

Composición química y degradabilidad de la proteína de forrajes nativos de la región semiárida del norte de México

Maribel Guerrero¹², A.S Juárez², R.G. Ramírez¹, R. Montoya², M. Murillo², O. La O³ y María A. Cerrillo

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Avenida Universidad, S/N, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66450, México

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, km 11.5, Carretera Durango-Mezquital, Durango, 34280, México

³Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana, Cuba
Correo electrónico: ajuarez52@yahoo.com.mx

Se estimó la composición química, tasa y degradabilidad de la PC, energía metabolizable (EM) y proteína metabolizable (PM) de arbóreas (2), arbustivas (11), herbáceas (4), cactáceas (3), flores, frutos y vainas (8) que consumen los pequeños rumiantes en agostadero. La composición química se determinó por métodos estándar, la EM a partir de la producción de gas *in vitro* y la degradabilidad de la PC *in situ*. Los datos se sometieron a análisis de varianza para un diseño completamente al azar y se correlacionó la composición química con la degradabilidad de la PC. Los contenidos en FND (65, 41, 46, 43 y 37 % MS, respectivamente), lignina (10, 8, 12, 2 y 7 % MS), hemicelulosa (32, 18, 13, 30 y 10 % MS), celulosa (22, 16, 21, 11 y 20 % MS), EM (4.6, 6.6, 8.5, 7.3 y 7.8 MJ/kg MS), PM (4.9, 7.7, 7.3, 2.9 y 4.5 % MS), así como la tasa constante de degradación *c* de la PC (4.0 % h⁻¹, 6.4, 4.4, 3.7, 8.7) y la degradabilidad efectiva de la PC (28, 55, 62, 77 y 76 %) fueron diferentes en cada grupo de plantas. Se concluye que el valor nutricional (EM y PM) de arbustivas y herbáceas es alto y las cactáceas y frutos en EM. La tasa constante de degradación *c* de la PC de frutos, arbustivas y herbáceas les confiere buen potencial nutritivo para pequeños rumiantes en agostadero. Por el contrario, la degradabilidad efectiva de la PC permite clasificar a las arbóreas estudiadas como especies de mediana calidad.

Palabras clave: *plantas nativas, energía metabolizable, proteína metabolizable, semidesierto, México.*

Los pequeños rumiantes (cabras, ovejas y venado cola blanca) que pastorean la vegetación nativa de México seleccionan su dieta a partir de una amplia variedad de especies vegetales, las cuales difieren en su contenido y disponibilidad de nutrientes durante el año. (Cerrillo y Juárez 2004 y Ramírez-Orduña *et al.* 2008). Los forrajes nativos son fuente importante de nutrientes, incluso las especies arbustivas y arbóreas se consideran como alimentos proteicos (Makkar 2003 y Bhatta *et al.* 2004). Los cladidos de las cactáceas y sus frutos se utilizan como alimento de emergencia, al proporcionar energía y agua en época de sequía (Ramírez *et al.* 2000a y Ben Salem y Smith 2008), mientras que las herbáceas aportan proteína en la época lluviosa (Ramírez *et al.* 2006).

El valor nutritivo de los alimentos está dado por su composición química y por la eficiencia con que los animales extraen sus nutrientes durante la digestión (Sanon *et al.* 2008). Por esta razón, es importante conocer el contenido en nutrientes y valor nutritivo de especies individuales nativas. Con un mejor conocimiento de las mismas, se puede aspirar al buen manejo del agostadero (Melgoza-Castillo 2006) y por tanto, a mejor alimentación del ganado (Juárez *et al.* 2004).

Se sabe que, por su composición química y características de degradabilidad *in situ* de su proteína y fibra, las leguminosas nativas del desierto Chihuahuense tienen buen potencial para propor-

cionar proteína sobrepasante para caprinos (Pawelek *et al.* 2008). Los resultados de Turgut y Yanar (2004) para forrajes individuales de Turquía reafirman estos criterios. Estudios realizados en la región semiárida del noreste, centro y norte de México (Ramírez *et al.* 2000a, Ramírez *et al.* 2000b, Ramírez-Orduña *et al.* 2003, Ramírez *et al.* 2006, Pinos-Rodríguez *et al.* 2007 y Guerrero-Cervantes *et al.* 2009) indicaron que, aunque la composición química, la degradabilidad de la MS, PC, FDN y el contenido en minerales del follaje de especies vegetales arbóreas, arbustivas y cactáceas difiere en las diferentes épocas del año, estas especies tendrían buen potencial nutritivo para los pequeños rumiantes.

No obstante, se requieren más investigaciones acerca de las características de la degradabilidad de la proteína para tener un conocimiento más preciso del potencial nutritivo de las especies vegetales individuales nativas que crecen en las regiones de escasa precipitación pluvial de México.

