

CARACTERIZACIÓN NUTRITIVA DEL FOLLAJE DE SEIS ESPECIES FORRAJERAS CON ÉNFASIS EN SUS PERFILES POLIFENÓLICOS.

Nutritional Characterization of Six Fodder Species Foliage With Emphasis in Their Polyphenolic Profiles.

Danny Eugenio García¹, María Gabriela Medina¹, Tyrone Clavero², Luis José Cova³, Carlos Domínguez⁴ y Alfredo Baldizán⁴

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), estado Trujillo, Venezuela. ² Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (LUZ), estado Zulia, Venezuela. ³ Estación Experimental y de Producción Agrícola "Rafael Rangel", Universidad de los Andes (ULA), estado Trujillo, Venezuela. E-mail: dagamar8@hotmail.com. ⁴ Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos" (UNERG), San Juan de Los Morros, estado Guárico, Venezuela.

RESUMEN

Se llevó a cabo un experimento para evaluar los parámetros de degradabilidad ruminal de la MS (a, b, a+b y c), degradabilidad de la MS, PC y FDN a las 48 horas y la digestibilidad intestinal de la PC en ovinos adultos alimentados con *Enterolobium contortisilicum*, *Lysiloma latisiliquum*, *Moringa oleifera*, *Morus alba*, *Schizolobium excelsum* y *Trichantera gigantea* en el estado Trujillo, Venezuela. Todos los forrajes mostraron variaciones sustanciales en cuanto a la composición bromatológica ($P < 0,05$); mientras que *L. latisiliquum* y *S. excelsum* presentaron los niveles más sobresalientes de compuestos polifenólicos. El follaje de *E. contortisilicum* mostró la mayor degradación de la MS a tiempo cero (a: 31,1%) y *M. alba* exhibió una considerable fracción degradable y potencial de degradación (b: 71,2% y a+b: 92,8%; respectivamente). La velocidad de degradación de los forrajes no mostró diferencias significativas entre sí ($P > 0,05$). *M. alba* presentó la mayor degradabilidad de la MS (86,5%), PC (84,4%) y FDN (73,5%) a las 48 horas y *E. contortisilicum* y *M. oleifera* una superior digestibilidad posruminal de la proteína (39,0 y 37,8%; respectivamente). Los recursos alimenticios evaluados, aunque presentan características distintivas en cuanto a su composición química, constituyen buenas alternativas para la alimentación de los ruminantes. En esta investigación, en base a los resultados obtenidos, se consideró que los follajes con mayor potencialidades fueron: *E. contortisilicum*, *M. oleifera*, *M. alba* y *T. gigantea*. Se especula que el menor valor nutritivo de *L. latisiliquum* y *S. excelsum* para la alimentación de los ovinos se deba, a los niveles de compuestos polifenólicos presentes.

Palabras clave: Calidad, valor nutritivo, forrajes, alimentación animal, ovinos.

ABSTRACT

An experiment was carried out in order to evaluate the DM ruminal degradability parameters (a, b, a+b and c), 48 hours degradation of DM, CP and NDF and CP intestinal digestibility in mature sheep of *Enterolobium contortisilicum*, *Lysiloma latisiliquum*, *Moringa oleifera*, *Morus alba*, *Schizolobium excelsum* and *Trichantera gigantea* at Trujillo State, Venezuela. All forages showed substantial differences regarding proximal composition ($P < 0.05$); while *L. latisiliquum* and *S. excelsum* showed the highest polyphenolic compounds level. *E. contortisilicum* exhibited superior DM degradation (a: 31.1%) and *M. alba* showed considerable degradable fraction and degradation potential (b: 71.2% and a+b: 92.8%, respectively). The forages degradation rate not showed significant differences to each other ($P > 0.05$). *M. alba* showed the highest 48 hours DM degradability (86.5%), CP (84.4%) and NDF (73.5%) and *E. contortisilicum* and *M. oleifera* a superior posruminal protein digestibility (39.0 and 37.8%, respectively). Based on their chemical compositions, the evaluated feed with higher potential to be used for fed ruminants are: *E. contortisilicum*, *M. oleifera*, *M. alba* and *T. gigantea*. It is speculated that the lowest nutritive value of *L. latisiliquum* and *S. excelsum* for feeding ovines perhaps is due to the presence of polyphenolic compounds.

Key words: Quality, nutritive value, forages, animal feeding, ovines.

INTRODUCCIÓN

Aunque se conocen las ventajas que presenta la alimentación de los animales herbívoros con especies arbóreas y arbustivas, sobretodo en la época de menor disponibilidad de forraje, en muchos casos no se ha determinado la influencia directa de la composición química, y específicamente la presencia de metabolitos secundarios con propiedades antinutritivas y/o tóxicas, en la degradabilidad ruminal y la digestibilidad en rumiantes [3, 7, 9].

Asimismo la mayoría de las pruebas se han realizado con plantas de uso tradicional en el trópico tales como *Leucaena leucocephala*, *Acacia macracantha*, *Pithecellobium saman* y *Gliricidia sepium* sin considerar que existe un importante número de especies con potencial forrajero que no han sido evaluadas mediante experimentos con animales [8, 10].

Por otra parte, los resultados derivados de los ensayos de digestibilidad y degradabilidad realizados con el follaje de algunas forrajeras promisorias, han demostrado elevada variabilidad en una misma especie, debido fundamentalmente a las características contrastantes del material de análisis en términos de la edad de la biomasa, la fenología de la planta, la parte utilizada para realizar las pruebas, la época del año y las condiciones de cultivo. Por tales razones no se ha logrado dilucidar integralmente cuales son las particularidades, desde el punto de vista nutricional, que presentan cada fuente de alimento por no haber sido evaluados en igualdad de condiciones experimentales [3, 10].

