cuadro 13.	Tasa neta de asimilación de CO ₂ (A _N) y conductancia estomática (g _s) de las gramíneas del género <i>Urochloa</i> (híbrido Oaxaca y Yacaré) y <i>Megathyrsus</i> (cv. Mombaza y Tanzania) asociadas a <i>Melia azedarach</i> y a pleno sol, en épocas de lluvias y nortes.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Macolla del cultivar Tanzania del género <i>Megathyrsus</i> a ocho semanas de edad.....	21
Figura 2. Esquema de la morfología de las gramíneas del género <i>Urochloa</i> . (Modificado de Mannerje and Jones, 1992).....	23
Figura 3. Plantación de <i>Melia azedarach</i> de cuatro años de edad...	25
Figura 4. Precipitación y temperatura media mensual de la región donde se realizó el experimento, durante el periodo 1980-2009 (CONAGUA, 2013).....	27
Figura 5. Ubicación geográfica del municipio de Tlapacoyan en el estado de Veracruz, donde se realizó el experimento. Fuente: Mónica (2009).....	29
Figura 6. Esquema de la parcela experimental y representación de las cuatro macollas seleccionadas para muestreos.....	29
Figura 7. Esquema de distribución de las parcelas experimentales en condiciones de sombra (A) y sol (B).....	31

1. INTRODUCCIÓN

La expansión de los sistemas de producción ganadera ha contribuido a la deforestación de bosques y selvas a través de la reconversión de la vegetación natural y áreas de cultivos agrícolas a potreros (Serrano y Toledo, 1990; Gómez *et al.*, 2006). Estos cambios de usos de suelo, tienen efectos ecológicos adversos (Guevera, *et al.*, 2004). Uno de los más significativos es la pérdida acelerada de la fertilidad de los suelos que en pocos años se manifiesta en la disminución de la productividad del ganado (Lemus, 2008). Lo anterior hace que estos sistemas de producción sean económicamente inestables ya que basan su economía únicamente en la venta de la carne o leche, cuyos precios de mercado son altamente fluctuantes o tienen precios poco justos (Ávila *et al.*, 2001). De esta manera, la escasa diversificación de los productos del suelo limita la economía de las familias que dependen de esta actividad económica.

En sistemas silvopastoriles donde se incorporan árboles con alto valor comercial, se crean agroecosistemas donde se aprovechan mejor los recursos. El uso de suelo se diversifica, aumentando los niveles de producción y se favorece la economía de las familias rurales. Por lo tanto, se puede obtener productos no maderables, como frutos con valor alimenticio y comercial, como también especies de árboles con follaje, corteza, flores y frutos con propiedades medicinales, árboles forrajeros con un alto valor nutritivo, otras especies arbóreas con flores altas en producción de néctar para la apicultura y otras especies productoras de fibra, resinas y aceites (Mendieta y Rocha, 2007).

Una opción para contrarrestar las problemáticas antes mencionadas en el sector agropecuario es la incorporación de árboles multipropósito de rápido crecimiento como el caso de *M. azedarach*, produciendo y generando ingresos tanto en épocas de lluvias, nortes y secas. A través de la venta de madera a mediano plazo la producción se hace sustentable, siendo estas utilizadas para la fabricación de muebles y construcciones de viviendas. Otras formas de utilizar estos recursos es al obtener estantillos para las cercas, horcones, postes, leña y otros productos de autoconsumo (González-Hernández y Rozados-Lorenzo, 2008). Adicionalmente se proporciona de forma indirecta alimento y hábitat para la vida silvestre, siendo que es atraída una diversidad de insectos y aves para saciar sus necesidades y aprovechar el albergue que provee el sistema (Naranjo, 2001; Andrade *et al.*, 2008). Al mismo tiempo, bajo el dosel de los árboles se producen cultivos forrajeros a corto plazo para alimento de ganado. También, pueden generar oportunidades para mejorar las relaciones sociales de producción y de desarrollo rural.

En las zonas tropicales de Veracruz, la adopción de los sistemas silvopastoriles es todavía incipiente, debido a los escasos estudios que se han realizado hacia estos sistemas. Aunado a lo anterior, los productores no tienen suficiente información, lo que ha generado que desconozcan los beneficios que se obtienen al adoptar estos sistemas y suponen que la incorporación de árboles en potreros no trae ningún beneficio. Se necesita hacer estudios sobre estas asociaciones para conocer los métodos y el manejo apropiado que se les debe de aplicar. Además, es importante conocer las interacciones que se dan entre árbol-gramínea dentro de estos sistemas. Se requiere de investigaciones en forrajes tropicales en particular las del género

Urochloa (antes *Brachiaria*) y *Megathyrsus* (antes *Panicum*), para conocer el comportamiento que tienen en su fisiología bajo el dosel de *M. azedarach* como especie maderable.

2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Una de las problemáticas que ha creado la actividad agrícola y pecuaria es la pérdida de los ecosistemas naturales. A causa de tener suelos pocos productivos, los productores se ven obligados a extender la superficie de sus predios por medio de la tala inmoderada de los bosques y selvas, con el fin de poseer más tierras para la ganadería o la agricultura, provocando daños severos al suelo a través de la erosión y lixiviado de nutrientes.

Las familias dedicadas a la actividad agropecuaria, no tienen la cultura de asociar los árboles con otros cultivos y no aprovechan la diversidad vegetal que aún se encuentra dentro de sus terrenos. La producción agropecuaria la realizan en extensiones de monocultivos, donde las altas temperaturas tienen efectos negativos en el confort de los animales, ocasionando al ganado estrés calórico, disminuyendo la capacidad productiva, siendo esta la única fuente de ingreso de las familias dedicadas a la actividad ganadera. La mayor parte de la producción agropecuaria es dependiente de las lluvias estacionales en la zona. Las bajas precipitaciones tienen un efecto en la producción del ganado; al no haber lluvias por varios meses para la producción de alimento, se obtienen bajos rendimientos en la producción de carne y leche. También se tienen pérdidas en la condición corporal del ganado o pérdida total del animal a causa de la muerte, debido a la falta de alimento para satisfacer las necesidades nutricionales. Además, el productor invierte en la compra de forraje, o la renta de terrenos. Debido a las situaciones antes mencionadas, en épocas de secas los

ganaderos se ven comprometidos a la venta de sus animales a un costo muy bajo, haciendo la producción no rentable.

La asociación del árbol maderable *M. azedarach* con gramíneas puede ser una opción viable para mejorar estos tipos de sistemas de producción. Aunque se conoce que la asociación de árboles con gramíneas tienen consecuencias positivas en los sistemas de producción, existe un desconocimiento sobre la relación que se da entre el árbol *M. azedarach* con las gramíneas de la región húmeda del estado de Veracruz y el efecto de la sombra en el crecimiento y calidad de las gramíneas. Para ello, se requiere de estudios previos al comportamiento de esta asociación, para conocer los cambios fisiológicos y morfológicos de las gramíneas bajo el sistema.

3. JUSTIFICACIÓN

Una alternativa para contrarrestar la problemática en el sector ganadero es la incorporación de los sistemas silvopastoriles con árboles maderables. Este tipo de sistemas tienden a intensificar y eficientar el uso del suelo, permitiendo diversificar las fuentes de ingreso económico de las familias. Esto se logra por medio de la combinación de tecnologías forestales y pecuarias en la misma unidad de suelo. La producción animal y la de los árboles se complementan para mejorar los ingresos en la familia y la conservación de los recursos de la parcela.

Las asociaciones de árboles con gramíneas hacen que el sistema productivo sea más rentable. A través de los sistemas silvopastoriles, se busca conocer, a mayor profundidad, alternativas que ayuden en este sentido a promover un cambio en la producción local, esperando lograr un sistema más sostenible, favoreciendo la economía familiar. La introducción del árbol *M. azedarach* en asociación con gramínea tropical puede ser una buena alternativa de producción, proporcionando beneficios y rentabilidad al sistema, ya que *M. azedarach* es un árbol maderable multipropósito de rápido crecimiento, caducifolio. Además, en época de lluvia la producción de hoja es poca, permitiendo el paso de radiación solar suficiente para permitir el crecimiento de las gramíneas. En esta asociación, la sombra de los árboles puede crear un microclima favorable, que mejora el bienestar del ganado y puede contribuir a mejorar la calidad nutritiva de las gramíneas. Esta interacción entre los árboles, las gramíneas y el ganado, se traduciría en efectos positivos en la economía familiar, ya que permitirá a las familias diversificar los ingresos a través del tiempo, produciendo forraje bajo el

dosel arbóreo para alimento de ganado durante los primeros años, mientras los árboles crecen para la producción de madera a mediano plazo.

La adopción de los sistemas silvopastoriles tiene impactos ambientales favorables. La asociación con *M. azedarach* con gramíneas en los sistemas ganaderos, tiene efecto de manera positiva en la reducción de emisión de metano producido por los rumiantes, incrementan la cantidad de carbono almacenado (secuestro de carbono) en el sistema (Andrade *et al.*, 2008; Anguiano *et al.*, 2013). Además, estos sistemas influyen sobre el mejoramiento en la estructura y en las propiedades físicas y químicas del suelo que afecta de una forma positiva la productividad neta (Durr y Rangel, 2003). Esta reducción radica en la prevención de la erosión del suelo por medio de la protección brindada por la copa de los árboles, que a su vez amortiguan la velocidad de la gota de lluvia y permiten una mayor filtración al suelo. Proporcionan también, mejoramiento del paisaje, hábitat y fuente de alimento para la biodiversidad (Beer *et al.*, 2003).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta fisiológica y productiva de cuatro gramíneas tropicales de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus* bajo el dosel de *Melia azedarach*, en dos épocas del año (lluvias y nortes).

4.2 Objetivos particulares

Determinar la eficiencia fotosintética, la producción de biomasa forrajera y calidad nutritiva de las gramíneas de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus*, bajo el dosel de *Melia azedarach* y a pleno sol.

Determinar la respuesta fotosintética, la producción de biomasa forrajera y calidad nutritiva de las gramíneas de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus* en las épocas de lluvias y nortes.

5. HIPÓTESIS

5.1 Hipótesis general

Las gramíneas de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus*, bajo dosel de *Melia azedarach* disminuyen su capacidad fotosintética alterando negativamente su producción, pero mejorando la calidad nutritiva de la biomasa, comparado a condiciones de pleno sol, siendo distinta entre épocas del año.

5.2 Hipótesis particulares

La sombra de *Melia azedarach* afecta indistintamente la fisiología de las gramíneas de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus* y a su vez modifica la producción y calidad nutritiva de la biomasa forrajera.

La respuesta fisiológica y productiva de las gramíneas de los géneros *Urochloa* y *Megathyrsus* es distinta entre las épocas de lluvias y nortes, independientemente de la condición en que se encuentren.

6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

6.1 Teoría de sistemas

La teoría general de sistemas consiste en un enfoque interdisciplinario enfocado al estudio de los sistemas en general, término que surge con los trabajos del biólogo Ludwig von Bertalanffy, quien consideraba que el objeto de estudio de todas las ciencias deberían ser los sistemas. Apoyado en el paradigma de sistemas, Bertalanffy señaló la existencia de una ciencia de los “todos” (los sistemas), y no de las partes (Bertalanffy, 1976; Ramírez, 2002). En esta se considera al sistema como un arreglo de componentes físicos, un conjunto de objetos, unidos o relacionados con sus atributos de tal manera que forman y/o actúan como una unidad o un todo (Arnold, 1989). De esta manera los objetos son partes o componentes del sistema, y los atributos son propiedades de los objetos y la relación entre los objetos mantiene juntos a los componentes del sistema (Hall y Fagen, 1956).

6.2 Enfoque de agroecosistemas

Los agroecosistemas (AGES) tienen sus bases en el enfoque de sistemas y la Teoría General de Sistema propuesta por Bertalanffy (1976), y se conceptúa como un ecosistema modificado por el hombre, en el que interactúan factores tecnológicos y socioeconómicos para la utilización de los recursos naturales. Los agroecosistemas tienen tal vez, el mayor impacto en nuestras vidas que cualquier otro ecosistema, debido a la provisión de alimento, fibras y servicio en beneficio del hombre, además de tener impactos en la calidad del ambiente (Odum, 1984; Ruiz, 1995; Sarandón, 2002).

Los AGES, son sistemas de relaciones entre organismos en la agricultura, considerando la complejidad de las interacciones sociales, económicas y ecológicas presentes y el nivel jerárquico en que se conceptualiza (Ruiz, 2006). Por lo tanto, los AGES se consideran en diferentes niveles jerárquicos, para la evaluación, análisis, comprensión y entendimiento, de manera integral (holística) del ecosistema natural modificado por el hombre (Odum, 1984; Hernández, 1997).

6.3 Agroforestería pecuaria

Somarriba (1992) define la Agroforestería como una forma de cultivo múltiple donde, existen al menos, dos especies de plantas que interactúan biológicamente, al menos uno de los componentes es una leñosa perenne y al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos), haciéndolo un sistema integral para el consumo animal (Sánchez, 1999). Estos sistemas agropecuarios constituyen formas de uso y manejo de los recursos naturales donde las especies leñosas (árboles, arbustos y palmas) son empleadas para fines agrícolas o producción ganadera, donde existe un beneficio biológico, ecológico y económico (Navia, 2000). Además, permiten que sus componentes, árboles forestales, pasturas y animales, se ubiquen bajo un esquema de manejo racional integral, que tienda a mejorar a mediano o largo plazo, la productividad, la sustentabilidad y la rentabilidad de las fincas; considerando las diferentes condiciones y tiempos de producción de los diversos componentes (Aguilar-Luna *et al.*, 2011).

Los sistemas silvopastoriles (SSP), son una modalidad de la Agroforestería donde interactúan plantas leñosas perennes (árboles o arbustos), con herbáceas (pastos,

leguminosas herbáceas y arvenses) y con la presencia de animales domésticos, como un sistema integrado (Murgueitio *et al.*, 2008; Montagnini y Finney, 2011), generando relaciones positivas entre suelo-planta-animal (Jatnel, 2009). Las principales modalidades de adopción de los SSP pueden ser a través de las cercas vivas, árboles dispersos en potreros, bancos forrajeros, pastoreo en plantaciones forestales o frutales, pasturas en callejones y cortinas rompevientos (Petit y Suniaga, 2005; Navas, 2007). Estos pueden incluir dos, tres o más estratos, formados por especies herbáceas, arbustivas y árboles; según el uso que se le proporcione (producción de forraje, madera, leña, sombra, otros), diseñados y manejados para la producción de árboles multipropósitos y pastura como fuente de alimento para la ganadería (Lozano *et al.*, 2006; Navas, 2007).