Los objetivos de este estudio fueron determinar y comparar la composición química, el valor nutritivo y la tasa y grado en que se digiere la proteína de varios forrajes seleccionados por pequeños rumiantes en agostadero en la región semiárida del norte de México.

Materiales y Métodos

Sitios de colecta. Las especies de plantas estudiadas se recolectaron en siete lugares situados en cuatro

municipios del estado de Durango, México: Durango (23° 29', 24° 26' LN y 104° 06' y 105° 34' LO), Guadalupe Victoria, (24° 07', 24° 41' LN y 103° 54', 104° 16' LO), Peñón Blanco (24° 28', 25° 04' LN y 103° 47', 104° 19' LO) y Cuencamé (24° 01', 25° 16' LN y 103° 22', 104° 01' LO). La altitud sobre el nivel del mar en esta región varía de 1860 a 2400 msnm, la temperatura media anual de 13 a 21°C y la precipitación pluvial anual entre 327 y 430 mm. Principalmente, los tipos de suelo que predominan son: feozem, cambisol, litosol, regosol, rendzina y xerosol (COTECOCA 1979).

Especies nativas estudiadas. Se recolectó follaje de arbóreas: *Quercus eduardii* Trel. y *Quercus grisea* Liebm; follaje de arbustivas: *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., *Acacia constricta* Standl., *Acacia shaffneri* (S. Watson) F.J. Herm., *Cassia wislizeni* A. Gray, *Celtis pallida* Torr., *Condalia lycioides* (Gray) Weberb., *Cordia parvifolia* A. DC; *Flourenzia cernua* DC, *Larrea tridentata* (Ses. et Moc ex DC.) Felger & Lowe, *Mimosa biuncifera* (Benth.) Britt. & Rose y *Prosopis leavigata* (Willd.) M. C. Johnst.; follaje de herbáceas: *Coldenia greggii* (Torr. & Gray) Gray, *Dalea bicolor* Humb. & Bonpl., *Jatropha dioica* Cerv. y *Parthenium incanum* Kunth.; cladidos inmaduros de cactáceas: *Opuntia imbricata* (Haw.) DC, *Opuntia leptocaulis* DC y *Opuntia leucotricha* DC; frutos de *Opuntia leucotricha* DC. (tuna roja y blanca), *Opuntia leptocaulis* DC y *Opuntia imbricata* (Haw.) DC; frutos de *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt., vainas de *Prosopis leavigata* (Willd.) M. C. Johnst.; y *Acacia shaffneri* (S. Watson) F.J. Herm. y flores de *Yucca spp.*

En pastos comunes para diferentes animales, en una superficie de aproximadamente 1 ha, se seleccionaron diez plantas al azar por especie, consideradas como dominantes (Pawelek *et al.* 2008). Las arbóreas, arbustivas, herbáceas, flores, frutos y vainas se sometieron a secado a 55° C en estufa de aire forzado, durante 48 h. A las cactáceas se le quemaron las espinas, según las costumbres de los productores, antes de ofrecerlas a los animales. Posteriormente, se picaron y secaron en una habitación amplia, protegida y con ventilación. Entre el piso de cemento y las muestras existía una superficie de plástico. Todas las muestras se molieron en Molino Wiley, con malla de 2 mm, para estimar la degradabilidad *in situ*. Para determinar la composición química se utilizó una malla de 1 mm.

Análisis químico. Las especies nativas se analizaron para determinar su concentración en proteína (AOAC 1997), fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lign-

ina, de acuerdo con van Soest *et al.* (1991). La hemicelulosa (FDN-FDA) y celulosa (FDA-lignina) se calcularon por diferencia.

Valor nutritivo. El contenido en energía metabolizable (EM) se estimó mediante la técnica de producción de gas *in vitro*. Se incubaron 200 mg de cada especie (por triplicado) en jeringas de vidrio calibradas de 100 mL durante 24h. Como inóculo se utilizó líquido ruminal de ovino. El cálculo se realizó de acuerdo con la ecuación de Menke y Steingass (1988):

EM (MJ kg⁻¹ MS) = (2.20 + 0.136 producción de gas a 24h + 0.057PC + 0.0029 grasa²).

Para calcular el contenido en proteína metabolizable (PM) se emplearon las variables PC, degradabilidad efectiva de la PC, digestibilidad verdadera *in vitro* de la MO (Daisy^{II} ANKOM Technology, Macedon, NY. USA), grasa y valores calculados de la materia orgánica fermentada en el rumen (MOFR). Se asumió que la digestibilidad de la PC sobrepasante en el intestino delgado varía de 0.65 a 0.75 (Agabriel 2007). Debido a que 64 % de las muestras fue deficiente en energía (menos de 20 g de proteínas digestibles en el intestino derivadas de la energía/kg MOFR, con respecto a las proteínas digestibles en el intestino derivadas de la proteína/kg MOFR), se utilizó la siguiente ecuación:

PM = proteína sobrepasante (PS) + proteína microbiana formada a partir de la energía (PMFE)

Donde:

PS = 1.11xPC (1degradabilidad) x degradabilidad en el intestino delgado .

