

Composición Botánica y Química de Asociaciones de Sorgo Forrajero y Leguminosas Anuales

Por

Raphael Wesly Colbert

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

En

Agronomía

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2009

Aprobado por:

Abner A. Rodríguez Carías, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

James S. Beaver, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Elide Valencia Chin, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

María Vargas, Ph.D.
Representante, Escuela Graduada

Fecha

Hipólito O'Farrill-Nieves, Ph.D.
Director, Departamento

Fecha

ABSTRACT

The use of legumes and grass association represents a sustainable alternative for ruminant nutrition in the tropics. An experiment was conducted at the Isabela Sub-station of the Agricultural Experimental Station, Puerto Rico to assess the performance of forage sorghum (brown midrib; BMR), Lablab, (*Lablab purpureus* cv. 'Rongai'; L) and velvet bean (*Mucuna pruriens* cv. 'Vine 90 days'; M) in monocrop and BMR intercropped with L and M. The variables were botanical and chemical composition [Neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and crude protein (CP)] on dry matter yield basis. A randomized complete block in a split-plot design with 5 replications was used. Main plots were monocrops of BMR, L, and M, and associations of BMR-L and BMR-M, whereas the two cutting periods of 90 days (May and August) were subplots. The results indicated no differences ($p>0.05$) between the BMR intercropped and BMR in monoculture for the total dry matter yield. The values were 8.9, 8.8 and 8.4 ton/ha, BMR-L, BMR-M and BMR, respectively. Likewise, cutting periods were not significantly different ($p>0.05$), although the May harvest exceeded August by 0.6 ton/ha. Rongai revealed good regrowth, not varying in yield from the first cut, with botanical composition components having means values ($p> 0.05$) of 2,7 and 3,9 ton/ha in intercropping and monoculture, respectively. Velvet bean presented the lowest ($p<0.05$) yield, 2.8 and 1.3 ton/ha, for May and August, respectively. Its poor aggressiveness resulted in higher weed proportions. Both NDF and ADF ($p>0.05$) were not significantly different with values of 60.1 to 63.9% and 40.1 to 46.5%, respectively. However, there were differences in CP for mono and intercrops. Crude protein for L, M, and BMR were 14.1, 11.1, and 6.0%, respectively. Intercropped, CP for BMR-L and BMR-M were 9.8 and 9.1, indicating more than three units increase over BMR alone. In conclusion, BMR intercropped with Rongai and velvet bean improved nutritional quality from a ruminant nutrition perspective.

RESUMEN

La asociación de gramíneas con leguminosas representa una alternativa sostenible para alimentar los rumiantes en el trópico. Se realizó un experimento, en la Sub-estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico, para determinar los efectos de sistema de monocultivo del sorgo forrajero (nervadura marrón; BMR), leguminosas anuales lablab (*Lablab purpureus* cv. 'Rongai'; L) y mucuna (*Mucuna pruriens* cv. 'Vine 90 días'; M) y asociaciones de BMR-L y BMR-M. Las variables fueron la composición botánica y química [Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), y proteína bruta (PB)] en base del rendimiento de materia seca. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco replicas en parcelas divididas. Las parcelas principales representaron los sistemas de siembra (BMR-L, BMR-M y L, M y BMR) y las sub-parcelas los periodos de corte (dos intervalos de 90 días; mayo y agosto). Los resultados indicaron que en término de rendimiento total de materia seca no hubo variación ($p>0.05$) entre BMR-L, BMR-M y el BMR. Los valores fueron de 8.9, 8.8 y 8.4 ton/ha, respectivamente. De igual manera los meses de mayo y agosto no se diferenciaron ($p>0.05$) entre sí, aunque el primero sobrepaso el segundo por 0.6 ton/ha. El Rongai reveló una buena capacidad de rebrote, siendo poco variable en su rendimiento luego del primer corte, y sus componentes en la composición botánica tuvieron los valores promedios ($p>0.05$) de 2.7 y 3.9 ton/ha en la asociación y el monocultivo, respectivamente. El componente M presentó el rendimiento ($p<0.05$) más bajo, 2.8 y 1.3 ton/ha en mayo y agosto, respectivamente. Este comportamiento poco agresivo resultó en una proporción alta de malezas. No se encontraron diferencias ($p>0.05$) entre tratamientos para las fracciones de FDN (60.1 a 63.9%) y FDA (40.1 a 46.5%). Sin embargo, si se encontró diferencias entre sistemas para PB. La PB del L, M y BMR en monocultivo fueron 14.1, 11.1 y 6.0%, respectivamente. En asociación con BMR, la PB del BMR-L y BMR-M fue de 9.8 y 9.1%; un aumento de más de tres unidades sobre el BMR. En conclusión, la asociación del BMR con ambas leguminosas mejoró la calidad nutricional en la perspectiva de la nutrición de rumiantes.

© 2009. Raphael Wesly Colbert
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mi familia ya que a pesar de la distancia me apoya y que si no fuese por sus esfuerzos no podría lograr estos estudios graduados. A mi madre Naçalie Métellus que se preocupa de mi bienestar desde Haití. A mi esposa Enise Lordéus por su amor y su paciencia. A mis hermanos y hermanas Gabriel, Denise, Edeline, Michel, Ronald y Myrta. A mis sobrinos Steeve y Samuel. A mí querido país Haití y a mis paisanos y amigos en especial Gasner Démosthène y Ronald Dorcinvil.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera primero y antes que nada, dar las gracias a Dios, por estar conmigo en todo momento, por iluminar mi mente, fortalecer mi salud y guiar mis pasos durante el ciclo de estudio.

Un agradecimiento especial a la Universidad de Puerto Rico Recinto Mayagüez (UPR-RUM), a todos mis profesores, a los empleados de la Estación Experimental Agrícola de Isabela, al Departamento de Agronomía y Suelos en particular Dr. Miguel Muñoz, Gloria Aguilar y Evelyn Rosello pues siempre me han brindado ayuda.

Mi más sincero agradecimiento al Presidente del comité graduado Dr. Elide Valencia Chin y los miembros Dr. Abner A. Rodríguez Carias y Dr. James S. Beaver a quienes debo el realizar estudio graduado en esta prestigiosa Universidad UPR.

De igual manera mi agradecimiento al Servicio Nacional de Semillas (Ministerio de Agricultura de Haití, MARNDR) en especial Emmanuel Prophete y mi más sincero agradecimiento a Arlan Lecorps por brindarme sus incondicionales apoyos y orientaciones en todo momento.

Un gran agradecimiento a Ulises Chardon del USDA-TARS y Héctor Sánchez del laboratorio de Industria Pecuaria del RUM por sus ayudas en los análisis.

Igualmente agradecer a mis compañeras y compañeros de Maestría Víctor Asencio, Jorge Olivares, Ana Santos, David Zavala, Nancy Ortiz, con los que comparto las mismas experiencias y nos ayudan cada vez que se necesitaba su apoyo y ánimo. También agradezco a Luis Almodóvar por su colaboración.

En general quisiera agradecer a todas las personas de una manera u otra por haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo necesario para realizar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	ii
RESUMEN.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE APENDICES.....	x
I. Introducción	1
Objetivo.....	2
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Asociación Leguminosa-Gramínea.....	4
2.1.1. <i>Lablab purpureus</i> L. (Lablab cv. 'Rongai').....	5
2.1.2. <i>Mucuna pruriens</i> L. (Mucuna cv. 'Vine 90 días').....	8
2.1.3. Sorgo forrajero (Nervadura marrón, BMR)	11
2.2. Calidad de los forrajes	13
2.2.1. Palatabilidad.....	14
2.2.2. Concentración de nutrientes.....	15
2.2.2.1. Carbohidratos.....	16
2.2.2.2. Proteína.....	17
2.2.2.3. Vitaminas.....	19
2.2.2.4. Minerales.....	21
2.2.2.5. Agua.....	22
2.2.3. Digestibilidad	23
2.2.4. Consumo	24
2.2.5. Factores Anti-nutricionales (FANs).....	25
III. Materiales y Métodos	31
3.1. Localización y condiciones climáticas.....	31
3.2. Tratamiento y diseño experimental	32
3.3. Cultivación	32
3.4. Procedimiento de muestreo	33
3.5. Rendimiento de materia seca, composición botánica y química.....	34
3.6. Procedimiento de análisis de laboratorio	34
3.7. Análisis estadístico	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Composición botánica.....	36
4.1.1. Rendimiento total	36
4.1.2. Rendimiento de materia seca por componente.....	40
4.2. Composición química.....	45
V. CONCLUSIONES	52
VI. IMPLICACIONES.....	54
LITERATURA CITADA	55
APENDICES.....	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones climáticas durante el ciclo de investigación, Estación Experimental Agrícola, Isabela, 2008.	31
Cuadro 2. Rendimiento total de materia seca en dos periodos de cosecha	37
Cuadro 3. Comparación del rendimiento total de materia seca del sorgo en asociación y en monocultivo.....	40
Cuadro 4. Composición botánica por tratamiento en término de rendimiento de materia seca en asociación o monocultivo.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las parcelas en el predio (Isabela 2008)	33
Figura 2. Efecto principal de tratamiento sobre el rendimiento total de materia seca.....	36
Figura 3. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre el rendimiento total de materia seca.....	39
Figura 4. Efecto principal del mes de cosecha sobre la presencia de maleza, sorgo, lablab y mucuna.	42
Figura 5. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre la presencia de malezas.....	43
Figura 6. Contenido de fibra detergente neutro y ácido a través de los meses de cosecha.	45
Figura 7. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre la fracción de fibra neutra.....	47
Figura 8. Efecto del tratamiento sobre la fracción de proteína bruta.	48
Figura 9. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre la fracción de proteína bruta.....	49
Figura 10. Relación lineal entre la fracción de hemicelulosa y el contenido de proteína bruta.	50

LISTA DE APENDICES

Apéndice 1. Efecto principal de tratamiento sobre el rendimiento de materia verde.	65
Apéndice 2. Efecto principal de corte sobre el rendimiento de materia verde	65
Apéndice 3. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre el rendimiento de materia verde.	66
Apéndice 4. Efecto principal de tratamiento sobre la fracción de hemicelulosa.	66

I. Introducción

El gran reto en la ganadería moderna consiste en incrementar la producción de carne y leche, en forma acelerada y sostenible, de tal manera que permita garantizar la demanda de la población humana y también garantice la conservación de los recursos naturales y del ambiente. De esta manera se minimiza la compra de insumos químicos, reducir la contaminación ambiental y destrucción de los recursos naturales (Giraldo, 1999). La alimentación representa el factor más importante en la ganadería, y particularmente los forrajes en la dieta de los rumiantes constituyen la principal fuente de energía para más de 90% de los herbívoros del mundo (Henzell, 1981). Sin embargo, en el trópico existen varios factores limitantes que impiden una producción forrajera de calidad para cumplir los requerimientos del animal. Dentro de estas limitaciones están la baja productividad de las gramíneas nativas, la deficiencia proteica y la incidencia de malezas invasivas que se revelan ineludibles.

La asociación de leguminosas con gramíneas (ALG) puede ser una alternativa sostenible para solucionar el problema de la alimentación de rumiantes y así ayudar a conservar el medio ambiente. De igual forma Sánchez (1998), Hess y Lascano (1997) revelan que la ALG representa una opción económica para mejorar la producción animal en las regiones tropicales, debido a que la incorporación de leguminosas en los sistemas de manejo de forrajes es una práctica bastante común. A menudo, la asociación bien equilibrada de leguminosa-gramínea se hace difícil de integrar puesto que requiere de algunas condiciones de siembra para evitar efectos de competencia o dominio de

componentes botánicos con vistas a producir forraje de buena calidad. La proporción de la leguminosa en la pradera, para obtener el máximo beneficio de las asociaciones debe estar entre 30 a 40%, ya que valores mayores o menores a estos porcentajes traen como consecuencia, una disminución en producción de forraje y en producción animal (Hernández et al., 2005).

Existen pocos estudios que enfatizan el aprovechamiento de esta mezcla de especies y demuestren como la contribución de las leguminosas puede mejorar la calidad de los forrajes y aumentar la producción animal. Actualmente, la alta demanda de carne y leche y además los costos elevados de alimentos concentrados obligan a la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes en la lógica de nutrición de los rumiantes.

Objetivo

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de los sistemas de siembra en monocultivo y asociaciones de las leguminosas anuales (*Lablab purpureus* cv. 'Rongai' y *Mucuna pruriens* cv. 'Vine 90 días') -sorgo forrajero (cv. Nervadura marrón; BMR) sobre su composición botánica, rendimiento de materia seca (MS) y composición química [proteína bruta (PB) y fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)].

II. Revisión de literatura

La nutrición adecuada de rumiantes es esencial para un nivel alto de producción de carne y leche. Sin embargo, la calidad nutritiva representa el factor clave de la alimentación. Esta incluye algunas características inherentes tales como la palatabilidad del forraje, la composición química y digestibilidad. La calidad se refiere a la capacidad del alimento a suplir los requerimientos del animal para mantener su balance energético y nutritivo. De manera general, el rumiante representa el vehículo que prueba la calidad, y la producción es la medida crítica de dicho vehículo. El análisis químico del alimento es más comúnmente usado para determinar los componentes nutritivos que son las guías para balancear una buena ración. Las regiones tropicales se caracterizan por el crecimiento de forrajes de baja calidad. La incorporación de leguminosas en asociaciones forrajeras mejoran los rendimientos, el valor nutritivo y la distribución estacional de las pasturas, contribuyendo a un incremento de la producción animal (Shelton, 1998). El aumento en nivel de proteína y de la digestibilidad de la ración incrementa el consumo. Además, este aprovechamiento se ve más claro durante la estación seca cuando las gramíneas maduran rápidamente y su valor nutritivo no es suficiente para sostener la producción animal (Minson, 1990; Ullrich et al., 1994). Estas características destacan la importancia de la utilización de las leguminosas como alternativa para disminuir el uso de concentrados cada vez más caros con implicación directa sobre los costos de producción.

2.1. Asociación Leguminosa-Gramínea

Las asociaciones de leguminosas con gramíneas se definen como la interrelación armónica y equilibrada entre dos o más especies, de ambas familias botánicas (Sánchez, 1998). Estas asociaciones se pueden realizar con leguminosas nativas, que se encuentran en el pastizal o con especies introducidas y adaptadas. Generalmente las gramíneas tropicales no cumplen los requerimientos en proteína bruta para el mantenimiento animal. Las gramíneas tropicales presentan contenidos de proteína total bajos, inferiores al 7% durante la época seca, cuando el aporte de nitrógeno es deficiente, lo cual afecta el consumo voluntario y consecuentemente, la producción animal (Villaquirán y Lascano, 1986). Las leguminosas tropicales incrementan la proteína de la dieta, la tasa de pasaje, el consumo, y subsiguiente el desempeño animal cuando se añaden a monocultivos de gramíneas tropicales (Sotomayor-Ríos y Pitman, 2001).

La asociación de cultivos busca mejorar la eficiencia de uso de la tierra, el balance proteína-energía, la estabilidad del sistema y reducir el riesgo de producción (Arias y Muñoz, 1983). Además, las leguminosas ayudan a reciclar el nitrógeno atmosférico mediante la fijación biológica. Así se mejora la producción de forraje y la fertilidad del suelo. Usualmente una buena asociación leguminosa-gramínea puede aumentar la ganancia de peso en novillos de 30 a 50% y sostener una capacidad de carga de 3 a 10 veces en comparación con pastos nativos (Mannetje y Jones, 1990; Shaw, 1961). Por otro lado, Thomas (1994) considera que con la introducción de leguminosas en las pasturas se

puede incrementar las ganancias de peso del animal y la utilización de las pasturas de 53% y 33% respectivamente, sin disminuir las reservas del suelo. Varios estudios muestran algunas deficiencias en los objetivos (adaptación, calidad, y persistencia) de mejoramiento forrajero de nuevos cultivares (leguminosas y gramíneas) en el ambiente tropical. Las especies distintas se adaptan a diferentes condiciones edáficas y climáticas; una especie que crece bien en una serie de condiciones no sobrevive en otra (Burt y Rotar, 1983). De hecho la identificación de especies mejor adaptadas a los diferentes factores abióticos (Ej. suelo y clima) es indispensable para lograr una producción animal exitosa.