6.4 Interacción árbol-gramínea en los sistemas agroforestales pecuarios

Los árboles y las gramíneas pueden mantener interacciones de interferencia y facilitación. La competencia por radiación solar, por agua y por nutrientes son manifestaciones de interferencia. Las relaciones que existen entre estos componentes son variadas, siendo estas presentadas en función de las condiciones ambientales y del estado de desarrollo de los componentes (Navia, 2000; Agnusdei *et al.*, 2001). La densidad del dosel arbóreo en los sistemas interfiere en la cantidad y calidad de luz que llega al estrato herbáceo, modificando fisiológica y morfológicamente a las plantas asociadas. Estas reacciones son mecanismos de adaptación a la baja incidencia de radiación solar, que afecta la cantidad y calidad forraje producido. Además, la densidad

de los árboles actúa sobre la calidad del suelo, la composición botánica y retención de humedad, entre otros factores, siendo estas relaciones de facilitación al sistema (Torres, 1987; Pentón, 2000a). El grado de relación con estos factores va a depender de la especie del árbol, la especie de la gramínea, el tipo de suelo, el clima y la estación del año (Mahecha *et al.*, 2007),

6.4.1 Competencia por luz

La luz es uno de los recursos que las especies de plantas deben compartir en una asociación, dando origen a una serie de interacciones muy importantes para la sobrevivencia de las especies. La radiación solar es uno de los factores que se encuentra relacionado con el proceso fisiológico, vinculados con el crecimiento y los cambios morfológicos que presentan las gramíneas forrajeras durante su desarrollo. La proporción de luz que se intercepta en áreas de pasturas bajo el dosel de los árboles crea alteraciones micro-climáticas, tales como reducción en la temperatura del aire y del suelo, disminución en las tasa de evaporación y conservación de un alto contenido de humedad del suelo (Pezo e Ibrahim, 1999). De esta manera los árboles influyen en la temperatura, que reducen la tasa fotosintética y como consecuencia menor producción de biomasa forrajera debido a la baja proporción de hoja en los tallos de las gramíneas, comparado con los potreros en monocultivo (Herrero, 1995). Sin embargo, cuando se considera el sistema silvopastoril en forma integral se espera un incremento en la biomasa debido a la producción de pasto y la producción de biomasa de la leñosa perenne, como fuente de alimento para el ganado (Obispo *et al.*, 2008).

La reducción de la calidad e intensidad de la luz que llega al estrato herbáceo está influenciada por la arquitectura del dosel del estrato arbóreo (Talbot y Drupaz, 2012). Además, la duración del período luminoso está muy relacionada con la intensidad y calidad de la radiación, como también, los días cortos del periodo invernal, unido a la baja intensidad de radiación solar, afectando directamente el crecimiento y disminuyendo la producción de las gramíneas (Cruz y Moreno, 1992). Debido a esto, se modifica la disponibilidad de luz para las especies que crecen en los estratos inferiores, alterando el proceso fotosintético y su calidad nutritiva (Armas, 2004; Medinilla-Salinas *et al.*, 2013). La cantidad de luz interceptada en el interior de la asociación se puede controlar al utilizar la densidad adecuada de árboles con dosel poco denso, a través de establecimientos diseñados tomando en cuenta la dirección del sol y posteriormente realizando un manejo adecuado (Carrilho *et al.* 2012).

6.4.2 Competencia por humedad

La disponibilidad de agua es otro de los factores que influye sobre el rendimiento y la calidad del forraje (Da Silva y Carvalho, 2005). En las asociaciones de plantas, las condiciones de humedad son muy importantes para su crecimiento y este recurso puede llegar a ser un factor crítico, lo cual lleva a la competencia entre las especies (Durr y Rangel, 2003). Sin embargo, bajo el dosel de los árboles la radiación solar disminuye, provocando que la humedad del suelo se prolongue por más tiempo, teniendo un efecto directo y positivo en la descomposición y absorción de nutrientes, estimulando el crecimiento de las plantas. No obstante, la disponibilidad del agua en el suelo no está condicionada a la densidad de árboles en asociación, siendo que también

se manifiesta por las lluvias (Montenegro y Vargas, 2005). Sin embargo, en épocas de menor precipitación, la disminución del rendimiento de la gramínea obedece más a la humedad limitada que al efecto que se proporciona de la sombra. Esto es debido a que en ausencia de humedad las plantas no pueden asimilar los nutrientes necesarios para el crecimiento (Medinilla-Salinas *et al.*, 2013).

La menor disponibilidad de humedad en el sistema, hace que las gramíneas desarrollen habilidades de competencia, modificando su morfología aérea y radicular. Gamboa (2009) menciona que en lugares con poca precipitación ($<600 \text{ mm año}^{-1}$) la producción del pasto aumenta bajo el dosel arbóreo. Por otro lado Silva-Pando *et al.* (2002) mencionan que en lugares con mayor precipitación ($>800 \text{ mm año}^{-1}$) la producción disminuye. Esto se explica debido a que en las zonas con poca precipitación las especies arbóreas tienen sus raíces más largas capturando la mayor cantidad de humedad en la profundidad del suelo; mientras que, en las zonas con mayor precipitación la humedad se distribuye más superficialmente, lo que induce a una competencia por la disponibilidad de nutrientes y humedad (Casanova *et al.*, 2007).

6.4.3 Competencia por nutrientes

El contenido de nutrientes en un sistema agroforestal, lo convierte en un sistema productivo y rentable, por tanto, el flujo de estos es de vital importancia para el desarrollo y producción del mismo. La entrada de nutrientes al sistema, así como la salida, ocurre continuamente. A través de la presencia de especies arbóreas dentro de los potreros se mejora el ciclo de nutrientes, debido a la recuperación de los mismos a través de sus raíces y que por lixiviación se encuentran a profundidades a las cuales no

tienen acceso las raíces de las gramíneas. Por otro lado, las especies arbóreas como las leguminosas, tienen la capacidad de fijar altas cantidades de nitrógeno atmosférico, gracias a su simbiosis con microorganismos del suelo como especies de bacterias del género *Rhizobium* (Daudin y Sierra, 2008). Las especies leñosas acumulan los nutrientes en su biomasa y después los incorporan a la superficie del suelo a través de los aportes de hojarasca, que al descomponerse, libera nuevamente los nutrientes, dejándolos a disposición de las gramíneas (Navas, 2007; Andrade *et al.*, 2008). Todo esto, reduce las necesidades de fertilización en los potreros y mejora la condición física y química del suelo (Daudin y Sierra, 2008; Andrade *et al.*, 2008).

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Fisiología de las gramíneas tropicales

El potencial de crecimiento y producción de las gramíneas depende de la vía metabólica a través de la cual cada especie efectúa la fotosíntesis, siendo que la tasa fotosintética de los pastos es una función de la energía disponible, así como de su relación con la respiración (Del Pozo, 2002). La respiración celular es una serie de reacciones mediante las cuales la célula degrada moléculas orgánicas y produce energía. En las plantas con metabolismo C_4 , cuando la concentración de CO_2 en las células de la vaina es alta, no realizan fotorespiración o si la realizan, es limitada (Sierra, 2005).

Las gramíneas tropicales llevan a cabo un proceso metabólico a través de una vía denominada C_4 o ruta C_4 , fijando CO_2 en las células mesófilas en forma de compuestos de cuatro carbonos (oxalacetatos). Esto las hace diferentes en su fisiología, metabolismo y velocidad de crecimiento de las gramíneas de climas templados con metabolismo C_3 . Las plantas C_4 poseen metabolismos para su adaptación a ambientes más cálidos y secos (Pelliza *et al.*, 2005; Medrano y Flexas, 2000), ya que contienen una mayor cantidad de tejido vascular y esclerénquima en sus hojas. Dichos tejidos están rodeados por una doble capa de células con paredes gruesas y suberizadas que las hace más resistentes al rompimiento mecánico y al ataque microbiano (Wilson, 1993). Estas especies con metabolismo C_4 poseen una estructura foliar conocida como anatomía de Kranz que se compone por dos tipos de células clorofílicas dispuestas en corona, las del mesófilo y las de la vaina. Las células del mesófilo están constituidas

con gran cantidad de grana, donde se lleva a cabo la fase lumínica de la fotosíntesis (Sierra, 2005). Rodeando a los conductos vasculares foliares se encuentran las células de la vaina, las cuales no cuentan con grana, y es donde se lleva a cabo la fase oscura de la fotosíntesis (Pelliza *et al.*, 2005). La fase lumínica de la fotosíntesis se lleva a cabo en el proceso de fijación, a través de la enzima fosfoenolpiruvato carboxiquinasa (PEP) que es convertida en malato y aspartato. Estos metabolitos son transportados a las células de la vaina donde existen cloroplastos con RuBisCO; aquí es donde se lleva a cabo el ciclo de Calvin (Guardiola y García, 1990).

Las plantas C₄, por su anatomía celular, fotosintetizan más por unidad de radiación absorbida y alcanzan la saturación lumínica a niveles superiores que las plantas C₃, con eficiencias de hasta un seis por ciento (Nelson y Moser, 1994). Sin embargo, en condiciones de campo las hojas están orientadas en diferentes direcciones y la intensidad de radiación a la que están expuestas hace que sean diferentes (Nelson y Moser, 1994; Del Pozo, 2002). El tipo de crecimiento de sus hojas hace que entre especies presenten diferencia en la actividad fotosintética en su crecimiento y desarrollo (Sinoquet y Caldwell, 1995).

7.2 Factores climáticos que intervienen en el crecimiento y calidad nutritiva de las gramíneas

Las condiciones climáticas como la radiación solar, la temperatura, la precipitación y su distribución son los componentes determinantes para el crecimiento en condiciones tropicales, y afectan los procesos fundamentales de las plantas tales como la fotosíntesis y la respiración (Pimienta-Barrios *et al.*, 2006). Sin embargo, las gramíneas

tropicales poseen características morfológicas y fisiológicas propias que le brindan adaptación para su crecimiento y calidad (Del Pozo, 2002).

La temperatura es un factor importante en el proceso bioquímico y fisiológico relacionado con la síntesis, transporte y degradación de sustancias en las plantas. Sin embargo, no todas las especies de pastos tienen el mismo valor óptimo de temperatura para el cumplimiento de estas funciones. De acuerdo con Pollock (1990), la temperatura por arriba del óptimo (35 y 39 °C) reduce sustancialmente el crecimiento, debido a una disminución de la actividad fotosintética por inactivación enzimática y a un incremento en la demanda respiratoria (respiración y foto respiración) creando un balance hídrico negativo, reduciendo la expansión celular y, por consiguiente el crecimiento. Además, en temperaturas por debajo del óptimo (15 °C), los asimilados formados se acumulan gradualmente en los cloroplastos y pueden afectar la tasa de asimilación y translocación de metabolitos y hasta provocar daños físicos en el aparato fotosintético limitando el crecimiento de las gramíneas (Baruch y Fisher, 1991).

La precipitación y la distribución a través del año es otro factor que ejerce efectos notables en el crecimiento y calidad de las gramíneas, siendo que es un componente importante en las células, tiene una relación estrecha con los factores bioquímicos y fisiológicos (Crespo y Fraga, 2006). Tanto el exceso como el déficit de precipitación pueden ocasionar estrés en las gramíneas. Por ejemplo, se ha reportado un incremento del efecto de la precipitación, evaporación y de la humedad relativa sobre la concentración de hemicelulosa y celulosa en la planta y en general en la producción de materia seca (Quintero *et al.*, 1995).

7.3 Efecto de la sombra en la fisiología, producción y calidad nutritiva de las gramíneas

Las gramíneas tropicales con ciclo fotosintético C₄, poseen características fisiológicas propias que le brindan adaptación específica para su crecimiento y calidad bajo sombra (Alonso *et al.*, 2006). La sombra que proyecta el dosel arbóreo sobre el estrato herbáceo, altera el proceso fotosintético, ocasionando reducción, aumento o interferencia en la producción del estrato herbáceo y modificación en la calidad nutritiva (Peri, 2005). Bajo condiciones reducidas de luz, las características morfo-estructurales han demostrado que ocasiona cambios en el esclerénquima y el contenido celular de las gramíneas, mejorando la calidad y producción de biomasa (Deinum *et al.*, 1996), teniendo relación directa con la disponibilidad de nutrientes a los rumiantes.

Las gramíneas tropicales como *Megathyrsus maximus* (Jacq.) muestran capacidad para adaptarse a condiciones reducidas de luz efectuando cambios en su fisiología y producción (Medinilla-Salinas *et al.*, 2013). En trabajos realizados por Zelada (1996) se encontró un mayor contenido de proteína cruda en las gramíneas asociadas con árboles y disminución en los carbohidratos no estructurales, a medida que aumenta la interferencia al paso de luz solar, en comparación con las establecidas a pleno sol, además de disminuir el contenido de fibra y aumentar el porcentaje de digestibilidad (Treydte *et al.*, 2007). Obispo *et al.* (2008), demostraron que bajo sombra alta o moderada, la calidad nutritiva de *M. maximus* mejora, alcanzando niveles de digestibilidad entre 62.6 y 65.9 %, respectivamente, superando en 59.4 % al testigo a pleno sol.

Así mismo, el microclima que se genera por la sombra del árbol y el aumento en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo tienen incidencia sobre la calidad de las gramíneas. Estudios con asociaciones de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, reportan incremento en la calidad a diferencia de las gramíneas solas suplementando alimento balanceado y como resultado se obtiene mayor producción de leche, de los 3,207 L ha⁻¹ año⁻¹ en monocultivo con alimento balanceado hasta los 7,468 L ha⁻¹ año⁻¹ asociado con *Leucaena* y 7,884 L ha⁻¹ año⁻¹ con *Gliricidia*, asimismo, una recuperación más rápida del peso en los animales (0.130 kg vaca⁻¹ día⁻¹ en potreros asociados; Dávila *et al.*, 1997).