PMFE = 0.093xMOFR.

Para 36 % de las muestras, deficientes en proteína, se utilizó la ecuación siguiente:

PM = PS + proteína microbiana formada a partir del nitrógeno del alimento (PMFN)

Donde:

PMFN = 0.64xPCx(Degradabilidad - 0.10) (Agabriel *et al.* 2007).

Degradabilidad in situ. La tasa de degradación y la degradabilidad efectiva de la PC se estimaron mediante incubación de 5 g de muestra en bolsas de nailon (tamaño 5 x 10 cm y tamaño del poro de 50 µm) (Adesogan 2005). Las bolsas se incubaron durante 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h en la parte ventral del rumen de tres ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). Se colocaron todas al mismo tiempo en el rumen y se retiraron según los tiempos de incubación indicados. Posteriormente, se lavaron varias veces hasta que el agua salió clara (5 L/tres bolsas) (Juárez *et al.* 2004). Se secaron en estufa durante 48h a 55 °C y se conservaron en recipientes de plástico hasta que se realizaron los análisis.

Las pérdidas de MS y PC de las bolsas se estimaron, antes y después del lavado, mediante diferencia de peso de las bolsas. La desaparición de la MS y PC para cada tiempo de incubación se calculó como desaparición de la MS o PC, $\% = [(MS \text{ o PC inicial} - MS \text{ o PC final}) / (MS \text{ o PC inicial}) \times 100$.

Las características de degradación de la PC se obtuvieron ajustando los datos a la ecuación siguiente:

$P = a + b(1 - e^{-ct})$ (Ørskov y McDonald 1979), donde:

a = fracción rápidamente soluble

b = fracción lentamente degradable

a + b = degradabilidad potencial

c = tasa constante de degradación de b

t = tiempo de incubación

La DEPC se calculó como $(a + b) c / (c + k)$ (e^{-ct} ^{LT}), asumiendo una tasa de paso de 5 % h⁻¹ (AFRC 1993).

Análisis estadístico. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza para un diseño completamente al azar, usando el procedimiento GLM (SAS 2000). Las diferencias entre medias se estimaron mediante la prueba de Tukey. Adicionalmente, se calcularon coeficientes de correlación entre la composición química y la degradabilidad efectiva de la PC (DEPC) (Steel y Torrie 1980).

Resultados

Composición química. La composición química de todas las especies en cada grupo de plantas fue diferente ($P < 0.05$). En las arbóreas se registró rango en su PC de 7 - 9 %, mientras que en las arbustivas fue de 10 - 17 %. En las herbáceas osciló de 10 - 16 % y en las cactáceas de 5 - 6 %. En las flores y frutos fue de 4-19 %. El contenido en FDN de las arbóreas fue de 65 % y el de las arbustivas de 11- 34. En las herbáceas osciló de 42 - 48 y en las cactáceas de 38 - 49 %. En las flores, frutos y vainas fue de 19 - 55 (tabla 1). El contenido en lignina en las arbóreas fue de 10 % de MS, y varió en las arbustivas de 3 - 14 %. En las herbáceas fue de 10 - 15 y en las cactáceas de 1 - 2. En las flores, frutos y vainas fue de 1-13 (tabla 1). En las arbóreas se registró el rango más amplio de hemicelulosa (31-33 % MS), seguido por las cactáceas (22-38), arbustivas (9-32), herbáceas (10-17) y frutos y vainas (4 - 18).

Valor nutritivo. La concentración más alta de EM se registró en las herbáceas (7.8 - 9.8 MJ/kg MS), seguida por el grupo compuesto por flores, frutos y vainas (7.1-9.4), cactáceas (6.8-7.5), arbustivas (3.7-8.3) y arbóreas (4.4-4.7). Sin embargo, el mayor contenido de PM se registró en las arbustivas (5.8-9.8%), seguido por las herbáceas (5.7-8.2), arbóreas (4.5-5.4), flores, frutos, vainas (2.3-7.9) y cactáceas (2.7-3.2).