2.1.1. *Lablab purpureus* L. (Lablab cv. 'Rongai')

Lablab purpureus es tal vez la leguminosa tropical africana más tolerante a sequía (Skerman et al., 1988). Algunos autores la consideran de origen indio creciendo ahora ampliamente a través de África como abono verde de crecimiento rápido y como forraje anual (Murphy y Colucci, 1999). Inicialmente clasificado como *Dolichos lablab* pero esta conocido alrededor del mundo bajo varios nombres: hyacinth bean, garbanzo, chimbolo verde, poroto japonés, y Indian bean. El *lablab* es una planta trepadora herbácea de la familia de las Fabáceas cuyos tallos cilíndricos y vellosos alcanzan los 6 m de largo y se levantan hasta 8 dm del suelo. La raíz es pivotante, las hojas son trifoliadas con folíolos ovalados a romboidales, redondeados en la mitad inferior, casi lisas, pubescentes por el envés, ubicadas al cabo de pecíolos largos y delgados, acanalados. Esta cultivada en las zonas tropicales de África y América como

forraje y por su fruto. Las flores forman inflorescencias en forma de racimos axilares, con pedúnculos de unos 4 dm de largo. El cáliz es tubular; el fruto aplastado, oblongo, de unos 8 por 2.5 cm, liso, dehiscente. Contiene tres a cinco semillas elípticas, de alrededor de 1 cm de largo, pardas o negruzcas (Binder, 1997).

El lablab se adapta a diferentes tipos de suelos (pH de 4.5 a 8.0; prefiere suelos bien drenados) y condiciones climáticas amplias, desde el nivel del mar hasta 2000-m de altura. Tolera sequía y crece en áreas de precipitación pluvial entre 200 a 2500-mm anual. Es una planta sensitiva al fotoperiodo y se considera como planta anual de verano. El inicio de la vaina varía de 60 a 70 días y continua hasta 90 a 100 días aunque para producir semillas se necesita una maduración de 150 a 210 días después de la siembra. Se ha reportado varias plagas en su cultivo, como por ejemplo en Puerto Rico se encuentra el *Ceratoma ruficornis* (bean leaf beetle) y el *Callosobruchus spp* (Bruchid beetle larvae) que daña las semillas. Se cultiva de manera similar el caupí (*Vigna unguiculata*), tanto por sus semillas comestibles como para la producción de heno y por su valor respecto a otras cosechas, a fijar nitrógeno atmosférico hasta 200 Kg/ha/año (Monegat, 1991).

El lablab se cultiva en monocultivo o en asociación con el maíz (*Zea mays*) o el sorgo (*Sorghum spp*). Crece rápidamente y tolera bien el pastoreo. Dentro de los doscientos tipos de lablab reconocidos, solo dos cultivares 'Rongai' y 'Highworth' son comercialmente disponibles y adicionalmente hay tres subespecies (*ssp purpureus*, *ssp benghalensis* y *ssp uncinatus*) que han sido

identificadas (Cameron, 1988). Varios cultivares se han usado exitosamente en siembras de cobertura para el control de malezas, minimizar erosión y como abono verde. El cultivar 'Rongai' (nombre de un distrito de Kenia) se caracteriza por tener una maduración lenta y mantenerse en crecimiento vegetativo luego del corte o daños de heladas. En caso de ausencia de helada la floración puede seguir por varios meses (Oram, 1990; Cameron, 1988). Se ha reportado una producción anual promedio de biomasa y materia seca de 71.4 y 46.6 t/ha después de doce semanas de siembra (Nworgu y Ajayi, 2005). Según Murphy et al. (1999) el lablab cortado a los 117 días obtuvo una producción de materia seca de 4.7 t/ha. A medida que se acerca la maduración se observó una relación hoja-tallo cuadrática con valores máximo y mínimo de 2.5 y 0.7 a los 28 y 101 días después de germinación, respectivamente. La proteína bruta varió con respecto a la edad de corte y en función de la parte considerada, de 14.8 a 21.0% en un periodo de 101 y 46 días después de la germinación (ddg) por la planta entera, mientras que las hojas tuvieron 21.4 y 30.3% entre los 88 y 135 ddg, respectivamente. Schaaffhausen (1963) revela que la hoja del lablab no tiene taninos mientras que la semilla puede tener otros factores anti-nutricionales como fitatos, anti-tripsinas y taninos. En base de materia seca los resultados de investigaciones de varios autores desde el 1966 hasta 1998 indicaron que la planta entera tiene un promedio de fibra cruda de 27.8% con media de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) de 43.0%, 38.6%, y 7.1%, respectivamente (Murphy y Colucci, 1999).

Sin embargo, Murphy et al. (1999) reportaron que estas fracciones de la fibra solo aumentaron hasta 100 ddg.

Por otra parte, Shehu et al. (1999) revelan que cuando las condiciones son favorables para el crecimiento del lablab y el sorgo, el segundo se beneficia más en franja doble con el primero que en banda simple. El grado de competencia entre cultivos asociados es determinado por la densidad y el patrón de siembra. La asociación necesita una combinación armónica para que las plantas se aproximen y el sorgo se aproveche del nitrógeno que fija el lablab, a pesar de la competencia por otros nutrientes (fósforo y potasio) que se establecerá. De esta manera el lablab puede ayudar a aumentar el contenido de proteína en el tallo del sorgo, lo que es una mayor limitación del ganado durante la estación seca.

2.1.2. *Mucuna pruriens* L. (*Mucuna* cv. 'Vine 90 días')

Mucuna pruriens es una leguminosa originaria de la India (Ball et al., 2002), y se encuentra en diferentes partes del mundo como África tropical, y el Caribe. Esta leguminosa tropical de la familia de las Fabáceas es conocida como *grano de terciopelo, pica, picapica, frijol terciopelo, chiporazo, chiporro, ojo de buey, ojo de venado, kapikachu, nescafe, grano del mar, kratzbohlen, konch, yerepe* (Yoruba) y *atmagupta*. La mucuna tropical es una planta de ciclo anual, arbusto trepador con tallos largos que le permiten llegar a más de 15 m. Las hojas son trifoliadas, compuestas por folíolos grandes, de forma ondulada; las inflorescencias presentan racimos largos de 50 cm. Las flores producen vainas de 9 a 13 cm que contienen 3 a 6 semillas cubiertas por una pubescencia muy

fina, y las semillas de color cenizo con hilo color blanco bastante saliente (Reyes-Jiménez et al., 2001).

El género mucuna fue introducido a Estados Unidos a finales del siglo 19 y abarca alrededor de 150 especies de leguminosas anuales y perennes (Eilittä et al., 2000). La planta tiene una buena tolerancia a factores abióticos desfavorables, como la sequía, baja fertilidad y acidez. Se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 2,100 m.s.n.m y en zonas con precipitaciones de 650 a 2,500-mm anuales (Skerman et al., 1991). Las principales plagas y enfermedades que se han reportadas en el cultivo de la mucuna agrupan la vaquita (*Diabrotica* spp), la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn.), la maya (*Fusarium* spp) y la babosa (*Vaginulus plebeius* Guilding).

En los últimos años, la mucuna se uso ampliamente en varias investigaciones en Centro América y el Caribe que revelan su contribución al mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante fijación biológica del nitrógeno (200 Kg/ha/año) y su rol en el control de nematodos fitoparásitos (Flores, 2005). Además, se utilizó para la producción de forraje y como cultivo de cobertura (Skerman et al., 1991). La variedad *Utilis* (syn. *Stizolobium deeringianum* o velvet bean) revela una buena fuente de mantillo muerto ‘*dead mulch*’ para los sistemas de labranza mínima (Haque et al., 1986). Normalmente, la mucuna tiene un ciclo completo de 210 a 240 días, sin embargo, el cultivar ‘Vine 90 días’ como su nombre indica madura a los 90 días. El mismo tiene un crecimiento compacto, siendo menos vigoroso que las otras variedades de mucuna tropical como las especies *hassjoo*, *aterrima*, *capitata*, *utilis* y *pruriens*. Asimismo, la

vaina no cuenta con los pelos irritantes y la planta no produce guía para trepar. El desarrollo del 'Vine 90 días' no está influenciado por el fotoperiodo y por lo tanto puede florecer y producir semilla en cualquier estación del año (ECHO, 2006).

La mucuna produce anualmente de 11 a 46 ton/ha de materia verde, de 6 a 7 ton/ha de materia seca y 3.8 ton/ha de semillas (Skerman et al., 1991). La planta puede ser usada como forraje en la alimentación de animales domésticos a partir de los 84 días de edad con un rendimiento de 25 ton/ha de materia fresca, 28% de materia seca, 15% de proteína, 1.43 Mcal/kg MS de energía neta, 66% de digestibilidad de la materia seca y 33% de fibra detergente ácido, por lo cual representa una alternativa para la alimentación de animales (Escudero, 2005). La mezcla de 80% de materia seca de forraje de sorgo y 20% de materia seca de mucuna alcanzan contenidos de proteína del 10% y digestibilidad del 70% (Reyes-Jiménez et al., 2001). Siddhuraju et al. (1996) indican que la mucuna contiene varios factores anti-nutricionales tales como tripsina-inhibidora, lecitinas, fitatos, fenoles, glucósidos cianogénicos, α -amilasa-inhibidora, taninos y L-3-4 dihidróxido-fenilalanina (L-Dopa) en las semillas que afectan su palatabilidad y el uso por los humanos y animales. A pesar de esto, las investigaciones de Mupangwa et al. (2002) indican que al introducir mucuna como suplemento proteico en una dieta de baja calidad, esta resultará en una mejora en la digestión, así como en el flujo de nitrógeno post-ruminal y la retención de nitrógeno en pequeños rumiantes.

2.1.3. Sorgo forrajero (Nervadura marrón, BMR)

Principal sustituto del maíz, el sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) se cultiva en muchas regiones del mundo siendo los principales productores Estados Unidos, India, México, China, Nigeria, Argentina, Sudan y Australia. Se cree que su origen es de África ecuatorial pero la planta ha sido conocida en la India desde la época prehistórica (Sánchez, 1975). El sorgo pertenece a la tribu *Andropogoneae* y de la familia *Poacea*. Esta especie se trata como planta anual, aunque es una hierba perenne y en los trópicos puede cosecharse varias veces al año. El ciclo de la planta varía según la variedad y la región. Usualmente las mejores variedades maduran a los 120 a 140 días. El sorgo se conoce bajo varios nombres: mijo grande y maíz de Guinea en África occidental, kafir en África austral, duro en el Sudán, mtama en África oriental, iowar en la India y kaoliang en China (Purseglove, 1972). Produce tallos erectos, sólidos o gomosos que alcanzan alturas entre 1.5 a 4.5 m (Mas et al., 2006). Las hojas son alternas sobre el tallo y las vainas foliar son largas. Tiene inflorescencias en panojas y se caracteriza por presentar espiguillas que nacen de a pares. Las cariósides de 4 a 8 mm esféricas y oblongas varían del color blanco, negro rojizo a amarillo pardo. Se adapta a climas tropicales y subtropicales con precipitación anual de 250 a 1270 mm. El sistema radicular de la planta tiene raíces adventicias fibrosas de amplia distribución que pueden llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Esta favorece una buena resistencia a la sequía. El sorgo necesita temperaturas más altas que el maíz para su germinación (12-13° C) y desarrollo.

Su crecimiento es escaso por debajo de los 16° C, y óptimo en los 26° C. Resiste mejor que el maíz la sequía, las altas temperaturas y los vientos fuertes. También, tolera la salinidad y diferentes niveles de acidez y puede utilizarse tanto el grano como la planta entera para la alimentación de rumiantes. Las producciones son inferiores a las del maíz (5-21 ton MS/ha en seco y de 14-33 ton MS/ha en regadío), aunque tiene capacidad de rebrote (UPNA, 2007).

Guerrero (1984) indicó que el valor energético del grano de sorgo es un poco inferior al del maíz. Se puede estimar como media 1,08 UF/kg. Comparándolo con el grano de maíz, el del sorgo es generalmente un poco más rico en proteínas, pero más pobre en grasa; como las de maíz, son de un valor biológico bastante débil; son particularmente deficientes en lisina. El contenido de proteínas del grano de las variedades cultivadas en México varía entre 8.5 a 9.0% (Sánchez, 1975).

Mayer (2005) indica que en los últimos años se obtuvieron nuevas variedades e híbridos de especies forrajeras para ser empleados en los sistemas ganaderos de Argentina. Quizás, uno de los que mayor impacto produjo son los sorgos BMR, tanto para pastoreo directo en la época estival como para forraje conservado (ensilajes de planta entera o diferidos en pie) para el otoño-invierno. En diferentes trabajos que se han realizado, se observa que a medida que las plantas avanzan en su estado de madurez (del 10% de panojamiento a grano pastoso y duro), disminuye su digestibilidad y la proteína bruta (PB), paralelamente, los niveles de fibra y de almidón aumentan. Mientras que la evolución de los carbohidratos solubles (CNES) se muestra muy aleatoria.

La materia seca, la PB, la fibra detergente neutro (FDN) de la planta entera varían respectivamente en por ciento de 20.0 a 47.0, 6.3 a 8.7 y 44.2 a 58.0 en la misma etapa fenológica (Mayer y Vitali, 2006).

Por otro lado, es bien conocido el riesgo de intoxicación de rumiantes cuando las plantas de sorgo acumulan glucósido cianogénico, la duralina que es el precursor de cianuro. Este compuesto se hidroliza durante la masticación formando ácido cianhídrico (HCN), altamente tóxico. La duralina puede acumularse en plantas jóvenes en crecimiento, en los rebrotes tras un pastoreo o corte y en plantas que han detenido su desarrollo por condiciones adversas (sequía, helada al final del ciclo) (UPNA, 2007).

2.2. Calidad de los forrajes

Una de las maneras de aumentar la producción animal es de mejorar la calidad de la dieta. En los trópicos se encuentran especies forrajeras con alto valor nutricional que representan un potencial como recurso alimenticio para aumentar la producción animal. Los rumiantes son particularmente, adaptados para consumir forrajes y por lo tanto una buena fuente de pasto es indispensable para mantener las diferentes funciones vitales. El concepto de calidad en término de los forrajes se puede definir como la capacidad que tienen para cumplir los requerimientos nutricionales del animal. El valor nutritivo es un indicador de la calidad expresado por la concentración de nutrientes del alimento, y en el mismo sentido Norton (1993) lo define como una función de la cantidad de alimento ingerido y la eficiencia con la cual los nutrientes se extraen durante el proceso de digestión.

Mientras que para Skerman et al. (1991) y Vicente-Chandler et al. (1983) la cantidad de forraje que ingiere el ganado es tal vez el factor de mayor importancia que determina su valor nutritivo. Sin embargo, desde el punto de vista de Mott y Moore (1969) hay una distinción entre valor nutricional y calidad de los forrajes. Los principales factores que influyen la calidad incluyen la palatabilidad, el consumo, la digestibilidad, la concentración de nutrientes, el desempeño animal y los factores anti-nutricionales.

2.2.1. Palatabilidad

De manera general los rumiantes evitan forrajes con sabores amargos. Para alimentarse el animal tiene la capacidad de seleccionar las plantas o unas partes palatables del forraje, pues ejerce una discriminación entre los alimentos. La palatabilidad integra varios fenómenos que incluyen olor, sabor y textura además de efectos nutritivos y tóxicos (Preston y Leng, 1989; Provenza, 2007). El ganado posee receptores en la lengua para distinguir entre sabores salados, dulces, amargos y ácidos (Araujo-Febres, 2005). Las variaciones de estos sabores envían señales en forma continua al control central de percepción del animal (Bondi, 1988). La sensación de sabor puede ser afectada directamente por problemas olfatorios con consecuencia para el consumo de alimentos por los animales. Bell (1984) revela que los animales saludables rechazaron el alimento contaminado con heces aunque los que son afectados con bulbotomía olfatoria lo consume. Forbes (1986) indica que los animales utilizan el sabor, el olor y estímulos táctiles para diferenciar las especies vegetales. Usualmente un forraje de alta calidad es altamente palatable, aun cuando los animales tienen

restricción con especies menos aceptables, el desempeño puede ser completamente satisfecho si la calidad nutritiva es alta y el consumo no se reduce (Ball et al., 2002). Dumont et al. (2002) revelan que las modificaciones de la composición florística (botánica) de las pasturas ejercen un importante efecto sobre las preferencias de los animales en pastoreo. Además la palatabilidad puede ser influenciada por la etapa de crecimiento de la planta, el follaje, la fertilización y estiércol, la humedad y los daños de plagas.

2.2.2. Concentración de nutrientes

El análisis de laboratorio de los forrajes representa un medio para predecir la importancia y la tasa de degradación que se ocurrirá después del consumo del animal. Así para formular las raciones se usa la información de la composición del alimento que resultara en la predicción de la repuesta animal. La composición química de las plantas y consecutivamente el valor nutritivo es el resultado de la distribución de los recursos fotosintéticos en los varios tejidos de la planta. Esta distribución en fuentes metabólicas, reservas y partes estructurales es relevante en forrajes vegetativos (Van Soest, 1994). Parte integral de la calidad, la composición química determina varios nutrientes donde los principales son la proteína, las vitaminas, las minerales y el agua. Para caracterizar el perfil de nutrientes en el alimento se usa generalmente el análisis global de Wendee y/o el método de Van Soest. El análisis proximal de Weende fracciona el alimento en cinco partes: proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y cenizas (Yapes et al., 2003). La grasa se determina por extracción con éter anhidro.