7.4 Características morfológicas y fisiológicas del género *Megathyrsus*

Las especies del género *Megathyrsus* son C₄, perennes rizomatozas, de tipo macollado que miden hasta 4 m de altura, de tallos erectos, algunos cultivares poseen hojas decumbentes de 2.6 cm de ancho que representan el 82 % del peso total de la planta (Figura 1). Las láminas y vainas de las hojas no poseen pilosidad o serosidad y las inflorescencias contienen espiguillas sin pilosidad (FEDEGAN, 2010).

Las gramíneas del género *Megathyrsus* se distribuye de forma cosmopolita, es decir en todos aquellos lugares que cuenta con regiones de tipo tropical, debido al alto rango de adaptación que poseen. Se adaptan a suelos de mediana a alta fertilidad y toleran niveles moderados de sequías, debido a su sistema radicular profundo (Verdecia *et al.*, 2012).



Figura 1. Macolla del cultivar Tanzania del género *Megathyrsus* a ocho semanas de edad.

7.5 Características morfológicas y fisiológicas del género *Urochloa*

Las gramíneas del género *Urochloa* son de tipo perenne, cespitosas, estoloníferas, de crecimiento rastrero, erecto y semi-erecto, poseen rizomas horizontales cortos, de entrenudos cortos y abundantes, de 30-150 cm de altura dependiendo la especie, con sistema radical fasciculado (manejo de raíces secundarias), vigorosas, abundantes y profundas. Posee hojas erectas de 6-20 cm de largo y 7-15 mm de ancho y levemente pilosas de color verde intenso, tallos erectos decumbentes, moderadamente gruesos, cilíndricos, ramificados y arraigados en los nudos inferiores y de color verde oscuro, que emergen de una corona central. La inflorescencia es bilateral en forma de panícula, erguida de 5 cm hasta 90 cm de largo dependiendo de la especie (Figura 2). Tiene un

raquis en forma de media luna cuya anchura rara vez pasa de 1mm, las espiguillas se presentan en una sola hilera, las glumas y la yema inferior tiene una textura cartilaginosa (CIAT, 2000).

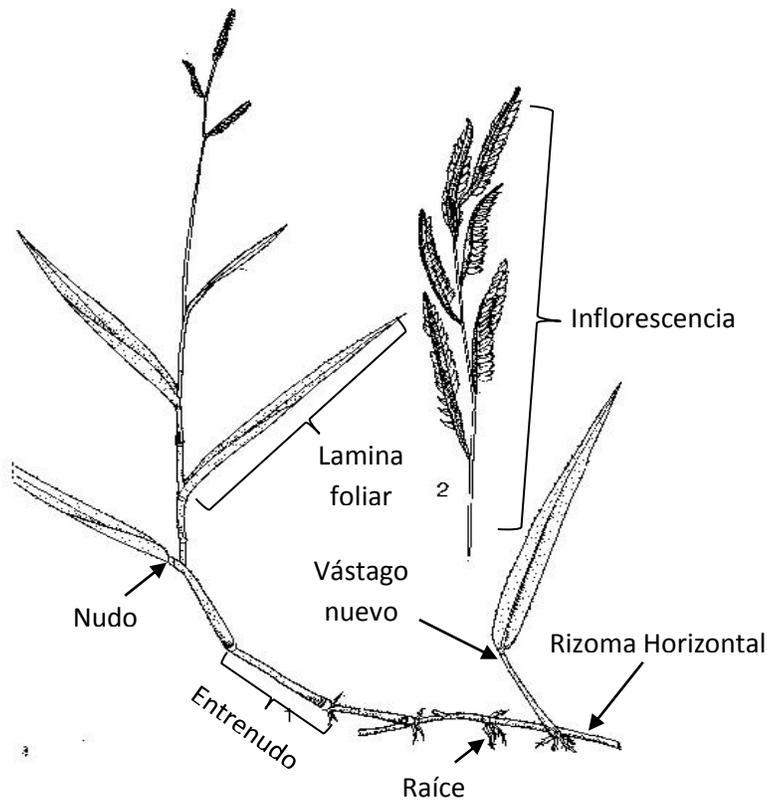


Figura 2. Esquema de la morfología de las gramíneas del género *Urochloa*. (Modificado de Manette and Jones, 1992).

Las variaciones en la dinámica de crecimiento de las especies de este género están relacionadas principalmente con las características fenológicas propias de la especie. En condiciones de precipitación estacional, las diferencias en la tasa de elongación de tallos y la tasa de senescencia foliar son más notorias conforme aumenta los niveles de precipitación (Ortega, 2012). A nivel nutricional, cuando presentan adaptación a baja proporción de fósforo, producen mayor biomasa aérea y mayor volumen de raíz (Mejía *et al.*, 2009).

7.6 *Melia azedarach* como árbol multipropósito

La especie *M. azedarach* es originaria del sur y del este de Asia, introducida y cultivada en algunas regiones tropicales y subtropicales de México. Es conocida con muchos nombres comunes, por ejemplo paraíso (San Luis Potosí, Veracruz, Oaxaca, Yucatán, Michoacán); piocha (Veracruz y Oaxaca); lila, canelo, y árbol del paraíso (Sánchez, 2011; SIRE, 2013).

Este árbol es una especie multipropósito, de rápido crecimiento que tolera muchos tipos de suelo, tanto ácidos como alcalinos, y salinos. Crece en altitudes de 0 a 2200 msnm y se adapta a diferentes tipos de climas tropicales y templados. Es tolerante a periodos cortos de heladas (-10 °C), siempre y cuando se tenga una temporada de verano cálido, adaptándose a las condiciones de sequía; aunque es sensible al viento por la fragilidad de su ramaje. Se reproduce por medio de semillas o por esquejes (CONAFOR, 2013).

Es un árbol caducifolio de 8 a 15 m de altura, pertenece a la familia de las meliáceas, tiene una copa extendida, hemisférica o achatada, el tronco puede alcanzar hasta 40 cm de diámetro, es corto, grueso, en su etapa joven su corteza es lisa, de color castaño grisáceo y en la etapa adulta la corteza es oscura y fisurada (Figura 3; Orwa *et al.*, 2009). La importancia de esta especie se basa en la diversidad de sus usos siendo que se le emplea para fines diferentes como planta de sombra y por la belleza de sus flores de color malva y por sus frutos amarillos muy decorativos se utilizan como ornato en parques y jardines de las zonas urbanas, en los sistemas silvopastoriles para mejorar el

bienestar del ganado y en plantaciones comerciales para la producción de madera de alta calidad (Chiffelle *et al.*, 2007).



Figura 3. Plantación de *Melia azedarach* de cuatro años de edad.

Este árbol posee propiedades insecticidas en sus frutos, flores, hojas y corteza. Otros beneficios que esta especie arbórea proporciona son la producción de leña, madera con la que se elaboran mangos para herramientas e implementos agrícolas, muebles y

gabinetes, instrumentos musicales, artículos torneados, ebanistería, juguetes y fabricación de papel para imprenta y para la fabricación de tableros de fibra (SIRE, 2013).

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Localización geográfica del experimento

El experimento se ubicó en una zona de transición climática, entre los templados de la sierra norte y los cálidos del declive del Golfo de México. La vegetación de la zona pertenece a selva semi-siempre verde, sub-perennifolia, con gran diversidad de flora y fauna (INAFED, 2014). El clima define dos épocas del año bien marcadas, la de lluvia entre los meses de abril y noviembre que abarca la estación de verano, y la de nortes entre los meses de diciembre y febrero en la estación de invierno; siendo la época seca muy corta, no mayor a dos meses (CONAGUA, 2013; Figura 4).

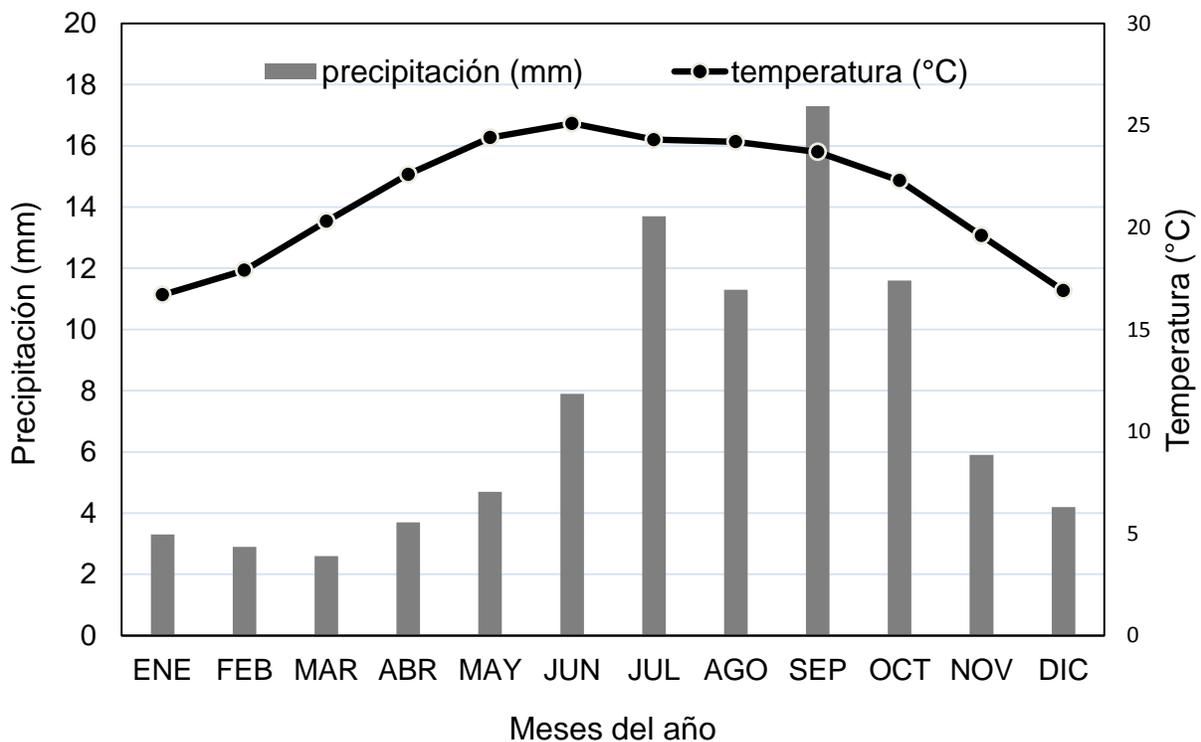


Figura 4. Precipitación y temperatura media mensual de la región donde se realizó el experimento, durante el periodo 1980-2009 (CONAGUA, 2013).

8.2 Descripción del sitio experimental

El sitio experimental está ubicado en la comunidad de Platanozapan, municipio de Tlapacoyan, Veracruz, localizado entre los paralelos 19° 56' 26'' y 19° 56' 48'' latitud Norte y los meridianos 97° 15' 55" y 97° 15' 34'' longitud Oeste, situada a una altitud de 847 msnm (Figura 5). El suelo de esa región es profundo de origen volcánico con relieve accidentado, su vegetación es de tipo bosque subtropical perennifolio que se encuentra sobre un macizo montañoso de la Sierra Madre Oriental (INAFED, 2014). El clima que predomina es Af que corresponde a cálido-húmedo-regular con una temperatura promedio de 18°C anuales (García, 1981); su precipitación pluvial anual es de 2000 mm, el tipo de suelo en el experimento es de textura franco arenoso, en condición de sombra tiene un pH de 5.1 y materia orgánica al 5.5 %, en condición de sol tiene un pH de 5.2 y materia orgánica al 6.6 %.

El experimento se estableció en junio del 2010, se trazaron parcelas de 5 m de largo por 2.5 m de ancho (Figura 6), bajo un sistema integrado de árboles de *M. azedarach*, en una densidad de 1,200 árboles ha⁻¹, siendo 70 árboles en 552 m² (área del experimento) establecidos en el año 2006. Los árboles se establecieron en curvas de nivel en un marco de plantación de 2.5 m entre árboles por 5 m entre hileras. Al momento de iniciar el experimento, los árboles tenían una altura aproximada de 10 m, un diámetro normal de 13 cm.

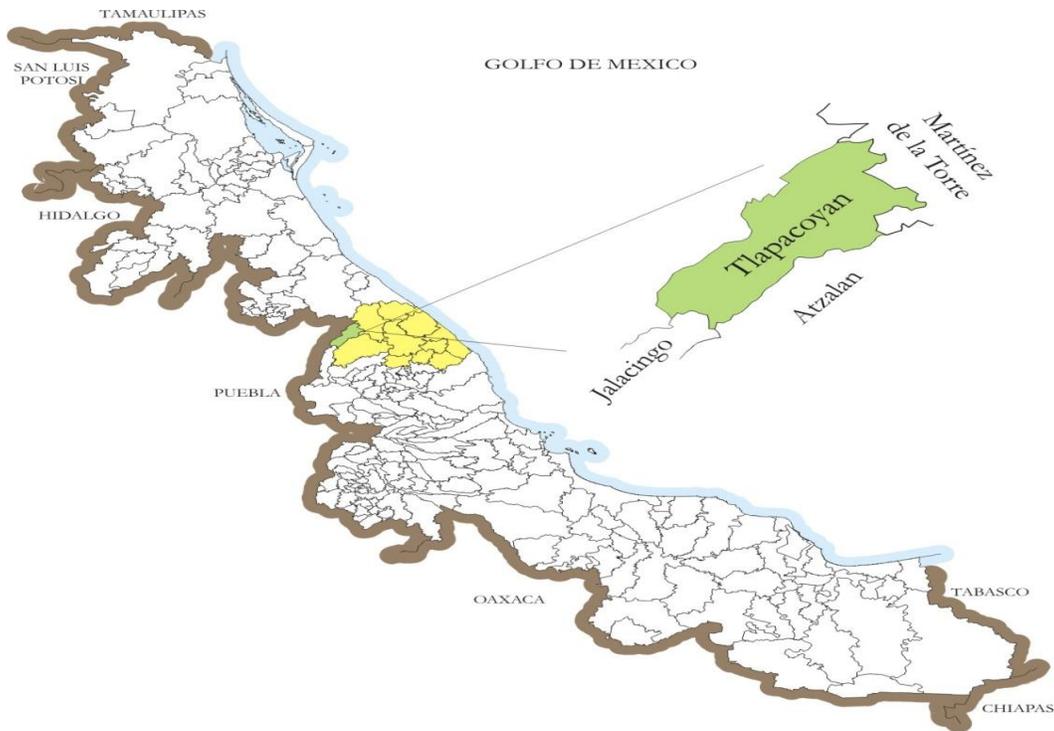


Figura 5. Ubicación geográfica del municipio de Tlapacoyan en el estado de Veracruz, donde se realizó el experimento. Fuente: Mónica, 2009.