Degradabilidad de la proteína. La fracción rápidamente soluble **a** de la PC, la fracción lentamente degradable **b**, la tasa constante de degradación **c** y la DEPC, fueron diferentes en todos los forrajes dentro de cada grupo de plantas (tabla 2). Los valores más altos de la fracción **a** se observaron en las cactáceas (56-62%) y flores, frutos y vainas (18-74), y en orden decreciente en las herbáceas (13-43), arbustivas (6-34) y arbóreas (13-14). En relación con la fracción **b**, los valores más altos se registraron en las herbáceas (63 - 97 %), seguidos por las arbustivas (11-94), cactáceas (37-52), arbóreas (32-46) y flores, frutos y vainas (21-56). La tasa constante **c** fue similar en las arbóreas (4.0 %/h); sin embargo, los porcentajes más altos se observaron en las flores, frutos y vainas (5.1-14.5 %/h), seguidos por las arbustivas (2.3-8.7), herbáceas (1.3-7.2), arbóreas (4.0) y cactáceas (2.3-5.8). Los valores más altos de DEPC se encontraron en las cactáceas (76-78 %), y en orden decreciente en las flores, frutos y vainas (48-95), herbáceas (51-67), arbustivas (29-73) y arbóreas (26-29).

Discusión

Composición química. En este trabajo, el contenido en PC del follaje de los Quercus es menor (promedio = 8 %) al informado por Yousef y Rouzbehan (2008). Estos autores encontraron valores de 9 - 12 %. Con respecto a las especies arbustivas, el contenido en PC fue alto (rango = 10 - 17 %), pero inferior al encontrado en otros sitios del noreste de México (Ramírez-Orduña *et al.* 2008). Sin embargo, se sabe que, en una alta proporción de la proteína en estas especies, principalmente en las Acacias, el N es poco soluble y su degradabilidad en el rumen y su digestión intestinal son bajas (Ben Salem y Smith 2008). Por el contrario, aunque su contenido en PC es bajo (promedio = 5.0 %), el N de las cactáceas es altamente soluble.

La FDN es la fracción insoluble de los alimentos que resulta después de hervir las muestras de alimento en una solución con detergente neutro. Esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa, sílice, proteína (dañada por el calor) y lignina (van Soest *et al.* 1991). Los forrajes con contenidos en FDN relativamente bajos (40 % o menos) son de mayor calidad nutricional que los que contienen altas concentraciones (60 % o más) de este compuesto (van Soest 1994). En este sentido, los resultados de este estudio indican que las arbustivas, herbáceas, cactáceas, flores, frutos y vainas, con relativamente bajo contenido en FDN, pueden tener mayor valor nutricional que las arbóreas. La variación en la composición de la FDN se relaciona con factores como la madurez de las plantas, la

Tabla 1. Composición química (% MS) de plantas nativas de la región semiárida del norte de México

Especies	PC	FND ^a	Lignina	Hemicelulosa	Celulosa	EM ^b MJ kg ⁻¹	PM ^c
Arbóreas							
<i>Quercus eduardii</i>	7.3	64.0	10.0	31.0	23.0	4.40	4.5
<i>Quercus grisea</i>	8.8	65.0	10.0	33.0	21.0	4.75	5.4
Promedio	8.0	65.0	10.0	32.0	22.0	4.57	4.9
EEM	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.11	0.2
Sign.	***	***	NS	***	***	***	***
Arbustivas							
<i>Acacia constricta</i>	16.8	35.0	9.0	13.0	13.0	8.35	9.6
<i>Acacia shaffneri</i>	15.5	57.0	11.0	23.0	24.0	5.00	9.8
<i>Atriplex canescens</i>	12.4	35.0	3.0	24.0	8.0	7.15	6.6
<i>Cassia wislizeni</i>	10.0	49.0	8.0	16.0	25.0	8.20	5.8
<i>Celtis pallida</i>	14.8	46.0	5.0	32.0	12.0	8.25	7.4
<i>Condalia lycioides</i>	14.3	34.0	10.0	14.0	9.0	5.45	7.9
<i>Cordia parvifolia</i>	12.5	41.0	11.0	10.0	21.0	6.85	7.4
<i>Flourenzia cernua</i>	14.6	32.0	8.0	12.0	12.0	7.65	7.5
<i>Larrea tridentata</i>	13.1	26.0	4.0	9.0	13.0	3.70	7.6
<i>Mimosa biuncifera</i>	15.5	47.0	14.0	14.0	19.0	5.80	9.0
<i>Prosopis leavigata</i>	17.0	48.0	5.0	25.0	18.0	6.55	6.7
Promedio	14.2	41.0	8.0	18.0	16.0	6.63	7.7
EEM	0.4	1.1	0.4	0.9	0.4	0.07	0.2
Sign.	***	***	***	***	***	***	***
Herbáceas							
<i>Coldenia greggii</i>	9.7	48.0	10.0	13.0	26.0	9.80	5.7
<i>Dalea bicolor</i>	13.9	46.0	10.0	17.0	18.0	8.35	8.2
<i>Jatropha dioica</i>	14.4	42.0	15.0	10.0	18.0	7.90	7.7
<i>Pathenium incanum</i>	15.5	46.0	13.0	13.0	20.0	7.85	7.7
Promedio	13.4	46.0	12.0	13.0	21.0	8.47	7.3
EEM	0.8	0.5	0.7	0.3	0.3	0.08	0.4
Sign.	***	***	***	***	***	***	**
Cactáceas							
<i>Opuntia imbricata</i>	4.8	49.0	1.0	38.0	10.0	6.85	2.8
<i>Opuntia leptocaulis</i>	5.5	41.0	2.0	30.0	9.0	7.40	3.2
<i>Opuntia leucotricha</i>	4.6	38.0	2.0	22.0	13.0	7.55	2.7
Promedio	5.0	43.0	2.0	30.0	11.0	7.26	2.9
EEM	0.4	1.5	0.3	1.0	0.4	0.1	0.2
Sign.	***	***	***	***	***	***	***
Flores, frutos y vainas							
Flores de <i>Yucca spp.</i>	18.6	19.0	1.0	4.0	14.0	9.05	7.9
Frutos de <i>Atriplex canescens</i>	4.6	61.0	13.0	17.0	31.0	5.10	2.9
Frutos de <i>Opuntia imbricata</i>	8.1	48.0	9.0	18.0	21.0	7.50	4.7
Frutos de <i>Opuntia leptocaulis</i>	4.9	37.0	8.0	7.0	22.0	7.15	2.9
Vainas de <i>Acacia shaffneri</i>	10.3	25.0	4.0	6.0	16.0	7.80	6.4
Vainas de <i>Prosopis leavigata</i>	12.2	55.0	10.0	12.0	32.0	7.30	6.1
Frutos rojos de <i>O. leucotricha</i>	4.8	25.0	4.0	6.0	14.0	9.30	2.8
Frutos blancos de <i>O. leucotricha</i>	3.9	24.0	6.0	6.0	12.0	9.45	2.3
Promedio	8.4	37.0	7.0	10.0	20.0	7.83	4.5
EEM	0.4	1.3	0.7	0.8	1.1	0.1	0.1
Sign.	***	***	***	***	***	***	***