La PB se determina mediante la dosificación del nitrógeno total por el método Kjeldhal multiplicando por 6.25 (100/16). La FB se dosifica sometiendo el alimento a la acción sucesiva de un ácido y una base diluidos. La parte ELN que representa los glúcidos solubles se calcula por diferencia y las cenizas se extraen después de la incineración. Sin embargo, el método de Van Soest separa los carbohidratos de los alimentos en base a su disponibilidad nutricional para rumiantes y bacterias del rumen. Por eso se divide la materia seca de las plantas en dos fracciones la pared (insoluble) y el contenido (soluble) celular. Las muestras se hierven por una hora en una solución detergente neutra y luego una solución ácida, los residuos que resultan de este procedimiento permiten determinar con precisión el contenido en celulosa, hemicelulosa y lignina (Van Soest et al., 1991).

2.2.2.1. Carbohidratos

Los alimentos deben cumplir los requerimientos energéticos del animal para al menos mantener el metabolismo basal, indispensable para los procesos vitales del cuerpo. El concepto de la energía define la capacidad para llevar a cabo trabajo, se expresa usualmente en calorías. El uso de la energía alimentaria se basa sobre las teorías termodinámicas y indica que la energía bruta ingerida, después de las pérdidas calóricas (orina, heces, respiración), se retiene una parte en forma de productos (leche, carne, lana etc.). En general, la planta contiene un 75% de un carbohidrato u otro, la cantidad y distribución dependen de la edad, de la especie y de factores ambientales o agronómicos. Los carbohidratos de la planta pueden dividirse en una fracción, totalmente digerible,

parcialmente digerible, la FDN y la lignina indigesta. Los primeros son azúcares y polisacáridos solubles que están presentes en el contenido celular (glucosa, fructuosa, sacarosa, almidón) y los segundo son polisacáridos de la pared celular (celulosa, pectina y hemicelulosa). La fibra del forraje es esencial para mantener una buena salud del rumen y para maximizar la eficiencia de la actividad microbiana. El Consejo Nacional de Investigación (NRC por sus siglas en inglés) (2001) recomienda que la materia seca de las dietas para vaca lechera debe contener al menos 25% de FDN y el tres cuarto provienen de forrajes. Estos polisacáridos, donde la celulosa es más abundante, que se encuentran en los tejidos vegetales, en su mayoría están listos para ser fermentados en el rumen para proveer los ácidos grasos volátiles (AGV), fuente principal de energía para los rumiantes. La energía esta entregada a la célula animal mediante la oxidación del carbono y del hidrogeno contenido en el alimento.

2.2.2.2. Proteína

Las concentraciones de proteína en las leguminosas utilizadas tradicionalmente en la alimentación de rumiantes presentan niveles de 12 a 30%, valores altos en comparación con pastos maduros que oscilan entre 3 y 10% (Flores et al., 1998). El nitrógeno es el elemento más distintivo de las proteínas que, en promedio, contienen 16%. Es en esta base que se determina la concentración de los alimentos en proteínas. Las proteínas se clasifican en dos grandes grupos, los holoproteinas que por hidrólisis dan solo aminoácidos y los heteroproteinas cuyo además se encuentran otros productos no proteicos.

Las plantas jóvenes de los pastizales pueden tener 10 a 30% de su nitrógeno en forma de nitrógeno no proteico. Estos compuestos introducidos en el rumen con las proteínas alimentarias se transforman por los microorganismos antes de aparecer en el abomaso (Maynard et al., 1979). Esta actividad microbiana favorece el uso por los rumiantes de otras fuentes de nitrógeno no alimentario tal como la urea para sintetizar proteínas microbianas. Usualmente el análisis químico de las proteínas se expresa en proteína bruta y la parte disponible varía según la especie, la madurez de la planta y otros factores. En el contenido celular se encuentran las proteínas digeribles y en los cloroplastos se localizan las proteínas indigestibles.

Por otro lado la fertilización del forraje representa un factor importante que influencia el contenido de proteína, como lo reportaron Mayer y Vitali (2006) en estudios del sorgo BMR, el grano a 10% de panojamiento en bajo nivel de fertilizante nitrogenado tenía 7.2% de proteína mientras que en alto nivel se aumenta la proteína a 8.7%.

Los principales factores que influyen los requisitos proteicos del animal son: la especie, el estado fisiológico, el tipo de alimento, el contenido de aminoácidos, el nivel de producción y la razón proteína/energía. La proteína verdadera representa el 70% del total de N en los forrajes frescos, 60% en los heno y proporciones menores en los ensilajes. El valor nutritivo de las proteínas se relaciona con la aptitud a cumplir las necesidades nitrogenadas de los animales. Resultante de varios factores cuyos la digestibilidad, el contenido de aminoácidos, el valor biológico, la palatabilidad, etc. (Maynard et al., 1979).

2.2.2.3. Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas indispensables a la vida de los animales para mantenimiento, crecimiento y reproducción puesto que son vitales. Las vitaminas son irremplazables unas por otras y su ausencia causara disturbios característicos generalmente mortal. Su acción es específica y las cantidades diariamente necesarias son pequeñas. Actúan como agentes catalizadores del trabajo celular. Usualmente se clasifican en dos grupos: las liposolubles (A, E, K, D) y las hidrosolubles (C y complejo B). Con respecto a los rumiantes las vitaminas K y las del complejo B son sintetizadas en cantidades suficientes por los microorganismos del rumen para cumplir con sus requerimientos. Por tal razón solamente son requeridas las vitaminas A, D y E en la dieta. La vitamina A se sintetiza durante la absorción intestinal mediante el *B*-caroteno y luego se transporta en el hígado para ser almacenado. El *B*-caroteno es presente en la materia verde de las plantas pero es bien sensible a la oxidación. La actividad de la vitamina A se reduce rápidamente después del corte de la planta sobre todo si hay exposición a los rayos del sol. Un heno puede perder hasta 80% de su actividad vitamínica antes del almacenamiento y 95% después de 3 meses (Maynard et al., 1979). En el ganado bovino su principal síntoma de carencia se nota por una ceguera crepuscular. La deficiencia resultara una reducción del consumo alimentario, crecimiento lento, inapropiado crecimiento de los huesos, baja tasa de concepción y abortos.

La vitamina D resulta de la acción de los rayos ultravioletas de la luz solar sobre las provitaminas. En el reino vegetal la provitamina D existe en la forma de

ergo esteroles mientras que en el reino animal se presenta en la forma de hidróxido de colesterol. Generalmente las gramíneas y los alimentos forrajeros que no fueron colocados al sol después del corte están desprovistos de vitamina D. El rol fundamental de la vitamina D está relacionado con el metabolismo de absorción del calcio y su carencia provocara la osteomalacia debido a la descalcificación del esqueleto.

Los forrajes verdes y el germen de los cereales representan buenas fuentes de vitamina E. Reconocido como un antioxidante natural poderoso, la vitamina E juega un papel importante impidiendo la formación de peróxidos tóxicos resultantes del metabolismo de los ácidos grasos poli insaturados. La acción de la vitamina E está relacionada con el selenio para la protección de las membranas. Dentro de los signos la distrofia muscular parece la más usual en cordero (stiff lamb disease).

La vitamina K (2-metil-3-fitil-1, 4-nafto quinona) esta sintetizado por la micro flora del tubo digestivo, los rumiantes lo sintetizan ampliamente y cumple con los requerimientos del animal. El rol metabólico fundamental de esta vitamina está asociado con la coagulación de la sangre. Cabe mencionar el caso del "sweet clover disease" en animal joven caracterizado por una hemorragia debido a la presencia de una anti-vitamina el di-cumarol que se forma a partir de la alta cantidad de cumarina contenida en la planta.

Las vitaminas del complejo B forman un grupo que tienen en común la propiedad hidrosoluble, actúan como coenzimas y son sintetizadas por las levaduras. Sin embargo el reino vegetal es completamente desprovisto de

vitaminas B12 pero la síntesis microbiana de vitaminas en el rumen es suficiente para las necesidades del rumiante, esto representa una ventaja en comparación a los no rumiantes. Además es bien conocido el rol de la vitamina C como antioxidante que recupera los radicales libres producidos por la actividad normal de la célula o una condición de estrés. Estos mantienen la integridad estructural y funcional de las células inmunológicas importantes (Patra, 2007).

2.2.2.4. Minerales

El contenido de minerales del alimento está expresado globalmente en término de ceniza, es decir los residuos obtenidos después de la incineración de la materia orgánica en una mufla a 600°C. Las cenizas informan sobre la proporción de materia mineral del alimento. Según la clasificación más común los minerales se conocen como esenciales, tóxicos y no esenciales. Los esenciales abarcan los macro elementos (tales como: calcio, sodio, potasio y fósforo) y los micro elementos (tales como: yodo, manganeso y zinc) al estado de traza.

Es bien común la deficiencia de minerales en los pastos nativos. Usualmente resulta en una reducción en consumo y de la productividad animal. En este sentido Patra (2007) concluye que varios investigadores asumen que números minerales trazas están requeridos a alto niveles para el funcionamiento normal del sistema inmunológico para resistir a las infecciones, requerimientos para un crecimiento normal, eficiencia nutricional, gestación y lactación. Los minerales más ampliamente deficientes en pasturas nativas o mejoradas son fósforo, sodio, azufre, calcio, cobre y cobalto (Gartner et al., 1980).

La deficiencia de calcio, fósforo y azufre afecta la producción animal vía el efecto sobre el rendimiento forrajero, la composición botánica y la razón hoja/tallo del pasto (Rees, 1974).

Con respecto al organismo animal el calcio constituye 1.6 a 2.0% y representa el macro elemento de mayor cantidad dentro de los demás, su deficiencia implica síntomas de enfermedades tales como raquitismo, osteomalacia y fiebre de leche. Por su parte el fósforo cuenta con 0.9 a 1.1% y está implicado en enfermedades como pica o tetania de herbaje (Maynard et al., 1979).

El problema de interpretar los análisis de plantas es más complicado por que usualmente los principales factores limitantes de la producción animal en el trópico son las proteínas y/o energía. Solo, cuando se elimina la deficiencia de los principales nutrientes, se toman en cuenta la carencia de minerales. Crowder y Chheda (1982) indicaron que los requerimientos minerales de varias clases de ganado en diferentes condiciones tropicales no son precisamente conocidos y el contenido de minerales de los pastos durante diferentes periodos del año en varias regiones tal vez todavía no se han determinado.

2.2.2.5. Agua

En cuanto a importancia para el mantenimiento de la vida, el agua ocupa el segundo lugar, después del oxígeno. El agua es el componente principal de la materia viva y por supuesto representa una parte importante en el contenido de los forrajes. En general, las plantas con follaje bien desarrollado tienen 70 a 90% de agua, aunque es mejor de expresar el rendimiento y los análisis químicos en

base de materia seca para balancear las raciones. El agua se relaciona con la humedad del forraje y un alto contenido en el forraje verde se asocia con alta digestibilidad de la materia seca, y bajo contenido de la pared celular lo que indica una mejora calidad forrajera. En término de peso el agua cuenta para 50 a 80% del animal y esta agua se involucra en cada proceso fisiológico. Indudablemente el agua es el nutriente más importante en la dieta de los animales. Estudio previo revela que una pérdida de agua alrededor de 1/5 del peso corporal es fatal para vaca lecheras. Las vacas no pueden adaptarse a una restricción de agua, por consiguiente el consumo será grandemente reducido y consecutivamente el crecimiento o la producción a un nivel deseable. La cantidad de agua que necesita un animal diario depende de su tamaño, etapa de producción, condición y promedio de temperatura del día (Rossi, 2006).

2.2.3. Digestibilidad

La digestibilidad es una importante medida del valor nutritivo del forraje y se puede definir como la diferencia en valor entre el alimento ingerido y el material excretado por el animal, expresado en porcentaje de alimento ingerido. Así, la digestión completa de un forraje será la suma del contenido por la digestibilidad de sus diferentes componentes químicos (Javier, 1975). La conformación del estómago de los rumiantes favorece la digestión de grandes cantidades de forraje con alta contenido de fibra. Esta característica única permite el uso eficiente del alimento en comparación a los no rumiantes. Los trabajos de Akin y Borneman (1990) indican que los hongos son los primeros organismos en invadir y digerir el componente estructural de las plantas y tienen

una relación estrecha con las bacterias permitiendo así que estas penetren al compartimiento intracelular y colonicen el material vegetal, iniciando el proceso de degradación de las fracciones insolubles del alimento. Ball et al. (2002) revelan como la digestibilidad varía en función del tipo de material ingerido, por ejemplo el trébol blanco en estado joven puede ser de 80 a 90% digerible mientras que por un material maduro es a menudo de 50%. Autores como Welch y Smith (1969) y Van Soest (1994) indican que existe una tendencia de aumento en los tiempos de rumia cuando ocurre un aumento en los componentes fibrosos (FDN, FDA) de la pared celular de los forrajes. Además, en referencia a la materia seca del forraje, la suma de la digestibilidad de los componentes de los tejidos es afectada por la morfología la anatomía y la composición química. Norton (1993) y Dzowella et al. (1995) afirmaron que la digestibilidad de los pastos usados en la alimentación de rumiantes está muy relacionada con la proporción y grado de lignificación de las paredes celulares así como de la presencia de compuestos secundarios, principalmente taninos.

2.2.4. Consumo

La cantidad de forraje ingerido diaria cuando se ofrece alimento *ad libitum* determina el consumo animal. Es el factor más importante para indicar la ingestión total de energía de los rumiantes. Un mecanismo inherente al animal regula el consumo con respecto a su balance energético. Según Bondi (1988) el mantenimiento animal, los procesos productivos tales como el aumento de peso y la producción de leche dependen en gran parte del consumo de alimento. El peso se mantendrá cuando la ingesta es igual a los gastos calóricos.

Para Preston y Leng (1989) en una ración poco digerible pero bien balanceada en nutrientes, la distensión ruminal y la fatiga son aparentemente los mayores estímulos que interaccionan para reducir el consumo. Sin embargo, Montgomery y Baumgardt (1965) concluyen que los rumiantes ajustaran el consumo voluntario en relación a su demanda fisiológica para energía si el llenado del rumen no es una limitación. Autores como Silva et al. (2006) afirman que el estudio del comportamiento ingestivo puede afectar las prácticas de manejo adecuado con la finalidad de aumentar la productividad y garantizar un mejor estado de salud y longevidad de los animales. Las investigaciones de Vargas (1993) en ovejas africanas concluyen que existe una respuesta positiva del consumo al aumentar los niveles de oferta de una dieta básica compuesta de tallos de caña picados. Si un determinado grupo genético aprovecha mejor los nutrientes de una dieta, se puede afirmar que este grupo tendrá un mejor desempeño productivo (Cruz et al., 2001).

2.2.5. Factores Anti-nutricionales (FANs)

En la naturaleza, existen compuestos anti-nutricionales de los forrajes utilizados en los sistemas de producción pecuaria de diferentes regiones del mundo y pueden ser ingeridos por los animales, dependiendo del tipo y cantidad de forraje disponible (Reed, 1995). La limitación mayor del uso de los forrajes en la dieta animal, particularmente, las leguminosas es la presencia de factores anti nutricionales (FANs). Usualmente los forrajes de alta calidad son libres de anti nutrientes que puede desanimar el consumo del animal. Varias plantas tienen características inherentes como espinas, mal olor, sabor amargo o veneno.

Los FANs son compuestos químicos generados por las plantas, que influyen en la aceptabilidad animal (Ahn et al., 1997), inhiben la digestión al afectar la actividad catalítica de algunas enzimas (Delgado, 1998), producen efectos tóxicos (Midjavila, 1990) y pueden limitar la absorción de los alimentos (Liener, 1997). Según Kumar (1992) las plantas contienen hasta 1200 clases de compuestos secundarios, no todos se encuentran bien estudiados, pero los más conocidos son los taninos, glucósidos cianogénicos, alcaloides, saponinas, lecitinas, fitatos y tripsina inhibidores.

Los taninos son compuestos poli-fenólicos de peso molecular alto que se dividen en dos grupos, los que pueden hidrolizarse para causar manifestación tóxicas en el rumen y las procianidinas que derivan de la condensación de los precursores de flavonoides (Paterson, 1993). El tipo, y el contenido de los taninos y otros metabolitos secundarios, está influenciado por el genotipo de la planta (la especie y la variedad), las características ambientales (radiación solar y disponibilidad de agua), la velocidad de crecimiento, la madurez, la condición nutricional del suelo, la depredación y las enfermedades según Romero et al. (2000).

Gracias a la desintoxicación en el rumen los efectos negativos de la mayoría de los FANs son menos severos en los rumiantes que en mono gástricos. Los taninos consumidos a bajo nivel puede mostrar repuestas positivas tal como la inhibición de crecimiento de parásitos internos (González-Gómez et al., 2006) o la aumentación de las proteínas sobre pasantes del rumen, tal como revelado por Nguyen et al. (2003).