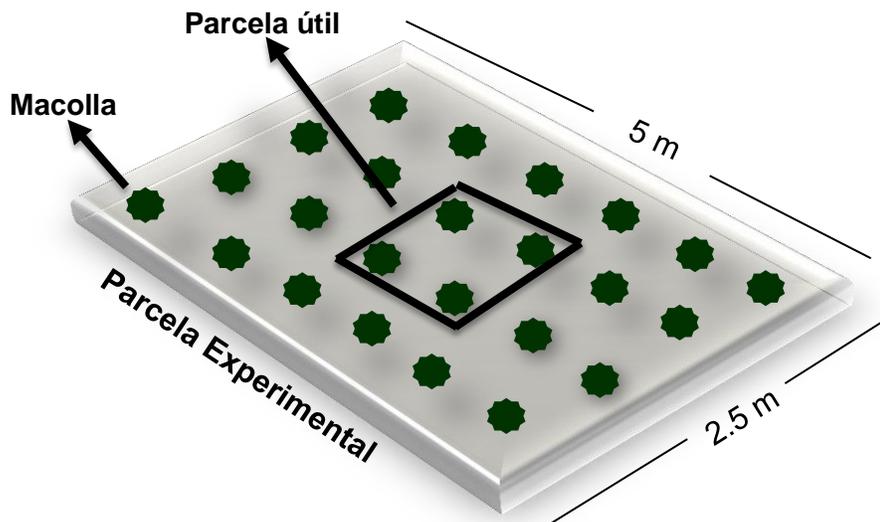


Figura 6. Esquema de la parcela experimental y representación de las cuatro macollas seleccionadas para muestreos.

8.3 Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar en un gradiente de pendiente de 25 %, con un arreglo en parcelas divididas, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron dos fechas de muestreos, la primera fue el 22 de julio de 2013 (lluvias) y la segunda el 15 de febrero de 2014 (nortes). Se evaluaron los cultivares (cv.) Tanzania y Mombaza pertenecientes al género *Megathyrsus maximus* y los híbridos Oaxaca (CIAT 1794; tri-híbrido de *Urochloa ruziziensis* (R. Germ. & Evrard) Crins x *U. decumbens* (Stapf) R.D. Webster x *U. brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster) y Yacaré (CIAT 1752; *U. brizantha* CIAT 16320 x híbrido de cuarto ciclo de reproducción sexual del mismo género). Las parcelas grandes corresponden a la condición de sombra (Figura 7A) y condición de sol (Figura 7B) y las parcelas chicas a las gramíneas Mombaza, Tanzania, Oaxaca y Yacaré.

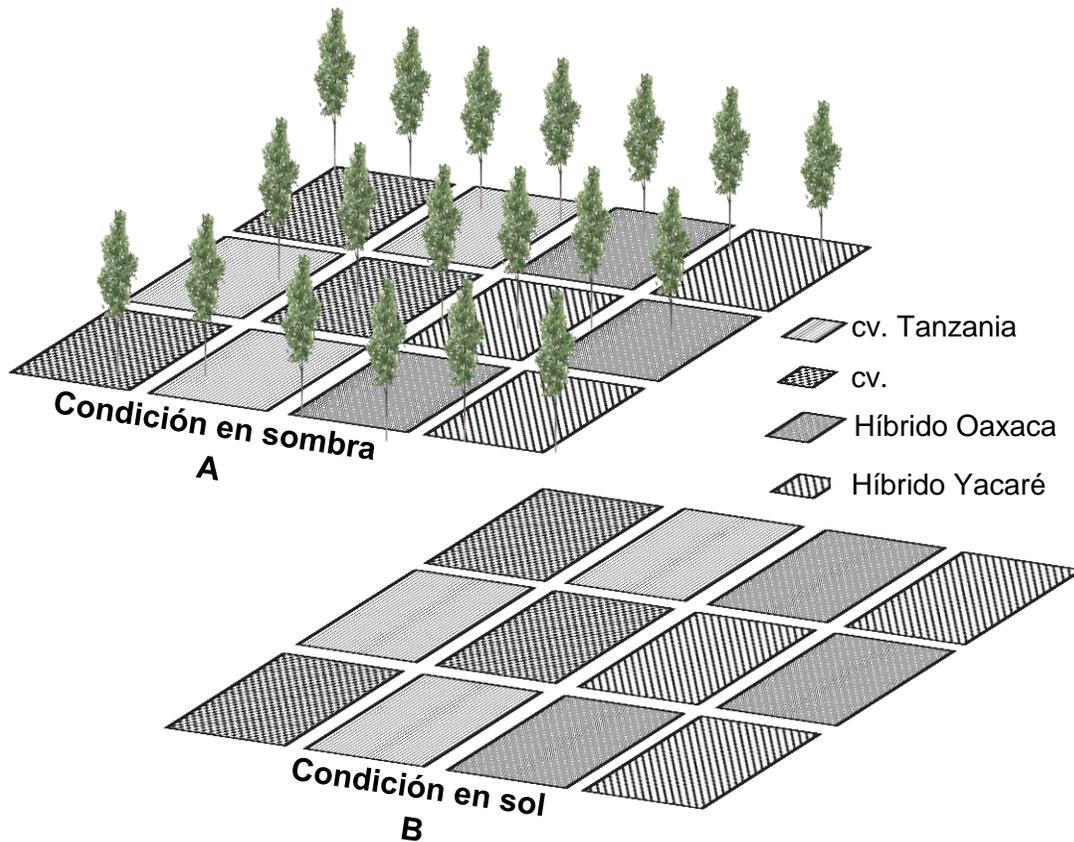


Figura 7. Esquema de distribución de las parcelas experimentales en condiciones de sombra (A) y sol (B).

8.4 Procedimiento experimental

La respuesta de las gramíneas se evaluó en dos estaciones del año, en verano que corresponde a la temporada de lluvia e invierno a la temporada de nortes; con base en cómo se definen de manera natural las estaciones de acuerdo al clima de la región. En cada estación se realizó un corte para uniformizar el crecimiento de los pastos, estos cortes se hicieron el 25 de mayo y 15 de diciembre de 2013 en la época de lluvias y nortes, respectivamente; el criterio para uniformizar fue realizar un corte a las macollas de pastos a 10 cm del suelo. A las ocho semanas de haberse realizado los cortes de

uniformización, se midieron variables según el protocolo de evaluación y se cosechó la biomasa el 22 de julio de 2013 y el 15 de febrero de 2014 en condiciones de sol y sombra. No se realizó ninguna aplicación de fertilizante, ni se pastoreó con animales.

8.5 Variables evaluadas y su medición

En época de lluvias, se evaluó el rendimiento total de la biomasa forrajera y sus componentes morfológicos (hoja, tallo y material muerto), calidad nutritiva de la materia seca, índice del área foliar del estrato arbóreo y eficiencia fotosintética. En época de nortes, además de las variables antes mencionadas se midió el ángulo de hojas y tallos de las gramíneas y el área foliar de las gramíneas.

8.5.1 Caracterización del sistema agroforestal

Se estimó el índice del área foliar del dosel de *M. azedarach* en cada parcela experimental, empleando el equipo LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR Biociences; Nebraska, USA). La lectura se realizó en dos puntos de la parcela experimental para una mayor precisión y para evitar efectos de la luz, la lectura se tomó a las 7:00 horas cuando los rayos solares son menos perpendiculares. Además, se midió el diámetro del fuste de los árboles y las características físico-químico del suelo.

8.5.2 Producción y calidad químico nutritiva de la biomasa forrajera

La producción de la biomasa forrajera de las gramíneas (Yacaré, Oaxaca, Tanzania, Mombaza) se evaluó a las ocho semanas después de haber realizado el corte de

uniformización. Se empleó el método directo, colectando la biomasa de cuatro macollas dentro de un marco de 1 m², cortando toda la biomasa aérea de la macolla a 10 cm del nivel del suelo. Posteriormente la materia verde total de cada macolla se pesó, y se tomó una sub-muestra de 400 g para separar los componentes hoja, tallo y material muerto, registrando el peso de cada uno de ellos. Las sub-muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C por 48 horas, para obtener el peso de la materia seca. Esta variable se midió en épocas de lluvias y nortes.

Se determinó la calidad nutritiva de la materia seca de las gramíneas, analizando el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Para obtener el contenido de PC se utilizó el método macro-Kjeldahl (AOAC, 1980); la FDA, 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 precipitados con H₂SO₄ al 72 % (AOAC, 1997) y bolsas de filtro; y la digestibilidad *in vitro* se determinó con el método enzimático pepsina-celulasa (Jones and Hayward, 1975) utilizando bolsas de filtro Ankom y el equipo incubador de agitación orbital (mod. –ISO-45).

8.5.3 Fisiología de las gramíneas

Antes de medir la eficiencia fotosintética en el experimento, se elaboró la curva de la actividad fotosintética de las gramíneas. La curva se obtuvo haciendo lecturas de la eficiencia fotosintética cada 2 horas durante un periodo de 11 horas (07:00 – 18:00

horas): las gramíneas tuvieron la mayor eficiencia fotosintética de 11:00 a 13:00 horas, por lo que, se definió ese horario para realizar las evaluaciones de fotosíntesis.

Se midió la eficiencia fotosintética un día antes de realizar el corte de las gramíneas, considerando la tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N), la transpiración (E) y la conductancia estomática (g_s) con el equipo Lc Pro+ (ADC BioScientific, Hertfordshire, Inglaterra). Para esto, se eligieron al azar tres hijatos en cada parcela experimental y se tomó la lectura en la cuarta hoja de cada hijato. Además se calculó el uso eficiente del agua (UEA) en la planta, dividiendo A_N entre E .

8.5.4 Arquitectura y composición morfológica de las gramíneas

Se midió el ángulo de inserción de las hojas y de inclinación de los tallos en todas las gramíneas, bajo sombra y cielo abierto. Para esto se seleccionaron cuatro macollas en cada parcela experimental, eligiendo tres hijatos por macolla. Todas las medidas se hicieron con un transportador común.

El área foliar de las gramíneas se midió únicamente en la época de nortes, en condición de sol y sombra, a las ocho semanas después de haber realizado el corte de uniformización: En cada parcela experimental se seleccionaron cuatro macollas y de cada macolla se escogieron tres hijatos del centro de la macolla, para evitar el efecto de borde, de los hijatos seleccionados se midieron todas las hojas extendidas empleando el equipo LI-3000C (Portable Área Meter; Lincoln, Nebraska USA).

8.6 Análisis estadístico

Las variables biomasa total y sus componentes (hoja y tallo), proceso fotosintético (A , g_s , E y UEA) y ángulo de hojas y tallos se analizaron bajo un diseño de bloques completos al azar y un arreglo en parcelas divididas. Todas estas variables excepto asimilación de CO_2 (A), se transformaron a logaritmo natural para disminuir la varianza y alcanzar la normalidad y se analizaron con el procedimiento GLM del Statistical Analysis System (SAS, 2010, SAS Incorporation Institute, Cary, N. C., USA). El modelo incluyó los efectos de gramínea, condición, época, bloque, condición*bloque, condición*gramínea, época*gramínea, época*condición y época*condición*gramínea, el término de error de la parcela fue la condición y del modelo fue bloque*condición. Se realizaron comparación de medias utilizando el método de mínimos cuadrados (LSMeans) ajustado a Tukey, a un alfa de 0.05.

Las variables indicadoras de calidad nutricional (PC, FDA, FDN, DIVMS y lignina) se analizaron bajo el mismo diseño y modelo que las variables anteriores. Todas estas variables se transformaron a logaritmo natural para disminuir la varianza y alcanzar la normalidad y se analizaron con el procedimiento GLIMMIX del Statistical Analysis System (SAS, 2010). El modelo incluyó los efectos de gramínea, condición, época, gramínea*condición, gramínea*época, condición*época y gramínea* condición*época. Se consideró bloque como efecto aleatorio y como término de error bloque*condición*gramínea. Se realizaron pruebas de medias utilizando el método de mínimos cuadrados (LSMeans).

La variable área foliar de las gramíneas se analizó bajo el modelo de bloques completos al azar y parcelas divididas mediante el procedimiento GLM, los efectos incluidos en el modelo fueron condición, gramínea y gramínea*condición, se realizaron pruebas de medias cuando se encontraron diferencia a un alfa de 0.05 utilizando la prueba de Tukey.

9. RESULTADOS

9.1 Característica del sistema

El índice de área foliar del dosel arbóreo durante el experimento osciló entre $0.35 \pm 0.18 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ y $0.32 \pm 0.08 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, siendo el invierno la época en que hubo menor cobertura del dosel sobre las gramíneas.

9.2 Biomasa y calidad nutritiva

Las gramíneas produjeron distinta cantidad de biomasa forrajera ($P = 0.001$). Los cultivares Mombaza y Tanzania produjeron la mayor cantidad ($P = 0.0012$), sin embargo, la respuesta de los híbridos Oaxaca y Yacaré que fueron inferiores a Mombaza ($P < 0.05$) fue similar a la de Tanzania ($P > 0.05$). La diferencia entre la gramínea con mayor y menor producción de biomasa (Mombaza y Yacaré, respectivamente) fue $2,156 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ (Cuadro 1), sin embargo, la diferencia entre los híbridos y los cultivares (277 y $404 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$, respectivamente) son pequeñas y no significativas ($P > 0.05$).

