

EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA SOBRE, CONSUMO, DIGESTIBILIDAD Y BALANCE DEL NITRÓGENO EN OVINOS PELIBUEY ALIMENTADOS CON DIETAS BASADAS EN FRÍJOL TERCIOPELO (*Mucuna pruriens*) Y GRANO DE MAÍZ

[EFFECT OF PARTICLE SIZE ON, INTAKE, DIGESTIBILITY AND NITROGEN BALANCE IN PELIBUEY SHEEP FED DIETS BASED ON VELVET BEAN (*Mucuna pruriens*) AND CORN GRAIN]

A. Chay-Canul, A.J. Ayala-Burgos*, J.C. Kú-Vera and J.G. Magaña-Monforte

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Carr. Mérida-X'matkuil km 15.5, Apdo. 14-116 Itzimmá, CP 97100, Mérida, Yucatán, México. Tel. 01 9999 42 32 00; ext. 23 fax 01 .9999 423205; E-mail: aayala@uady.mx
**Corresponding author*

RESUMEN

Este trabajo evaluó el efecto del tamaño de partícula sobre: el consumo, conducta ingestiva, digestibilidad aparente, cinética digestiva y el balance del N en ovinos Pelibuey. Los tratamientos fueron tres tamaños de partícula en la dieta: pequeño (P), mediano (M) y grande (G), obtenidos del molido a través de cribas de 3, 13 y 25 mm de diámetro respectivamente. Se utilizaron 12 ovinos de pelo machos enteros (20±3.3 kg PV), en un diseño experimental completamente al azar. El consumo de MS de las dietas fue similar ($P>0.05$) entre tratamientos (101 g/kgPV^{0.75}/d). El tiempo de masticación total (consumo + rumia) no fue afectado por el tamaño de partícula ($P>0.05$), aunque hubo tendencia a incrementarse ($P=0.0522$) al aumentar el tamaño de partícula (408, 532 y 562 min/d para P, M y G respectivamente). La digestibilidad de la MS fue mayor ($P<0.05$) en M con respecto a P (782 y 734 g/kg MS). El tiempo medio de retención en el tracto total fue 20 y 35 h para P y G respectivamente ($P<0.05$). No se encontraron granos sin digerir en las heces en ningún tratamiento. La retención de N y el aporte de N microbiano al intestino no fueron afectados por el tamaño de partícula (17.8 y de 5.7 gN/d respectivamente). Se concluye que en los sistemas de alimentación intensiva de ovinos se podría utilizar un tamaño partícula mayor al utilizado convencionalmente (P) en los alimentos comerciales.

Palabras clave: Derivados de purina; rumia; cinética digestiva; mucuna.

INTRODUCCIÓN

La producción de ovinos en México es una actividad que está creciendo de manera dinámica. Sin embargo, esta está creciendo basada en el uso de granos importados para la engorda intensiva de borregos. Por ello, es

SUMMARY

The objective was to measure the effect of particle size on intake, apparent digestibility, digestive kinetics and N balance in Pelibuey sheep. Three particle sizes were tested: Small (S), Medium (M) and Large (L) which were obtained by grinding through mesh sizes of 3, 13 and 25 mm respectively. Twelve hair sheep (20 ±3.3 kg LW) were allotted to a completely randomized design. DM intake was similar ($P>0.05$) among treatments (101 g/kgLW^{0.75}/d). Total chewing time (intake + rumination) was unaffected by diet particle size ($P>0.05$), although a trend was observed towards an increase ($P=0.0522$) as particle size was augmented (408, 532, 562 min/d for S, M and L respectively). DM digestibility was greater ($P<0.05$) for M with respect to Small (782 and 734 g/kg DM). Mean retention time in the total tract was different ($P<0.05$) between particles size (20.1 and 35.5 h for S and L). N retention was not affected by diet particle size (17.9 g N/d). Microbial N supply to the small intestine was similar between treatments (5.7 g/d). It is concluded that feeding systems of sheep could employ a larger particle size than that conventional utilized (S) in commercial feedstuffs.