Los niveles adecuados de taninos en la dieta protegen parte del nitrógeno de la degradación ruminal y favorecen su utilización más eficiente en el tracto posterior. Los taninos condensados representan una alternativa en el control de infestaciones parasitarias en los trópicos y sub-trópicos. También los taninos son probablemente implicados en la prevención del timpanismo impidiendo la formación de espuma de proteína estable en el rumen.

Los cianógenos son β -glucósidos donde el aglicón contiene un grupo cianuro, el cual es hidrolizado por las enzimas (β -glucosidasas) para generar HCN (Chassagne, 1996). Sotelo (1997) revela que la habilidad de producir HCN se ha detectado en casi 1000 especies de plantas, y representan aproximadamente 90 familias y 250 géneros donde las mayores familias son: *Fabaceae*, *Poaceae*, *Araceae*, *Compositae*, *Euforbiaceae* y *Pasifloreae*. Las plantas cianogénicas han sido responsables en muchos casos de cianosis crónica en animales y humanos (Poulton, 1983). El ácido cianhídrico es un inhibidor efectivo de muchas metalo enzimas, particularmente de la citocromo oxidasa, la enzima terminal de la respiración en el primer paso de acción, provocando anoxia en los niveles celulares (Midjavila, 1990; Sotelo, 1997). La dosis letal de HCN en las vacas y los carneros es de 2.0-4.0 miligramos por kilogramo de peso vivo (Kumar, 1992).

Las lecitinas son proteínas de peso molecular variable y en muchos casos son formados de sub-unidades que se encuentran ampliamente en la naturaleza, principalmente en el reino vegetal. Tienen la propiedad de ligarse con los carbohidratos o moléculas que contienen carbohidratos en sus estructuras.

Liener (1994) revela que esta capacidad de ligadura favorece la aglutinación de los glóbulos rojos de varias especies de animales vía sus interacciones con receptores glicoconjugados específicos en la superficie de la membrana celular. Se pueden clasificar según Grant (1991) como tóxicos las lecitinas encontradas en habichuelas (*Phaseolus vulgaris* L.), como inhibidor de crecimiento (Ej. *Glycine max*, *Dolichos biflorus*) y en esencialmente no tóxicos (Ej. *Pisum sativum*).

La gran mayoría de las saponinas tienen la estructura de glucósido esterooidal C₂₇ o triterpénico C₃₆, generalmente constituidas por un aglicón poli cíclico unido a carbohidratos de carácter hidrofílico, lo que le aporta propiedades surfactantes (Kumar; 1992; Delgado, 1998). Se caracterizan por un sabor amargo, las propiedades espumantes, su efecto hemolítico sobre los glóbulos rojos y la inhibición de la fauna microbiana. En los rumiantes, los principales síntomas que aparecen son la anorexia, la pérdida de peso y la gastroenteritis (Kumar, 1992).

Las tripsinas inhibitoras (TI) son proteínas con la habilidad de inhibir las proteasas. Usualmente se presentan en forma de quimiotripsina, elastasas, y otros donde la serina constituye el sitio activo (Liener, 1994). Ampliamente encontrado en plantas, particularmente en leguminosas, y porque estas son extensamente usadas en alimentación animal es necesario un manejo adecuado para inactivarlas (tratamiento calórico) para proveer una digestión correcta de las proteínas en la dieta. Sobre todo es bien conocida la formación de complejos Tripsina-TI que resultara la liberación de colecistoquinina, el mismo implicara

mas secreción de tripsina por el páncreas y una situación crónica como tal producirá la hipertrofia/hiperplasia pancreática (Liener, 1994).

Los fitatos son compuestos fosfóricos naturales que pueden influir notablemente en las propiedades funcionales y nutricionales de los alimentos. Las semillas de gramíneas y leguminosas contienen cantidades considerables de fitatos que pueden contribuir de 60 a 80% de fósforo (Oberleas, 1973). El fósforo del ácido fítico (mio-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6-hexacis di hidrógeno) sirve de almacén principal de fósforo en las semillas maduras. El ácido fítico tiene una fuerte capacidad de enlace para formar complejos con cationes divalentes (Calcio, magnesio, zinc, hierro) y proteínas. Los complejos fitato-metálicos resultantes son insolubles a pH fisiológico y por lo tanto impiden la absorción intestinal de los minerales. Doherty et al. (1982) han analizado varias variedades de sorgo y se han encontrado que en el grano entero el fósforo de fitina iba de 170 a 380 mg por 100 g; más del 85 por ciento del fósforo total en el grano entero se hallaba en forma de fósforo de fitina.

Ampliamente encontrado en la familia *Fabácea*, los alcaloides constituyen uno de los más numerosos dentro de los productos naturales y presentan gran diversidad de estructura. Son termoestables y usualmente a concentraciones bajas. Todos los alcaloides son compuestos nitrogenados derivados de aminas de diferente naturaleza, son solubles en agua y sus efectos nocivos pueden eliminarse o atenuarse descartando los residuos acuosos (Sotelo, 1997). Reaccionan frente a los ácidos formando, de manera general, sales insolubles que pueden ser extraídas en solventes orgánicos.

Los alcaloides se encuentran en un 5-10% de todas las plantas, más usualmente en especies tropicales que en templadas. Las familias tales como *Amaryllidaceae* y *Compositae* presentan altos índices alcaloides. Estos metabolitos pueden ser perjudiciales para el ganado por que se encuentran uniformemente distribuidos en todas las partes de la planta (Garcia, 2004).

III. Materiales y Métodos

3.1. Localización y condiciones climáticas

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Universidad de Puerto Rico. Geográficamente la misma está ubicada en la parte noroeste de Puerto Rico a 67.3° longitud y 18.3° latitud, a 128 m.s.n.m. La temperatura media anual de esta zona es de 29.3°C, con una precipitación media anual de 1524 mm (Junta de Planificación, 2006). El suelo donde se estableció el experimento pertenece a la serie Coto (very-fine, kaolinitic isohyperthermic Typic Eustrustox). Gierbolini (1975) reveló que el suelo es profundo, con buen drenaje, ligeramente ácido y un poco permeable. Al principio de la investigación el análisis químico del suelo indicó un pH de 5.4 y contenido de materia orgánica de 2.6%. Los niveles de fósforo, potasio y calcio fueron 9, 85 y 1,107 ppm, respectivamente. Durante el ciclo de experimentación el micro clima varió según mencionado en el cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones climáticas durante el ciclo de investigación, Estación Experimental Agrícola, Isabela, 2008.

Periodo	Temp.max (°C)	Temp.min (°C)	Temp.med (°C)	V. viento (mph)	Precip. (mm)
Febrero	25.83	18.59	22.27	7.50	45.21
Marzo	26.05	18.06	22.17	7.48	28.45
Abril	24.56	16.08	20.60	6.29	130.05
Mayo	26.44	17.38	22.23	4.12	114.05
Junio	27.30	19.50	23.39	5.53	65.28
Julio	28.57	21.09	24.76	6.55	85.85
Agosto	28.82	20.74	24.66	5.15	129.03
Septiembre	28.14	19.65	22.52	3.34	314.20
Octubre	28.66	21.75	25.13	4.15	73.41
Noviembre	27.82	20.81	24.19	4.35	109.22
Ciclo de investigación	27.22	19.36	23.19	5.45	1094.75

3.2. Tratamiento y diseño experimental

Se evaluaron dos leguminosas: *Mucuna pruriens* cv. 'Vine 90 días' (M) y *Lablab purpureus* cv. 'Rongai' (L); y sorgo forrajero cv. Nervadura marrón (S). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco replicas en parcelas divididas. Las parcelas principales representaron los sistemas de siembra (asociaciones SL, SM; monocultivos L, M y S) y las sub-parcelas, los periodos de corte (dos intervalos de 90 días, mayo y agosto). La superficie total del predio fue de 29 x 29 m que se dividió en 25 parcelas de 5 x 5 m con 6 surcos y un espacio de 1 m entre bloques (Figura 1). El experimento se inició el 15 de febrero y se termina el 14 de noviembre 2008.

3.3. Cultivación

La preparación del suelo consistió en una labranza convencional (arado y pase de una rastra) para obtener una cama de siembra ideal. Mediante una sembradora mecánica se sembró el sorgo y el lablab a 61 cm entre hileras y 10 cm entre plantas. La mucuna se sembró manualmente a las mismas distancias y se intercaló, de igual manera que el lablab, entre las hileras de sorgo en asociación de cultivo. Se realizaron controles de malezas manualmente en los dos primeros meses de establecimiento. No se aplicó ningún fertilizante químico debido a que el análisis de suelo indicó un nivel adecuado de materia orgánica y macro elementos. Tampoco se aplicó un herbicida puesto que el manejo se hace difícilmente en la asociación de gramínea con leguminosa.

		5 m		1 m		5 m		1 m		5 m		1 m		5 m		
Bloque	I				II				III				IV		V	
	5m	SL				M				SM				L		S
1m																
5m	S				L				M				SM		SL	
1m																
5m	M				S				L				SL		SM	
1m																
5m	SM				SL				S				M		L	
1m																
5m	L				SM				SL				S		M	

S= Sorgo, L= Lablab, M= Mucuna

Figura 1. Distribución de las parcelas en el predio (Isabela 2008)

3.4. Procedimiento de muestreo

Se cosechó al azar un área central de 2 m² en cada parcela. El lablab y el sorgo se cortaron a 15 cm de altura y la mucuna a ras del suelo, a tres intervalos de 90 días después de la siembra (luego de cada corte se sembró de nuevo la mucuna) para determinar la biomasa en termino de composición botánica y rendimiento de materia seca, la PB, la FDN y la FDA. Cada muestra se pesó y se sacaron dos sub-muestras, donde una se usó para dividirse en sus componentes botánicos y la otra para análisis de laboratorio.

Cabe mencionar que debido a una alta incidencia de malezas, se descartó el análisis de la última cosecha.

3.5. Rendimiento de materia seca, composición botánica y química

Para determinar la composición botánica y el rendimiento de materia seca una de las muestras húmedas se dividió en sus diferentes partes (cultivo y maleza) y se colocó en bolsas de papel. La otra muestra se usó para determinar la composición química del forraje. Las muestras se pesaron y se colocaron en un horno a 65 °C por 48 horas. Luego del secado se pesaron de nuevo las muestras.

3.6. Procedimiento de análisis de laboratorio

Una de las muestras secadas se molió en un molinillo 'Wiley mill' para obtener partículas que pueden pasar por su cedazo de 1 mm de porosidad. En las facilidades del Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Industria Pecuaria, Recinto Universitario de Mayagüez y la Estación de Investigación en Agricultura Tropical (USDA-TARS por sus siglas en inglés), se procesó el análisis nutricional empezando por la determinación del porcentaje de nitrógeno expresado en concentración de proteína bruta ($N \times 6.25$) por el método micro-Kjeldhal (analizador de nitrógeno Kjeltex system 1002) (AOAC, 1990). El análisis del contenido de FDN y FDA se realizó en un laboratorio comercial (*Dairy one Forage Lab*, Ithaca, New York).

3.7. Análisis estadístico

Los datos se analizaron (ANOVA) usando el procedimiento PROC MIXED del programa estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Institute 2003) según el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \lambda_k + \alpha\lambda_{ik} + \varepsilon_{ijk}.$$

Donde:

Y_{ijk} = variable dependiente (materia seca y variables químicas)

μ = media general de los tratamientos

α_i = efecto del tratamiento i (SL, SM, L, M, S)

β_j = efecto del bloque j (1, 2, 3, 4, 5)

γ_{ij} = efecto aleatorio del tratamiento i en el bloque j (efecto aleatorio de la parcela completa)

λ_k = efecto del mes de corte k (mayo, agosto)

$\alpha\lambda_{ik}$ = interacción entre el tratamiento i y el mes de corte k

ε_{ijk} = error residual.

Para la separación de medias se usó una prueba de la diferencia mínima significativa (DMS o Fisher LSD en inglés) con un intervalo de confianza de 95%. Cuando se necesita comparar una combinación de tratamientos se realizaron contrastes apropiados. También se determinaron mediante regresiones lineales las diferentes relaciones (FDN, PB, FDA) usando el programa estadístico Infostat versión 2007.3 (Grupo Infostat, 2007).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición botánica

4.1.1. Rendimiento total

Al considerar el rendimiento total de la materia seca (MS) los resultados indican una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos. La producción de MS fluctuó entre 6.2 a 8.9 ton/ha durante el experimento según el método de cultivo (Figura 2). Comparando las medias de los tratamientos, las leguminosas lablab y mucuna asociadas con sorgo (SL y SM) son significativamente mayores que los monocultivos. El rendimiento del sorgo ocupa una posición intermedia entre las asociaciones y la mucuna con valor menor que las primeras y mayor que la segunda, aunque no haya sido significativamente diferente. Si bien se observó una producción de MS de la mucuna ligeramente superior que el lablab a pesar de una diferencia no significativa.

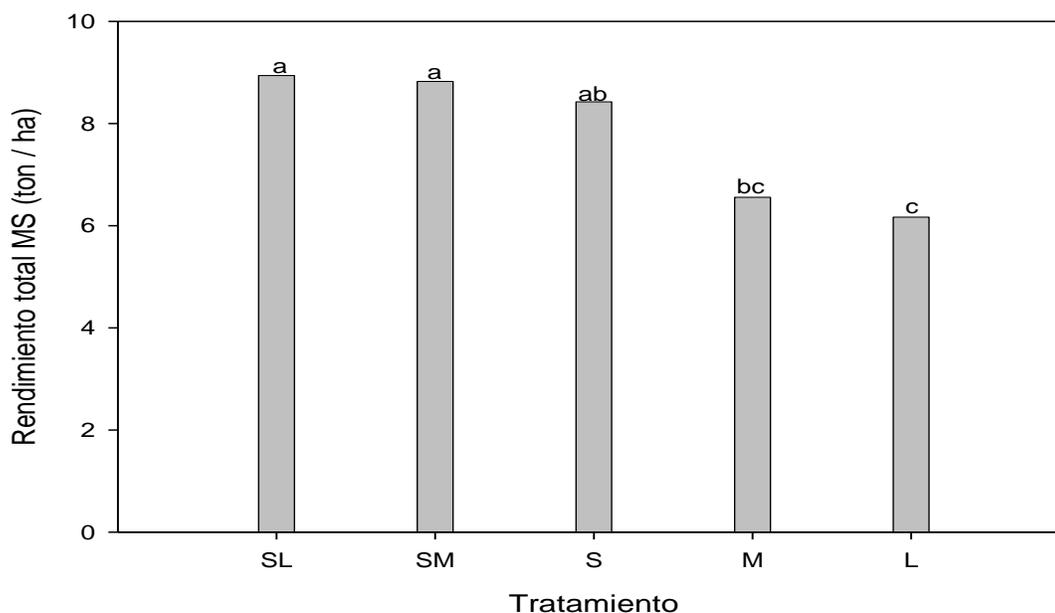


Figura 2. Efecto principal de tratamiento sobre el rendimiento total de materia seca.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre las medias con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

De hecho, mediante la asociación del sorgo con las leguminosas lablab y mucuna es posible aumentar el rendimiento total de materia seca. En base de esta información se confirmó que una distribución adecuada de la leguminosa en la parcela de sorgo puede ser beneficiosa para la producción de forraje. En el caso de los monocultivos de leguminosas es obvio que la nueva siembra de la mucuna resultó un aporte mayor (0.4 ton/ha) en su rendimiento en comparación al lablab en estado de rebrote.

En cuanto a los periodos de cosecha ($p>0.05$), los meses de mayo y agosto no se diferencian entre sí en término de rendimiento total de materia seca aunque el primero haya sobrepasado el segundo por 0.6 ton/ha (Cuadro 2). Dichos resultados indican una pequeña variación en la producción total de materia seca de los cultivos durante el periodo de investigación.

Cuadro 2. Rendimiento total de materia seca en dos periodos de cosecha

Corte	Mayo	Agosto	
	ton MS / ha		EE*
	8.1 ^a	7.5 ^a	0.42

* Error estándar de las medias, ($p>0.05$)

Dado que la mucuna ha necesitado de una nueva siembra luego de la primera cosecha mientras que el lablab y el sorgo solo se dejaron rebrotar, supuestamente por esta razón los rendimientos fueron mayores en mayo aun cuando no significativamente diferente. Aproximadamente 52% de la producción de MS se concentró en la primera cosecha.

El patrón típico sería una disminución del rendimiento luego del segundo corte y así sucesivamente. En el mismo sentido Massigoge et al. (2007) encontraron en los ensayos de híbridos de sorgo forrajero un contenido de 80-85% de la biomasa en los dos primeros cortes de tres cosechas. El rendimiento de los híbridos BMR varió entre 1.8 a 5.5 ton MS/ha.