Cuadro 1. Biomasa total (kg MS ha⁻¹ corte⁻¹) de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Especie	Biomasa total, kg MS ha ⁻¹ corte ⁻¹
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	4,683 ± 4,529 ^a
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	4,279 ± 4,745 ^{ab}
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	2,804 ± 2,594 ^b
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	2,527 ± 1,672 ^b

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

También se observó un efecto de condición*época en la respuesta de las gramíneas (P = 0.0026). En época de lluvia, la producción fue 2.3 veces mayor en condición de sol que en sombra (P < 0.05). Mientras que en la temporada de nortes, cuando la producción de biomasa total disminuyó (P < 0.0001), la producción en ambas condiciones se igualó (P > 0.05). Entre lluvias y nortes, la producción disminuyó 3.3 a 5.3 veces, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Biomasa total (kg MS ha⁻¹ corte⁻¹) de las gramíneas *Megathyrsus maximus* y *Urochloa* híbrido bajo condición de sol y sombra, en lluvias y nortes.

Condición	Lluvias	Nortes
Sol	8,236 ± 4,257 ^{aA}	1,376 ± 350 ^{aB}
Sombra	3,612 ± 1,470 ^{bA}	1,071 ± 219 ^{aB}

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

^{A,B} Medias con distinta literal entre columnas son diferentes (P < 0.0001).

También la biomasa de hoja difirió entre gramíneas (P < 0.0001). Sin embargo, los cultivares Mombaza y Tanzania tuvieron la misma cantidad de hoja (P = 0.999) y de la

misma forma, Oaxaca y Yacaré tuvieron la misma cantidad ($P = 0.921$) aunque, su producción fue menor que los cultivares ($P < 0.0001$; Cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa forrajera de hoja ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$) de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Especie	Biomasa de hoja, $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	2703 ± 2282^a
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	2854 ± 3074^a
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	1232 ± 933^b
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	1233 ± 804^b

Valores representados con \pm indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ($P < 0.05$).

La cantidad de biomasa de hojas, también difirió por efecto de condición por época ($P = 0.0002$). En lluvias, la biomasa de hoja fue superior que en época de nortes ($P < 0.0001$) y en la primera época hubo mayor cantidad de hoja en la condición de sol que en sombra (49.2 % más; $P < 0.05$); después, en nortes, la cantidad se igualó en ambas condiciones ($P < 0.05$). El efecto de la época de nortes provocó que la cantidad de hoja disminuyera de 3.5 a 6.4 veces comparado a lo que se produjo en lluvia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Biomasa forrajera de hoja ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$) de las gramíneas *Megathyrsus maximus* y *Urochloa* híbrido bajo condición de sol y sombra, en lluvias y nortes.

Condición	Lluvias	Nortes
Sol	$4,487 \pm 2,672^{aA}$	703 ± 340^{aB}
Sombra	$2,208 \pm 970^{bA}$	623 ± 124^{aB}

Valores representados con \pm indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B} Medias con distinta literal entre columnas son diferentes ($P < 0.0001$).

El rendimiento de la biomasa de tallo varió entre gramíneas ($P = 0.0127$). Los cultivares Mombaza, Tanzania y el híbrido Oaxaca produjeron la misma cantidad ($P = 0.0127$), Sin embargo, el híbrido Yacaré tuvo menos tallo que Mombaza ($P < 0.05$) y similar a Oaxaca y Tanzania ($P > 0.05$; Cuadro 5).

Cuadro 5. Biomasa de tallo ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$) de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Especie	Biomasa de tallo, $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	$1,774 \pm 2,528^a$
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	$1,279 \pm 1,713^{ab}$
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	$1,064 \pm 1,505^{ab}$
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	811 ± 806^b

Valores representados con \pm indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ($P < 0.05$).

El rendimiento de biomasa de tallo difirió por el efecto de la condición por época ($P = 0.0297$). En lluvias, la producción de tallo fue 2.4 veces mayor en condiciones de sol que en sombra ($P < 0.05$). En nortes, la producción fue similar en las dos condiciones ($P < 0.05$); sin embargo, inferior a lo que se produjo en lluvias, bajo condición de sol fue 17.3 veces menor, mientras que en sombra fue 9.2 veces menor ($P < 0.0001$; Cuadro 6).

Cuadro 6. Biomasa de tallo (kg MS ha⁻¹ corte⁻¹) de las gramíneas *Megathyrus maximus* y *Urochloa* híbrido bajo condición de sol y sombra, en lluvias y nortes.

Condición	Lluvias	Nortes
Sol	3,261 ± 2,296 ^{aA}	188 ± 92 ^{aB}
Sombra	1,334 ± 726 ^{bA}	145 ± 45 ^{aB}

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

^{A,B} Medias con distinta literal entre columnas son diferentes (P < 0.0001).

Aunque el contenido de proteína cruda en hoja no difirió entre gramíneas (P = 0.516), si difirió por efecto de la época del año (P < 0.0001). En lluvias, el contenido fue menor (13.2 ± 2.2 %), mientras que en nortes, la calidad de los pastos se incrementó (18.0 ± 0.9 %; P < 0.05). Esta misma variable, difirió entre condiciones (P < 0.0001). Mientras que en condición de sol, hubo menos proteína (14.3 ± 3.3 %), bajo condición de sombra este porcentaje se incrementó (16.8 ± 2.1 %; P < 0.05).

En los tallos sucedió lo mismo que en hojas, el contenido de proteína cruda difirió por efecto de la condición (P = 0.0190). En condición de sombra, los tallos fueron más ricos en proteína (9.1 ± 2.3 %) que en sol, donde el contenido proteico disminuyó 0.8 puntos porcentuales (8.3 ± 2.7 %; P < 0.05). También, hubo un efecto de la época del año (P < 0.0001). En época de nortes se obtuvo la mayor cantidad de proteína cruda (11.0 ± 1.4 %) disminuyendo 4.5 puntos porcentuales en lluvias (6.5 ± 0.8; P < 0.05).

El porcentaje de FDN en las hojas difirió entre época del año (P < 0.0001). En lluvias, hubo un contenido mayor (68.2 ± 5.3 %) que disminuyó 43.8 puntos porcentuales en época de nortes (24.4 ± 2.9 %; P < 0.05). Esta misma variable difirió entre las gramíneas (P < 0.0001). Mombaza y Tanzania, que pertenecen al género *Megathyrus*,

fueron similares ($P > 0.05$) y superando a Oaxaca y Yacaré del género *Urochloa* ($P < 0.05$), que a su vez tuvieron la misma cantidad de FDN ($P > 0.05$; Cuadro 7). Fibra Detergente Neutro en tallo también varió entre épocas del año independientemente de la gramínea ($P < 0.0001$). Se encontró un mayor contenido en época de lluvias ($73,0 \pm 2,6 \%$) que disminuyó 5.3 puntos porcentuales en época de nortes ($67,7 \pm 3,5 \%$; $P < 0.05$).

Cuadro 7. Fibra detergente neutro (FDN) en hoja de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Espece	FDN, %
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	49.2 ± 23.1^a
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	50.2 ± 24.2^a
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	42.8 ± 22.2^b
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	43.0 ± 22.4^b

Valores representados con \pm indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ($P < 0.05$).

Los pastos difirieron en su contenido de FDA en hojas ($P < 0.0001$). Los cultivares Mombaza y Tanzania del género *Megathyrsus* fueron similares ($P < 0.05$) y superiores a los híbridos del género *Urochloa* ($P < 0.05$); al mismo tiempo, los híbridos tuvieron el mismo contenido de FDA ($P < 0.05$) como sucedió entre los cultivares del género *Megathyrsus* (Cuadro 8).

Cuadro 8. Fibra detergente ácido (FDA) en hoja de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Especie	FDA, %
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	34.4 ± 7.9 ^a
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	34.1 ± 7.5 ^a
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	26.9 ± 6.0 ^b
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	26.8 ± 5.6 ^b

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

La FDA en hojas de todas las gramíneas difirió por efecto de la época del año (P < 0.0001). En épocas de lluvias, las plantas acumularon mayor cantidad de FDA (36.8 ± 5.5 %) que en nortes (24.4 ± 2.9 %; P < 0.05). Esta misma variable difirió entre condiciones (P = 0.0478); en sol, el porcentaje de FDA fue mayor (31.2 ± 8.5 %), que en sombra (30.0 ± 6.7 %; P < 0.05), aunque los valores son muy similares. Al igual que la FDN en tallos, FDA en tallos difirió entre épocas del año (P < 0.0001). En época de lluvias, el contenido fue superior (48.2 ± 3.6 %) que en nortes (36.7 ± 3.3 %; P < 0.05).

Las gramíneas tuvieron distinta DIVMS en hojas (P < 0.0001). Los híbridos Oaxaca y Yacaré fueron similares (P > 0.05), y su digestibilidad fue de 6 a 8 puntos porcentuales superior a los cultivares Mombaza y Tanzania (P < 0.05; Cuadro 9). Al mismo tiempo, Mombaza y Tanzania tuvieron la misma digestibilidad (P > 0.05).

Cuadro 9. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en hoja de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Especie	DIVMS, %
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	61.7 ± 10.6 ^b
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	61.6 ± 11.4 ^b
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	69.2 ± 9.1 ^a
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	67.7 ± 8.8 ^a

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

La digestibilidad en las hojas difirió entre condiciones (P = 0.0320). En condición de sol, el porcentaje de digestibilidad fue menor (64.4 ± 11.2), mientras que en sombra, aumentó 1.3 puntos porcentuales (65.7 ± 9.5; P < 0.05). Esta misma variable tuvo un efecto de época (P < 0.0001). En nortes, la digestibilidad fue mayor (74.1 ± 2.8), mientras que en lluvias este porcentaje disminuyó 18.1 puntos porcentuales (56 ± 6.2; P < 0.05). La digestibilidad en tallo, también difirió por efecto de la época (P < 0.0001). En nortes, la digestibilidad fue mayor (58.8 ± 4.5 %), mientras que en lluvias disminuyó 9.3 puntos porcentuales (49.5 ± 3.1 %; P < 0.05).

El contenido de lignina en hoja tuvo un efecto de la interacción gramínea y época (P = 0.0018). En lluvias, época donde hubo mayor porcentaje de lignina (P < 0.0001); el contenido fue similar en todas las gramíneas (P < 0.05). En nortes, época con menor porcentaje de lignina (P < 0.0001), los híbridos Oaxaca y Yacaré fueron similares entre sí, pero con mayor porcentaje que los cultivares Mombaza y Tanzania (P < 0.05; Cuadro 10).

Cuadro 10. Lignina (%) en hoja de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré, en lluvias y nortes.

Especie	Lluvias	Nortes
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	6.7 ± 1.4 ^{aA}	2.7 ± 0.4 ^{bB}
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	6.2 ± 1.2 ^{aA}	2.7 ± 0.3 ^{bB}
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	5.9 ± 1.3 ^{aA}	3.5 ± 0.3 ^{aB}
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	5.6 ± 0.9 ^{aA}	3.4 ± 0.2 ^{aB}

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

^{A,B} Medias con distinta literal entre columnas son diferentes (P < 0.0001).

El contenido de lignina en tallo, también varió por el efecto de gramínea y época del año (P = 0.0010). En lluvia, el porcentaje de lignina fue similar en todas las gramíneas (P < 0.05). En nortes, los híbridos Oaxaca y Yacaré, fueron similares entre sí, pero con mayor porcentaje que los cultivares Mombaza y Tanzania (P < 0.05; Cuadro 11).

Cuadro 11. Lignina (%) en tallo de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré, en lluvias y nortes.

Especie	Lluvias	Nortes
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	5.6 ± 1.1 ^{aB}	3.2 ± 0.5 ^{bA}
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	5.5 ± 0.7 ^{aB}	3.2 ± 0.4 ^{bA}
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	6.4 ± 1.0 ^{aA}	6.6 ± 0.6 ^{aA}
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	6.5 ± 1.0 ^{aA}	6.2 ± 1.2 ^{aA}

Valores representados con ± indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes (P < 0.05).

^{A,B} Medias con distinta literal entre columnas son diferentes (P < 0.0001).

9.3 Arquitectura y composición morfológica de las gramíneas

Los ángulos de inclinación de los tallos y las hojas difirieron entre gramíneas ($P < 0.0001$ y $P = 0.022$, respectivamente). El cultivar Tanzania tuvo los tallos más inclinados ($P < 0.05$) que todas las demás gramíneas, mientras que la mayoría de los pastos comparten similar inclinación de las hojas, exceptuando el cultivar Mombaza que tiene las hojas ligeramente más erectas ($P < 0.05$; Cuadro 12). El área foliar de las gramíneas difirió entre especies ($P < 0.0001$); las gramíneas del género *Megathyrsus* fueron las que presentaron mayor área foliar ($P < 0.05$), siendo aproximadamente tres veces mayor que las del género *Urochloa* ($P < 0.05$; Cuadro 12).

Cuadro 12. Ángulo de inclinación de tallo y hoja, área foliar (cm^2/g) de las gramíneas *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza y Tanzania y *Urochloa* híbridos Oaxaca y Yacaré.

Especie	Ángulo tallo	Ángulo hoja	Área foliar
<i>M. maximus</i> cv. Mombaza	33.6 ± 14.1^b	53.4 ± 16.6^b	137.9 ± 33.0^a
<i>M. maximus</i> cv. Tanzania	48.8 ± 13.3^a	66.6 ± 18.5^a	124.5 ± 27.2^a
<i>Urochloa</i> híbrido Oaxaca	28.1 ± 13.4^b	59.1 ± 17.4^{ab}	48.1 ± 9.8^b
<i>Urochloa</i> híbrido Yacaré	34.9 ± 15.9^b	66.5 ± 14.6^a	43.3 ± 10.8^b

Valores representados con \pm indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ($P < 0.05$).