FDN = Fibra detergente neutro; EEM = Error estándar de la diferencia entre medias; *** (P<0.001); NS = no significativa. ^bEM = Energía metabolizable calculada como: (2.20 + 0.136 Producción de gas_{24h} + 0.057 PC + 0.0029 Grasa²). ^cPM = proteína metabolizable calculada como: PDIA = 1.11 * PC (1 - Degradabilidad) x degradabilidad en el intestino delgado; PDIMN = 0.64 x PC x (degradabilidad a 48h - 0.10); PDIME = 0.093 x MOFR.

Tabla 2. Degradabilidad *in situ* de la PC de plantas nativas de la región semiárida del norte de México

Especies	a, %	b, %	c, % h ⁻¹	DEPC, %
Árbóreas				
<i>Quercus eduardii</i>	13.0	32.0	4.0	26.0
<i>Quercus grisea</i>	14.0	46.0	4.0	29.0
Promedio	14.0	39.0	4.0	28.0
EEM	1.9	7.4	0.01	2.3
Sign.	NS	***	NS	**
Arbustivas				
<i>Acacia constricta</i>	8.0	71.0	8.0	52.0
<i>Acacia shaffneri</i>	19.0	11.0	2.3	29.0
<i>Atriplex canescens</i>	29.0	68.0	7.1	67.0
<i>Cassia wislizeni</i>	13.0	88.0	5.2	58.0
<i>Celtis pallid</i>	10.0	81.0	8.7	61.0
<i>Condalia lycioides</i>	15.0	94.0	3.3	52.0
<i>Cordia parvifolia</i>	14.0	88.0	2.9	46.0
<i>Flourenzia cernua</i>	7.0	87.0	2.6	66.0
<i>Larrea tridentate</i>	34.0	65.0	5.5	63.0
<i>Mimosa biuncifera</i>	6.0	92.0	2.8	39.0
<i>Prosopis leavigata</i>	18.0	67.0	5.5	73.0
Promedio	16.0	74.0	6.4	55.0
EEM	2.7	7.5	0.05	3.5
Sign.	***	***	***	***
Herbáceas				
<i>Cassia greggii</i>	25.0	71.0	7.2	67.0
<i>Dalea bicolor</i>	13.0	82.0	4.5	51.0
<i>Jatropha dioica</i>	43.0	97.0	1.3	64.0
<i>Pathenium incanum</i>	38.0	63.0	4.8	65.0
Promedio	30.0	78.0	4.4	62.0
EEM	2.7	18.6	0.02	2.4
Sign.	***	***	***	***
Cactáceas				
<i>Opuntia imbricata</i>	62.0	42.0	3.0	78.0
<i>Opuntia leptocaulis</i>	66.0	52.0	2.3	78.0
<i>Opuntia leucotricha</i>	56.0	37.0	5.8	76.0
Promedio	61.0	44.0	3.7	77.0
EEM	1.7	14.4	0.01	1.3
Sign.	***	***	***	***
Frutos y vainas				
Flores de <i>Yucca spp.</i>	68.0	30.0	10.3	95.0
Frutos de <i>Atriplex canescens</i>	18.0	56.0	5.9	48.0
Frutos de <i>Opuntia imbricata</i>	74.0	21.0	5.9	85.0
Frutos de <i>Opuntia leptocaulis</i>	48.0	33.0	7.6	77.0
Vainas de <i>Acacia shaffneri</i>	33.0	46.0	5.1	56.0
Vainas de <i>Prosopis leavigata</i>	58.0	35.0	7.8	79.0
Frutos rojos de <i>O. leucotricha</i>	71.0	21.0	14.5	87.0
Frutos blancos de <i>O. leucotricha</i>	53.0	36.0	12.3	78.0
Promedio	53.0	35.0	8.7	76.0
EEM	3.5	2.4	0.07	2.1
Sign.	***	***	***	***