Sandoval (2007) presentó valores mayores en rendimiento total de 11.1 a 14.6 ton de MS/ha al estudiar la asociación de maíz y mucuna en dos épocas de siembras realizadas en Lajas, Puerto Rico. Los resultados reflejan una tendencia a una mayor producción de maíz en comparación al sorgo del presente experimento. Las investigaciones en dos años consecutivos de Shehu et al. (1999) indicaron, para los monocultivos de lablab y sorgo, rendimientos de 6.6 a 6.8 y 1.9 a 4.5 ton MS/ha respectivamente; mientras que en asociación tuvieron un rendimiento entre 5.2 y 5.4 ton MS/ha. Los resultados de Shehu et al. (1999) son contrarios a los encontrados en este estudio ya que usaron un cultivar de sorgo (Bauchi short) diferente con un crecimiento pobre en el primer año y no tomó en cuenta la planta entera con las semillas. En este caso el monocultivo de sorgo sobrepasó de 3.9 toneladas el rendimiento de su segundo año mientras que la asociación haya sido mayor solo de 0.6. Además, es bien importante mencionar que los valores nuestros se relacionan a un ciclo de investigación en dos periodos de 90 días. Por otra parte, en términos de la materia verde, la asociación SL (37.6 ton/ha) tuvo un valor más alto y el monocultivo de mucuna un rendimiento más bajo (25.6 ton/ha).

Sin embargo, cuando se considera los periodos de cosecha, no se observó mucha variación en la producción, el mes de mayo fue casi igual que agosto (31.9 y 31.6 ton MV/ha).

En cuanto al efecto del tratamiento x corte ($p < 0.05$), según se observa en la Figura 3, el monocultivo de sorgo y sus asociaciones con lablab y mucuna siguieron la misma tendencia de mayor producción de materia seca total en los dos periodos. Los resultados fueron contrarios para los monocultivos de leguminosas puesto que presentaron valores más altos en agosto. Prácticamente se esperaba para el rebrote de lablab una producción inferior en agosto, sin embargo por lo que se ve hubo un rendimiento mayor en el monocultivo aunque la diferencia del corte de mayo no haya sido significativa.

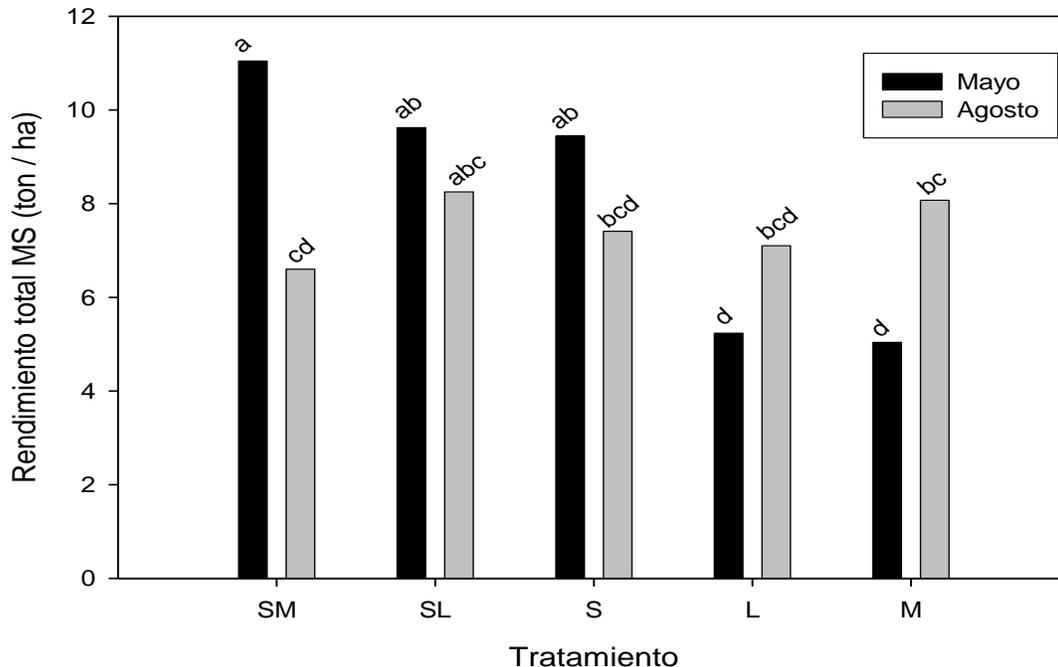


Figura 3. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre el rendimiento total de materia seca.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los meses con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

El Cuadro 3 indica que el promedio de la asociación de sorgo con las dos leguminosas (SL y SM) no es significativamente diferente al monocultivo en término de rendimiento total de materia seca. Mediante esta comparación se puede observar un aumento en el rendimiento que se relaciona mucho mas con las leguminosas pues no existe evidencia para un alza distintamente notable de la producción asociada o de monocultivo del sorgo.

Cuadro 3. Comparación del rendimiento total de materia seca del sorgo en asociación y en monocultivo.

Contraste				
Fuente de variación	GL	GL error	F Valor	Pr > F
SL y SM vs. S	1	16	0.27	0.6082

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. GL grado de libertad.

4.1.2. Rendimiento de materia seca por componente

Como indica el Cuadro 4 en término de la presencia de las malezas especialmente el pasto Johnson (*Sorghum halepense*), las leguminosas tuvieron valores más altos con una diferencia significativamente mayor de la mucuna. Además, el monocultivo de sorgo obtuvo un valor mayor con una diferencia no significativa (1.3 ton/ha) en comparación a las asociaciones. En el presente estudio las leguminosas demostraron que tienen el potencial para competir aun cuando las malezas produjeron un rendimiento indeseable. El desarrollo de las malezas estuvo favorecido en las leguminosas de monocultivo, es decir significativamente (2.2 y 4.4 para lablab y mucuna respectivamente) diferente en comparación a las asociaciones.

La proporción de malezas del monocultivo de sorgo solo tuvo una diferencia con la mucuna. Según el tratamiento, las proporciones de malezas fueron 6, 7, 36, 67 y 15%, respectivamente en SL, SM, L, M y S. Estos resultados pueden apoyarse sobre las investigaciones de Wiese et al. (1981) que señalaron que solo un tallo del pasto Johnson por metro de hilera cultivable redujo el rendimiento del sorgo granífero en 45 kg/ha. En el caso del sorgo, su fenología se caracteriza por un desarrollo inicial lento y las malezas representan uno de los principales factores que reducen su rendimiento. Las malezas aprovecharon del comportamiento poco agresivo de la mucuna ‘vine 90 días’ para crecer puesto que una otra variedad podría contribuir a controlarlas y cubrir el suelo luego de 2 meses y medio.

Cuadro 4. Composición botánica por tratamiento en término de rendimiento de materia seca en asociación o monocultivo.

Tratamiento	SL	SM	L	M	S	EE*
Composición botánica						
	Ton MS/ha					
Sorgo	5.68 ^a	6.26 ^a	NA	NA	7.11 ^a	0.74
Lablab	2.74 ^a	NA	3.94 ^a	NA	NA	0.77
Mucuna	NA	1.96 ^a	NA	2.13 ^a	NA	0.77
Maleza	0.52 ^c	0.59 ^c	2.23 ^b	4.42 ^a	1.31 ^{bc}	0.50
Rendimiento total	8.94^a	8.81^a	6.17^c	6.55^{bc}	8.42^{ab}	0.71

Hay diferencia significativa entre las medias con letras distintas en la misma fila DMS (P<0.05).

* Error estándar de las medias. NA no aplica. S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna.

Tal como ha sido reportado por García et al. (2001) para la variedad de mucuna *Stizolobium aterrimum* en cultivo de cobertura para control de malezas. En el mismo sentido de Díaz-Coronel y Estupinan-Veliz (2005) indicaron en una evaluación de cobertura de 60 a 240 días para *S. aterrimum* asociado con maíz, que a mayor cobertura haya una menor incidencia de malezas.

La Figura 4 indica como variaron los componentes del rendimiento durante el periodo de investigación. Una diferencia neta de la incidencia de las malezas a través del ciclo se destacó entre el mes de mayo y agosto. Al principio del establecimiento, se realizaron 2 controles manuales pues hubo una reducción efectiva de las malezas en mayo expresado por una diferencia (2.08 ton/ha) sobre dos veces del valor observado en agosto.

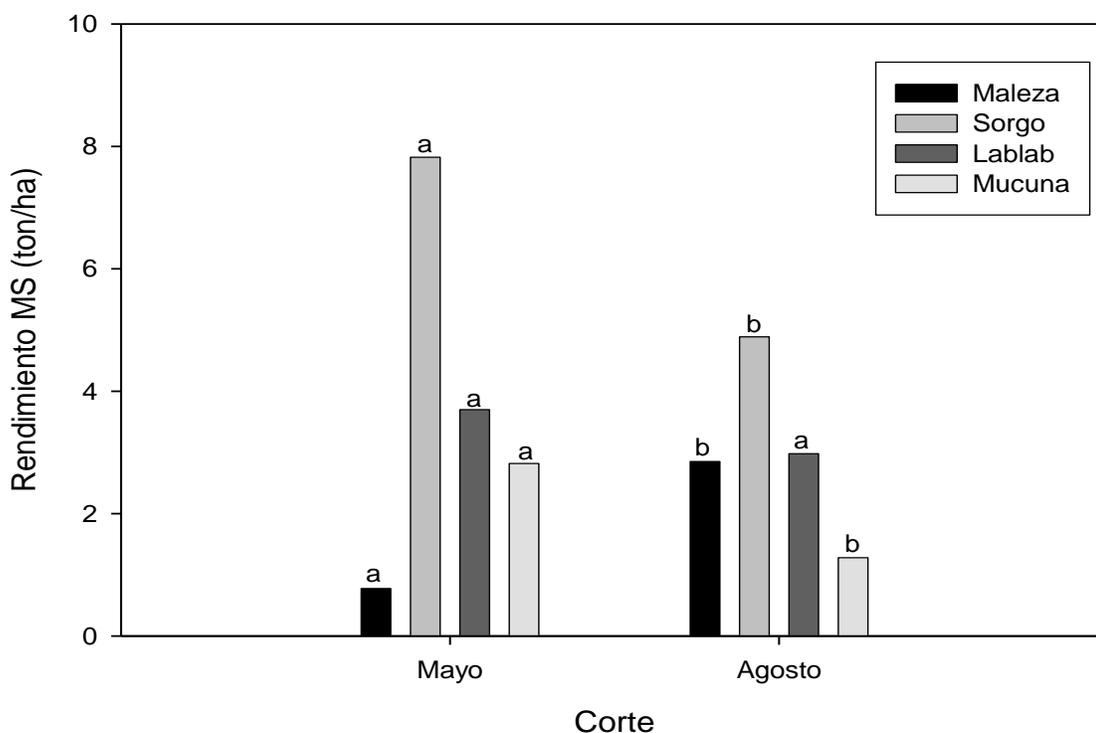


Figura 4. Efecto principal del mes de cosecha sobre la presencia de maleza, sorgo, lablab y mucuna.

Hay diferencia significativa entre los meses con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

Debido a la labranza mínima para sembrar de nuevo la mucuna y dejar rebrotar los otros cultivos, la invasión de malezas volvió a ser más severa en agosto afectando el rendimiento. Se puede relacionar también al aumento de la pluviometría que se nota en el intervalo de mayo hasta agosto.

La interacción (Figura 5) significativa ($p < 0.05$) entre tratamiento y corte para el componente maleza indica la misma diferencia entre los dos períodos. Mientras que la mucuna destacó el pico de crecimiento de malezas en agosto, la tendencia siguió la misma orientación de una menor incidencia en mayo para todos los tratamientos, aunque sola existió una diferencia significativa en las leguminosas.

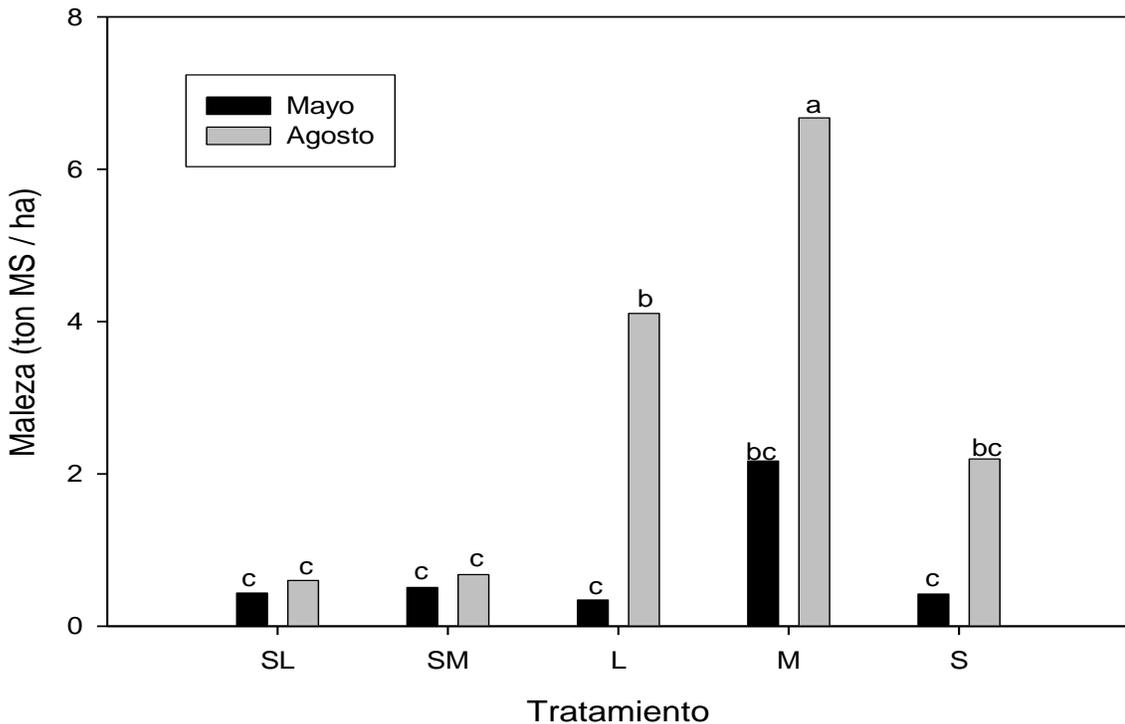


Figura 5. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre la presencia de malezas.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los meses con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

Para los componentes sorgo, mucuna y lablab, no hubo efecto en tratamientos de monocultivo como en asociación (Cuadro 4). La producción de cada componente considerado individualmente fue siempre superior en monocultivo, a pesar de una diferencia no significativa. En cuanto al período de corte, solo el componente lablab no presentó diferencia significativa entre los dos meses de cosecha en término de rendimiento (Figura 4). Estos resultados indican que el sorgo ofreció dos posibilidades de cosecha con una reducción significativa (7.8 a 4.9 ton/ha) luego del primer corte. El rendimiento del lablab luego del primer corte no implicó una diferencia significativa en el mes de agosto (3.7 a 3.0 ton/ha). La altura de corte de 15 cm no tuvo efecto en el rendimiento del lablab puesto que Monegat (1991) recomendó para planta forrajera, 2 o 3 cosechas y aconsejó no cortar la planta por debajo de 25 cm. En base de estos resultados, el lablab demostró una capacidad de rebrotar aceptable para producir forraje. Por otro lado, la mucuna presentó el rendimiento más bajo (2.8 y 1.3 ton/ha) en los dos periodos debido a una proporción importante de malezas.

Mientras que Sandoval (2007) encontró un rendimiento entre 1.7 a 3.0 ton MS/ha para mucuna en asociación con maíz, Reyes y Martínez (1997) señalaron rendimientos anuales de 4.2 para mucuna, 8.7 a 10.4 para mono cultivo de sorgo y 10.3 a 11.4 ton MS/ha de sorgo con cobertura de mucuna en un ensayo con fertilización. Sin embargo, los resultados de la presente investigación indicaron una mucuna muy poca agresiva para competir con las malezas y capaz de obtener un buen rendimiento.

De hecho los valores de este componente se aproximan a los resultados de Sandoval anteriormente mencionados.

4.2. Composición química

Usualmente en las gramíneas, el patrón típico se basa en que el contenido de proteína tiende a disminuir mientras que la proporción de fibra aumenta con la madurez fisiológica de las plantas. En relación a esta investigación para la FDN, la interacción de tratamiento x corte fue significativa ($p < 0.05$) y se puede apreciar en la Figura 7 la diferencia entre el mes de mayo y agosto en todos los tratamientos. Además se nota la tendencia de aumento de la FDN a través del tiempo (55.5 a 68.0%) como indica la Figura 6.