Considerando lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo la estimación de los parámetros de degradabilidad de la materia seca (MS), la degradación ruminal de la MS, la proteína cruda (PC) y la fibra detergente neutro (FDN) a las 48 horas y la digestibilidad intestinal de la PC de seis especies forrajeras en el estado Trujillo, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la zona

El experimento se desarrolló en la Estación Experimental y de Producción Agrícola "Rafael Rangel" de la ULA en el municipio Pampán, estado Trujillo, Venezuela a 200 msnm. La precipitación promedio anual es de 1200 mm, temperatura media de 27 grados Celsius y humedad relativa de 76,8%.

Recolección y preparación de muestras

Para determinar la composición química de los forrajes a evaluar se realizó un único muestreo en cinco parcelas de 3 x 5 m; las cuales, de forma individual, contenían las seis especies podadas periódicamente a 0,5 m sobre el nivel del suelo.

La fracción comestible (750 gramos de hojas y tallos finos de 120 días) de *Enterolobium contortisilicum* (Vell.) Morong., *Lysiloma latisiliquum* (Benth.), *Moringa oleifera* Lam.,

Morus alba (L.), *Schizolobium excelsum* Vogel. y *Trichantera gigantea* (H.B.K.) Stend, fue colectada en el mes de febrero 2004 a las 8:00 a.m. Se tomaron cinco muestras de cada especie, constituida por las partes de la región apical, media y basal de la biomasa.

Todo el material se llevó de forma inmediata al laboratorio y se secó durante nueve días a temperatura ambiente, en un local ventilado en ausencia de luz para evitar la oxidación de los compuestos fenólicos. Posteriormente fueron molidas hasta un tamaño de partícula de 1 mm, y se almacenaron en frascos herméticos hasta la realización de los análisis de laboratorio, las pruebas de degradabilidad *in situ* y digestibilidad *in vitro*.

Determinación de la calidad de los alimentos

Bromatología: A cada muestra se le determinó el contenido de MS, PC, Fósforo (P) y ceniza mediante las metodologías clásicas de análisis [2]. La FDN y fibra detergente ácido (FDA) se cuantificaron según los protocolos descritos por Van Soest y col. [28] y los carbohidratos solubles (CHS) por la técnica de la Antrona/H₂SO₄ [14].

Compuestos secundarios: Los niveles de metabolitos secundarios se cuantificaron en todas las muestras, realizando los análisis por triplicado. La determinación de los polifenoles totales (FT) y los taninos totales (TT) se realizó por el método de Folin-Ciocalteu, antes y después del tratamiento de los extractos con polivinilpirrolidona [15]; mientras que los taninos que precipitan las proteínas (TPP) se analizaron mediante la metodología de la albúmina de suero bovino (fracción V) [17]. La cuantificación de los taninos condensados (TC) se hizo mediante el ensayo de nButanol/HCl/Fe³⁺ [24], y la de los taninos hidrolizables (TH) por hidrólisis ácida y desarrollo de color con rodanina [15]. La concentración de alcaloides totales (AlcT) se determinó por titulación ácida [26] y las saponinas (Sap) mediante el desarrollo de color con vainillina/H₂SO₄ [11].

Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad intestinal *in vitro*

En la estimación de la degradabilidad *in situ* se emplearon dos muestras de cada especie; las cuales provenían del material utilizado en las cuantificaciones fitoquímicas. El experimento se llevó a cabo en periodos continuos de cuarenta y cinco días (treinta de adaptación a la dieta y quince de mediciones) para cada especie. Las pruebas se realizaron en el siguiente orden: *E. contortisilicum*, *M. oleifera*, *L. latisiliquum*, *M. alba*, *S. excelsum* y *T. gigantea*.

La degradabilidad de la MS se estimó mediante el procedimiento de las bolsas de nailon en rumen [19], empleando dos bolsas (50 micra como tamaño promedio de poro) por cada tiempo de incubación (4; 8; 16; 24; 48; 72 y 96 horas) y tres repeticiones. Aproximadamente 2 g de forraje fueron incubados en el rumen de tres ovinos (*Ovis aries*) criollos de 37,4 ± 2,65 kg de peso vivo, los cuales con anterioridad fueron adaptados a consumir el forraje de los árboles por treinta días, como supe-

mento de una dieta basal formada por heno de *Cynodon spp. ad libitum* (MS: 92,5%; PC: 5,2%; FDN: 74,6%) con consumo medio diario de 1,80 kgMS/animal, 170 g/animal/día de concentrado comercial (MS: 86,2%; PC: 22,0%; FDN: 49,8%) totalmente consumido y agua a voluntad. El consumo promedio de cada especie evaluada fue de 120; 96; 104; 98; 78 y 91 gMS/animal/día de *E. contortisilicum*, *M. oleifera* *L. latisiliquum*, *M. alba*, *S. excelsum* y *T. gigantea*, respectivamente.

Los datos de degradabilidad de la MS se ajustaron según la ecuación propuesta por Ørskov y Mc Donald [20]: $p = a + b(1 - \exp^{-ct})$ empleando para los cálculos el programa NAWAY® (IFRU, Rowett Research Institute, Reino Unido).

En la cual

p: porcentaje de degradabilidad ruminal a tiempo t

a: fracción degradable en el t=0

b: fracción potencialmente degradable

c: velocidad de degradación

Para medir la degradabilidad ruminal de la MS, PC y FDN se empleó el tiempo de incubación de 48 horas y la digestibilidad posruminal *in vitro* de la PC a partir del residuo de las bolsas incubadas, empleando el procedimiento de los tres pasos (uso de pepsina y pancreatina) descrito por Calsamiglia y Etern [4] y validado para su utilización en arbóreas forrajeras.

Diseño experimental y métodos estadísticos

Se empleó un diseño totalmente aleatorizado con cinco réplicas. El ANOVA se realizó utilizando la dódima de comparación de Student-Newman-Keuls (SNK) mediante el paquete estadístico SPSS 10,0 [29] y las medias fueron comparadas para $P < 0,05$.