^aEEM = Error estándar de la diferencia entre medias; NS = No significativa; *** (P < 0.001).
a = Fracción rápidamente soluble; **b** = Fracción de la PC lentamente degradada en el rumen; **c** = Tasa constante de degradación de la fracción **b**; DEPC = Degradabilidad efectiva de la PC calculada con una tasa de paso de 5.0 % h⁻¹.

genética y el medio ambiente en que crecen los forrajes (Turgut y Yanar 2004). En regiones similares a las estudiadas en esta investigación se han encontrado también bajos contenidos en lignina en las cactáceas (Ramírez *et al.* 2000b y Cerrillo y Juárez 2004) en diferentes especies del género *Opuntia*.

Valor nutritivo. El contenido en EM, calculado a partir de la producción de gas *in vitro*, procedimiento que involucra la actividad de la microbiota ruminal, combinado con variables de la composición química convencional, podría resultar en una mejor estimación del valor energético de especies vegetales nativas, en comparación con procedimientos que recurren a ecuaciones de predicción, que solamente emplean la composición química tradicional. En este estudio, las arbustivas *A. constricta*, *C. wislizeni* y *C. pallida*, las herbáceas *C. greggii* y *D. bicolor*, las flores de *Yuca* spp y los frutos rojos y blancos de *O. leucotricha* tienen EM suficiente para cubrir los requerimientos de mantenimiento y actividad media de una cabra adulta en agostadero (8 MJ/kg MS, valor energético equivalente a 2 Mcal/kg MS) (NRC 2007).

El empleo del concepto proteína metabolizable, como lo sugieren los actuales sistemas de alimentación proteica en diversas partes del mundo, podría ayudar a mejor comprensión del potencial nutritivo de forrajes nativos consumidos por pequeños rumiantes manejados en agostadero. El atributo de este concepto consiste en la verificación del buen funcionamiento del rumen a través de la estimación del balance N: E de los forrajes (Agabriel *et al.* 2007) para promover el crecimiento de los microorganismos ruminales y del rendimiento animal. Con excepción de las cactáceas, y algunos frutos y vainas, la mayoría de las plantas estudiadas tuvieron valores de PM adecuados para satisfacer los requerimientos de mantenimiento de caprinos adultos en agostadero, con actividad media (5.0 % MS) (NRC 2007). Como se esperaba, en la medida que se incrementó el contenido en PC, también aumentó el contenido en PM en todas las plantas ($r = 0.94$, $P < 0.001$).

Degradabilidad de la proteína. La fracción *a* incluye moléculas en forma de N no proteico (urea, aminoácidos libres y péptidos pequeños), las cuales se liberan cuando el alimento llega al rumen y se convierten rápidamente en N amoniacal. La contribución de este N a la producción de proteína microbiana es relevante (Klopfenstein *et al.* 2001). Sin embargo, existe un límite por encima del cual esta fracción *a* no es fisiológicamente aceptable, ya que no debe superar 40 % de la degradabilidad efectiva de la PC (AFRC 1993). Con excepción de las arbustivas, que registraron una relación

a: DEPC = 29 %, en los otros grupos de vegetales (arbóreas y arbustivas = 48 %, cactáceas = 79 % y flores, frutos y vainas = 70 %) la relación fue superior al valor recomendado (< 40 %) para evitar la pérdida de N en los rumiantes.

La magnitud de la fracción de proteína lentamente degradable *b* depende del tiempo que el alimento permanece sometido a la actividad enzimática de los microorganismos ruminales (NRC 2007). Los valores para esta fracción en las arbustivas y herbáceas son superiores a los de forrajes verdes (65 %); mientras que para las arbóreas, flores, frutos y vainas son similares a los observados en las pajas de cereales (AFRC 1993).