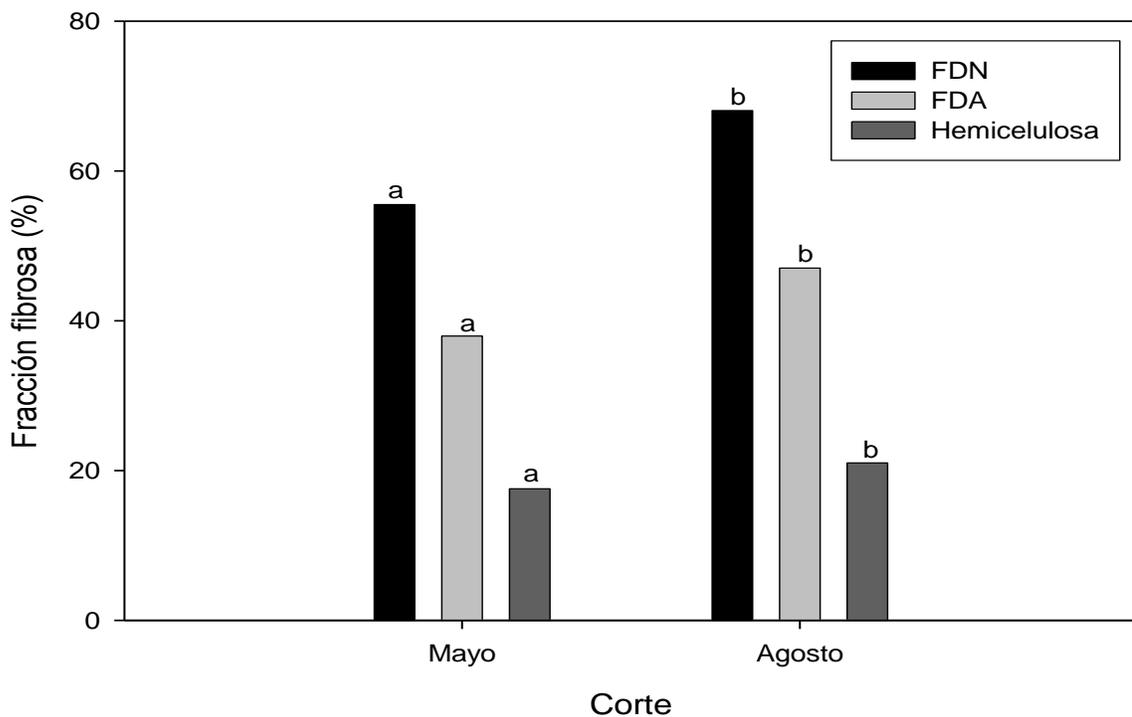


Figura 6. Contenido de fibra detergente neutro y ácido a través de los meses de cosecha.

Hay diferencia significativa entre los meses con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

Para la FDA, no hubo interacción mientras que los cortes se diferenciaron entre 37.9 a 47.0%. Sin embargo, los tratamientos no fueron significativamente ($p>0.05$) diferentes entre ellos para las fracciones FDN (60.1 a 63.9%), FDA (40.1 a 46.5%). En comparación a los trabajos de Massigoge (2007) relacionados con híbridos de sorgo BMR, el promedio de la FDN (64.0%) se aproxima y la FDA (26.9) se aleja bastante a los valores de la presente investigación. En este caso una explicación plausible sería un bajo contenido de carbohidratos solubles en la planta debido a la respuesta a los factores ambientales (alta temperatura y baja fertilidad del suelo) durante el crecimiento, como han sido reportados por Norton y Poppi (1995). Para asegurar un bajo nivel de fibra en el sorgo, lo ideal sería un pastoreo o corte antes de la producción de granos. Sin embargo, la necesidad para obtener un balance en el ciclo de los tres cultivos implicó una cosecha cuando el sorgo llegó a un estado de madurez de 90 días (grano lechoso). Además, se sabe que el momento óptimo para el picado del sorgo (grano pastoso a duro) (Mayer y Vitali 2006), pero para los BMR la información disponible es imprecisa y se necesitan varios años de evaluación para poder definir con criterio técnico el mejor momento de corte.

Los trabajos de Bayble et al. (2007) revelaron que el lablab tuvo un contenido de FDN y FDA en monocultivo o asociación con pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) de 47.9 y 38.6% o 58.7 y 43.1, respectivamente. En comparación a la presente investigación, la mucuna tuvo valores de 63.1 de FDN, 46.5 de FDA y 16.6% de hemicelulosa, los que

sobrepasan los reportados por García López et al. (2002) de 45.4, 34.7 y 10.7%, respectivamente. La interacción reveló una alta fracción de FDN en el corte de agosto (Figura 7) debido probablemente a un aumento de malezas, puesto que es importante señalar que se trataba de muestras compuestas de una proporción importante de pasto Johnson y de otras hojas anchas. El mejor patrón de FDN se encontró en mayo con valores más altos en sorgo monocultivo, intermedio en asociación y más bajo en leguminosas monocultivos. Sin embargo, el sorgo no reveló su característica BMR, que significa baja proporción de lignina.

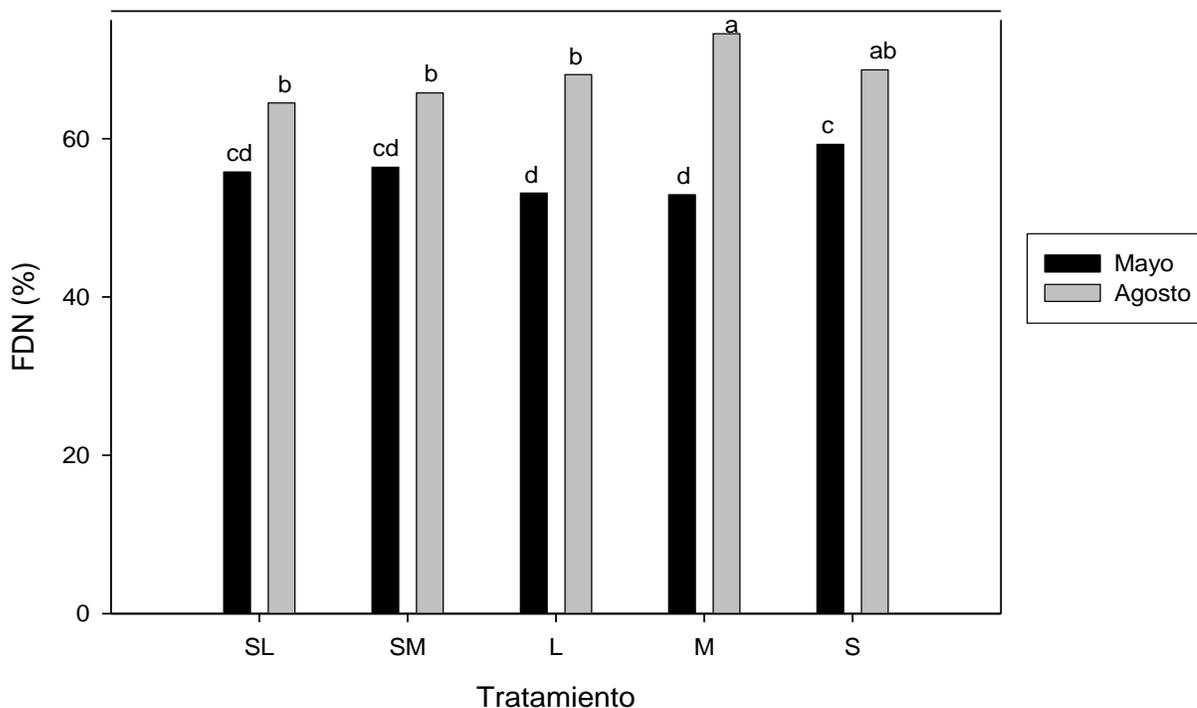


Figura 7. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre la fracción de fibra neutra.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los meses con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

En relación al contenido de PB, los resultados observados en la Figura 8 indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. El lablab, la mucuna y el sorgo en monocultivo tuvieron valores de 14.1, 11.1 y 6.0%, respectivamente. Las leguminosas confirman que podrían mejorar el contenido de proteína en gramíneas aumentando de 3.1 y 3.8% en las asociaciones de mucuna y lablab. De hecho el patrón de los tratamientos mostró que las asociaciones no fueron diferentes entre sí y los monocultivos independientemente de la familia botánica fueron significativamente diferentes entre sí. Además, se puede mencionar la disminución de la PB de 3.1% de mayo a agosto.

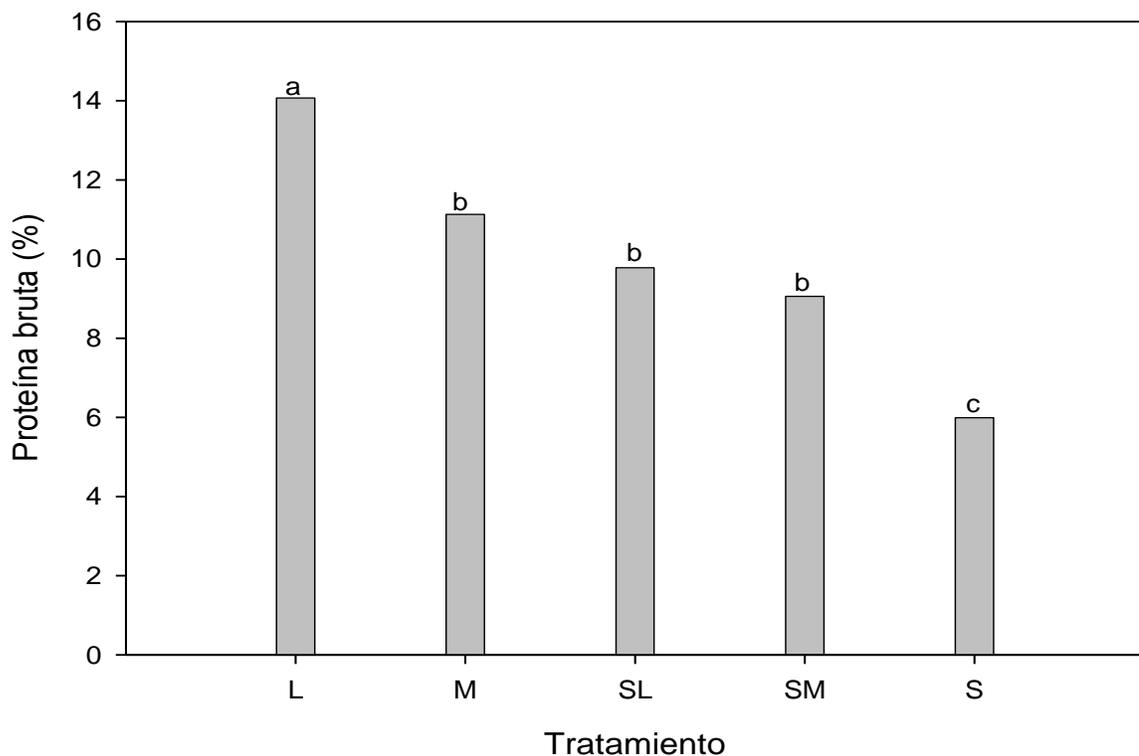


Figura 8. Efecto del tratamiento sobre la fracción de proteína bruta. S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los tratamientos con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

La interacción significativa ($p < 0.05$) del tratamiento x corte indicó un contenido máximo de proteína en mayo para el lablab (18.0%). Por otra parte, se puede observar en la Figura 9, que la asociación sorgo-mucuna tuvo mayor contenido de proteína en agosto aun cuando no permite detectar una diferencia notable. Massigoge et al. (2007) en los ensayos de híbridos BMR obtuvieron un promedio de proteína de 7.9%. Para Bayle et al. (2007) luego de 90 días de siembra del lablab reporto 17.4 en monocultivo mientras que 15.1% de proteína en asociación con pasto elefante. Estos resultados no están tan lejos del presente estudio y además, se acerca de los datos de 15.5% de PB reportados por Ávila et al. (2001). Para NRC (2001), los requerimientos mínimos para el crecimiento y lactancia de una vaca lechera de 400 kg son de 16.5-17.5% de PB.

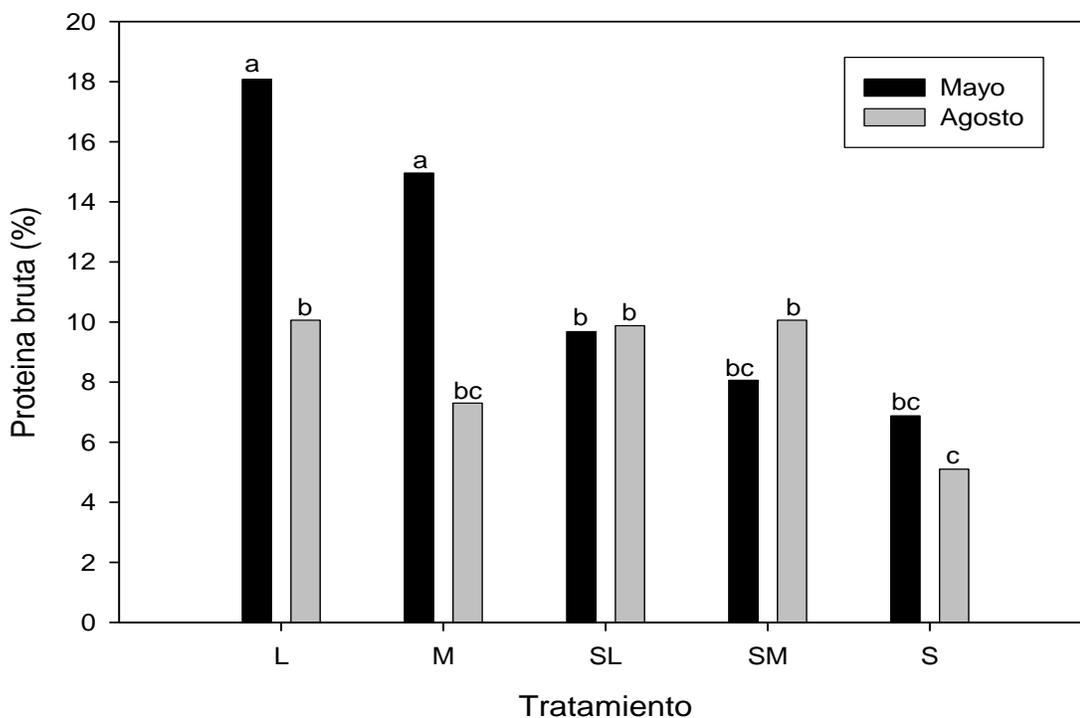


Figura 9. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre la fracción de proteína bruta.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los tratamientos con letras distintas DMS ($P < 0.05$).

En este caso, los contenidos de PB encontrados en la presente investigación no llenaron a los requerimientos de este nutriente a salvo del lablab en monocultivo del corte de mayo.

Por otro lado, en la fracción de hemicelulosa se encontraron diferencias significativamente entre los tratamientos, con valores más alto en sorgo (23.7%). Las asociaciones presentaron fracciones intermediarias de hemicelulosa (20.0 y 19.8% para SL y SM) mientras que las leguminosas (M y L) tuvieron valores más bajos y aproximativamente similares de 16.6 y 16.4%, respectivamente. Además en la Figura 10, se puede apreciar que al asociar las leguminosas con el sorgo se reduce la fracción de hemicelulosa y se aumenta el contenido de PB. También, se encontró una relación lineal fuerte entre las proporciones de hemicelulosa y PB.

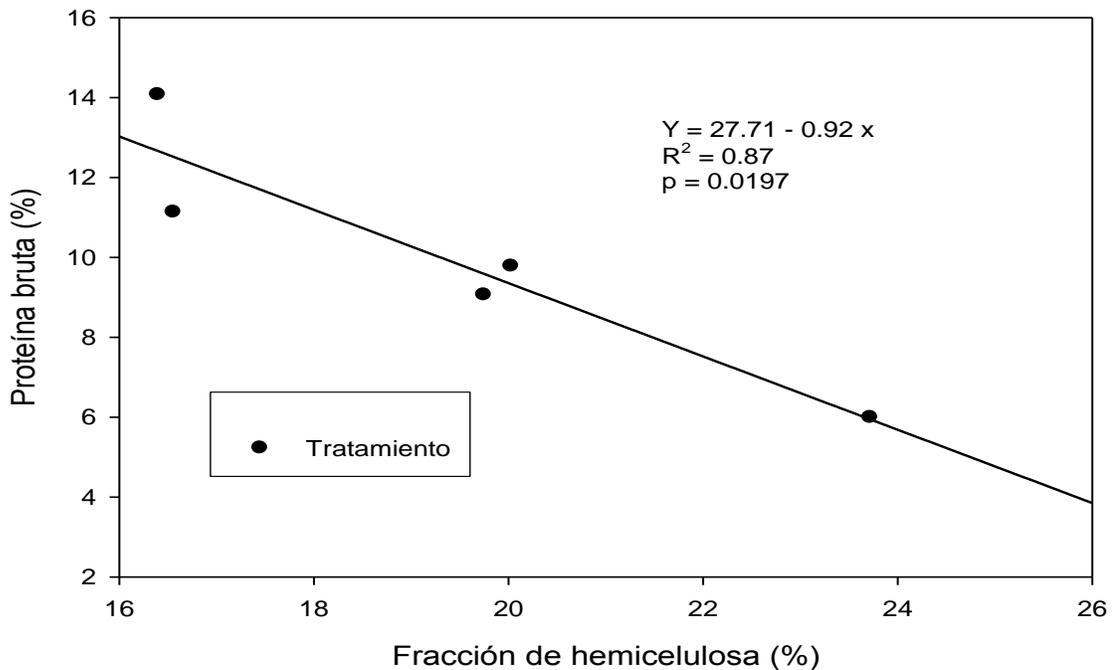


Figura 10. Relación lineal entre la fracción de hemicelulosa y el contenido de proteína bruta.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los tratamientos con letras distintas DMS (P<0.05)

El patrón se diseñó de manera que, para cada aumento del promedio de la proporción de hemicelulosa de 1%, el promedio de la PB disminuyó un 0.9% lo que representa una relación 1:1. Asimismo, la Figura 10 indicó una recta bien ajustada con un coeficiente de determinación (R^2) cerca de 1 y una significancia de $p < 0.05$.

