

Productividad, características fisicoquímicas y digestibilidad *in vitro* de leguminosas forrajeras en trópico seco de México

Yield performance, physicochemical characteristics and *in vitro* digestibility of forage legumes in the dry tropic of Mexico

Antonio Alatorre-Hernández^a

Juan de Dios Guerrero-Rodríguez^{a*}

José Isabel Olvera-Hernández^a

Ernesto Aceves-Ruíz^a

Humberto Vaquera-Huerta^b

Samuel Vargas-López^a

^a Colegio de Postgraduados – Campus Puebla, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Carretera Federal México – Puebla km 125.5, Santiago Momoxpan, 72760, San Pedro Cholula, Puebla. México.

^b Colegio de Postgraduados – Campus Montecillo. Montecillo Texcoco, Estado de México, México.

* Autor de correspondencia: rjuan@colpos.mx

Este trabajo es parte de la tesis de Maestría en Ciencias del primer autor en el programa Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional del Colegio de Postgraduados, Campus Puebla.

● **Resumen:**

Tres leguminosas herbáceas: *Macroptilium lathyroides*, *Macroptilium atropurpureum* y *Phaseolus acutifolius* se sembraron en 12 unidades experimentales de 28 m² cada una, bajo un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones por especie. El objetivo fue

evaluar las características de producción de materia seca (MS), relación hoja-tallo y cobertura, así como la concentración de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LDA), taninos, fenoles y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) en todo el ciclo biológico de las especies. La producción promedio de MS (kg ha^{-1}) difirió ($P<0.05$) entre especies, resultando mayor para *M. lathyroides* (4,655), intermedia para *M. atropurpureum* (3,920) y menor (2,170) para *P. acutifolius*. La diferencia en producción de MS entre *M. lathyroides* y *M. atropurpureum* fue un reflejo principalmente de diferencias en la altura de la planta, más que a diferencias en la relación hoja-tallo o cobertura. *M. lathyroides* y *M. atropurpureum* no fueron diferentes ($P>0.05$) en concentración de PC, FDN, FDA y DIVMS. La especie *P. acutifolius* mostró una menor concentración de todas las fracciones y una menor DIVMS. La concentración de taninos (g kg^{-1} MS) fue mayor ($P<0.05$) para *M. lathyroides* (3.93), intermedia para *M. atropurpureum* (3.14) y menor (1.82) para *P. acutifolius*. En fenoles, las especies no fueron diferentes, obteniendo un promedio de 20.3 g kg^{-1} MS. Se concluye que *M. lathyroides* y *M. atropurpureum* fueron las especies con mejor comportamiento productivo y calidad nutritiva en toda la fase experimental.

● **Palabras clave:** *Macroptilium atropurpureum*, *Macroptilium lathyroides*, *Phaseolus acutifolius*, Materia seca, Calidad nutritiva.

● **Abstract:**

Three herbaceous legumes: *Macroptilium atropurpureum*, *Macroptilium lathyroides* and *Phaseolus acutifolius* were sown in 12 experimental units of plots of 28 m^2 each under a randomized complete block design with four replications. The objective was to evaluate the characteristics of dry matter (DM) production, leaf-stem ratio and coverage, as well as the concentration of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin (LDA), tannins, phenols and *in vitro* digestibility of DM (IVDDMS) throughout the biological cycle of the species. The average DM production (kg ha^{-1}) differed ($P<0.05$) among species, being higher for *M. lathyroides* (4,655), intermediate for *M. atropurpureum* (3,920) and lower (2,170) for *P. acutifolius*. The difference in DM production between *M. lathyroides* and *M. atropurpureum* was mainly a reflection of differences in plant height rather than differences in the leaf-stem ratio or coverage. *M. lathyroides* and *M. atropurpureum* were not different ($P>0.05$) in CP concentration, NDF, ADF and IVDDMS. The species *P. acutifolius* showed the lowest concentration of all the fractions including DIVMS. The concentration of tannins (g kg^{-1} MS) was high ($P<0.05$) for *M. lathyroides* (3.93), intermediate for *M. atropurpureum* (3.14) and low (1.82) for *P. acutifolius*. In phenols, the species were not different, having an average of 20.3 g kg^{-1} DM. It is concluded

that *M. lathyroides* and *M. atropurpureum* were the species with the best yield performance and nutritional quality in the total experimental phase.

● **Key words:** *Macroptilium atropurpureum*, *Macroptilium lathyroides*, *Phaseolus acutifolius*, Dry matter yield, Nutritional quality.

Recibido 06/02/2017.

Aceptado 04/10/2017.

❖ Introducción ❖

En el trópico seco de México existe una gran diversidad de leguminosas forrajeras de tipo herbáceo, arbustivo y arbóreo, que son fuente importante de materia seca en la alimentación de rumiantes. Durante la época de lluvias el crecimiento de leguminosas herbáceas aumenta, y los rumiantes pasan la mayor parte de su tiempo consumiendo estas especies (67-80 %) en comparación a plantas arbustivas o arbóreas (18-33 %)^(1,2). Tal es el caso de *Macroptilium atropurpureum*, *Macroptilium lathyroides* y *Phaseolus acutifolius*, que son leguminosas herbáceas nativas de la Mixteca Poblana en México, las cuales por sus características forrajeras podrían incluirse en los sistemas de producción pecuaria de la región.