La tasa constante de degradación *c* de la proteína, la cual representa el ritmo de degradación (h^{-1}), es una variable clave que describe el proceso de digestión de la PC en el rumen y la tasa de degradación de la fracción insoluble *b*. Los valores promedio obtenidos en frutos y vainas (8.6 % h^{-1}), arbustivas (6.4) y herbáceas (4.4) les confiere un buen potencial nutritivo para pequeños rumiantes en agostadero, mientras que la baja tasa constante *c* en las cactáceas podría explicarse por la presencia de mucinas, compuestos que disminuyen la actividad microbiana ruminal (Villegas-Díaz *et al.* 2007).

La DEPC es una estimación del total de N capturado y utilizado por los microorganismos para la síntesis de proteína y su crecimiento (AFRC 1993). La proteína de los forrajes es susceptible a rápida degradación en el rumen, especialmente la de los forrajes verdes en los cuales se degrada hasta 73 % (Klopfenstein *et al.* 2001). Los bajos valores de DEPC de las arbóreas (28 %) se relacionan con la concentración de metabolitos secundarios (taninos condensados, $r = -0.42$, $P < 0.001$). Estos limitan la actividad microbiana en el rumen, debido a su capacidad para ligarse con la proteína de los forrajes (Yousef y Rouzbehan 2008), localizada en la pared primaria de las células vegetales, la cual se une estrechamente a la celulosa y la hemicelulosa (Grenet 1997). Sin embargo, es posible que una parte de esta proteína estructural (hasta 12 %) sea utilizable (Ramírez-Orduña *et al.* 2003).

En este estudio, la composición química de los forrajes no se relacionó con la tasa constante de degradación *c* de la PC. Sin embargo, el incremento en los componentes estructurales (FDN, $r = -0.60$, $P < 0.001$; lignina, $r = -0.57$, $P < 0.001$) y antinutricionales (taninos condensados, datos no reportados, $r = -0.42$, $P < 0.001$) influyó negativamente en DEPC (tabla 3). Sin embargo, la DEPC se incrementó al aumentar la EM ($r = 0.59$; $P < 0.001$).

El alto contenido de PC y el bajo de FDN de las arbustivas y herbáceas, les confiere valor energético

Tabla 3. Relación entre la composición química (% MS) y la DEPC de especies nativas del norte de México.

	a	b	c	a + b	DEPC
PC	-0.44***	0.43***	0.17	0.08	-0.18
FDN	-0.53***	0.11	-0.07	-0.39***	-0.60***
FDA	-0.30**	0.04	-0.06	-0.24	-0.43***
Lignina	-0.46***	0.32**	-0.20	-0.07	-0.57***
Taninos condensados	-0.36***	0.34**	-0.15	0.05	-0.42***
Energía metabolizable	0.34**	-0.06	0.12	0.03	0.59***

** P < 0.01 *** P < 0.001

(EM) y proteico (PM) suficiente para cubrir las necesidades de caprinos adultos en agostadero. Se destaca el alto valor energético de las cactáceas y flores, frutos y vainas, alimentos que se emplean en periodos de sequía y en épocas cortas en el año, respectivamente. La composición química de las especies vegetales estudiadas no afectó la tasa constante de degradación de la PC, pero la presencia de componentes estructurales y antinutricionales sí afectó la DEPC en las arbóreas, por lo que estas especies se consideran con valor proteico y energético medio.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo recibido por la beca CONACYT (201282), ANKOM Technology Inc (Macedon, NY. USA) y la Red Internacional de Nutrición y Alimentación (PROMEP-SEP).

Referencias

Adesogan, A.T. 2005. Effect of bag type on the apparent digestibility of feeds in ANKOM DaisyII incubators. *Anim. Feed Sci. Tech.* 119:333

AFRC, 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International. Wallingford, U.K. p. 159

Agabriel, J., Pomies, D., Nozières, M.O. & Faverdin, P. 2007. Principes de rationnement des ruminants. En *Alimentation des bovines, ovins et caprins. Besoins des animaux-Valeur des aliments.* INRA. Éditions Quae. Paris, Francia. p.9

AOAC 1997. Official Methods of Analysis. 16th ed. Ass. Off. Anal. Chem. Washington, D.C. USA.

Ben Salem, H. & Smith, T. 2008. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments. *Small Rumin. Res.* 77: 174

Bhatta, R., Shinde, A.K., Verma, D.L., Sankhyan, S.K. & Vaithiyathan, S. 2004. Effect of supplementation containing polyethylene glycol (PEG)-6000 on intake, rumen fermentation pattern and growth in kids fed foliage of *Prosopis cineraria*. *Small Rumin. Res.* 52:45

Cerrillo, M.A. & Juárez, R.A.S. 2004. *In vitro* gas production parameters in cacti and tree species commonly consumed by grazing goats in a semiarid region of North Mexico. *Disponible:* http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd16/4_cerr16021.htm. Consultado: 18 de febrero de 2009

COTECOCA 1979. Types of vegetation, forage production and stocking rates in the State of Durango, México. *Calypso. México D.F.* p. 200