Keywords: Mucuna; rumination; purine derivatives; digestive kinetics.

necesario encontrar alternativas de alimentación que reduzcan la dependencia del exterior y los costos en los sistemas de producción. En los sistemas de engorda intensiva, tradicionalmente se utilizan ingredientes molidos para facilitar el manejo y la elaboración de dietas. En este sentido, se ha reportado que la

molienda del grano puede mejorar el consumo y la digestibilidad del alimento; sin embargo, los resultados reportados en la literatura son contradictorios (Gorocica y Loerch, 2005). Además, se ha reportado que los ovinos tienen la capacidad de masticar más eficientemente su alimento en comparación con los bovinos, por tanto, la reducción del tamaño de partícula del alimento no sería tan crítico en ovinos, como en bovinos (Hale, 1973; Domingue *et al.*, 1991; Dulphy y Demarquilly, 1994) y los costos adicionales por molienda fina del grano podrían no estar justificados (Gorocica y Loerch, 2005; García-Castillo *et al.*, 2008). Un recurso, que podría contribuir a reducir la dependencia de granos importados, es el frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*), el cual posee entre otras cualidades un contenido de proteína cruda que varía de 27 a 38.4 % y 25 a 39% de almidón (Ayala *et al.*, 2003; Ezeagu *et al.*, 2003; Adebawale *et al.*, 2005; Siddhuraju y Becker, 2005; Chikagwa-Malunga *et al.*, 2009). Un aspecto importante del frijol terciopelo en Yucatán, es que la cosecha coincide con el inicio de la temporada de seca, durante la cual existe una disminución en la disponibilidad y calidad de los forrajes, un aumento en la demanda y en el precio de los concentrados comerciales (Castillo *et al.*, 2003). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tamaño de partícula de una dieta basada en fruto de frijol terciopelo y grano de maíz sobre el consumo, conducta ingestiva, digestibilidad aparente, cinética digestiva y el balance del nitrógeno en ovinos Pelibuey.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y dietas experimentales

Se utilizaron 12 ovinos Pelibuey enteros, con un peso promedio de 20 ± 3.3 kg, alojados en jaulas metabólicas de madera. Las jaulas contaron con comedero y bebedero individual. Previo al periodo experimental los animales fueron tratados contra parásitos internos con L-vermisol® y se les aplicó un complejo vitamínico (ADE) por vía intramuscular.

La dieta consistió en fruto del frijol terciopelo (grano y vaina) y grano de maíz, los cuales, fueron molidos en

un molino de martillos con tres tamaños de criba: 3, 13 y 25 mm, para generar una dieta con tres diferentes tamaños de partícula. La composición de la dieta experimental se presenta en el Tabla 1, ésta fue la misma para los tres tratamientos experimentales que consistieron en el tamaño de partícula resultante de la criba utilizada para la molienda de los ingredientes.

Tabla 1. Composición de la dieta experimental (g/kg MS) ofertada a ovinos en crecimiento con tres tamaños de partícula.

Ingrediente	g/kg MS
Fruto de frijol terciopelo*	542
Grano de maíz	359
Melaza de caña	31
Minerales	14
Aceite vegetal	47
Urea	7
Composición química	
Materia seca	895.8
Proteína cruda	138.4
Grasa total	70
Fibra detergente neutra	327.2
Cenizas	45.9
Calcio	1.0
Fósforo	1.0

* grano y vaina

Las dietas fueron caracterizadas a través del cernido con mallas de laboratorio calibradas (FIICSA). Las mallas empleadas fueron de diferente tamaño de poro (la clasificación de las mallas se basó en el número de círculos que se encuentran en una pulgada cuadrada de superficie), se utilizaron mallas de 10, 30, 40 y 60 orificios/ pulgada². El procedimiento consistió en colocar una muestra representativa de cada dieta, la cual fue secada previamente para obtener el peso en base seca. Posterior al secado, la muestra se agitó durante unos minutos en cada malla. Al final del agitado se pesó la cantidad de muestra retenida en cada malla y el residual en el fondo de todas ellas. Se realizaron tres tamizados de cada tamaño de partícula de la dieta experimental (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad de material (g/kg MS) retenido en el cernido con mallas de las dietas experimentales.

Número de Criba	Tamaño de partícula de la dieta ¹			EE	P
	¹ Pequeña	Mediana	Grande		
10*	151.8 ^c	748.4 ^b	896.0 ^a	20.03	<0.0001
≥ 30	850.0 ^a	253.8 ^b	105.3 ^c	19.89	<0.0001

* El número de criba se refiere a la cantidad de orificios por pulgada².