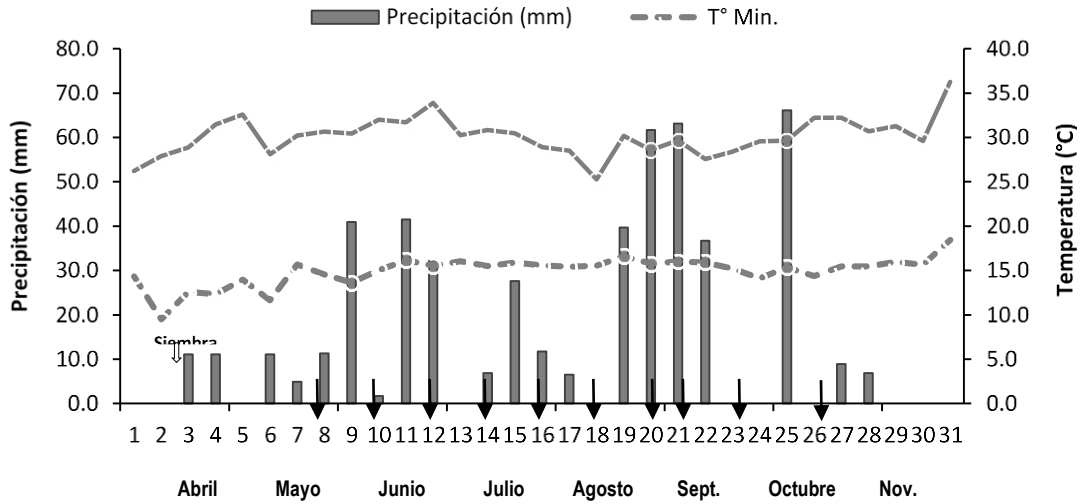
La especie *M. atropurpureum* ha sido evaluada experimentalmente en monocultivo y en intercalación con pastos nativos de baja calidad nutritiva para la alimentación de rumiantes^(3,4,5). En esta especie forrajera, diversos investigadores^(3,5,6) han determinado un rendimiento promedio de materia seca (MS) entre 500 a 4,800 kg ha⁻¹ y un contenido de PC entre 130 a 280 g kg⁻¹ MS^(7,8); adicionalmente, se ha evaluado como dieta única y en mezcla con residuos de cosecha para determinar el consumo y la respuesta animal^(9,10,11). Estos autores concluyen que *M. atropurpureum*, es una leguminosa con excelente calidad nutritiva, capaz de incrementar el contenido de PC en pastos y rastrojos de bajo valor nutricional. Además, es muy aceptada por rumiantes estabulados y en pastoreo, y por el aporte de MS en su consumo, esta especie mejora el comportamiento productivo de los animales en regiones en donde las sequías son muy prolongadas. Las especies *M. lathyroides* y *P. acutifolius* son leguminosas forrajeras similares a *M. atropurpureum*, no obstante, la información en relación

a su rendimiento de materia seca, composición química y digestibilidad es muy limitada. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento productivo, características fisicoquímicas y digestibilidad *in vitro* de estas leguminosas forrajeras herbáceas en el trópico seco de la Mixteca Baja Poblana, México.

❖ Material y métodos ❖

La evaluación del comportamiento productivo de las leguminosas *M. atropurpureum*, *M. lathyroides* y *P. acutifolius*, se llevó a cabo de abril a octubre de 2015 en la comunidad de Santo Domingo Ayotlicha, Tlapanalá, Puebla. El sitio experimental se ubicó en 18° 25' N y 98° 20' O, a una altitud de 1,455 m, con clima cálido seco y lluvias en verano. El suelo franco-arcilloso, con pH de 7.9 y materia orgánica 2.89 %. El contenido nutrimental del suelo fue: 14.4 mg kg⁻¹ de P, 336.5 mg kg⁻¹ de K, 0.002 % de N, 0.48 % de Ca y 0.42 % de Mg. La precipitación promedio acumulada durante toda la fase experimental fue 225.5 mm y las temperaturas máximas y mínimas fueron 30 y 15 °C, respectivamente. Los datos climatológicos se presentan en la Figura 1.

Figura 1: Temperaturas y precipitaciones de abril a octubre de 2015, en Santo Domingo Ayotliha, Tlapanalá, Puebla. Las flechas indican el corte de las especies a intervalos de quince días



● Siembra ●

Las semillas se escarificaron mecánicamente, y cada especie se sembró al voleo en unidades experimentales de 2 x 14 m bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Las dos especies de *Macroptilium* se sembraron a una densidad de 9 kg de semilla ha⁻¹, mientras que *P. acutifolius* por ser de semilla de tamaño mediano, se sembró a una densidad de 15 kg ha⁻¹. Las semillas no se inocularon, ya que estas leguminosas han mostrado nodular adecuadamente con rizobios nativos del suelo⁽¹²⁾. El experimento se mantuvo con las lluvias temporales de la región, no se fertilizó y manualmente se mantuvo libre de malezas.

● Caracterización del material vegetativo ●

a) Producción de materia seca

La producción de MS por unidad de superficie se determinó cada 15 días. Se utilizó un cuadrante metálico de 0.25 m² colocado aleatoriamente y se cosechó en cada parcela (10 cm por encima del nivel del suelo) todo el material verde de cada leguminosa. El material cosechado se guardó en bolsas de papel debidamente identificadas, para posteriormente, ser secado en una estufa de aire forzado a 55 °C durante 72 h. Cada muestra después del secado se pesó en una balanza digital; la cantidad de hojas y tallos se pesaron por separado con el fin de determinar la relación hoja-tallo.

b) Altura y cobertura

Después de la emergencia y cada 15 días, la altura de 20 plantas seleccionadas al azar en cada unidad experimental se midió con un flexómetro desde el nivel del suelo hasta el ápice de cada planta. La cobertura de cada especie se determinó con un cuadrante de 1 m², subdividido en 25 cuadros de 0.20 x 0.20 m, midiendo en porcentaje el área cubierta por cada especie forrajera. En total se realizaron 10 mediciones en las dos especies de *Macroptilium*, y en *P. acutifolius* sólo se realizaron 7, debido a que su ciclo biológico fue corto.

c) Composición fisicoquímica

El forraje seco de las leguminosas se molió en un molino ciclónico con malla de 1 mm para su posterior análisis químico. El contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en detergente ácido (LDA), se determinó de manera secuencial y por duplicado, utilizando los protocolos de ANKOM Technology⁽¹³⁾. Mediante el método Kjeldahl se determinó por duplicado el contenido de proteína cruda (PC) multiplicando el porcentaje de nitrógeno x 6.25⁽¹⁴⁾. La determinación de fenoles totales y taninos condensados se realizó por duplicado, el primero mediante el método de Folin y Ciocalteu⁽¹⁵⁾ y el segundo por el método de Vainillina-HCl de acuerdo a la norma mexicana NMX-Y-326-SCFI-2004⁽¹⁶⁾.

d) Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de las tres especies, se determinó por duplicado mediante el método enzimático pepsina-celulasa^(17,18).

● **Análisis estadístico** ●

Los datos de producción de materia seca, altura, cobertura y variables de calidad nutritiva se sometieron a un análisis de varianza utilizando el sistema de análisis estadístico SAS versión 9.0⁽¹⁹⁾. Las diferencias entre medias se evaluaron usando la prueba de rango de Tukey, aceptando significancia con $\alpha=0.05$ ⁽²⁰⁾.