Para el análisis de correlaciones se empleó la opción Correlate del mismo paquete, usando el coeficiente de Pearson para establecer las relaciones entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de los forrajes ofertados

En la TABLA I se muestran los resultados del análisis bromatológico realizado en las especies, entre las que hubo diferencias estadísticas en todos los indicadores evaluados, exceptuando los valores de FDN.

Los mayores porcentajes de MS correspondieron con *E. contortisilicum* y *L. latisiliquum*, mientras que *E. contortisilicum* y *M. alba* se consideraron los forrajes más proteicos. Estas dos especies y *T. gigantea* presentaron las menores proporciones de FDA.

Por otra parte, los follajes analizados mostraron diferencias sustanciales en cuanto a los niveles de CHS. *E. contortisilicum* y *M. oleifera* exhibieron las mayores concentraciones. La última especie, *L. latisiliquum* y *S. excelsum* mostraron las mayores proporciones de fósforo y *T. gigantea* se caracterizó por exhibir el porcentaje más elevado de ceniza.

Independientemente de las diferencias numéricas encontradas, fundamentalmente en los porcentajes de MS, CHS y ceniza, todas las especies se caracterizaron por presentar elevados niveles proteicos; así como una aceptable fracción fibrosa, que en sentido general son similares a las informadas en otras forrajeras de uso intensivo en sistemas silvopastoriles tropicales tales como *L. leucocephala*, *G. sepium* y *Acacia nilotica* [5].

Las diferencias numéricas encontradas en la mayoría de los componentes, quizás están relacionadas con las particularidades en el metabolismo de cada especie; ya que todas se encontraban sometidas al mismo manejo agronómico y presentaban la misma edad y estado fenológico; aspectos que influyen drásticamente en la calidad de los forrajes tropicales [22].

Con relación a las concentraciones de PC, teniendo en cuenta la madurez de la biomasa, los niveles obtenidos (PC: 16,79-21,41%) son comparables con los reportados en la ma-

TABLA I
COMPOSICIÓN BROMATOLÓGICA DEL FOLLAJE DE ÁRBOLES TROPICALES/
BROMATOLOGICAL COMPOSITION OF TROPICAL TREE FOLIAGES.

Especie	Indicador (%)						
	MS	PC	FDN	FDA	CHS	P	Ceniza
<i>E. contortisilicum</i>	50,13 ^a	20,20 ^a	49,88	23,11 ^b	26,00 ^a	0,16 ^b	4,82 ^d
<i>L. latisiliquum</i>	49,06 ^a	17,87 ^b	48,78	32,18 ^a	16,89 ^b	0,20 ^{ab}	4,48 ^d
<i>M. oleifera</i>	38,98 ^{bc}	18,82 ^b	45,13	29,28 ^a	24,14 ^a	0,20 ^{ab}	12,18 ^b
<i>M. alba</i>	34,49 ^c	21,41 ^a	40,21	22,63 ^b	10,67 ^c	0,12 ^c	12,31 ^b
<i>S. excelsum</i>	44,92 ^b	18,00 ^b	45,85	34,80 ^a	12,29 ^c	0,24 ^a	8,28 ^c
<i>T. gigantea</i>	40,37 ^b	16,79 ^b	44,26	24,43 ^b	12,22 ^c	0,14 ^c	25,84 ^a
EE ±	8,3*	3,1*	11,4	5,8	4,2*	0,05*	3,4*

(a,b,c,d) Medias con superíndices desiguales, en una misma columna, difieren estadísticamente mediante la dódima de SNK a $P < 0,05$ *. MS: materia seca PC: proteína cruda FDN: fibra detergente neutro FDA: fibra detergente ácido CHS: carbohidratos solubles P: fósforo EE±: Error estándar.

yoría de las arbóreas y, específicamente son inferiores a los contenidos informados por Pedraza y col. [21], al evaluar los niveles proteicos de un numeroso grupo de árboles leguminosos tropicales, entre los que se destacaron *Albizia lebeck*, *Erythrina variegata*, *Erythrina berteroana*, *G. sepium* y *P. saman* (PC: 23,50-27,90%).

Considerando que las especies no leguminosas también exhibieron elevados porcentajes de nitrógeno en la fracción comestible, estas plantas también podrían emplearse como suplementos esencialmente proteicos en las dietas para los rumiantes; en las cuales las leguminosas han sido utilizadas preferentemente en los sistemas de alimentación animal. Los resultados coinciden con las caracterizaciones realizadas por Baldizán [3] y El Hassan y col. [6], con relación a la factibilidad de emplear ambos tipos de especies en la nutrición de pequeños y grandes herbívoros.

Los resultados del análisis de metabolitos secundarios en las forrajeras evaluadas se muestran en la TABLA II.

L. latisiliquum y *S. excelsum* presentaron los niveles más elevados de FT, TT y TC. El resto exhibieron concentraciones de estos compuestos las cuales son consideradas inocuas para el funcionamiento del rumen [15].

De manera general, el total de los polifenoles cuantificados coinciden con las concentraciones informadas en algunos de los árboles de mayor distribución en América Latina (FT: <7,00 %) [9,27]. No obstante, en muchos casos es difícil compararlos con los resultados obtenidos por otros autores, ya que las cuantificaciones se han realizado mediante otros procedimientos analíticos y factores importantes de los forrajes, tales como el estado fenológico de la planta y la edad de la biomasa, no se han descrito con precisión.

Con relación a los niveles de polifenoles con características precipitantes (TT, TPP, TC y TH), *S. excelsum* y *L. latisiliquum* mostraron cantidades superiores a las informadas como media en plantas forrajeras con perfil polifenólico (TT: 3,0%;

TPP: 0,80%; TC: 4,00%; TH: 0,20%) [8]. Dichas concentraciones sobrepasan los niveles críticos, a partir de los cuales se comienza a afectar la fermentación ruminal y la formación de ácidos grasos volátiles, ocasionando daños al buen funcionamiento digestivo (TT: 4,0%; TPP: 2,0%; TC: 4,00%; TH: 0,40%) [15].