^{a, b} Medias con la misma literal en la misma fila son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

¹Tamaños de partícula de la dieta: Pequeña, Mediana y Grande, derivado del uso de molino de martillo con cribas de 3, 13 y 25 mm, respectivamente.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y cuatro repeticiones, los tratamientos fueron los tamaños de partícula de la dieta evaluada. El periodo experimental consistió de 21 días considerando 14 de adaptación y siete de mediciones. La alimentación fue *ad libitum*, y se proporcionó en dos partes iguales a las 8:00 y a las 15:00 h. Cada día a las 7:30 h se recogió y pesó el alimento rechazado. Para que los animales fueran considerados como alimentados *ad libitum*, se suministró una cantidad de alimento que permitiera que el rechazo fuera del 10 al 20% del alimento ofrecido.

Consumo voluntario, digestibilidad aparente, conducta ingestiva y cinética digestiva

El consumo voluntario de alimento se determinó por diferencia (alimento ofrecido-alimento rechazado). Cada día se obtuvieron muestras del alimento ofrecido y rechazado, las cuales fueron depositadas en bolsas de polietileno y congeladas a -4 °C, hasta el final del experimento, las siete muestras obtenidas se mezclaron por animal y se obtuvo una submuestra a la cual se le realizaron los análisis químicos correspondientes.

Para determinar la digestibilidad aparente, se realizó colección total de heces. Cada día se pesó para cada animal el total de heces y se obtuvo una muestra del 10% de la cantidad excretada. Las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno y congeladas a -4 °C. Al final del experimento, las siete muestras del mismo animal se mezclaron y se obtuvo una submuestra para su análisis.

Para la determinación de la EM de la dieta (MJ/ kg MS) se utilizaron los valores de la MO digestible en la MS como describe AFRC (1993), usando la siguiente ecuación:

$$EM \text{ (MJ/kg MS)} = 0.15 \times \text{MODMS} \text{ (g /kg MS)}$$

La conducta ingestiva se determinó mediante observación durante 24 h continuas de dos animales de cada tratamiento, durante este periodo se registró el tiempo de consumo y rumia, posterior a esto se determinó el tiempo de masticación total (consumo + rumia).

La tasa de pasaje se determinó usando fibra mordantada con Cr como marcador de la fase sólida de la digesta, la fibra se mordantó de acuerdo a lo sugerido por Uden *et al.* (1980). A través del alimento se mezcló para cada animal 25 g de fibra mordantada (4.7 % Cr). Esta medición se realizó después de los 7 días de medición de consumo y digestibilidad, únicamente para los tamaños de partícula P y G, con el objetivo de tener la cinética de los dos tratamientos

extremos. Las muestras de heces fueron tomadas directamente del recto de los animales a las 0, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 44, 60 y 84 h después del consumo de la fibra mordantada. Se usaron dos ecuaciones de regresión, la primera para determinar la tasa de pasaje por el rumen (k_1) y la segunda para determinar la tasa de pasaje por ciego y colon proximal (k_2) (Grovmum y Williams, 1973).

Para determinar la cantidad de grano excretado entero se recolectaron muestras de heces (un 10% del total) y fueron depositadas en bolsas de plástico, identificadas y congeladas a -4 °C hasta su procesamiento, posteriormente las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y se colocaron sobre mallas de laboratorio y con una manguera a presión, se lavaron para que solo quedaran las partículas grandes. Posterior a esto, se procedió a identificar las partículas de grano entero o sin digerir, el siguiente paso fue secar las heces retenidas en cada tamaño de malla, esto con el fin de obtener el peso seco de las muestras, después de 48 h las muestras fueron pesadas para determinar la cantidad de los residuos retenidos en cada una de las mallas.

Balance de nitrógeno y aporte de proteína microbiana

Se utilizaron las muestras de orina, heces y alimento. La orina se colectó en un recipiente con 70 ml de ácido sulfúrico al 10%, registrando el volumen excretado diariamente por animal. Se obtuvo una muestra del 10% del volumen excretado y se filtró y diluyó 4:1 con agua. Estas muestras se depositaron en frascos de plástico y fueron congeladas a -4 °C, hasta el final del experimento, las muestras de los siete días se mezclaron y se tomó una alícuota para determinar contenidos de nitrógeno, urea y derivados de purina.