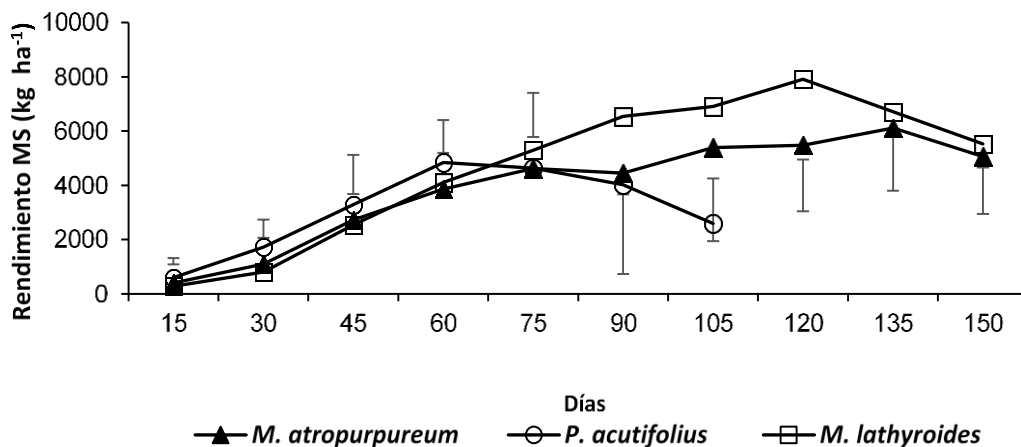
Resultados

● Caracterización del material vegetativo ●

a) Rendimiento de materia seca

La dinámica del rendimiento de MS ha⁻¹ de las leguminosas se muestra en la Figura 2. La mayor acumulación de MS ocurrió a los 135, 120 y 60 días para *M. atropurpureum*, *M. lathyroides* y *P. acutifolius*, respectivamente. En esos puntos de inflexión el rendimiento de MS fue de 6,116, 7,918 y 4,843 kg ha⁻¹ para las tres especies en ese mismo orden. En cuanto a la relación hoja-tallo, las dos especies de *Macroptilium* mostraron mayores valores ($P<0.05$) en comparación a *P. acutifolius* (Cuadro 1).

Figura 2: Rendimiento de MS ha⁻¹ de las leguminosas forrajeras herbáceas *M. lathyroides*, *M. atropurpureum* y *P. acutifolius*



Las barras representan la diferencia mínima significativa por corte.

b) Altura y cobertura

En altura, *M. lathyroides* tuvo el mayor promedio ($P < 0.05$) en comparación a las otras dos especies. En cobertura, *M. atropurpureum* fue mayor ($P < 0.05$), seguido de *M. lathyroides* y *P. acutifolius*. El rendimiento de MS promedio por corte, altura, cobertura y relación hoja-tallo de las tres leguminosas se muestran en el Cuadro 1.

c) Características fisicoquímicas

El contenido promedio de proteína fue similar ($P > 0.05$) en las dos especies de *Macroptilium*. *Phaseolus acutifolius*, por su parte, fue la especie con menor contenido promedio de PC (Cuadro 2). En el primer corte (día 15), el contenido promedio de las tres especies fue de

Cuadro 1: Promedio total de rendimiento de MS, relación hoja-tallo, altura y cobertura de las leguminosas *M. lathyroides*, *M. atropurpureum* y *P. acutifolius*

Variable	<i>M. lathyroides</i> (n= 40)	<i>M. atropurpureum</i> (n= 40)	<i>P. acutifolius</i> (n= 28)	EEM
Rendimiento MS, kg ha ⁻¹	4655.1 ^a	3920.3 ^b	2170.0 ^c	220.8
Relación hoja-tallo	1.4 ^a	1.6 ^a	0.9 ^b	0.099
Altura, cm	38.6 ^a	22.7 ^b	19.3 ^c	1.116
Cobertura, %	65.4 ^b	81.2 ^a	47.6 ^c	31.76

EEM= error estándar de la media.

^{a,b} Medias con la misma letra entre hileras no son diferentes ($P > 0.05$).

188.6 g kg⁻¹ MS, mientras que en el último corte (día 150) el promedio fue de 118.3 g. La Figura 3 muestra la concentración de PC de las tres leguminosas forrajeras en todo el ciclo productivo.

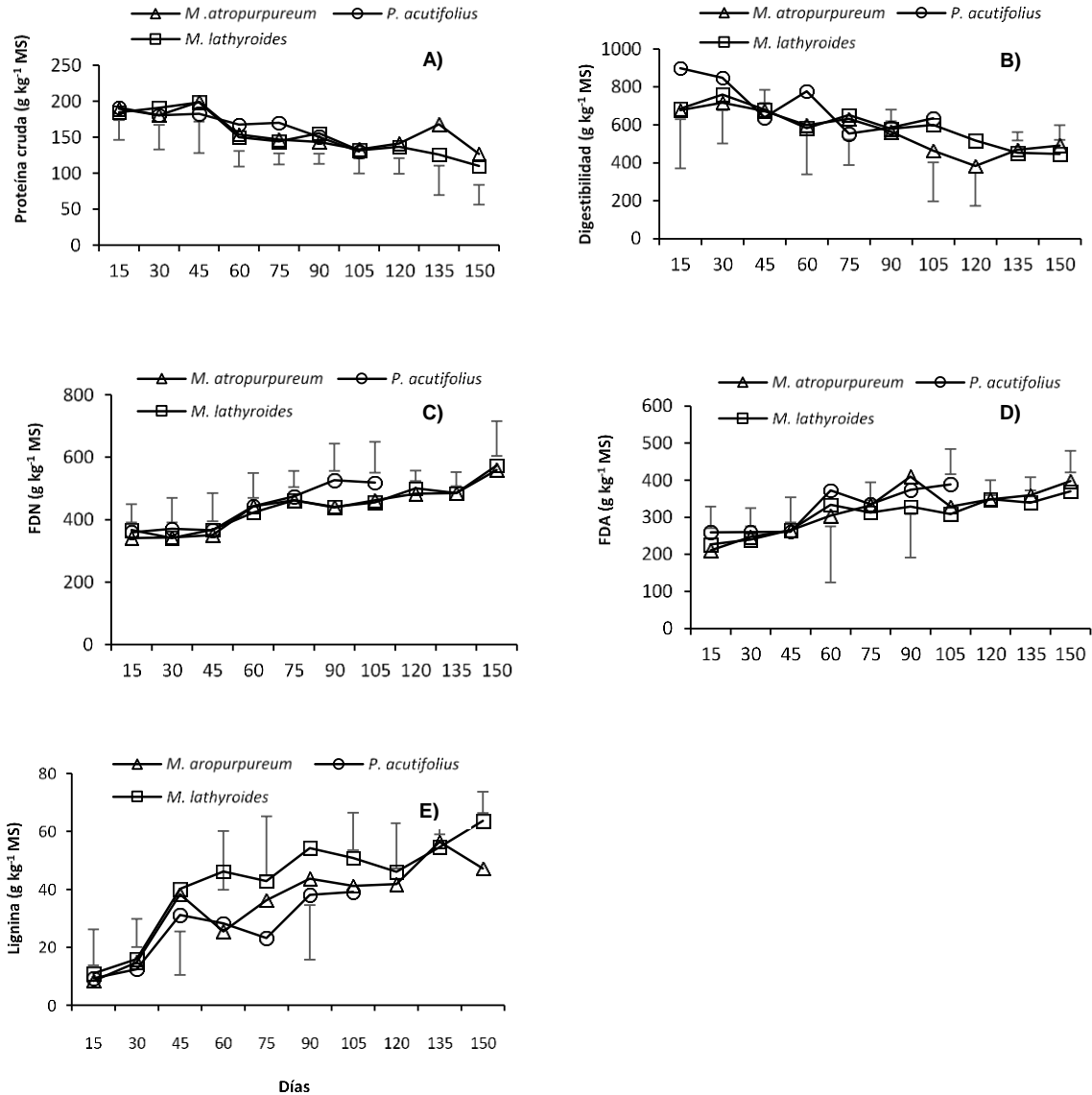
Cuadro 2: Promedio total (g kg^{-1} MS) de proteína cruda (PC), digestibilidad (DIVMS), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en detergente ácido (LDA) de las leguminosas *M. lathyroides*, *M. atropurpureum* y *P. acutifolius*