No obstante, la poca cantidad de TT ($\leq 2,22\%$), TPP ($\leq 0,79\%$) y TH ($\leq 0,32\%$) en el resto de las especies, es un elemento positivo a considerar al evaluar integralmente las características antinutricionales de la fracción polifenólica de estas plantas; ya que se encuentran en el rango en el cual no se afecta el ecosistema ruminal y aumenta la posibilidad de formación de proteínas sobrepasante, facilitando así la digestibilidad posruminal del nitrógeno [1].

Por otra parte, los niveles de Sap y AlcT no mostraron diferencias estadísticas entre las especies. En este sentido, los valores obtenidos (Sap: 1,78-2,34%; AlcT: 0,05-0,10%) coinciden con los informados por Makkar y col. [16] y Sotelo y col. [26], como intermedios, en algunas leguminosas forrajeras.

Aunque no todas las Sap y los alcaloides son metabolitos deletéreos, cuando los niveles son cuantiosos actúan como inhibidores del consumo; tienen propiedades espumantes, presentan sabor amargo y constituyen potentes tóxicos en el metabolismo digestivo [9]. No obstante, las concentraciones en las especies evaluadas son similares a las reportadas en la harina de soya (ampliamente utilizada en la alimentación animal) y en el follaje de otras plantas consumidas sin dificultad por el ganado en condiciones naturales [15, 25].

Teniendo en cuenta estos aspectos, estos dos grupos de compuestos no deben causar trastornos al buen desempeño de los rumiantes. No obstante, se necesita realizar mediciones de otros indicadores que describan sus propiedades biológicas y químicas para poder dilucidar su verdadero efecto en la fisiología digestiva de los ovinos, caprinos y bovinos.

Con relación a la digestibilidad de la MS de cada especie, en la TABLA III se muestran los resultados.

TABLA II

NIVELES DE METABOLITOS SECUNDARIOS EN ARBÓREAS FORRAJERAS/ SECONDARY METABOLITES LEVEL IN FODDER TREE.

Especie	Grupo de metabolitos (%)						
	FT ¹	TT	TPP ¹	TC ²	TH ³	Sap ⁴	AlcT
<i>E. contortisilicum</i>	2,20 ^c	2,22 ^b	0,79 ^b	2,18 ^b	0,32 ^c	2,15	0,06
<i>L. latisiliquum</i>	5,70 ^a	5,32 ^a	0,91 ^b	5,25 ^a	0,65 ^a	1,82	0,05
<i>M. oleifera</i>	3,52 ^b	1,66 ^b	0,90 ^b	1,56 ^c	n.d	2,34	0,07
<i>M. alba</i>	1,50 ^c	n.d	n.d	n.d	n.d	2,32	0,10
<i>S. excelsum</i>	5,43 ^a	5,42 ^a	3,58 ^a	5,36 ^a	0,48 ^b	1,78	0,10
<i>T. gigantea</i>	1,48 ^c	0,11 ^c	n.d	n.d	0,10 ^d	1,98	0,07
EE±	0,81*	0,10*	0,33*	0,58*	0,06*	0,72*	0,04*

(a,b,c,d) Medias con superíndices desiguales, en una misma columna, difieren estadísticamente mediante la dócima de SNK a $P < 0,05^*$.

FT: polifenoles totales, TT: taninos totales, TPP: taninos que precipitan las proteínas TC: taninos condensados, TH: taninos hidrolizables, Sap: saponinas AlcT: alcaloides totales ¹como equivalente de ácido tánico ²como equivalente de leucocianidina, ³como equivalente de ácido gálico, ⁴como equivalente de diosgenina n.d: no detectada señal analítica en el análisis cuantitativo EE±: Error estándar.

TABLA III
**PARÁMETROS DE DEGRADABILIDAD RUMINAL DE LA MS DE ESPECIES TROPICALES/
 DM RUMINAL DEGRADABILITY PARAMETERS OF TROPICAL SPECIES.**

Especie	Parámetros de Deg. ruminal de la MS			
	a(%)	b(%)	a+b(%)	c(h ⁻¹)
<i>E. contortisilicum</i>	31,1 ^a	13,2 ^d	44,3 ^c	0,095
<i>L. latisiliquum</i>	11,1 ^c	17,4 ^d	28,5 ^d	0,088
<i>M. oleifera</i>	13,8 ^c	58,8 ^b	72,6 ^b	0,091
<i>M. alba</i>	21,6 ^b	71,2 ^a	92,8 ^a	0,087
<i>S. excelsum</i>	8,2 ^c	21,1 ^c	29,3 ^d	0,092
<i>T. gigantea</i>	22,5 ^b	54,3 ^b	76,8 ^b	0,089
EE±	6,3*	4,2*	9,9*	0,02

(a,b,c,d) Medias con superíndices desiguales, en una misma columna, difieren estadísticamente mediante la dócima de SNK a P<0,05*.

Deg.: degradabilidad a: fracción degradable en el t=0 b: fracción potencialmente degradable (a+b): potencial de degradación c: velocidad de degradación EE±: Error estándar.

Considerando que en muchos casos la degradabilidad ruminal de los pastos y forrajes presentan una fuerte relación con su composición química, el consumo voluntario que realizan los animales y su productividad [13]; el análisis de los principales indicadores del valor nutritivo, es de vital importancia para establecer las particularidades nutricionales de cada follaje arbóreo.

En ese sentido, las especies con las mayores proporciones de compuestos fenólicos (*L. latisiliquum* y *S. excelsum*) presentaron los resultados más bajos en cuanto al potencial de degradación de la MS (28,5-29,3% vs. promedio: 71,6%); así como la digestibilidad de la MS (25,8-26,6% vs. promedio: 71,33%), PC (22,4-31,8% vs. promedio: 69,73%) y FDN (14,2-19,2% vs. promedio: 57,20%) a las 48 horas (TABLAS III y IV).