V. CONCLUSIONES

En la alimentación de rumiantes, el sorgo se usa ampliamente por su valor forrajero a fin de suplir los niveles de fibra y proteína indispensables al buen funcionamiento del rumen. Para cumplir con los requerimientos nutricionales del ganado, una alternativa sostenible es el uso de la asociación de leguminosas y gramíneas con vistas a aumentar la fracción proteica y de igual manera mejorar la calidad de la ración. A menudo la asociación adecuada de cultivos no siempre resulta eficiente. En esta investigación, se buscaba un balance efectivo de las asociaciones de plantas forrajeras (sorgo, lablab y mucuna) con alto rendimiento de materia seca y composición en nutrientes.

Los resultados revelaron:

- El rendimiento total de materia seca ($p>0.05$) no varió significativamente entre las asociaciones (SL, SM) y el monocultivo de sorgo. Los valores fueron de 8.9, 8.8 y 8.4 ton/ha, respectivamente.
- Los meses de mayo y agosto no se diferenciaron ($p>0.05$) entre sí en términos de rendimiento total de materia seca aunque el primero haya sobrepasado el segundo por 0.6 ton/ha.
- Las proporciones de las malezas se disminuyeron ($p<0.05$), pasando de 1.3 en monocultivo de sorgo a 0.6 y 0.5 ton/ha en las asociaciones de SM y SL respectivamente.
- Se encontró una reducción efectiva de las malezas en mayo expresado por una diferencia ($p<0.05$) de 2.08 ton/ha, que representa aproximadamente tres veces del valor observado en agosto (0.8 ton/ha).

- El rendimiento por componente explicó que el aumento del rendimiento total de los monocultivos de leguminosas en agosto fue relacionado a una mayor proporción de las malezas, especialmente en la mucuna.
- El lablab reveló una buena capacidad de rebrote, siendo poco variable en su rendimiento luego del primer corte, y sus componentes tuvieron los valores promedios ($p>0.05$) de 2.7 y 3.9 ton/ha en la asociación y monocultivo respectivamente.
- El componente mucuna presentó el rendimiento ($p<0.05$) más bajo (2.8 y 1.3 ton/ha) en los dos periodos de cosecha debido a su comportamiento poco agresivo que resultó una proporción importante de malezas.
- Los tratamientos no fueron significativamente ($p>0.05$) diferentes entre ellos para las fracciones FDN (60.1 a 63.9%) y FDA (40.1 a 46.5%).
- Hubo un aumento ($p<0.05$) significativo de la FDN de 55.5 a 68.0% a través del tiempo, mientras que para la FDA los cortes se diferenciaron entre 37.9 a 47.0%.
- El sorgo tuvo un contenido de PB de 6.0%, se puede asociar con el lablab y la mucuna para aumentar ($p<0.05$) respectivamente el nivel a 9.8 y 9.1%, y disminuir ($p>0.05$) la fracción de hemicelulosa para pasar de 23.7 en el monocultivo a 20.0 y 19.7% en las asociaciones.
- Se concluyó que la asociación del BMR con las leguminosas anuales (lablab y mucuna) es una opción prometedora para suplir alimento a la industria pecuaria.

VI. IMPLICACIONES

El presente estudio demostró la capacidad de producción de la asociación del BMR con leguminosas tropicales bajo condiciones de ninguna aplicación de fertilizante y plaguicida.

La confirmación de estos resultados necesitará:

- El establecimiento de ensayos en zonas secas y húmedas de Puerto Rico.
- Probar el valor nutritivo de las asociaciones de cultivos mediante pastoreo y corte.
- Considerar los monocultivos de leguminosas en banco de proteína de 90 días.
- Ensilar el sorgo para la alimentación de rumiantes.

LITERATURA CITADA

- Ahn, J., R. Elliott y B. Norton. (1997). Oven drying improves the nutritional value of *Calliandra calothyrsus* and *Gliricidia sepium* as supplements for sheep given low-quality straw. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 75(4): 503-510.
- Akin, D. E. y W. S. Borneman. (1990). Role of rumen fungi in fiber degradation. *Journal of Dairy Science*. 73 (10): 3023-3032.
- A O A C. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Araujo-Febres, O. (2005). Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. *Noveno seminario de pastos y forrajes*. Universidad Nacional Experimental de Táchira (UNET), Venezuela.
- Arias, I., y C. Muñoz. (1983). Evaluación de sistemas en monocultivo y asociación de maíz y leguminosa en el nororiente de Guarico, Venezuela. En: *Agronomía Tropical*, Vol. 33 (1/6) p. 143-154.
- Avila, C., E. Cedillo y V. Cervantes. (2001). Base de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertera. Disponible en: <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/abonoverde2.pdf>. [4 de noviembre, 2009].
- Ball, D. M., C. S. Hoveland y G. D. Lacefield. (2002). *Southern forages*. Third Edition. Potash and Phosphate Institute (PPI) and the Foundation for Agronomic Research (FAR). Georgia, USA.
- Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander y M. W. Wolf. (2001). Understanding forage quality. *American Farm Bureau Federation Publication* 1-01, Park Ridge, Illinois.
- Bayble T., S. Melaku y N.K. Prasad. (2007). Effects of cutting dates on nutritive value of Napier (*Pennisetum purpureum*) grass planted sole and in association with Desmodium (*Desmodium intortum*) or Lablab (*Lablab purpureus*). *Livestock Research for Rural Development*. 19 (1). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd19/1/cont1901.htm>. [7 de mayo, 2009].
- Bell, F. R. (1984). Aspects of ingestive behavior in cattle. *Journal of Animal Science* 59 (5):1369-1372.

- Binder, U. (1997). Manual de leguminosas de Nicaragua. PASOLAC, EAGE, Esteli, Nicaragua. 528p.
- Bondi, A. (1988). *Nutrición Animal*. Edit. Acribia, Zaragoza. p. 120-130.
- Burt, R. L., y P. P. Rotar. (1983). Interpretative summary. In: Burt, R. L., y P. P. Rotar, J. I. Walker y M. W. Silvey (eds.). The role of Centrosema, Desmodium and stylosanthes in improving tropical pastures. *West. Trop. Agric.* Series no. 6. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 19-25.
- Cameron, D. G. (1988). Tropical and subtropical pasture legumes. *Queensland Agricultural Journal*. March-April:110-113.
- Chassagne, D. (1996). Identification and quantification of passion fruit cyanogenic glycosides. *J. Agric. and Food Chem.* 44 (12):3817.
- Crowder, L. V. y H. R. Chedda, (1982). Tropical grassland husbandry. *Tropical Agriculture Series*, Longman Group Limited, London and New York.
- Cruz, V., I. F. Andrade, J. C. Dias de Sousa, A. I. Neto y V. Nascimento. (2001). Avalicao do consumo e da capacidade digestiva de búfalos e bovinos. *Ciencias Agrotecnicas*, Lavras. 25 (6): 1406-1412.
- Delgado, E.J. (1998). Factores anti nutricionales. *Curso de Fisiología digestiva*. ICA. La Habana, Cuba. p. 2.
- Díaz-Coronel, G. y K. Estupiñán-Velíz. (2005). Maíz alternado con mucuna (*Stizolobium aterrimum*) mas fertilización para el incremento del rendimiento, control de malezas y reciclaje de nutrientes para pequeños productores de la parte alta de la cuenca del rio Guayas. *La Revista UICT-UTEQ*. Quevedo. p. 7.
- Doherty, C., J.M. Faubion y L.W. Rooney. (1982). Semi automated determination of phytate in sorghum and sorghum products. *Cereal Chem.* 59: 373-378.
- Dumont, B., P. Carrère y P. D'Hour. (2002). Foraging in patchy grasslands: diet selection by sheep and cattle is affected by the abundance and special distribution of preferred species. *Animal Research* 51: 367-381.
- Dzowella, B., L. Hove y J. Topps. (1995). Nutritional and anti-nutritional characters and rumen degradability of dry matter and nitrogen for some tree species with potential for agroforestry in Zimbabwe. *Animal Feed Science and Technology* 55:207-214.

- ECHO, Inc. (2006). Echo plant information sheet: Velvet bean (*Mucuna pruriens*). Educational Concerns for Hunger Organization, Fort Myers, Florida. Disponible en: <http://www.echonet.org>. [28 octubre, 2009].
- Eilittä, M., R. Bressani, L. B. Carew., R. J. Carsky., M. Flores., R. Gilbert, L. Huyck., L. St-Laurent y N. J. Szabo. (2000). Mucuna as a Food and Feed Crop: An Overview. p. 18-47.
- Escudero, D. (2005). Evaluación del rendimiento y valor nutritivo del pasto mucuna (*Stizolobium deeringianum*, Bort) a lo largo de su periodo vegetativo. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Flores, M. (1992). La utilización del frijol de terciopelo (*Mucuna sp.*) como alternativa para el sostenimiento productivo de los sistemas agrícolas del Litoral Atlántico. *CIDICCO*. p. 15-23.
- Flores, O. I., D. Ma Bolivar, J. A. Botero y M. A. Ibrahim. (1998). Parámetros nutricionales de algunas arbóreas leguminosas y no leguminosas con potencial forrajera para la suplementación de rumiantes en el trópico. *Livestock Research for Rural Development*, 10 (1).
- Forbes, J. M. (1986). The Voluntary Food Intake of Farm Animals. Butterworth & Co. London. p. 15-34.
- García, D.E. (2004). Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. *Pastos y Forrajes*, 27 (2).
- García V.O., J.C. Hernández y A.D. Molineros. (2001). Los abonos verdes una alternativa para controlar malezas en el cultivo del maíz. Infoagro. s.l. 8 p.
- García Lopez, R., R. Roque y M. R. Gonzalez. (2002). Forraje de mucuna (*Stizolobium aterrimum*) para alimentación de vacas Holstein. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, (36): 1.
- Gartner, R. J. W., R. W. Malean, D. A. Little y L. Winks. (1980). Mineral deficiencies limiting production of ruminants grazing tropical pastures in Australia. *Trop. Grassl.* 16, 266-272.
- Gierbolini, E. R. (1975). Soil survey of Mayagüez area of Western Puerto Rico. United States Department of Agriculture – Soil Conservation Services, Washington D. C. 20250.
- Giraldo, V. L. A. (1999). Potencial de la arbórea Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica.

- González-Gómez, J. C., A. Ayala-Burgos y E. Gutiérrez-Vázquez. (2006). Determinación de fenoles totales y taninos condensados en especies arbóreas con potencial forrajero de la Región de Tierra Caliente Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*, 18 (11).
- Grant, G. (1991). Lecitins. In Toxic Substances in crop plants. D'Mello, J.P.F., C.M. Duffus y J. H. Duffus (Eds). *The Royal Society of Chemistry*, Cambridge, pp. 49-67.
- Guerrero, A. (1984). Cultivos herbáceos extensivos. 3ª edición revisada y ampliada. Edición Mundi-Prensa, Madrid. p.197- 205.
- Haque, I., S. Jutzi y P. J. H. Neate. (1986). Potentials of forage legumes in farming systems of sub-saharan Africa. Proceedings of a workshop held at ILCA, Addis-Ababa. pp. 212-230.
- Henzell, E. F. (1981). Contribution of forages to worldwide food production: Now and in the future. pp. 42-47. In: J. A. Smith and V. W. Hays (eds.) *Proc. XIV Int. Grassl. Cong.*, Lexington, Kentucky, Westview Press, Boulder, CO.
- Hernández, S. R., O. P. Jaime, J. G. Régul y H. Elías. (2005). Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. Revista Electrónica. DVET. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revista/redvet/n050505.html>. [28 de octubre, 2009].
- Hess, H. D., y C.E. Lascano. (1997). Comportamiento del consumo de forraje por novillos en pasturas de gramínea sola y asociada con una leguminosa. *Pasturas Tropicales*. 19 (2): 12-20.
- InfoStat (2007). *InfoStat, versión 3. Manual del Usuario*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Javier, E. Q. (1975). Breeding for quality forage, *ASPAC Food Fert. Tech. Cent.*, Ext. Bull. 50, Taiwán, pp. 1-29.
- Junta de Planificación. (2006). Plan de uso de terrenos de Puerto Rico, perfil regional Región Oeste. Oficina del plan de uso de terrenos. Disponible en: http://www.jp.gobierno.pr/Portal_JP/Portals/0/PUTPR/Documentos/Regi%20c3%b3n%20Oeste%20FINAL.pdf. [26 de julio, 2009].
- Kumar, R. (1992). Antinutritional factors. The potential risks of toxicity and the methods to alleviate them. In: Legumes trees and other fodder trees as protein source for livestock. (Speedy, A.W. & Pugliese, P.L., Eds.). *FAO Animal production and Health Paper*. No.102. p. 145.

- Liener, I. E. (1994). Implications of antinutritional components in soya bean foods. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 34: 31-67.
- Mannetje, L. 't y R. M. Jones. (1990). Pasture and animal productivity of buffel grass with Siratro, Lucerne or nitrogen fertilizer. *Tropical Grasslands*, 24 (4): 269-281.
- Mas, E. G. y O. García-Molinari. (2006). *Guía ilustrada de yerbas comunes en Puerto Rico*. 2da. Edición Ampliada y Revisada. UPRM-USDA, pp.124-125.
- Massigoge, J.I., M. Zamora y A. MELIN. (2007). Evaluación de híbridos de sorgo para silo y forrajeros. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Chacra Experimental Integrada Barrow, Buenos Aires.
- Mayer, A. F. (2005). Sorgos BMR (Nervadura marrón) su rol en los sistemas ganaderos. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, EEA. Bordenave, Buenos aires. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/anibal/sorgoBMR.htm>. [27 de junio, 2009].
- Mayer, A. F. y L. Vitali (2006). Determinación de la calidad de los sorgos para silaje. *Sumario Ganadero*, Bs. As., 9(9):44-50. Disponible en: http://www.produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/51-sorgos_silaje.pdf. [27 de junio, 2009].
- Maynard, A. B., J. K. Loosly, H. F. Hintz y R. T. Warner. (1979). *Animal Nutrition*. Seventh Edition. McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 220-282.
- Midjavila, S. (1990). Sustancias nocivas en los alimentos. En: *Toxicología de los alimentos*. (Derache, R., Ed). Omega. Barcelona, España. p. 109.
- Minson, D. (1990). Composición química y valor nutritivo de las leguminosas tropicales. *En: Leguminosas forrajeras tropicales*. FAO. p. 211-219.
- Monegat, C. (1991). Plantas de cobertura del suelo: Características y manejo en pequeñas propiedades. CIDICCO. Tegucigalpa.
- Montgomery, M. J. y B. R. Baumgardt. (1965). Regulation of food intake in ruminants. 1. Pelleted rations varying in energy concentration. *Journal of Dairy Science* 48:569-574.
- Mott, G. O. y J. E. Moore. (1969). Forage evaluation techniques in perspective. *In: Barnes, R. F., D.C. Clanton, C. H. Gordon, T. J. Klopfenstein y D. R. Waldo (eds.). Proc. Natl. Conf. Forage Quality Evaluation and Utilization*. Lincoln, Nebraska.