Variables	<i>M. lathyroides</i> (n= 40)	<i>M. atropurpureum</i> (n= 40)	<i>P. acutifolius</i> (n= 28)	EEM
FDN	441.8 ^a	436.8 ^a	305.9 ^b	7.230
FDA	307.5 ^a	320.3 ^a	225.1 ^b	6.207
LDA	42.6 ^a	35.4 ^b	25.9 ^c	1.666
Proteína cruda	152.8 ^a	158.2 ^a	117.3 ^b	2.856
Digestibilidad	595.6 ^a	566.8 ^{ab}	493.7 ^b	17.12

EEM= error estándar de la media.

^{a,b} Medias con la misma letra entre hileras no son diferentes ($P>0.05$).

Figura 3: A) Proteína cruda; B) digestibilidad *in vitro* de la materia seca; C) fibra detergente neutro (FDN); D) fibra detergente ácido (FDA); E) lignina en detergente ácido de las leguminosas



M. lathyroides, *P. acutifolius* y *M. atropurpureum* evaluadas en Tlapanalá, Puebla.

El contenido de FDN fue mayor ($P < 0.05$) en las dos especies de *Macroptilium* en comparación a *P. acutifolius* (Cuadro 2). Las tres leguminosas en el primer corte (día 15) tuvieron una FDN promedio de 355.7 g kg⁻¹ MS, mientras que en el último corte (día 150) el promedio fue de 568.9 g. De igual manera, el contenido de FDA fue mayor ($P < 0.05$) en las dos especies de *Macroptilium* comparadas a *P. acutifolius*. En el primer corte el promedio de las tres leguminosas fue de 232.2 g kg⁻¹ MS y en el último corte el promedio fue de 383.6 g.

En concentración de LDA las especies fueron diferentes ($P < 0.05$), *Macroptilium lathyroides* tuvo el mayor promedio total seguido de *M. atropurpureum* y finalmente *P. acutifolius*. El contenido de FDN, FDA y LDA de las leguminosas incrementó conforme la madurez de las plantas incrementó (Figura 3).

La cantidad de fenoles totales fue similar ($P > 0.05$) en las tres leguminosas evaluadas (Cuadro 3), obteniendo un promedio de 20.2 g kg⁻¹ MS, mientras que en taninos condensados solamente *P. acutifolius* y *M. lathyroides* fueron diferentes ($P < 0.05$).

Cuadro 3: Concentración de fenoles totales y taninos condensados (g kg⁻¹ MS) en las leguminosas

Metabolitos secundarios	<i>P. acutifolius</i> (n= 4)	<i>M. atropurpureum</i> (n= 4)	<i>M. lathyroides</i> (n= 4)	EEM
Fenoles	20.962 ^a	22.253 ^a	17.660 ^a	0.316
Taninos	3.929 ^a	3.135 ^{ab}	1.824 ^b	2.016

EEM= error estándar de la media.

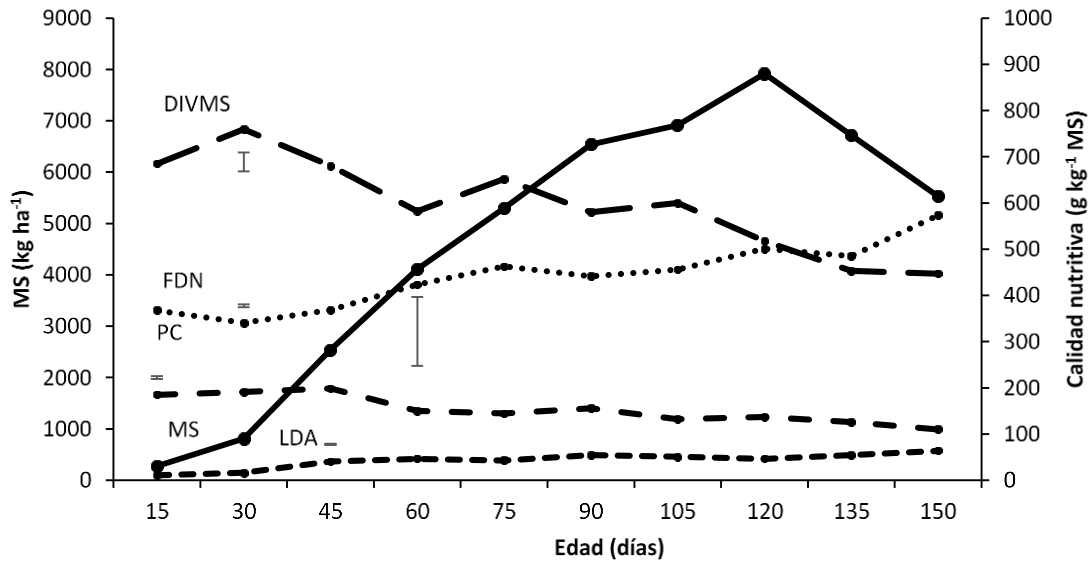
^{a,b} Medias con la misma letra entre hileras no son diferentes ($P > 0.05$).

d) Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

En cuanto a DIVMS, las dos especies de *Macroptilium* fueron iguales ($P > 0.05$); no obstante, *P. acutifolius* mostró un contenido similar ($P > 0.05$) al de *M. atropurpureum* (Cuadro 2). En el primero y último corte el promedio de DIVMS de las tres leguminosas fue de 753.4 y 468.7 g kg⁻¹ MS, respectivamente. Se observa que las tres especies forrajeras mostraron una reducción de PC y DIVMS conforme la madurez de las plantas incrementó (Figura 3).

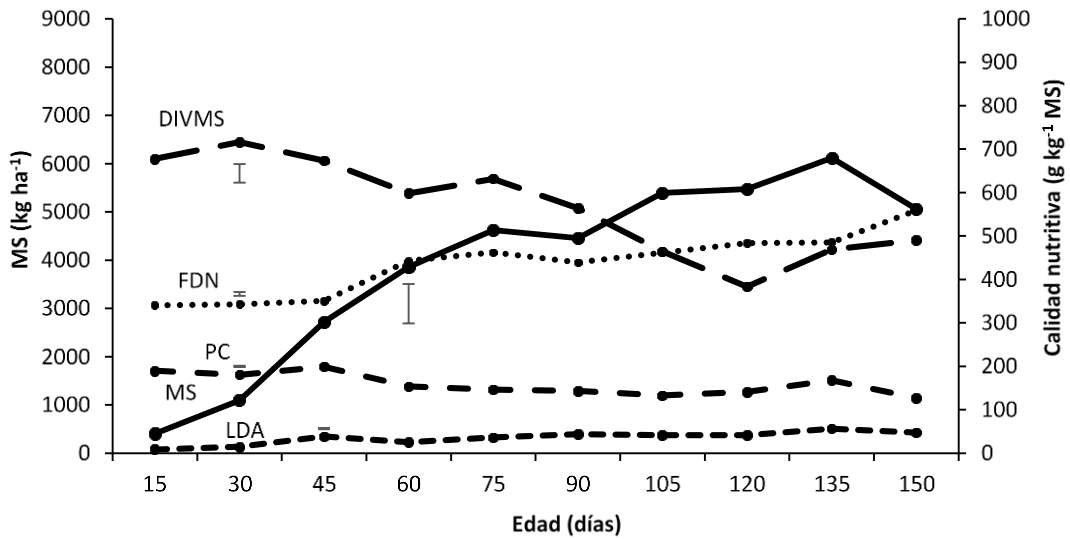
Considerando el balance entre el rendimiento de MS y calidad nutritiva de las leguminosas, la cosecha de *M. lathyroides* podría llevarse a cabo a los 75, 90, 105 o 120 días de edad. En *M. atropurpureum* el aprovechamiento podría realizarse a los 75, 90 o 105 días, mientras que en *P. acutifolius* el corte de las plantas podría llevarse a cabo a los 60 y 75 días de edad. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran la edad de las especies en las que éstas podrían ser aprovechadas para la alimentación de rumiantes.

Figura 4: Edad (75, 90, 105 y 120 días) en que *M. lathyroides* presenta un balance entre cantidad y calidad del forraje



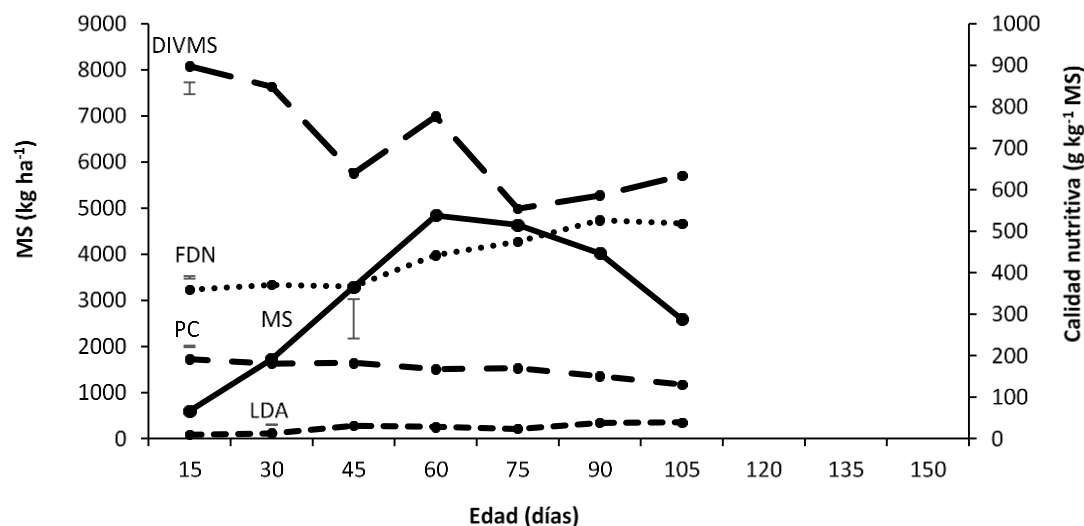
Las barras representan la diferencia mínima significativa entre cortes.

Figura 5: Edad (75, 90 y 105 días) en que *M. atropurpureum* presenta un balance entre cantidad y calidad del forraje



Las barras representan la diferencia mínima significativa entre cortes.

Figura 6: Edad (60 y 75 días) en que *P. acutifolius* presenta un balance entre cantidad y calidad del forraje



Las barras representan la diferencia mínima significativa entre cortes.