E. contortisilicum presentó una fracción degradable (a) superior al resto de las especies; mientras que *M. alba* exhibió la mayor fracción potencialmente degradable (b) y potencial de degradación (a+b).

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas en la velocidad de desaparición de los follajes y *E. contortisilicum* y *M. oleifera* presentaron la mayor digestibilidad pos-ruminal de la PC.

Los elevados porcentajes del parámetro a en *E. contortisilicum*, *M. alba* y *T. gigantea* quizás se encuentren relacionados con la considerable proporción de nutrimentos solubles y la baja fracción de carbohidratos estructurales y lignina en la biomasa; aspecto señalado por Pinto y col. [23], al evaluar la composición química y el valor nutricional de algunos árboles en México.

La mayor porción potencialmente degradable (b) de *M. alba*, *M. oleifera*, *T. gigantea* y *E. contortisilicum*, comparada con *L. latisiliquum* y *S. excelsum*, quizás se encuentra relacionada con la elevada cantidad y actividad biológica de los polifenoles (FT, TT, TPP, TH y TC) presentes en estas últimas.

En este sentido, es bien conocido el efecto negativo que producen los taninos, y particularmente los TC, en el proceso digestivo y fermentativo cuando se encuentran en elevadas concentraciones; fundamentalmente por afectar la actividad de los microorganismos ruminales e interactuar, de forma irreversible, con los carbohidratos solubles [15], y disminuir la absorción de algunos macro y microelementos [1].

Los porcentajes del parámetro b en las especies con elevadas concentraciones de taninos (b: 17,4-21,1% vs. TT: 5,32-5,42%), son similares a los estimados por Pinto y col. [23], en el fruto de forrajeras tales como *Acacia milleriana*, *Guazuma ulmifolia* y *Ficus glabrata* las cuales contienen estructuras fenólicas de elevado peso molecular (b: 17,43-20,93% vs. Fenólicos 0,6-2,6%).

Por tales motivos, la presencia de estos compuestos en concentraciones superiores a las referidas anteriormente, pudiera ser la causa de la baja degradabilidad de la MS en *L. latisiliquum* y *S. excelsum*. Dicha particularidad, quizás se deba a la formación endógena de complejos tanino-proteínas y/o tanino-carbohidratos estructurales, los cuales no pueden ser atacados por las bacterias ruminales imposibilitando así su degradación cuantitativa [3, 18, 21].

Por otra parte, el potencial de degradación de todos los forrajes, aunque presentó una elevada variabilidad entre especies, es adecuado (28,5-92,8%) y se encuentra en el rango de otras leñosas de los géneros *Leucaena*, *Acacia*, *Pithecellobium* y *Ficus* (38,30-75,64%) [23]; las cuales han sido utilizadas con éxito como alimento suplementario en los sistemas de producción en América Central.

Dichos resultados apoyan lo expresado por numerosos autores en cuanto a la factibilidad de utilizar el follaje de los árboles, arbustos y las plantas arvenses en la alimentación de los rumiantes en sistemas de bajos insumos [5, 8, 18].

La velocidad de degradación de los forrajes (c) osciló entre 0,087 y 0,095 h⁻¹, las cuales se pueden considerar ade-

TABLA IV
**DEGRADABILIDAD RUMINAL Y DIGESTIBILIDAD INTESTINAL DEL FOLLAJE DE ÁRBOLES Y ARBUSTOS/
 RUMINAL DEGRADABILITY AND INTESTINAL DIGESTIBILITY OF TREE AND SHRUBS FOLIAGES.**

Especie	Degradabilidad a las 48 horas (%)			DPIVPC (%)
	MS	PC	FDN	
<i>E. contortisilicum</i>	58,7 ^c	59,6 ^b	42,6 ^c	39,0 ^a
<i>L. latisiliquum</i>	26,6 ^d	31,8 ^c	19,2 ^d	5,5 ^d
<i>M. oleifera</i>	67,4 ^c	66,3 ^b	59,6 ^b	37,8 ^a
<i>M. alba</i>	86,5 ^a	84,4 ^a	73,5 ^a	9,4 ^c
<i>S. excelsum</i>	25,8 ^d	22,4 ^c	14,2 ^d	1,8 ^d
<i>T. gigantea</i>	72,7 ^b	68,6 ^b	53,1 ^b	27,8 ^b
EE±	12,6*	9,4*	11,7*	4,5*

(a,b,c,d) Medias con superíndices desiguales, en una misma columna, difieren estadísticamente mediante la dócima de SNK a $P < 0,05^*$. DPIVPC: digestibilidad posruminal *in vitro* de la proteína cruda EE±: Error estándar.

cuadas si se consideran los resultados obtenidos por Estévez y col. [7] en especies del género *Polyscias* (0,036-0,112) y superiores a la reportada por Pinto y col. [23] en *A. milleriana*, *Enterolobium cyclocarpum*, *L. leucocephala*, y *G. ulmifolia* (0,064-0,085).

Con relación a la degradación de la MS, PC y FDN a las 48 horas, *M. alba* presentó los porcentajes más elevados. Por su parte, la proteína de *E. contortisilicum* y *M. oleifera* no degradada en el rumen, mostró una mayor asimilación en el intestino.

Al analizar estos resultados, de manera general, coinciden con los porcentajes de degradación informados en la biomasa de *P. dulce*, *Genipa americana* y *Erythrina goldmanii* y en el fruto de *L. leucocephala* y *A. milleriana* (MS: 33,40-77,26%; PC: 57,33-69,06%); especies de amplia distribución en los sistemas silvopastoriles contemporáneos [23]. No obstante, los referidos autores utilizaron un tiempo de incubación de 24 horas por lo que los resultados fueron ligeramente inferiores.