9.4 Fisiología de las gramíneas

La asimilación de CO_2 (A_N) tuvo un efecto de la condición por la época del año ($P = 0.0122$). En lluvias, donde hubo mayor asimilación de CO_2 ($P < 0.0001$), la tasa de asimilación fue más alta en condición de sol ($P < 0.05$), mientras que en sombra fue 2.2

veces menor. En nortes hubo una menor asimilación ($P < 0.0001$), y fue igual entre las condiciones ($P > 0.05$; Cuadro 13). Así mismo, la conductancia estomática (g_s) tuvo un efecto de la interacción de época y condición ($P < 0.008$). En lluvias hubo mayor conductancia estomática en sol que en sombra (disminuyó 50 %; $P < 0.05$). En nortes, la conductancia estomática fue menor que en lluvias ($P < 0.0001$) y similar en las dos condiciones de luz ($P < 0.05$; Cuadro 13).

Cuadro 13. Tasa neta de asimilación de CO_2 (A_N) y conductancia estomática (g_s), de las gramíneas del género *Urochloa* (híbrido Oaxaca y Yacaré) y *Megathyrsus* (cv. Mombaza y Tanzania) asociadas a *Melia azedarach* y a pleno sol, en épocas de lluvias y nortes.

Condición	Lluvias	Nortes
	----- A_N ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) -----	
Sol	19.1 ± 8.2^{aA}	3.8 ± 3.8^{aB}
Sombra	8.6 ± 4.4^{bA}	2.8 ± 1.0^{aB}
	----- g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) -----	
Sol	0.14 ± 0.07^{aA}	0.05 ± 0.01^{aB}
Sombra	0.07 ± 0.04^{bA}	0.05 ± 0.02^{aB}

Valores representados con \pm indican la desviación estándar.

^{a,b} Medias con distinta literal entre hileras son diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B} Medias con distinta literal entre columnas son diferentes ($P < 0.0001$).

La transpiración (E) de las gramíneas fue diferente entre las condiciones ($P = 0.0008$). Mientras que en condición de sol, las plantas transpiraron más ($2.43 \pm 1.9 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P < 0.0008$), en condición de sombra transpiraron menos ($1.24 \pm 0.8 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Además, esta misma variable tuvo un efecto de la época del año ($P < 0.0001$), en lluvias las plantas transpiraron más ($2.75 \pm 1.7 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P < 0.05$) que en época

de nortes ($0.92 \pm 0.62 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). También, la época del año definió el uso eficiente del agua (UEA), las plantas fueron más eficientes en lluvias ($5.3 \pm 2.5 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$; $P = 0.0042$) que en nortes ($3.2 \pm 1.4 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$).

10. DISCUSIÓN

Con base a la hipótesis y el objetivo propuesto, la época del año tuvo un efecto sobre el proceso fotosintético alterando la producción de materia seca. Es así como en época de lluvia, la producción de materia seca de las gramíneas fue mayor en condiciones de sol y sombra, debido a una mayor elongación de tallos y hojas (Ramírez *et al.*, 2010), alcanzando su madurez en una edad más temprana. El crecimiento y rendimiento de las gramíneas está determinada por las condiciones ambientales, como la temperatura y la precipitación (Herrera, 1981; Ramírez *et al.*, 2009). En la época de lluvia, la temperatura fue favorable para el crecimiento y rendimiento de las gramíneas en las condiciones de sol y sombra. Se estima que la temperatura óptima que las gramíneas necesitan para un mayor crecimiento es de 25 y 35 °C (Cándido *et al.*, 2006; Sage y Kubeins, 2007). Cuando las temperaturas oscilan entre 20 y 32.5 °C, la producción se incrementa, por lo que estas plantas desarrollaron mayor número de tallos largos con mayor cantidad de hoja (Hodgson, 1990; Lemaire, 2001; Festo *et al.*, 2003). Sin embargo, en época de nortes las condiciones cambiaron, las bajas temperaturas disminuyeron el crecimiento de la parte aérea de las gramíneas y consecuentemente el de los tallos (Gerdes *et al.*, 2000). De lluvias a nortes la producción de biomasa total disminuyó 83 % en sol y 70 % en sombra, la cantidad de hoja disminuyó 84 y 72 % en sol y sombra, respectivamente, así mismo, la cantidad de tallo fue afectada disminuyendo 94 % en sol y 89 % en sombra. Esta respuesta en la producción fue debido a la menor precipitación, las bajas temperaturas y la alta nubosidad que inhibieron el crecimiento aéreo de las planta (Nascimento *et al.*, 2002; Cruz *et al.*, 2011). Estos cambios en las condiciones climáticas causan irregularidades en las

plantas tales como disminución en la tasa de crecimiento, reducción en la capacidad de incremento gaseoso, cierre de las estomas y disminución de la absorción de CO₂ atmosférico. Esto afecta la actividad fotosintética y por consiguiente, la producción de materia seca (Basurto *et al.*, 2008), ya que el crecimiento depende en mayor grado del área fotosintéticamente activa, la cual se incrementa conforme se forman y crecen los tallos y las hojas (Boschman *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2009). Ramírez *et al.* (2010) consideran que el rendimiento de materia seca está relacionado con el aumento del proceso fotosintético que ocurre en la planta, y con ello la síntesis de carbohidratos estructurales, lo que incrementa la materia seca de las gramíneas. En época de lluvia el área foliar fue mayor, esto permitió que la tasa neta de asimilación de CO₂ se incrementara, disminuyendo en la temporada de nortes 15.3 y 5.8 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$ en sol y sombra, respectivamente; así mismo, la transpiración disminuyó 1.83 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ S}^{-1}$ en la época de nortes y 1.19 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ S}^{-1}$ bajo sombra. Esto se debe a que en plantas con metabolismos C₄ como las gramíneas, el uso más eficiente del agua (UEA) estuvo directamente correlacionado con el tiempo de apertura estomática y resistencia estomática, ya que mientras las plantas absorben el CO₂ para la fotosíntesis, el agua se pierde por transpiración (Pereira-Netto, 2002). En época de nortes, cuando las condiciones cambiaron, las plantas modifican sus procesos metabólicos, cerrando las estomas disminuyendo la captura de CO₂. El uso eficiente del agua (UEA) representa la cantidad de CO₂ fijado para la producción de materia seca en función de la cantidad del agua transpirada.

La hipótesis que se planteó sobre el efecto que tiene la condición de sombra en las gramíneas, no se rechaza, debido a que bajo estas condiciones, las gramíneas

evaluadas modificaron su fisiología y a su vez esto modificó su potencial productivo y la calidad nutritiva de la biomasa forrajera. Las gramíneas tienden a desarrollar hojas más largas y anchas. También la lámina foliar es de menor grosor que las que se producen en alta intensidad de luz debido a un mayor alargamiento celular que ocurre como consecuencia de una escasa luminosidad, lo que constituye un mecanismo importante de adaptación (Pentón, 2000b; Dias-Filho, 2001; Rego y Possamai, 2006). Lo primero incrementa su habilidad competitiva para interceptar luz, mientras que la segunda reduce la tasa de respiración (Piñeros *et al.*, 2011). Cuando las plantas tienen la luz suficiente para el proceso fotosintético, la producción de biomasa se incrementa. Esto se observó en la época de lluvia con las gramíneas que crecieron en condiciones de sol; sin embargo, en condiciones de sombra esta producción disminuyó 56 % en verano y 22 % en invierno. Esto se debe a que en condiciones reducidas de luz, las gramíneas realizan cambios en su morfología, uno de los importantes es la etiolación, que consiste en el alargamiento de los tallos y hojas provocando un incremento en la altura de la planta (Alonso *et al.*, 2006), obteniendo mayor área foliar para interceptar luz y realizar el proceso fotosintético.

Los cultivares Mombaza y Tanzania del género *Megathyrsus* tuvieron una respuesta superior en producción total, de hojas y de tallos, comparado a los híbridos Oaxaca y Yacaré del género *Urochloa*. Esto responde a la hipótesis planteada, que sugiere que las gramíneas del género *Megathyrsus* tendrían una respuesta productiva diferente a los híbridos de *Urochloa*. Esto estuvo relacionado con las características morfogénicas que las gramíneas de crecimiento amacollado suelen presentar, teniendo mayor altura y una alta capacidad de producción de biomasa que las de crecimiento decumbente

(Smith y Whitelam, 1990; Avellaneda *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2010); estas gramíneas tienen una altura superior que se relaciona positivamente con la cantidad de forraje producido (Castillo *et al.*, 2009) y esto también está asociado a una mayor acumulación de tallos (Ramírez *et al.*, 2009), mientras que los híbridos Oaxaca y Yacaré, son de porte bajo y semi-erectos, proporcionando menor producción de biomasa, lo cual estuvo relacionado con la menor área foliar que estas tienen.

La calidad nutritiva de las gramíneas mejoró en la época de nortes, con respecto a la de lluvias. Esta diferencia entre épocas se debió a los cambios en las condiciones ambientales que suceden entre las estaciones. En la zona donde se realizó el experimento, la precipitación varía ligeramente entre la época de lluvias y nortes. En época de nortes la precipitación no fue el factor limitante, pero si la nubosidad y las bajas temperaturas (Figura 4). Estos factores son determinantes en los cambios morfológicos, fisiológicos y para la calidad nutritiva de las gramíneas (Santos *et al.*, 2011; Verdecia *et al.*, 2012), limitando su crecimiento y retrasando la madurez de las plantas. Si el crecimiento de las plantas disminuyen hay menor función de la pared celular en hojas y tallos, y de forma variable en sus componentes estructurales (Lyons *et al.*, 2001; Nascimento y Adese, 2004). Las bajas temperaturas que limitan el crecimiento de las gramíneas, permitieron mantener reservas de carbohidratos por un tiempo más prolongado (Cruz *et al.*, 2011). La alta nubosidad, alteró la radiación fotosintéticamente activa en las gramíneas, disminuyendo la asimilación de CO₂ (A_N) un 80 % en sol y 67 % en sombra, así mismo, la conductancia estomática (g_s) se vio afectada disminuyendo 64 % en sol y 29 % en sombra. Las adaptaciones en el proceso fotosintético influyó en el metabolismo de las gramíneas (Piñeros *et al.*, 2011),

incrementando el contenido de proteína cruda 4.8 % en hoja y 4.5 % en tallo en época de nortes. Estos cambios en el incremento de proteína fueron debidos al mayor contenido de carbohidratos no estructurales en la pared celular de las gramíneas (Zelada, 1996). El contenido de FDN disminuyó un 44 % en hojas y 36 % en tallos, indicando que las gramíneas contienen menor celulosa, hemicelulosa y lignina en época de nortes (Nascimento y Adese, 2004), mientras que el contenido de FDA en hoja disminuyó 12.4 % y en tallo 11.2 %. Así mismo, las gramíneas disminuyeron el contenido de lignina en hojas ($P = 0.0018$; Cuadro 10) y tallos ($P = 0.0010$; Cuadro 11), favoreciendo la digestibilidad. Sin embargo, en épocas de lluvias, los componentes estructurales de la pared celular se incrementaron, debido a que las gramíneas los utilizan para reducir los efectos de estrés por altas temperaturas (Lyons *et al.*, 2001; Juárez *et al.*, 2009). Estos mecanismos de adaptación que las gramíneas tienen al cambio de clima, provocaron un efecto en la digestibilidad, reduciendo 18 % en hoja y 9.3 % en tallo, ocasionado por el incremento de lignina y su compleja forma molecular no digerible (Padilla *et al.*, 2009). Debido al aumento de lignina en la pared celular de las gramíneas, estas se hacen menos digestibles, ya que la lignina es la responsable de la digestión incompleta de la celulosa y la hemicelulosa (Pirela, 2005; Homen *et al.*, 2010).

Como se planteó en la hipótesis, la sombra de *Melia azedarach* tiene un efecto en las gramíneas que limita la cantidad de biomasa forrajera, sin embargo, el valor nutritivo de las gramíneas mejora (Ruiz *et al.*, 2010; Lacorte *et al.*, 2004; Medinilla-Salinas *et al.*, 2013). En condición de sombra, donde la producción de biomasa fue inferior que en condición de sol, el contenido de proteína en hoja se incrementó 2.5 % y en tallo 0.8 %,

mientras que FDA disminuyó 1.2 %, haciendo que la digestibilidad aumentara 1.3 % en proporción a condición de sol, debido a cambios sustanciales en la cantidad y calidad de luz que reciben, reduciendo el proceso fotosintético (Eriksen y Whitney, 1981; Noguera-Talavera *et al.*, 2008).

Aunque no hubo una diferencia muy marcada en el ángulo de inclinación de hojas entre gramíneas, si lo hubo en la inclinación de tallos, siendo el cultivar Tanzania quien tuvo mayor grado de inclinación (15.2°) que las otras gramíneas. Esto estuvo relacionado con el tipo de crecimiento y la capacidad de adaptación para captar la radiación solar ya que son de porte erecto y hojas más largas. El ángulo de inclinación de hojas fue menor en el cultivar Mombaza a las otras gramíneas. Se deduce que el crecimiento de las hojas y tallos de este cultivar Mombaza es de menor inclinación, posiblemente esté relacionado con el mayor contenido de fibra que la hojas y los tallos poseen, manteniéndolas más erguidas.

Los cultivares Mombaza y Tanzania pertenecientes al género *Megathyrsus* tuvieron mayor contenido de fibras (FDA y FDN) que los híbridos Oaxaca y Yacaré del género *Urochloa*. Esto pudiera estar relacionado con el tipo de crecimiento de los materiales genéticos derivados de este género, ya que por su porte alto tienden a producir más tallos, que generalmente contienen menor cantidad de proteína cruda y mayor contenido de componentes de la pared celular, que disminuyen la digestibilidad (Verdecia *et al.*, 2012). Naturalmente, la digestibilidad es una variable asociada a la FDN; a mayor contenido de FDN la digestibilidad disminuye, considerando que cuando el contenido de FDN supera los 65 %, indica valores nutritivos bajos (Vargas, 2002); sin

embargo, las gramíneas evaluadas tuvieron un índice de calidad aceptable, siendo que se encuentran por debajo de este valor.

11. CONCLUSIONES

En condiciones de sombra, el proceso fotosintético de las gramíneas se alteró y asimilaron menos cantidad de CO₂. Este efecto alteró la producción de biomasa aérea, haciendo que las gramíneas disminuyeran su producción de hojas y tallos. La calidad nutritiva de las gramíneas mejoró bajo estas condiciones, incrementando la concentración de proteína cruda y reduciendo el contenido de fibra, haciendo la materia seca más digestible. Por lo tanto, la sombra de *M. azedarach* crea condiciones que benefician la calidad químico-nutricional de los materiales aquí evaluados de ambos géneros.