Discussion

Characterization of vegetative material

a) Production of dry matter

The results of MS in the two species of *Macroptilium* were superior to those reported in another study⁽²¹⁾, in which it is indicated a yield of 4,124 and 2,296 kg MS ha⁻¹ in *M. lathyroides* and in *M. atropurpureum*, respectively. Some African countries (Kenya and Tanzania) highlight the importance of the application of inorganic fertilizers during sowing and the growth of the plants to ensure a higher yield of MS. However, *M. atropurpureum* as a native species of Mexico presents adaptation and a good productive behavior in the tropical regions of this country⁽²²⁾. This in part can explain the high yields of MS in the current study, which, in addition, are

obtuvieron sin la aplicación de fertilizantes inorgánicos. Los resultados de MS de *M. lathyroides* y *M. atropurpureum* son consistentes con el rango de rendimiento de 500 a 4,800 kg MS ha⁻¹ informado en *M. atropurpureum*^(3,5,6).

El rendimiento promedio de MS en *P. acutifolius* (2,170 kg ha⁻¹) fue menor a las dos especies de *Macroptilium* por el menor número de cosechas (siete cortes) que esta especie tuvo en todo el experimento. Posiblemente, esta especie para alcanzar una mayor producción de MS necesite de mayor disponibilidad de humedad, tal y como se ha informado en *Mucuna pruriens*⁽²³⁾, en la que se alcanzó un rendimiento de 4,795 kg MS ha⁻¹ bajo irrigación una vez a la semana durante toda la fase de medición. Sin embargo, el resultado obtenido en *P. acutifolius* es superior a 1,478 kg MS ha⁻¹ informado también en *Mucuna pruriens* y comparable a 2,172 kg en *Centrocema pubescens* evaluadas bajo condiciones climáticas similares⁽²⁴⁾. El menor número de cortes en *P. acutifolius* posiblemente se debe a que esta especie en comparación a las del género *Macroptilium*, fue atacada severamente por la plaga común del frijol (*Epilachna varivestis* Mulsant) encontrando un promedio de 308 larvas y 9 adultos por m². Esto debilitó el área foliar de *P. acutifolius* y, por tanto, la especie no logró culminar con su ciclo biológico. Esto también podría explicar la mayor relación hoja-tallo en las dos especies del género *Macroptilium* en comparación a *P. acutifolius*.

b) Altura y cobertura

Macroptilium lathyroides fue la especie con mayor altura debido a que es una leguminosa enredadora con tendencia a erguirse en comparación a *M. atropurpureum* y *P. acutifolius*, las cuales mostraron un hábito de crecimiento postrado. Estos resultados coinciden con lo informado en otro estudio⁽²¹⁾, en donde se señala una mayor altura en *M. lathyroides* (129 cm) en comparación a *M. atropurpureum*, la cual por su crecimiento postrado tuvo una altura promedio de 36 cm. Sin embargo, a pesar de que *M. atropurpureum* y *P. acutifolius* mostraron una menor altura, estas especies tendieron a extenderse sobre el suelo, probablemente a que de esta manera su menor altura es compensada. Al menos *M. atropurpureum* logra extenderse de 0.38 a 0.7 m de longitud durante todo su ciclo biológico^(3,5).

La especie *P. acutifolius* alcanzó más rápido la cobertura total en comparación a las otras dos leguminosas. Este comportamiento coincidió con el mes de junio, mes en el que se obtuvo el mayor promedio de precipitación pluvial (116.3 mm) en toda la fase experimental. Sin embargo, su tendencia a una rápida cobertura empezó a disminuir conforme la precipitación disminuyó. *Phaseolus acutifolius* posiblemente podría tener mayor respuesta productiva ante condiciones más favorables de humedad en la región de estudio.

La mayor cobertura de *M. atropurpureum* se le atribuye a su crecimiento postrado comparado al crecimiento erecto de *M. lathyroides*. En un trabajo similar⁽²¹⁾ se señala que *M. lathyroides*

además de tener un hábito de crecimiento erecto, al alcanzar la madurez tiende a perder mayor cantidad de hojas en comparación a *M. atropurpureum* la cual es ligeramente más estable. Esto también ayuda a explicar la mayor cobertura de *M. atropurpureum* respecto a las otras dos especies.

c) Composición fisicoquímica

Las especies *M. atropurpureum* y *M. lathyroides* fueron las leguminosas que mostraron mayor contenido de PC, 158 y 153 g kg⁻¹ MS, respectivamente. Estos resultados son menores a lo informado en otro estudio⁽²¹⁾, en el que se determinó una cantidad de PC en *M. atropurpureum* de 210 g kg⁻¹ MS y de 180 g en *M. lathyroides*, posiblemente por la fertilización (N:P:K a 500 kg ha⁻¹) que se aplicó en la siembra y durante el crecimiento de las plantas. Se ha demostrado que la fertilización inorgánica influye ampliamente en la cantidad y calidad de las especies forrajeras^(24,25). Por otra parte, los resultados obtenidos en el actual trabajo coinciden con lo informado en otros estudios^(9,26), en los que se determinó una cantidad de PC en *M. atropurpureum* de 147 y 159 g kg⁻¹ MS. Además, los resultados del presente trabajo son consistentes con el rango de PC informado en *M. atropurpureum*, los cuales van de 130 a 280 g^(7,8). La especie *Phaseolus acutifolius* fue la leguminosa con menor contenido de PC (117 g); sin embargo, esta cantidad se acerca al intervalo de PC antes mencionado. El contenido de PC de las tres especies evaluadas en el actual estudio es suficiente para rumiantes en crecimiento y lactación, ya que en otros trabajos^(8,27) se menciona un requerimiento mínimo de 113 g kg⁻¹ MS para crecimiento y de 120 g para lactación en rumiantes.

El promedio total de FDN y FDA fue mayor en las dos especies del género *Macroptilium* en comparación a *P. acutifolius*. La menor cantidad de estos componentes en esta última especie, posiblemente se debe a que las plantas cosechadas fueron más jóvenes. Esta especie no alcanzó la floración. En otro estudio⁽⁸⁾ se menciona que la cosecha de leguminosas herbáceas antes de la floración contienen bajas concentraciones de FDN y FDA, mientras que en edad avanzada de las plantas el contenido de estos componentes es mayor. Los resultados de FDN en las especies del género *Macroptilium* son comparables con otros estudios^(26,28) en los que se reporta un contenido de FDN de 439 y 466 g kg⁻¹ MS en *M. atropurpureum*. Los resultados de FDA de igual manera son comparables con una cantidad de 302 g kg⁻¹ MS y una cantidad de 324 g kg⁻¹ MS informado en *M. atropurpureum*^(8,26). La especie *Macroptilium lathyroides* fue la leguminosa con mayor promedio total de lignina, posiblemente debido a su hábito de crecimiento erecto y a su mayor pérdida de hojas al alcanzar la madurez. Aquellas leguminosas herbáceas con hábitos de crecimiento erecto acumulan una mayor cantidad de carbohidratos estructurales, principalmente en los tallos, con el fin de apoyar el crecimiento aéreo comparado a una leguminosa rastrera como lo es *M. atropurpureum*⁽²⁷⁾. *Phaseolus acutifolius* fue la especie con menor promedio total de

lignina, coincidiendo de esta manera con su menor promedio de FDN y FDA por las mismas razones descritas en estas variables. Los resultados de FDN, FDA y LDA en las especies del género *Macroptilium*, son consistentes con los rangos informados en la literatura para *M. atropurpureum*; de 384 a 652, 300 a 553 y 46 a 180 g kg⁻¹ MS, respectivamente⁽²⁶⁻²⁹⁾.