Considerando la digestibilidad del nitrógeno no degradado en el rumen, la elevada variabilidad interespecífica observada (1,8-39,0%) es similar a la informada por Kaitho y col. [12] en algunos suplementos fibrosos de África (14,0-31,4%), dichos resultados fueron atribuidos a la proporción de polifenoles presentes en la biomasa y la capacidad que presentan éstos para acomplejar las moléculas proteicas en dependencia de los cambios de pH que tiene lugar desde la entrada del abomaso hasta el intestino.

Este resultado confirma que los follajes estudiados aportan, fundamentalmente, nitrógeno al ecosistema ruminal por la elevada degradación de la PC, aunque las contribuciones a las partes bajas del tracto gastrointestinal de *E. contortisilicum*, *L. latisiliquum*, *M. oleifera* y *T. gigantea* no fueron despreciables al analizar la cantidad de nitrógeno no degradado en rumen que fue digerido en el intestino.

Por otra parte, los resultados en cuanto al aceptable valor nutritivo de los forrajes evaluados, podría traducirse en un

buen comportamiento productivo de los ovinos en condiciones de producción, ya que los valores de degradabilidad y digestibilidad son indicativos de la capacidad que presentan los alimentos para aportar nutrientes, fundamentalmente proteínas y sacáridos, a la flora ruminal e intestinal [3].

Al respecto, *S. excelsum*, una de los forrajes que exhibió menor degradabilidad ruminal de la PC a las 48 horas, presentó la digestibilidad intestinal del nitrógeno más baja. Esto podría deberse a la posible irreversibilidad del acomplejamiento de los taninos de esta especie con las proteínas en el rumen y su baja asimilación en el tracto gastrointestinal; aspecto corroborado mediante la prueba *in vitro*.

Independientemente de los mejores resultados de *E. contortisilicum*, *M. oleifera*, *M. alba*, y *T. gigantea*, en cuanto a su calidad, degradabilidad y digestibilidad del nitrógeno, todas las especies pueden utilizarse, considerando sus particularidades, como suplementos en los sistemas de alimentación animal en condiciones tropicales.

Con relación al nexo entre las variables del metabolismo secundario y los indicadores del valor nutritivo en la TABLA V se muestran los resultados.

La concentración de los FT presentó una relación significativamente positiva con los niveles de TT ($r=0,96^{**}$) y TC ($r=0,95^{**}$); y fuertemente negativa con los parámetros a ($r=-0,83^*$), a+b ($r=-0,82^*$) y la degradabilidad de la MS ($r=-0,93^{**}$), PC ($r=-0,91^*$) y FDN ($r=-0,85^*$).

Los niveles de TT se encontraron relacionados positivamente con los contenidos de FT y los dos tipos de taninos presentes (TH: $r=0,91^*$ y TC: $r=0,99^{**}$); mientras que dicha relación fue negativa con el potencial de degradación a+b ($r=-0,94^{**}$) y la DMS ($r=-0,99^{**}$), DPC ($r=-0,97^{**}$) y DFDN ($r=-0,94^{**}$) a las 48 h.

Los niveles de TC se relacionaron positivamente con las concentraciones de FT, TT y TH ($r=0,91^*$); y de forma fuertemente negativa con el potencial de degradación de la MS

TABLA V
**COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE DIFERENTES VARIABLES ESTUDIADAS EN SEIS ESPECIES FORRAJERAS/
 CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN DIFFERENT VARIABLE STUDIED IN SIX FODDER SPECIES.**

Variable	TT	TPP	TC	TH	Sap	AlcT	a	b	a+b	DMS	DPC	DFDN	DPIVPC
FT	0,96**	0,73	0,95**	0,79	-0,66	-0,14	-0,83*	-0,60	-0,82*	-0,93**	-0,91*	-0,85*	-0,54
TT		0,77	0,99**	0,91*	-0,75	-0,16	-0,66	-0,79	-0,94**	-0,99**	-0,97**	-0,94**	-0,53
TPP			0,77	0,54	-0,58	0,37	-0,62	-0,54	-0,69	-0,75	-0,82*	-0,75	-0,44
TC				0,91*	-0,75	-0,15	-0,65	-0,80	-0,94**	-0,98**	-0,97**	-0,94**	-0,53
TH					-0,84*	-0,34	-0,40	-0,89*	-0,94**	-0,93**	-0,90**	-0,94**	-0,52
Sap						0,13	0,48	0,68	0,78	0,84*	0,86*	0,90*	0,59
AlcT							-0,20	0,43	0,33	0,22	0,13	0,21	-0,45
a								0,08	0,39	0,63	0,65	0,53	0,63
b									0,95**	0,82*	0,79	0,86*	0,13
a+b										0,96**	0,94**	0,96**	0,32
DMS											0,99**	0,98**	0,50
DPC												0,99**	0,51
DFDN													0,47

*(P<0,05) **(P<0,01) N=30. FT: polifenoles totales, TT: taninos totales, TPP: taninos que precipitan las proteínas, TC: taninos condensados, TH: taninos hidrolizables, Sap: saponinas, AlcT: alcaloides totales, a+b: potencial de degradación de la MS, DMS: degradabilidad ruminal de la MS a las 48 h, DPC: degradabilidad ruminal de la PC a las 48 h, DMS: degradabilidad ruminal de la FDN a las 48 h, DPIVPC: digestibilidad posruminal *in vitro* de la PC.

($r=-0,94^{**}$) y la degradación de la MS ($r=-0,98^{**}$), PC ($r=-0,97^{**}$) y FDN ($r=-0,94^{**}$) a las 48 h.

Los contenidos de TH presentaron una estrecha relación positiva con los niveles de TT y TC; y significativamente negativa con los tenores de Sap ($r=-0,84^*$), la degradación de la MS en el tiempo ($r=-0,89^*$), el potencial de degradación de la MS ($r=-0,94^{**}$) y la degradabilidad a las 48 h de la MS ($r=-0,93^{**}$), PC ($r=-0,90^{**}$) y FDN ($r=-0,94^{**}$).