Grenet, E. 1997. Aspects microscopiques de la dégradation microbienne des tissus végétaux dans le rumen. *Prod. Anim.* 10:241

Guerrero-Cervantes, M., Ramírez, R.G., Cerrillo-Soto, M.A., Montoya-Escalante, R., Nevárez-Carrasco, G. & Juárez-Reyes, A.S. 2009. Dry matter digestion of native forages consumed by range goats in North Mexico. *J. Anim. Vet. Adv.* 8:408

Juárez, R.A.S., Montoya, E.R., Nevarez, C.G., Cerrillo, S.M.A. & Mould, F.L. 2004. *In situ* degradability of dry matter and neutral-detergent fibre of thorn scrublands forage consumed by goats in the semi-arid region of north Mexico. *Anim. Sci.* 79:505

Klopfenstein, T.J., Mass, R.A., Creighton, K.W. & Patterson, H.H. 2001. Estimating forage protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 79:208

Makkar, H.P.S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Rumin. Res.* 49:241

Melgoza-Castillo, A. 2006. Current situation of rangelands in Mexico. En: *Grasslands Ecosystems, Endangered Species, and Sustainable Ranching in the Mexico-U.S. Borderlands.* Basurto, X., Hadley, D. (Eds.). Conference Proceedings RMRS-P-40. Fort Collins, CO. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, p.85.

Menke, K.H. & Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Develop.* 28:7

NRC 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academic of Press. Washington, D.C., p.36.

Ørskov, R. & McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92:499

Pawelek D.L., Muir J.P., Lambert B.D. & Wittie, R.D. 2008. *In sacco* rumen disappearance of condensed tannins, fiber, and nitrogen from herbaceous native Texas legumes in goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140:225

Pinos-Rodríguez, J.M., Aguirre-Rivera, J.R., Mellado, M., García-López, J.C., Álvarez-Fuentes, G., Méndez-Villazana, J.C. 2007. Chemical and Digestibility Characteristics of Some Woody Species Browsed by Goats in Central Mexico. *J. Appl. Anim. Res.* 32:149

Ramírez, R.G., Alanís, F.G. & Núñez, G.A. 2000a. Seasonal dynamics of dry matter digestion of prickly pear. *CienciaUANL* 3:267

Ramírez, R.G., González-Rodríguez, H., Ramírez-Orduña, R., Cerrillo-Soto, M.A., Juárez-Reyes, R.A.S. 2006. Seasonal trends of macro and micro minerals in 10 browse species that grow in northeastern Mexico. *Anim. Feed Sci. Technol.* 128:155

- Ramírez, R.G., Neira-Morales, R.R., Ledezma-Torres, R. A. & Garibaldi-González, C.A. 2000b. Ruminant digestion characteristics and effective degradability of cell wall of browse species from northeastern Mexico. *Small Rumin. Res.* 36:49
- Ramírez-Orduña, R., Ramírez, R.G., Gómez-Meza, M., Armenta-Quintana, J.A., Ramírez-Orduña, J.M. & Cepeda-Palacios, R. 2003. Seasonal dynamics of ruminal crude protein digestion of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Interciencia* 28:408
- Ramírez-Orduña, R., Ramírez, R.G., Romero-Vadillo, E., González-Rodríguez H., Armenta-Quintana, J.A., Avalos-Castro, R. 2008. Diet and nutrition of range goats on a sarcocaulous shrubland from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research* 76:166
- Sanon, H.O., Kabore-Zoungrana, C. & Ledin, I. 2008. Nutritive value and voluntary feed intake by goats of three browse fodder species in the Sahelian zone of West Africa. *Anim. Feed Sci. Technol.* 144:97
- SAS. 2000. SAS/STAT® User's Guide (8.1 Edition). SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA.
- Steel, R.G.D. & Torrie, P.A. 1980. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill NY, p. 377.
- Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 44, Número 2, 2010.
- Turgut, L. & Yanar, M. 2004. *In situ* dry matter and crude protein degradation kinetics of some forages in Eastern Turkey. *Small Rumin. Res.* 52:217
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. 2nd ed. Comstock, Cornell University Press, Ithaca, N.Y. p.136
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 74:3583
- Villegas-Díaz, J.L.O., Aguilar-Borjas, J.H., Andrade-Montemayor, H.M., Basurto-Gutiérrez, R., Jiménez-Severiano, H. & Vera-Ávila, H.R. 2007. Effect of size of the Prickly pear cladodes (*Opuntia ficus indica*) on *in situ* degradability and degradation kinetics of crude protein in goats. Proceedings of the XXII Annual Meeting on Goat Production. Zacatecas, Zac, México, p.42.
- Yousef, M. & Rouzbehan, Y. 2008. Characterization of *Quercus persica*, *Quercus infectoria* and *Quercus libani* as ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 140:78

Recibido: 28 de mayo de 2009