- Mupangwa, J. F., N. T. Ngongoni, D. E. Daka y H. Hamudikuwanda. (2002). The effect of supplementing a basal diet of veld grass hay with increasing levels of velvet bean hay (*Mucuna pruriens*) on nutrient parameters in sheep. *Livestock Research for Rural Development*, 14 (4). Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/4/mupa144.htm>. [20 de octubre, 2008].
- Murphy, A. M. y P. E. Colucci. (1999). A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: a review of *Lablab purpureus*. *Livestock Research for Rural Development*, 11 (2).
Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd11/2/colu112.htm>. [15 de septiembre, 2008].
- Murphy, A. M., P. E. Colucci y M. R. Padilla. (1999). Analysis of the growth and nutritional characteristics of *Lablab purpureus*. *Livestock Research for Rural Development*. 11 (3).
Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd11/3/colu113.htm>. [23 de octubre 2008].
- National Research Council (NRC). (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Newman Y. C., Lambert y Muir, J. P. (2006). Defining forage quality. *Texas Cooperative Extension*, Texas AYM University System.
- Nguyen, K. L., T. R. Preston, V. B. Dinh y D. L. Nguyen. (2003). Effects of tree foliages compared with grasses on growth and intestinal nematode infestation in confined goats. *Livestock Research for Rural Development* 15 (6). Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/6/lin156.htm>. [22 de octubre, 2008].
- Norton, B. W. (1993). The nutritive value of tree legumes. In Gutteridge, R. C., H. M. Shelton, (eds) *Forage tree legumes in tropical agriculture*. Wallingford, UK, CAB International pp. 177-191.
- Norton, B.W. Y D.P. Poppi. (1995). Composition and Nutritional Attributes of Pasture Legumes. In. *Tropical Legumes in Animal Nutrition*; D'Mello, J P F. and C Devendra (Eds). CAB International, Wallingford, UK. pp 23-47.
- Nworgu, F. C. y F. T. Ajayi. (2005). Biomass, dry Matter yield, proximate and mineral composition of forage legumes grown as early dry season feeds. *Livestock Research for Rural Development* 17 (11). Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/11/nwor17121.htm>. [20 de octubre 2008].
- Oberleas, D. (1973). Phytates. En: *Toxicants Occurring Naturally in Foods*, National Academy of Sciences, Washington, D. C., pp. 363-371.

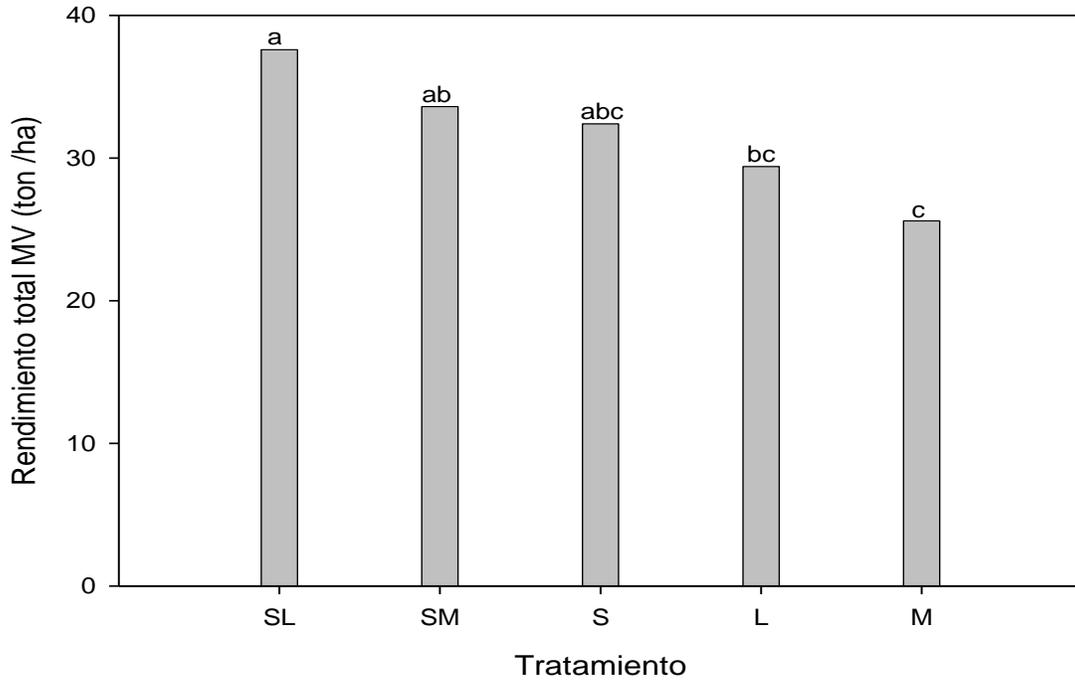
- Oram, R. N. (1990). Lablab-Macrotyloma, En Register of Australian Herbage Plant Cultivars 3rd Edition, CSIRO-Australia, Queensland, pp. 173-174.
- Paterson, R. T. (1993). Use of trees by livestock 4: anti-nutritive factors. Chatham, UK, Natural Resources Institute.
- Patra, A. K. (2007). Nutritional management in organic livestock farming for improved ruminant health and production - an overview. *Livestock Research for Rural Development* 19 (3). Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/3/patr19041.htm>. [20 de octubre 2008].
- Poulton, J.E. (1983). Handbook of natural toxins. (Keeler, R.F., Ed.). Marcel Dekker Inc., New York. p. 118.
- Preston, T. R. y R. A. Leng. (1989). Ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles: Aspectos básicos y aplicados del nuevo enfoque sobre la nutrición de rumiantes en el Trópico. *CONDRIT, CALI*. p.312.
- Provenza, F. D., J. J. Villalba, J. Haskell, J. W. MacAdam, T. C. Grigggs, y R. D. Wiedmeier. (2007). The value of plants physical and chemical diversity in time and space. *Crop Sci. J.* 47:382-398.
- Purseglove, J.W. (1972). Tropical crops: monocotyledons, Vol. 1. Longman Group Limited, Londres. 334p.
- Reed, J. D. (1995). Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science*, 73:1516-1528.
- Rees, M. C., D. J. Minson y F. W. Smith. (1974). The effect on supplementary and fertilizar sulphur on voluntary intake digestibility, retention time in the rumen, and site of digestion of pangola grass in sheep. *J. Agric. Sci., Camb.* 82, 419-422.
- Reyes Jimenes, J. E., A. Loiza Meza, T. Moreno Gallegos, C. S. Martinez Alvarado, O. Palacios Velarde. (2001). *Guía para cultivar mucuna en el sur de Sinaloa*. INIFAP Produce, Mexico.
- Reyes J, J.E. y C.O. Martínez A. (1997). Ensayo de Sustitución Mucuna-Sorgo. Investigación a nivel de unidad productiva Tecnología de producción, Proyecto Desarrollo Sostenible de los Agro ecosistemas en el Sur de Sinaloa, México.

- Romero, L. C. E., G. J. M. Palma, y J. López. (2000). Influencia del pastoreo en la concentración de fenoles y taninos condensados en *Gliricidia sepium* en el trópico seco. *Livestock Research for Rural Development* 12 (4):1-9. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/4/rome124.htm>. [20 de septiembre, 2008].
- Rossi, J. (2006). Water-Cattle's most important nutrient. *Georgia Cattleman*, Macon Georgia. pp. 58.
- Sanchez, A. (1998). Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. *FONAIAP*. Estación Experimental del Estado de Falcón. Venezuela. Disponible en: <http://www.Ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd50/leguminosas.html>. [20 de septiembre, 2008].
- Sanchez, R. R. (1975). Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa, Mexico. pp. 141-181.
- Sandoval, B. (2007). Características Agronómicas y Nutricionales de Asociaciones de Gramíneas y Leguminosas Tropicales. Tesis MS. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, 102 p.
- SAS Institute. (2003). SAS/SAT® User's Guide, (Release 9.1) SAS Inst. Inc., Cary,NC, USA.
- Schaaffhausen, R. V. (1963). Economical methods for using the legume *Dolichos lablab* for soil improvement, food and feed. *Turrialba*. 13:172-178.
- Shaw, N. H. (1961). Increase beef production from Townsville Lucerne (*Stylosanthes sunaica Taub.*) in the spear grass pastures of central coastal Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 1: 73.
- Shehu, Y., W. S. Alhassan, U. R. Pal y C. J. C. Phillips. (1999). The Effect of Intercropping *Lablab purpureus* L. with Sorghum on Yield and Chemical Composition of Fodder. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 183 (2):73-79.
- Shelton, H. (1998). The *Leucaena* Genus: New opportunities for agriculture (A Review of Workshop Outcomes). In: H. Gutteridge, B. Mullen and R. Bray. (Ed.). *Leucaena-adaptation, quality and farming systems*, Aciar Proceedings No. 86. Canberra. p. 15-24.

- Siddhuaraju P., K. Vijayakumari y K. Janardhanan. (1996). Chemical composition and protein quality of the little known legume, velvet bean (*Mucuna pruriens*) (L) DC. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 44:2636-2641.
- Silva R., F. Silva, I. Prado, G. Carvalho, I. Franco, V. Almeida, C. Cardoso y M. Ribeiro. (2006). Comportamiento ingestivo de bovinos. Aspectos metodológicos. *Archivos de Zootecnia* 55:293-296 Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/495/49521109.pdf>. [4 de noviembre, 2009].
- Skerman P. J., D. G. Cameron y F. Riveros. (1991). Leguminosas forrajeras tropicales. Colección FAO: *Producción y Protección Vegetal*, No. 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 707p.
- Sotelo, A. (1997). Constituents of wild food plants. In: *Functionality of food phytochemicals*. (Johns, T. & Romeo, J.T., Eds.). Plenum Press, New York.p. 89.
- Sotomayor-Rios, A. y W. D. Pitman. (2001). *Tropical Forage Plants: Development and Use*. CRC Press LLC, Boca Raton. p. 41-42.
- Thomas, R. (1994). Aplicación del conocimiento en el ciclo del nitrógeno en pasturas, In: *Buxade Investigación y desarrollo en sistemas de producción de forrajes tropicales, Modulo 2, Agronomía*.
- Ulrich, C. R., R. Vera y J. H. Weniger. (1994). Producción de leche con vacas de doble propósito en pasturas solas y asociadas con leguminosas. *Pasturas Tropicales* 16 (3):10-25.
- UPNA, (2007). Flora pratense y forrajera cultivada en la península Ibérica. Herbario, Universidad Pública de Navarra, España. Disponible en: http://www.unavarra.es/servicio/herbario/pratenses/htm/Sorg_bico_p.htm. [15 de agosto, 2008].
- Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2nd Ed). Comstock Publishing Association, Cornell University Press, Ithaca.
- Van Soest P. J., J. B. Robertson y B. A. Lewis. (1991). Methods of dietary fibers, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation in animal nutrition. *J. Dairy Sci.*74:3583-3597.
- Vargas, J. E. (1993). Efecto del nivel de oferta de tallos de caña sobre el consumo voluntario y el ecosistema ruminal en ovejas africanas. *Livestock Research for Rural Development*, 5 (3).

- Vicente-Chandler. J., R. Caro Costa., F. Abruña y S. Silva. (1983). Producción y utilización intensiva de las forrajeras en Puerto Rico. Boletín 271. Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico. p. 217.
- Villaquirán, M. y C. Lascano. (1986). Caracterización nutritiva de cuatro leguminosas forrajeras Tropicales. *Pasturas Tropicales*. Boletín. 8(2):2-6.
- Welch, J. y A. Smith. (1969). Forage quality and rumination time in cattle. *Journal of Dairy Science* 53:797-800. Disponible en : <http://jds.fass.org/cgi/reprint/53/6/797.pdf>. [4 de noviembre, 2009].
- Wiese A.F., F.C. Petr, E.W. Chenault y D.E. Lavoke. (1981). Effect of Shattercane, Barnyardgrass, Crabgrass and Johnsongrass on sorghum yield. *Proceedings, Southern Weed Science Society* 34: 46.
- Yapes, T. J. C. y F. L. Tamayo (2003). Establecimiento y manejo racional de praderas en el nordeste antioqueño. Primero y segundo curso teórico-prácticos sobre sistemas ganaderos sostenibles en el Nordeste Antioqueño. *Corpoica*, Colombia. p. 25-65.

APENDICES



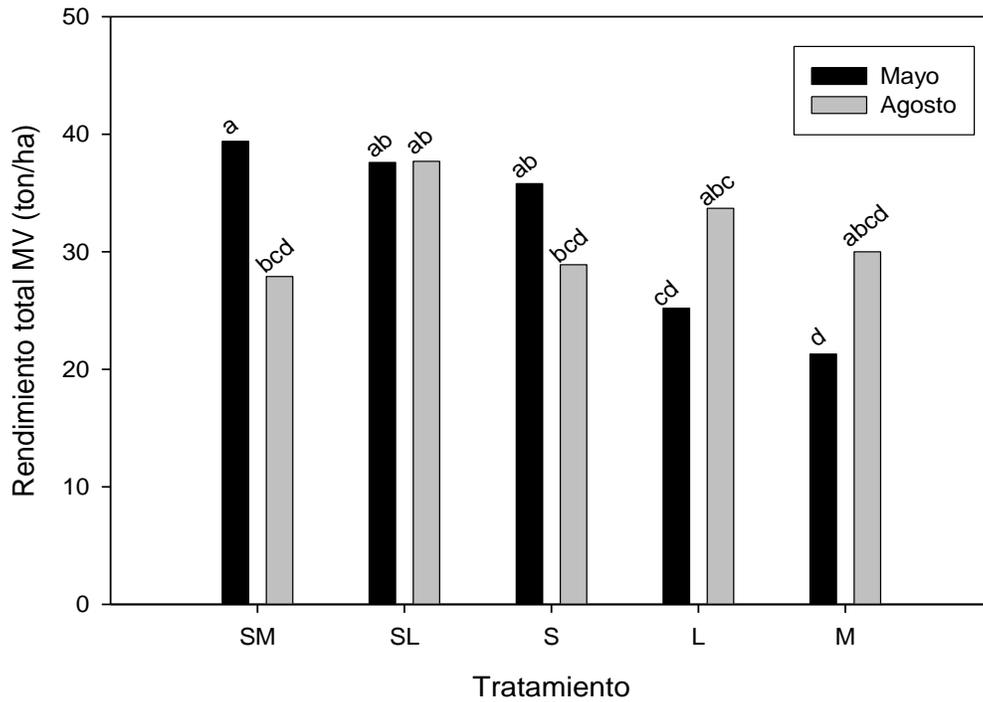
Apéndice 1. Efecto principal de tratamiento sobre el rendimiento de materia verde.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los tratamientos con letras diferentes ($P < 0.05$).

Apéndice 2. Efecto principal de corte sobre el rendimiento de materia verde

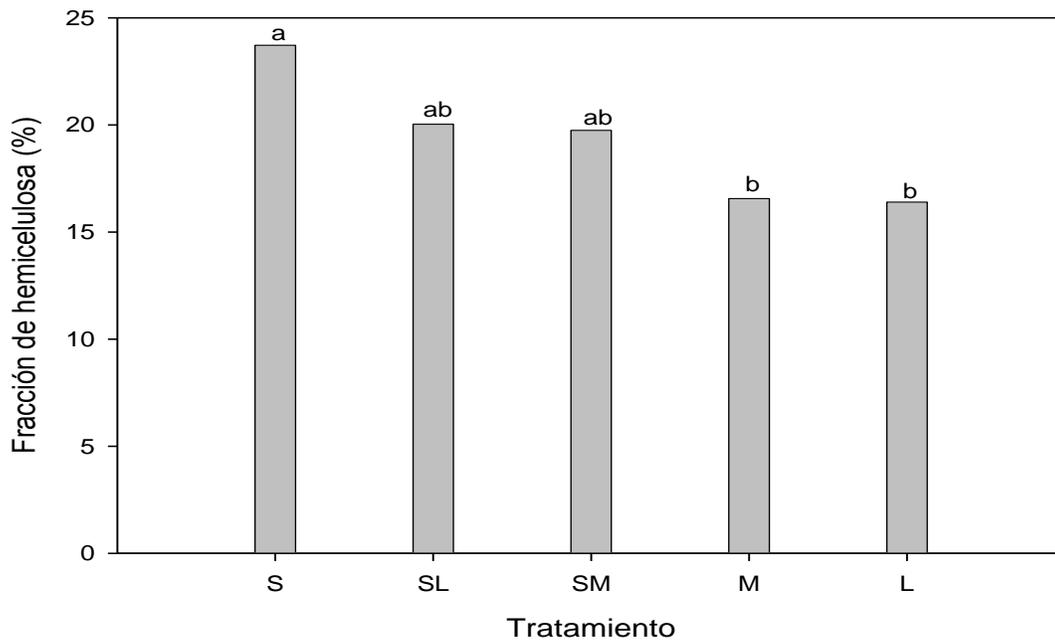
Corte	Mayo	Agosto	
	ton MS / ha		EE*
	31.9 ^a	31.6 ^a	1.57

* Error estándar de las medias, ($p > 0.05$)



Apéndice 3. Interacción del método de cultivo en el mes de cosecha sobre el rendimiento de materia verde.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los meses con letras diferentes ($P < 0.05$).



Apéndice 4. Efecto principal de tratamiento sobre la fracción de hemicelulosa.

S=Sorgo, L=Lablab, M=Mucuna. Hay diferencia significativa entre los meses con letras diferentes ($P < 0.05$).