En este sentido es conocida la influencia perjudicial de los compuestos fenólicos, tanto los de estructura simple como los taninos de elevado peso molecular, en la degradación de las principales fracciones nutritivas de los forrajes tropicales, debido fundamentalmente a la inactivación de enzimas digestivas y la disminución en la actividad de algunos microorganismos ruminales, tales como las bacterias aminolíticas y fibrolíticas; no permitiendo la degradación efectiva de los componentes de la dieta [17, 18, 23].

La concentración de TPP solamente se relacionó negativamente con la degradabilidad de la PC ($r=-0,82^*$) a las 48 h.

Específicamente los TPP presentan una elevada afinidad por las proteínas de estructuras secundarias y terciarias poco rígidas, tales como las presentes en muchas de las especies forrajeras tropicales y en la saliva y el plasma de los animales.

Al respecto, estudios desarrollados *in vitro*, y corroborado en experimentos *in situ*, han demostrado que los TPP es el principal indicador que se debe considerar para estimar la acción detrimental de los compuestos fenólicos en la fisiología digestiva de los rumiantes; ya que en dependencia de la estruc-

tura de los FT, TT y TC estos pueden precipitar o no las proteínas [15, 17].

Las Sap solamente se relacionaron negativamente con los contenidos de TH y de forma positiva con la degradación de las fracciones mayoritarias (MS: $r=0,84^*$, PC: $r=0,86^*$ y FDN: $r=0,90^*$).

Aunque desde el punto de vista nutricional, generalmente las Sap han sido consideradas como metabolitos perjudiciales para la alimentación y la salud animal por causar flatulencia y timpanismo [9]; cuando los niveles en los forrajes son adecuados se ha demostrado un efecto positivo en la síntesis de ácidos grasos volátiles, la fermentación de los carbohidratos y la eficiencia en la formación de proteína microbiana en el rumen [15, 16]. Considerando los niveles observados; así como su relación positiva con la degradabilidad ruminal, las saponinas presentes en los forrajes estudiados, pueden ser consideradas como metabolitos secundarios pronutricionales en las condiciones experimentales descritas.

Los niveles de AlcT no se relacionaron con ningún metabolito secundario estudiado ni con los indicadores del valor nutritivo.

En este sentido, cuando la concentración de alcaloides en las dietas para rumiantes es baja, como la observada en esta investigación, estos compuestos son transformados por la flora ruminal a moléculas nitrogenadas más simples, las cuales son metabolizadas sin causar daños al funcionamiento digestivo [9].

La fracción a se relacionó de forma fuertemente negativa con los niveles de FT; mientras que la b presentó estrecha re-

lación negativa con la concentración de TH y positiva con el potencial de degradación de la MS ($r=0,95^{**}$), la DMS ($r=0,82^*$) y la DFDN ($r=0,86^*$) a las 48 h.

El potencial de degradación de la MS se relacionó negativamente con todos los compuestos polifenólicos, a excepción de la concentración de TPP. Sin embargo, este indicador presentó relación positiva con la fracción b y la degradabilidad de la MS ($r=0,96^{**}$), PC ($r=0,94^{**}$) y FDN ($r=0,96^{**}$).

En sentido general, la degradabilidad a las 48 h de la MS, PC y FDN se relacionó negativamente con la concentración de los compuestos fenólicos y positivamente (menos los TPP) con los contenidos de Sap y el potencial de degradación de la MS.

Los resultados ponen de manifiesto la influencia determinante de los FT y TH en la degradación de las fracciones rápida y lenta de la MS, respectivamente. El poco efecto de los TPP en la cinética de desaparición ruminal de estos forrajes y su acción medular en el acomplejamiento con la PC.

La digestibilidad intestinal de la PC no presentó relación sustancial con ninguno de los metabolitos secundarios cuantificados. Aunque dichas determinaciones fueron realizadas en condiciones *in vitro* pudieran indicar que, aún cuando los taninos presentes en las especies evaluadas acomplejan la proteína en el rumen, el desdoblamiento del complejo tanino-proteína en el abomaso no ocurre con todos los forrajes. En este sentido, investigaciones recientes han demostrado que las características químico-física de los taninos (conformación espacial, cantidad de grupos OH y proporción de monómeros), expresa el grado de irreversibilidad para acomplejar macromoléculas proteicas dependiente del pH; por lo que constituye un factor prioritario para comprender el efecto perjudicial/beneficioso de estos compuestos en la formación de proteína sobrepasante (*by pass*) [15, 17].