En fenoles totales, en un trabajo similar, un estudio con *M. atropurpureum*⁽³⁰⁾ señala una cantidad moderada (cantidades no numéricas) de estos componentes en el follaje de las plantas. Según dicho estudio, el contenido de estos metabolitos en esta especie es bajo y no influye grandemente en la alimentación animal. El contenido de fenoles totales en *M. lathyroides*, *M. atropurpureum* y *P. acutifolius* reportado en el actual trabajo, es consistente con en el rango de 14.8 a 42.1 g kg⁻¹ MS reportado en otro estudio⁽³¹⁾, en donde además se menciona que estas cantidades de fenoles no comprometen la aceptabilidad de los forrajes por los rumiantes.

El contenido de taninos condensados de las tres leguminosas evaluadas, son inferiores a los de otro trabajo⁽³²⁾, en el que se informa una cantidad de 12 g kg⁻¹ MS en *M. atropurpureum*. Este mismo estudio señala que un contenido de taninos condensados de 29 g kg⁻¹ MS en una leguminosa herbácea, puede causar astringencia y, por tanto, un bajo consumo voluntario de MS por los rumiantes. Otro trabajo⁽³³⁾ señala que un contenido de taninos condensados de hasta 22 g kg⁻¹ MS no afecta la aceptabilidad y el consumo de los forrajes por los animales. Una cantidad de metabolitos secundarios similar o menor a la mencionada (22 g), puede tener efectos benéficos en los rumiantes al incrementar la absorción de nitrógeno por el animal⁽³⁴⁾. Los taninos condensados al formar complejos con proteínas evitan una alta degradación de éstas por bacterias en el rumen^(34,35). Así, las proteínas son protegidas y transportadas al tracto gastrointestinal, en donde son degradadas y absorbidas por el animal en forma de aminoácidos^(34,36).

El contenido de compuestos secundarios, como cualquier otro compuesto químico, puede variar de acuerdo a la etapa de crecimiento de las plantas⁽³⁷⁾, nutrición de las mismas y condiciones ambientales, incluso por los diferentes métodos utilizados para la determinación de tales compuestos⁽³²⁾. Esto podría explicar las bajas cantidades de taninos y fenoles obtenidos en el actual estudio, ya que la evaluación de estos componentes se llevó a cabo cuando las plantas tenían alrededor de dos meses de edad.

d) Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

El promedio total de DIVMS de las tres leguminosas evaluadas es consistente con lo informado en otros estudios^(7,26). En otro trabajo⁽²¹⁾, en *M. atropurpureum* y *M. lathyroides* se informa una mayor digestibilidad (615 y 651 g kg⁻¹ MS, respectivamente) posiblemente debido al corte de las plantas a una edad más temprana (106 días) en dicha investigación.

Aun así, los resultados de digestibilidad obtenidos en el actual estudio, son consistentes con el rango de 553 a 760 g reportados en *M. atropurpureum*^(26,29).

❖ Conclusiones e implicaciones ❖

Se concluye que *Macroptilium lathyroides* y *Macroptilium atropurpureum* fueron las especies que mostraron mayor rendimiento de materia seca, teniendo buen potencial para la alimentación de rumiantes. La especie *P. acutifolius* mostró un ciclo productivo corto, y por tanto, una menor cantidad de MS en toda la fase experimental. Por otra parte, el contenido de PC y DIVMS de las tres leguminosas se encuentra en el rango requerido para la alimentación de rumiantes en pastoreo o en sistemas alimenticios de corte y acarreo, ya que además, el contenido de taninos condensados y fenoles totales fue bajo. Finalmente, es necesario determinar en evaluaciones posteriores las formas en cómo estas leguminosas podrían ser integradas en los sistemas agrícolas mixtos (cultivos-ganado) de la región. Una opción podría ser el de establecerlas como bancos forrajeros o conservarlas como henos o silos para la suplementación del ganado en épocas de escasez de forraje.

● Literatura citada

1. Solanki GS. Feeding habits and grazing behavior of goats in a semi-arid region of India. *Small Ruminant Res* 1994;14(1):39-43.
2. Lebopa CK, Boomker EA, Chimonyo M, Mulugeta SD. Factors affecting the feeding behavior of tree ranging Tswana and Boer goats in the false Thornveld of the Eastern Cape, South Africa. *Life Sci J* 2011;8:70-80.
3. Njarui DMG, Wandera FP. Effect of cutting frequency on productivity of five selected herbaceous legumes and five grasses in semi-arid tropical Kenya. *Trop Grassl* 2004;38(3):158-166.
4. Njoka-Njiru EN, Njarui MG, Abdulrazak SA, Mureithi JG. Effect of intercropping herbaceous legumes with Napier grass on dry matter yield and nutritive value of the feedstuffs in semi-arid region of eastern Kenya. *Agric Trop Subtrop* 2006;39(4):255-267.