La eficiencia fotosintética fue similar en todas las gramíneas bajo el dosel de *M. azedarach*, sin embargo, los cultivares del género *Megathyrsus* superan la producción de biomasa forrajera a los híbridos de *Urochloa*. Mientras que todas las gramíneas contienen la misma cantidad de proteína cruda, las gramíneas Oaxaca y Yacaré del género *Urochloa* son menos fibrosas y más digestibles que los cultivares Tanzania y Mombaza del género *Megathyrsus*. Por tanto, las gramíneas del género *Urochloa* se pueden asociar mejor bajo el dosel de *M. azedarach*, disminuyendo poco su producción de biomasa e incrementando su calidad nutritiva.

Bajo las condiciones del clima Af que corresponde al cálido-húmedo-regular en que se realizó esta investigación, las condiciones climáticas más favorables suceden en épocas de lluvias, por lo que la asimilación de CO₂ en las gramíneas es más eficiente en época de lluvias que en época de nortes. Bajo estas condiciones, la cantidad de biomasa de hojas y tallos es más abundante, mientras que en época de nortes, debido

a las bajas temperaturas y mayor nubosidad, la producción disminuye considerablemente. Sin embargo, en época de nortes la calidad nutritiva de las gramíneas mejora significativamente, ya que el contenido de proteína cruda se incrementa, la materia seca es menos fibrosa y la lignina en la pared celular disminuye. Todo esto influye en un mejoramiento significativo de la calidad nutritiva en el invierno que coincide con la época de nortes.

La asociación de gramíneas a *M. azedarach* es posible, al menos hasta los siete años de edad que tenían los árboles cuando se realizó este experimento. Aunque la producción de biomasa de las gramíneas disminuye bajo su sombra, los cultivares del género *Megathyrsus* tienen una buena producción en época de lluvias, mientras que en época de nortes tienen una marcada disminución en la producción. Sin embargo, los híbridos del género *Urochloa* aunque su producción es inferior que los cultivares, son menos sensibles al efecto de la época, teniendo mejor calidad y disminuyendo poco su producción en época de nortes.

12. RECOMENDACIONES

Para las condiciones de clima cálido-húmedo-regular se recomienda asociar *M. azedarach* con gramíneas tanto del género *Urochloa* como de *Megathyrsus*. Sin embargo, cuando interesa más la producción que la calidad nutritiva, la mejor opción son los *Megathyrsus*. Sí se interesa favorecer más la calidad nutritiva del forraje, es recomendable asociar gramíneas del género *Urochloa*, que además, manifiestan un menor efecto de estacionalidad.

Es necesario evaluar las diferentes gramíneas a intervalos más cortos, y conocer su comportamiento morfológico, fisiológico y productivo bajo *M. azedarach* a través del año. Al mismo tiempo, se recomienda evaluar el estrato arbóreo, con el fin de conocer el crecimiento y respuesta en sistemas silvopastoriles a la par de la biomasa forrajera de las gramíneas asociadas. También es necesario evaluar la respuesta de las gramíneas en asociación con *M. azedarach* en condiciones de pastoreo con rumiantes. Aunque la época seca en el clima cálido-húmedo-regular sea muy corta, es necesario hacer evaluaciones de productividad y cambios fisiológicos y morfológicos de las gramíneas también en época de sequía, ya que esto daría información importante para el manejo del sistema todo el año.

Se recomienda la asociación de gramíneas con *M. azedarach* durante sus primeros años para la producción de forraje como alimento para el ganado, siendo una opción para diversificar los ingresos familiares, ya que la producción de pasto para ganado se puede mantener durante los primeros años, y después, cuando la sombra ya no

permite el crecimiento de las gramíneas, se puede comercializar la madera, lo cual sucede aproximadamente a los 10 años después de su establecimiento.

13. LITERATURA CITADA

- Agnusdei M., M. Colabelli y R. Fernández. 2001. Crecimiento estacional de forrajes 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-Lwanda y P. A. Macario-Mendoza. 2011. Interacciones radicales y aéreas en la asociación agroforestal 'cedro-limón-chaya'. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 441-451.
- Alonso J., G. Febles, T. E. Ruiz y G. Achang. 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 40: 503-511.
- Andrade H. J., 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: 289-292.
- Anguiano J.M., J. Aguirre y J. M. Palma. 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances de Investigación Agropecuaria* 17: 149-160.
- Ankom Technology. 2010. Instrument Manuals. (<http://www.ankom.com/instrument-manuals.aspx>). [Consulta: 04/07/2013].
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1980. Official Method 4.2.11 Protein (crude) in animal feeds, forage (plant tissue), grain, and oilseeds. In: *Official methods of analysis* of AOAC International. 13th edition, Washington D. C. USA. From: <http://www.eoma.aoac.org>. [Consulta: 18/07/2013].
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1997. Official Method 973.18. Fiber (acid detergent) and lignin in animal feed. In: *Official method of analysis* of AOAC International. 17th edition, Washington D. C., USA. From: <http://www.eoma.aoac.org>. [Consulta: 17/07/2013].
- Armas K. C. 2004. Balance de la interacción entre las plantas superiores en ambientes semiáridos: mecanismos y procesos. *Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente* 13: 118-122.
- Arnold M. 1989. Teoría de Sistemas, Nuevos Paradigmas: Enfoque de Niklas Luhmann. *Revista Paraguaya de Sociología* 26: 51-72.

- Avellaneda C. J., G. F. Cabezas, Z. G. Quintana, M. R. Luna, V. O. Montañez, G. I. Espinoza, M. S. Zambrano, G. D. Romero, R. J. Vanegas y M. E. Pinargote. 2008. Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de *Brachiaria* en diferentes edades de cosecha. *Ciencia y Tecnología* 1: 87-94.
- Ávila G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8: 32-35.
- Baruch Z. y M. Fisher. 1991. Factores climáticos y de competencia que afectan el crecimiento de la planta en el establecimiento de pastura. En: *Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de investigación*, C. Lascano y J. Spain (Eds). 6ta. Reunión del Comité Asesor de la RIEPT (Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 103-133 pp.
- Basurto M., R. Núñez, R. Pérez y O. A. Hernández. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Synthesis. Aventuras del pensamiento*. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 1-5 pp.
- Beer J., C. A. Harvey, M. Ibrahim, J. M. Harmand, E. Somarriba, y F. Jiménez. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10: 80-89.
- Bertalanffy L. 1976. *Teoría General de Sistemas*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1-24 pp.
- Boschman S. P., J. M. Scott, M. J. Hill, J. R. King and J. J. Lutton. 2003. Plant reserves of perennial grasses subjected to drought and defoliation stressed on the Northern Tablelands of New South Wales, Australia. *Australia Journal of Agricultural Research* 54: 819-828.
- Cándido D. J. M., G. R. Silva, M. J. N. Neiva, O. Faco, I. Y. Benevides y F. S. Farias. 2006. Fluxo de biomassa em capim-tanzania pastejado por ovinos sob tres periodos de descanso. *Revista Brasileira Zootecnia* 35: 2234-2242.
- Carrilho P. H. M., J. Alonso, L. D. T. Santos y R. A. Sampaio. 2012. Comportamiento vegetativo y reproductivo de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk bajo diferentes niveles de sombra. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 85-90.
- Casanova F., L. Ramírez y F. Solorio. 2007. Interacciones radiculares en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances de Investigación Agropecuaria* 11: 41-52.

- Castillo G. E., B. de la M. Valles y J. R. Jarillo. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 47: 79-83.
- Chiffelle G. I., F. A. Huerta y R. D. Lizana. 2007. Physical and chemical characterization of *Melia azedarach* L. fruit and leaf for use as botanical insecticide. Trabajo presentado al 57^o Congreso Agronómico de Chile y XXXIV Congreso Colombiano de Entomología. 25-29 de julio de 2007. Cartagena de Indias, Colombia. 1-16 pp.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2000. Informe anual 2000. Convenio CIAT- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), Colombia. Meta 4. Gramíneas y Leguminosas Tropicales. Proyectos CIAT IP5 y PE5. 74 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2013. CONABIO Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. SIRE *Melia azedarach* L. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/download.aspx?articulo=944> [Consulta: 17/06/2013].
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua-Veracruz). 2013. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Meteorológico Nacional. Gobierno de México. <http://smn.cna.gob.mx/emas/>. [Consulta: 25/08/2013]
- Crespo G. y S. Fraga. 2006. Avances en el conocimiento del reciclaje de los nutrientes en sistemas silvopastoriles. Memorias. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. Centro de Convenciones «Plaza América», Varadero, Cuba. 104 p.
- Cruz H. A., G. A. Hernández, Q. J. F. Enríquez, V. A. Gómez, J. E. Ortega y G. N. M Maldonado. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometidos a diferentes regímenes de pastoreo. *Revista Mexicana Ciencia Pecuaria* 2: 429-443.
- Cruz P. y J. L. Moreno. 1992. Crecimiento potencial comparado de una gramínea natural (*Dichanthium aristatum*) y una cultivada (*Digitaria decumbens* Stent) sometida a variaciones fotoperiódicas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 26: 323-330.
- Da Silva C. S. and Carvalho, F. P. C. 2005. Foraging behavior and herbaje intake in the favourable tropics/subtropics. In: XX International Grassland Congress. F. P. O'Mara , R. J. Wilkins , L. 't Mannelje , D. K. Lovett , P. A. M. Rogers and T. M. Boland. 26 June to 1 July. Dublin, Ireland. 68-84 pp.

- Daudín D. and J. Sierra. 2008. Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126: 275–280.
- Dávila C., D. Urbano y R. Sánchez. 1997. Efecto de la asociación *Brachiaria sp.* con leucaena (*Leucaena leucocephala*) y matarratón (*Gliricidia sepium*) sobre la producción de leche. *Archivo Latinoamericano Producción Animal* 5: 135-138.
- 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 Agriculture Science* 44: 111-124.
- Del Pozo R. P. P. 2002. Bases Fisiológicas para el manejo de los pastos tropicales. *Pastos* 32: 109–137.
- Dias-Filho M. 2001. Processos e causas de degradação e estratégias de recuperação em pastagens tropicais. Primer Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. CD-ROM. La Habana, Cuba.
- Durr A. P. and J. Rangel. 2003. The response of *Panicum maximum* to a simulated subcanopy environment. 2. Soil x shade x water interaction. *Tropical Grasslands* 37: 1–10.
- Eriksen F.I. y A.S. Whitney. 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. *Agronomy Journal* 73: 427-433.
- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos). 2010. Parcelas demostrativas con materiales forrajeros importados de Brasil: Región Caribe. Bogotá, Colombia, 36 p.
- Festo J. M., N. A. Sabed and A. R. Jeremy. 2003. The impact of temperature on leaf appearance in bamba groundnut landrace. *Crop Science* 43: 1375-1379.
- 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. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 81 p.
- García E. 1981. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. D.F, México. 357 p.

- Gerdes L., C. J. Werner, T. M. Colozza, D. D. Carvalho y A. E. Schammass. 2000. Avaliação de características Agronómicas e Morfológicas das Gramíneas Forrageiras Marandu, Setaria e Tanzania aos 35 Dias de crescimento nas Estacoes do Ano. Revista Brasileira Zootecnia 29: 947-954.
- Gómez C. H., J. Nahed, A. Tewolde, R. Pinto y J. López. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. Técnica Pecuaria en México 44: 219-230.
- González-Hernández M. P. and M. J. Rozados-Lorenzo. 2008. Pasture production and tree growth in agroforestry systems of Northwest Spain. In: D. Rani, R. Kumar, S. Jose, and H. Pal (eds). Ecological basis of agroforestry. Florida, USA. 361-376 pp.
- Guardiola B. J. L. y A. Garcia. 1990. Fisiología vegetal 1: Nutrición y Transporte. Fotosíntesis. Editorial SINTESIS. Madrid, España, 150-163 pp.
- Guevera S., J. Laborde y G. Sanchez. 2004. La deforestación. In: Los Tuxtlas. El Paisaje de la Sierra. Guevera, S., J. Laborde y G. Sanchez-Rios (eds.). Instituto de Ecología A. C. and European Unión. Xalapa, México. 85–108 pp.
- Hall A. D. and Fagen, R. E. 1956. Definition of system. In: Modern systems research for the behavioral scientist. Buckley, W. (Ed). Aldine Atherton, Chicago, USA. 81-92 pp.
- Hernández X. E. 1997. Agroecosistemas de México. Editorial Colegio de Postgraduados-Escuela Nacional de Agricultura. Texcoco, Estado de México, México. 42 p.
- Herrera R.S. 1981. Influencia de la fertilización nitrogenada y edad de rebrote en la calidad del pasto bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* cv. coast cross 1). Tesis Doctor en Ciencias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 67 p.
- Herrero M. 1995. Grassland modelling: A decision support tool. Ciencias Veterinarias 17: 72-79.
- Hodgson J. 1990. Grazing management science into practice. Longman Scietific Technical. 1rst edition Harlow, England. 203-210 pp.
- Homen M., I. Entrena, L. Arriojas y M. Ramia. 2010. Biomasa y valor del pasto Guinea *Megatyrsus maximus* (Jacq) B. K. Simon y S. W. L. Jacobs, gramalote, en diferentes periodos del año en la zona bosque húmedo tropical. Barlovento, Estado de Miranda. Zootecnia Tropical 28: 255-263.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2014. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Veracruz-