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El follaje de todas las especies evaluadas presenta aceptable composición proximal, fundamentalmente en términos de PC, FDN, CHS y ceniza. Sin embargo, *L. latisiliquum* y *S. excelsum* presentan considerables niveles de taninos con acentuada actividad biológica que pueden influir en la degradabilidad ruminal de la MS, PC y FDN. Integralmente la biomasa comestible de *E. contortisilicum*, *M. oleifera*, *M. alba* y *T. gigantea* presentan mayor factibilidad alimentaria; ya que contienen bajas concentraciones de compuestos secundarios y exhiben mayor degradabilidad ruminal de sus componentes. Independientemente de que el valor nutricional de las especies estudiadas se encontró influenciado drásticamente por la composición química de cada alimento, todas constituyen buenas alternativas como suplemento para ovinos en condiciones tropicales.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento a los trabajadores de la Estación Experimental y de Producción Agrícola "Rafael Rangel" perteneciente a la Universidad de los Andes del estado Trujillo, Venezuela, por su valioso apoyo para llevar a cabo esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AERTS, R.J.; BARRY, T.N.; MC NABB, W.C. Polyphenols and agriculture: beneficial effect of proanthocyanidins in forages. **Agricult. Ecosyst and Environm.** 75:1-12. 1999.
- [2] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis. 15th Ed. Washington, D.C. USA. 500 pp. 1990.
- [3] BALDIZÁN, A. Producción de biomasa y nutrimentos de la vegetación del bosque seco tropical y su utilización por rumiantes a pastoreo en los Llanos Centrales de Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Tesis de Doctorado, Caracas, Venezuela. 288 p.p. 2003.
- [4] CALSAMIGLIA, S.; ETERN, M.D. A three-step *in vitro* procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants. **J. Anim. Sci.** 73:1459-1564. 1995.
- [5] CLAVERO, T. *Leucaena leucocephala*. Alternativa para la alimentación animal. Centro de Transferencia de Tecnología en Pastos y Forrajes. La Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. 78 p.p. 1998.
- [6] EL HASSAN, S.M.; LAHLOU, A.; NEWBOLD, C.J.; WALLACE, R.J. Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. **Anim. Feed Sci. Technol.** 86:27-33. 2000.
- [7] ESTÉVEZ, O.V.; PEDRAZA, R.M.; GUEVARA, R.V.; PARRA, C.E. Composición química y degradabilidad ruminal del follaje de tres variedades de *Polyscias guilfoylei* en la épocas de seca. **Past y Forraj.** 27(2):177-181. 2004.
- [8] GARCÍA, D.E. Evaluación de los principales factores que influyen en la composición fitoquímica de *Morus alba* (Linn.). EEPF "Indio Hatuey", Cuba. Tesis de Maestría. 97 pp. 2003.
- [9] GARCÍA, D.E. Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. **Past y Forraj.** 27(2):101-111. 2004.
- [10] GONZÁLEZ, E.; CÁCERES, O. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. **Past y Forraj.** 25(1):15-19. 2002.

- [11] HIAI, S.; OURA, H.; NAKAJIMA, T. Color reaction of some saponins and saponins with vanillin and sulfuric acid. **Plant Med.** 29(2):116-119. 1976.
- [12] KAITHO, R.J.; UMUNNA, N.N.; NS AHLAI, I.V.; TAMMINGA, S.; VAN BRUCHEM, J. Utilization of browse supplements with varying tannin levels by Ethiopian Menz sheep: 2. Nitrogen metabolism. **Agrofor Syst.** 39(2):161-173. 1997.
- [13] LARBI, A.; SMITH, J.W.; RAJI, A.M.; KURDI, I.O.; ADEKUNIE, I.O.; LAPIDO, P. Seasonal dynamic in dry matter degradation of browse in cattle, sheep and goats. **Small Rum. Res.** 25:129-133. 1997.
- [14] LEZCANO, S.Q.; GONZÁLEZ, R. Metodología para la evaluación de alimentos de consumo animal. EDICA, La Habana, Cuba. 93 pp. 2000.
- [15] MAKKAR, H.P.S. Quantification of tannins in tree and shrub foliage. Klumer Academic Publishers. Netherlands. A laboratory manual. 102 pp. 2003.
- [16] MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K.; ABEL, E.; PAWELZIK, E. Nutrient contents, rumen protein degradability and antinutritional factor in some colour-and white-flowering cultivars of *Vicia faba* beans. **J. Sci. Food Agric.** 45:511-520. 1997.
- [17] MAKKAR, H.P.S.; DAWRA, R.K.; SINGH, B. Determination of both tannin and protein in a tannin-protein complex. **J. Agric. Food Chem.** 36:523-525. 1988.
- [18] MAKKAR, H.P.S.; GOODCHILD, A.V.; ABD-EL-MONEIN, A.M.; BECKER, K. Cell-constituents, tannin levels by chemical and biological assays and nutritional value of some legume foliage and straws. **J. Sci. Food Agric.** 71:129-136. 1996.
- [19] MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **J. Agric. Sci. (Cambridge)**. 88:645-649. 1977.
- [20] ØRSKOV, E.R.; MC DONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **J. Agric. Sci. (Cambridge)**. 92:499-504. 1979.
- [21] PEDRAZA, R.M.; LA O, O.; ESTÉVEZ, J.; GUEVARA, G.; MARTÍNEZ, S. Nota técnica: Degradabilidad ruminal efectiva y digestibilidad intestinal *in vitro* del nitrógeno del follaje de leguminosas arbóreas tropicales. **Past y Forraj.** 26(3):237-241. 2003.
- [22] PINEDA, M. Resúmenes de Fisiología vegetal. Servicios de publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, España. 204 pp. 2004.
- [23] PINTO, R.; RAMÍREZ, L.; KÚ-VERA, J.C.; ORTEGA, L. Especies arbóreas y herbáceas forrajeras del sureste de México. **Past y Forraj.** 25(3):171-180. 2002.
- [24] PORTER, L.J.; HRSTICH, L.N.; CHAN, B.G. The conversion of procyanidins and prodelfinidins to cianidin and delphinidin. **Phytochem.** 25:223-230. 1986.
- [25] SOTELO, A; CONTRERA, E.; FLORES, S. Nutritional value and content of antinutritional compounds and toxics in ten wild legumes of Yucatan Peninsula. **Plant Food.** 47:115-123. 1995.
- [26] SOTELO, A; SOTO, M.; LUCAS, B. Comparative studies of the alkaloids composition of two Mexican *Erythrina* species and nutritive value of the detoxified seeds. **J. Agric. Food Chem.** 41:2340-2343. 1996.
- [27] VALERIO, S. Contenido de taninos y digestibilidad *in vitro* de algunos forrajes tropicales. **Agrofor. Am.** 1(1):10-13. 1994.
- [28] VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.; LEWIS, B. Symposium: Carbohydrate, methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle, Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **J. Dairy Sci.** 74:3583-3597. 1991.
- [29] VISAUTA, B. Análisis Estadístico con SPSS para Windows. En: Visaута, B. (Ed). **Estadística Multivariante**. Mc-Graw-Hill-Interamericana de España. Madrid, España. 200 p.p. 1998.