5. Njarui DMG, Njoka EN, Abdulrazak SA, Mureithi JG. Effect of planting patterns of two herbaceous forage legumes in fodder grasses on productivity of grass/legume mixture in semi-arid tropical Kenya. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2007;7(2):73-85.
6. Macharia PN, Kinyamario JI, Ekaya WN, Gachene CKK. Enhancement of grassland production through integration of forage legumes in semi-arid rangelands of Kenya. *Trop Grassl* 2005;39:234.
7. Mero RN, Udén P. Promising tropical grasses and legumes as feed resources in central Tanzania IV. Effect of feeding level on digestibility and voluntary intake of four herbaceous legumes by sheep. *Anim Feed Sci Technol* 1998;70(1):97-110.
8. Mupangwa JF, Ngongoni NT, Toops JH, Ndlovu P. Chemical composition and dry matter degradability profiles of forage legumes *Cassia rotundifolia* cv. *Wynn*, *Lablab purpureus* cv. *Highworth* and *Macroptilium atropurpureum* cv. *Siratro* at 8 weeks of growth (pre-anthesis). *Anim Feed Sci Technol* 1997;69(1):167-178.
9. Matizha W, Ngongoni NT, Toops JH. Effect of supplementing veld hay with tropical legumes *Desmodium uncinatum*, *Stylosanthes guianensis* and *Macroptilium atropurpureum* on intake, digestibility, outflow rates, nitrogen retention and live weight gain in lambs. *Anim feed Sci Technol* 1997;69(1):187-193.
10. Mupangwa JF, Ngongoni NT, Topps JH, Acamovic T, Hamudikuwanda H, Ndlovu LR. Dry matter intake, apparent digestibility and excretion of purine derivatives in sheep fed tropical legume hay. *Small Ruminant Res* 2000;36(3):261-268.
11. Undi M, Kawonga KC, Musendo RM. Nutritive value of maize stover/pasture legume mixtures as dry season supplementation for sheep. *Small Ruminant Res* 2001;40(3):261-267.
12. Mureithi JG, Gachene CKK, Ojiem J. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: The Legume Research Network Project. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2003;1(2-3):57-70.
13. Ankom T. Operator's manual. Ankom Technology, Macedon, New York 2006.
14. AOAC. The Official Methods of Analysis of AOAC International. Association of Official Analytical Chemist. 17th ed. Washington, USA. 2000.
15. García DE, Ojeda F. Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (L.). II Polifenoles totales. *Pastos y Forrajes* 2004;27(1):59-64.

16. Norma Mexicana; NMX-Y-326-SCFI-2004. Alimentos para animales-determinación de taninos en sorgo-método de prueba. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=672457&fecha=22/04/2004. Consultado 25 Nov, 2015.
17. Jones DIH, Hayward MV. The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *J Sci Food Agric* 1975;26:711-718.
18. Clarke T, Flinn PC, McGowan AA. Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass Forage Sci* 1982;37:147-150.
19. SAS (Statistical Analysis System). User's Guide: Statistics, version 9.0. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline, USA; 2002.
20. Steel RGD, Torrie JH. Principios y procedimientos de estadística. Segunda ed. México: McGraw-Hill Book Co; 1981.
21. Nakanishi Y, Tsuru K, Bungo T, Shimojo M, Masuda Y, Goto I. Effects of growth stage and sward structure of *Macroptilium lathyroides* and *M. atropurpureum* on selective grazing and bite size in goats. *Trop Grassl* 1993;27:108-113.
22. Shaw NH, Whiteman PC. A success story in breeding a tropical pasture legume. *Trop Grassl* 1977;11(1):7-14.
23. Mbutia EW, Gachuri CK. Effect of inclusion of *Mucuna pruriens* and *Dolichos lablab* forage in Napier grass silage on silage quality and on voluntary intake and digestibility in sheep. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2003;1(2-3):123-128.
24. Adjolohoun S, Buldgen A, Adandedjan C, Decruyenaere V, Dardenne P. Yield and nutritive value of herbaceous and browse forage legumes in the Borgou region of Benin. *Trop Grassl* 2008;42(2):104-111.
25. Evitayani LW, Fariani A, Ichinohe T, Fujihara T. Study on nutritive value of tropical forages in north Sumatra, Indonesia. *Asian-Aust J Anim Sci* 2004;17(11):1518-1523.
26. Njarui DMG, Mureithi JG, Wandera FP, Muinga RW. Evaluation of four forage legumes as supplementary feed for Kenya dual-purpose goat in the semi-arid region of eastern Kenya. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2003;3(2):65-71.
27. Mupangwa JF, Ngongoni NT, Hamudikuwanda H. The effect of stage of growth and method of drying fresh herbage on chemical composition of three tropical herbaceous forage legumes. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2006;6:23-30.

28. Matizha W, Ngongoni NT, Toops JH, Sibanda, S. Chemical composition of three herbaceous tropical forage legumes grown successfully in Zimbabwe. *JASSA* 2001;7(2):73-82.
29. Mero RN, Udén P. Promising tropical grasses and legumes as feed resources in central Tanzania V. Effect of supplementing *Cenchrus ciliaris* hay with leaves from four legumes on intake and digestibility by growing Mpwapwa bulls. *Anim Feed Sci Technol* 1998;70(1):111-122.
30. López HMA, Rivera LJA, Ortega RL, Escobedo MJG, Magaña MMA, Sanginés GJR, Sierra VAC. Nutritional composition and antinutritional factor content of twelve native forage species from northern Quintana Roo, Mexico. *Téc Pecu Méx* 2008;46(2):205-215.
31. García DE, Medina MG, Domínguez C, Baldizán A, Humbría J, Cova L. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootec Trop* 2006;24(4):401-415.
32. Mupangwa JF, Acamovic T, Topps JH, Ngongoni NT, Hamudikuwanda H. Content of soluble and bound condensed tannins of three tropical herbaceous forage legumes. *Anim Feed Sci Technol* 2000;83(2):139-144.
33. Waghorn GC, Ulyatt MJ, John A, Fisher MT. The effect of condensed tannins on the site of digestion of amino acids and other nutrients in sheep fed on *Lotus corniculatus* L. *Brit J Nutr* 1987;57(01):115-126.
34. Dewhurst RJ, Delaby RJ, Moloney A, Boland T, Lewis E. Nutritive value of forage legumes used for grazing and silage. *Irish J Agric Food Res* 2009;48:167-187.
35. Alonso-Díaz MA, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Hoste H. Tannins in tropical tree fodders fed to small ruminants: A friendly foe? *Small Ruminant Res* 2010;89(2):164-173.
36. Enríquez QJF, Meléndez NF, Bolaños AED, Esqueda EVA. Producción y manejo de forrajes tropicales. Primera ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental La Posta, Medellín de Bravo Veracruz, México 2011.
37. Barahona R, Lascano CE, Cochran R, Morrill J, Titgemeyer EC. Intake, digestion, and nitrogen utilization by sheep fed tropical legumes with contrasting tannin concentration and astringency. *J Anim Sci* 1997;75(6):1633-1640.