- Llave. Tlapacoyan.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30183a.html>. [Consulta: 10/02/2014].
- Jatnel A. 2009. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. www.engormix.com › Lechería › Foros › Forrajes - Pasturas. [Consulta: 12/06/2013]
- Jones D. I. and Hayward M. V. 1975. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility in fungal cellulose solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 26: 711-718.
- Juárez A., M. Cerrillo, E. Gutiérrez, E. Romero, J. Colín y H. Bernal. 2009. Estimación del valor nutritivo de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y la producción de gas *in vitro*. *Técnica Pecuaria en México* 47: 55-61.
- Lacorte S. M., H. E. Fassola, N. Pachas y L. Colcombet. 2004. Efectos de diferentes grados de sombreado, con y sin fertilización fosfórica, sobre la producción de un pastizal modificado con predominio de *Oxonopus compressus* (Swartz) Beauv. En el sur de Misiones, Argentina. En: 11ª Jornada Técnicas Forestales y Ambientales CF: UNAM: EEA Montecarlo; INTA http://www.inta.gov.ar/montecarlo/info/documentos/forestales/g_lacorte.pdf [Consulta: 20/12/2014].
- Lamaire L. 2001. Ecophysiology of grasslands: Dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. Proc XIX International Grasslands Congress. 11-21 February 2001. 11-21 February 2001. Sao Paulo, Brasil. 29-37 pp.
- Lemus G. 2008. Análisis de productividad de pasturas en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de doble propósito en Esparza, Costa Rica. Tesis *Magister Scientiae* en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 126 p.
- Lozano T. M., A. C. Gloria, A. V. Miguel, F. Lilly y R. G. Margarita. 2006. Sistemas silvopastoriles con uso de biofertilizantes, opción tecnológica para el valle cálido del alto Magdalena. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Tolima, Colombia. 9 p.
- Lyons R. K., R. Machen y T. D. A. Forbes. 2001. ¿Por qué cambia la calidad del forraje de los pastizales? AgriLIFE Extensión E-99S (7-01). http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87063/pdf_1488.pdf?sequence=1 [Consulta: 20/11/2014].
- Mahecha L. L., A. M. Monsalve y J. F. Arroyave. 2007. Evaluación del silvopastoreo de novillos Cebú en un sistema de *Eucalyptus tereticornis* y *Panicum máximum*, en

- la reforestadora San Sebastián. Livestock Research for Rural Development 94 (19). [http:// http://www.lrrd.org/lrrd19/7/mahe19094.htm](http://www.lrrd.org/lrrd19/7/mahe19094.htm). [Consulta: 21/06/2013].
- Mannetje L. and R. M. Jones. 1992. Plant Resources of South-East Asia No. 4. Forages. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, Holanda. 61-62 p.
- Medinilla-Salinas L., M. de la C. Vargas-Mendoza, S. López-Ortiz, C. Ávila-Reséndiz y W. Bruce-Campbell. 2013. Growth, productivity and quality of *Megathyrus maximus* under cover from *Gliricidia sepium*. *Agroforestry Systems* 87: 891-899.
- Medrano H. y J. Flexas. 2000. Fotorespiración y mecanismos de concentración del dióxido de carbono. En: *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Azcon-Bieto, J., M. T.alon (Ed). Universitat de Barcelona. Mcgraw-hill Interamericana. España. 187-201 pp.
- Mejía K.S., I. Rao, H. Ramírez, A. Louw-Gaume, A. Gaume y E. Frossard. 2009. Atributos morfológicos y fisiológicos de genotipos de *Brachiaria* en un suelo con bajo fósforo disponible y alta saturación de aluminio. *Acta Agronómica* 58: 1-8.
- Mendieta L. M. y L. R. Rocha. 2007. Sistemas agroforestales. Definición, perspectivas y potencialidad de los sistemas agroforestales. (ed) Universidad Nacional Agraria. Managua Nicaragua. 22-27 pp.
- Montagnini F. y C. Finney. 2011. Payments for Environmental Services in Latin America as a tool for restoration and rural development. *Ambio* 40: 285-297.
- Montenegro A. y O. Vargas. 2005. Estrategias de regeneración del banco de semillas en una comunidad de bosque altoandino secundarios. En: *Estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la cordillera oriental de Colombia*. Bonilla-Gómez, M. A. (Ed). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 227-246 pp.
- Mónica L. 2009. Qué bonito es Veracruz. Ubicación del bello Veracruz. <http://quebonitoesveracruz.blogspot.mx/2009/11/ubicacion-del-bello-veracruz.html>. [Consulta: 12/03/2013].
- Murgueitio E., C. Cuartas y J. Naranjo. 2008. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Feriva S.A. Cali, Colombia. 490 p.
- Naranjo L. G. 2001. Sistemas agroforestales para la producción pecuaria y la conservación de la biodiversidad. Memoria de la II Conferencia Electrónica sobre Agroforestería para la Producción Animal en América Latina. Agosto de 2000 a marzo de 2001. 13-27 pp.

- Nascimento J. D., G. A. F. Neto, B. R. Amorim y A. C. M. Soares. 2002. Fundamento para o manejo de pastagens: Evolução e atualidade. Anais do simposio sobre manejo estratégico de pastagem. 14-16 de noviembre de 2002. Vicosa, Brasil. 149-196 pp.
- Nascimento J. D. y L. B. Adese. 2004. Acúmulo de biomassa na pastagem. Em: Anais do II simposio sobre manejo estratégico da pastagem. Pereira, J. D. (ed). Vicosa, Brasil. 289-346 pp.
- Navas P. A. 2007. Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles. Asociación Colombiana de Médicos Veterinarios y Zootecnistas. Sitio Argentino de Producción Animal, 16: 1-3.
- Navia E. J. F. 2000. Agroforestería. Editorial Centenario. Santo Domingo, República Dominicana. 159 p.
- Nelson C.J. and L. E. Moser. 1994. Plant factors affecting forage quality. In: Forage quality. Evaluation and utilization. Fahey, G. C. (ed). American Society Agronomy. Madison, USA. 115- 156 pp.
- Noguera-Talavera A., F. Reyes-Flores, I. Murillo y L. Sánchez. 2008. Influencia de la estructura arbórea en la producción de pasto en un sistema de árboles dispersos en potreros. La Calera. Revista Científica de la Universidad Nacional Agraria. Tipitapa, Nicaragua. 9: 5-10.
- Obispo N. E., Y. Espinoza, J. L. Gil, R. F. Ovalles y F. Maria. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema Silvopastoril. Zootecnia Tropical 26: 285-288.
- Odum E. P. 1984. Properties of agroecosystems. In: Agricultural Ecosystem: Unifying concepts. Lowrance R., B.R. Stinner y G. J. House (Eds). New York. USA. 5-11 pp.
- Ortega V. E. 2012. Potencial productivo de *Guazuma ulmifolia* Lam. en bancos de forrajes y asociado a gramíneas tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias, programa de postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. Tepetates, Veracruz, México. 91 p.
- Orwa C., A. Muta, R. Kindt, R. Jamnads and S. Anthony. 2009. *Melia azedarach* L. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. (<http://www.orldagroforestry.org/sites/tredbs/tredatbase.asp>). [Consulta: 19/05/2013].
- Padilla A., M. Castillo, E. Marcano, D. Padilla y S. Savedra. 2009. Características de la biomasa forrajera en la estación experimental "El Ireí". Agricultura Andina. Barinas, Venezuela. 16: 49-55.

- Pelliza A., L. Borrelli y G. Bonvissuto. 2005. El pasto salado (*Distichlis* spp.) en la Patagonia: una forrajera adaptada a la aridez y a la salinidad. *Revista Científica Agropecuaria* 9: 119-131.
- Pentón G. F. 2000a. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis de Maestría en Ciencia en pastos y forrajes. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba. 66 p.
- Pentón G. F. 2000b. Tolerancia de *Panicum Maximum* cv. Likoni a la sombra en condiciones controladas. *Pastos y Forrajes* 23: 79-87.
- Pereira-Netto A. B. 2002. Crecimiento y desenvolvimiento. In: *Fisiología Vegetal – Produção e pos-colheita* Wachowicz, C. M.; Carvalho, R. I. N. (eds). Curitiba, Champagnat, Brasil. 17-42 pp.
- Peri P. L. 2005. Modelling photosynthetic efficiency (alpha) for the light-response curve of cocksfoot leaves grown under temperate field conditions. *European Journal of Agronomy* 22: 277-292.
- Petit A. J. y Q. J. Suniaga. 2005. Sistemas silvopastoriles. En: *Manual de Ganadería de Doble Propósito*. González-Stagnaro, C., E. B. Soto (eds). Maracaibo, Venezuela. 204-207 pp.
- Pezo D. y M. Ibrahim. 1999. Sistemas silvopastoriles. Módulo de Enseñanza Agroforestal 2da. Edición, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Proyecto Agroforestal. Turrialba, Costa Rica. 276 p.
- Pimienta-Barrios E., J. Zañudo-Hernández y J. García-Galindo. 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40: 699-709.
- Piñeros R., D. J. Mora y V. A. Holguin. 2011. Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* ((Sw.) Rydb.) a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima, Colombia. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 12: 42-50.
- Pirela M. 2005. Valor nutritivo de los pastos tropicales. En: *Manual de ganadería de doble propósito*. González-Stagnaro, C., E. Soto-Belloso (eds). Grupo de Investigadores de la Reproducción Animal en la Región Zuliana. Maracaibo, Venezuela. 176-182 pp.
- Pollock C. J. 1990. The response of plant to temperature change. *Journal of Agricultural Science* 115: 1-5
- Quintero B. del C., T. Clavero, C. Castro de Rincón, A. Del Villar y F. O. Araujo. 1995. Efecto de los factores climáticos y altura de altura de corte sobre el valor nutritivo

- y producción de materia seca del pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott). Revista de Agronomía (LUZ) 12: 81-94.
- Ramírez C. L. A. 2002. Teoría de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. 56 p.
- Ramírez J. L., D. Verdecia, I. Leonard y Y. Álvarez. 2010. Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Panicum máximum* cv. Likoni en un suelo fluvisol de la región oriental de Cuba. Red Veterinaria, 11 (7). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/pdf> [Consulta: 17/05/14]
- Ramírez R. O., G. A. Hernández, da S. S. Caneiro, P. J. Pérez, J. S. J. de Souza, R. R. Castro and Q. F. Enríquez. 2009. Morphogenic characteristics and their influence on the herbage yield of Mombaza grass, harvested to different cutting intervals. Tropical and Subtropical Agroecosystems 12: 303-311.
- Rego G. y E. Possamai. 2006. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do Jequitibá – rosa. Brazilian Journal of Forestry Research 53: 179-194.
- Ruiz O. 1995. Agroecosistemas. Término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. In: Seminario Internacional de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 29-31 pp.
- Ruiz O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. En: Agroecología y Agricultura Orgánica en el Trópico. López, O., Ramírez, S., Ramírez, M., Moreno, G., Alvarado, A. (eds). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Universidad Autónoma de Chiapas. 27-35 pp.
- Ruiz T. E., G. Flebes, H. Jordán y H. Díaz. 2010. El árbol y su efecto en la estabilidad productiva del pasto en un sistema Silvopastoril. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 44: 297-300.
- Sage F. R. and S. D. Kubeins. 2007. The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis. Plant Cell Environment 30: 1086- 1106.
- Sánchez De L. C. 2011. *Melia azedarach* L. Árboles ornamentales. <http://www.arbolesornamentales.es/Melia%20azedarach.pdf>. [Consulta: 07/07/2013].
- Sánchez M. D. 1999. Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en América Latina tropical. Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre de 1998. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma, Italia. 1-12 pp.

- Santos M. C. S., M. A. Lira, J. N. Tabosa, A. C. L. Mello and M. V. F. Santos. 2011. Responce of *Pennisetum* clons to periods of controlled hydric restriction. *Archivos de Zootecnia* 60:31-42.
- Sarandón S. J. 2002. El agroecosistemas: un sistema natural modificado. Curso de agroecología y agricultura sustentable. En: *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. Sarandón, S. J., C. C. Flores (eds). Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina. 100-130 pp.
- SAS (Statistical Analysis System). 2010. SAS/STAT, User's guide Version 4.3.0. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Serrano E. A. S. and J. M. Toledo. 1990. The search for sustainability in Amazonian pastures. In: *Alternatives to deforestation: steps towards sustainable use of the Amazon rain forest*. Anderson, A. B. (ed.) Columbia University Press. New York, USA. 195-214 pp.
- Sierra P. J. O. 2005. *Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros*. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 246 p.
- Silva-Pando F. J., M. P. Gonzáles-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.
- Sinoquet H. and R. M. Caldwell. 1995. Estimation of light capture and partitioning in intercrop systems. In: *Ecophysiology of tropical intercropping*. Sinoquet, H., P. Cruz. (eds). Institut National Recherche Agronomique (INRA) editions. Paris, France. 79-97 pp.
- SIRE (Sistema de Información para la Reforestación). 2013. Paquetes tecnológicos. *Melia azederach* L. Sistema de Información para la Reforestación (SIRE). Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Consejo Nacional para la conservación de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/944Melia%20azedarach.pdf>. [Consulta: 01/07/2013].
- Smith H. and G. Whitelam. 1990. Phytochrome, a family of photoreceptors with multiple physiological roles. *Plant Cell Environment*, 13: 695-707.
- Somarriba E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.
- Talbot G. and C. Dupraz. 2012. Simple models for light competition within agroforestry discontinuous tree stands: are leaf clumpiness and light interception by woody parts relevant factors. *Agroforestry Systems* 84: 101-116.

- Torres F. 1987. Role of woody perennials in animal agroforestry. In: Professional education in agroforestry. Zulberti, E. (ed.). International Council for Research in Agroforestry (ICRAF). Nairobi, Kenya. 266-316 pp.
- Treydte A. C., I. M. A. Heitkonig, H. H. T. Prinsa and F. Ludwig. 2007. Trees improve grass quality for herbivores in African savannas. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8: 197–205.
- Vargas B. R. 2002. Pastos y Forrajes. Serie Tecnología Agropecuaria 6. Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES). Editorial Guadalupe. Bogotá. Colombia. 106-112 pp.
- Verdecia D. M., R. S. Herrera, J. L. Ramírez, I. Leonard, R. Bodas, S. Andrés, F.J. Giráldez, Y. Álvarez y S. López. 2012. Valoración nutritiva del *Panicum maximum* cv. Mombaza en las condiciones climáticas del Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 97-101.
- Wilson J. R. 1993. Organization of forage plant tissue. In: Forage cell wall structure and digestibility. Jung H. G. (Ed). American Society of Agronomy, Madison, USA. 1-31 pp.
- Zelada E. S. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la zona Atlántica de Costa Rica. Tesis *Magister Scientiae* en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 87 p.