La cantidad de purinas microbianas absorbidas se estimaron de las purinas microbianas excretadas (Chen *et al.* 1990) usando la siguiente ecuación:

$$Y = 0.84 X + (0.150 LW^{0.75} e^{-0.25x})$$

Donde Y es el total (mmol/día) de purinas excretadas en la orina, X son las purinas endógenas absorbidas (mmol/día), 0.84 es la proporción de purinas exógenas absorbidas que son excretadas como derivados de purina en la orina, 0.150 kgPV^{0.75} es la excreción endógena de derivados de purina (mmol/día) expresado en kg de peso metabólico medido cuando el animal no tiene ningún aporte exógeno de purinas y $e^{-0.25x}$ es la tasa constante para reemplazar la síntesis de novo de purinas exógenas.

La disponibilidad de N microbial en el intestino delgado se estimó mediante el modelo propuesto por Chen *et al.* (1990) usando la siguiente ecuación:

$$N \text{ microbial (g/d)} = 70X / (0.83 \times 0.116 \times 1000)$$

Donde: 0.83 es el coeficiente de digestibilidad de las purinas microbiales, 70 es el contenido de N de las purinas (mg/mmol), 0.116 es el porcentaje de N de la purina del N total en la mezcla de la biomasa microbial y X son las purinas endógenas absorbidas (mmol/día).

Análisis químicos

Las muestras de alimento y heces fueron secadas a 60 °C en una estufa por 48 h para la determinación de MS parcial, estas fueron molidas a través de un molino con mallas de 1 mm, para sus posteriores análisis químicos. El contenido de N se realizó por combustión utilizando un equipo LECCO CN-2000 serie 3740 (LECCO Corporation), la MO fue determinada por incineración en una mufla a 600 °C por 6 h, la FND, FDA y ADIN (nitrógeno insoluble en detergente ácido) se determinaron según lo sugerido por Van Soest *et al.* (1991). El contenido de N en orina se determinó por el método de Kjeldahl (AOAC, 1980), el extracto etéreo, el contenido de Ca y P, se determinaron de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC (1980), la determinación del Cr en las heces se realizó mediante la técnica descrita por Fenton y Fenton (1979). La alantoina, ácido úrico y la xantina + hipoxantina recuperada como ácido úrico, después de que la orina fue incubada por una hora con la enzima

xantina oxidasa, fueron determinados por colorimetría, empleando un espectrofotómetro (Modelo DU-650, Beckman Instruments, USA) (Chen, 1989). La urea en orina se determinó con el kit SERA- PAK® Plus de Bayer.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos para consumo, conducta ingestiva, digestibilidad aparente, balance de nitrógeno, cinética digestiva, grano sin digerir en las heces y aporte de proteína microbial, fueron sometidos a un análisis de varianza y cuando hubieron diferencias significativas ($P < 0.05$), las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey (SAS, 2002). Se realizaron análisis con el enfoque de superficie de respuesta, con el fin de determinar la tendencia en estas (lineal y/o cuadrática).

RESULTADOS

Consumo voluntario y digestibilidad aparente

El CMS, CMO, CFDN y CPC fueron similares ($P > 0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, la digestibilidad aparente de la MO y MS fueron diferentes entre tratamientos ($P < 0.05$), encontrándose para el tamaño mediano los valores más altos, aunque no difieren del tamaño de partícula mayor tanto para MS como para MO. Los consumos de MS y MO digestibles y EM fueron similares entre tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Consumo de MS, MO, FDN, PC (g/kgPV^{0.75}/día), digestibilidad de la MS y MO (g/kg MS), consumo de MS digestible, MO digestible (g/día) y energía metabolizable (EM) (MJ/día) en ovinos de pelo alimentados con frijón terciopelo y maíz con tres tamaños de partícula.

Parámetro	Tamaño de partícula de la dieta ¹			E. E.	P
	Pequeña	Mediana	Grande		
CMS	103.2	99.7	99.9	5.58	0.8855
CMO	98.3	94.9	95.2	5.34	0.8833
CFDN	32.7	33.1	32.1	1.83	0.9340
CPC	15.6	14.5	14.7	0.85	0.6207
DMS	734 ^b	782 ^a	769 ^{ab}	11.97	0.0507
DMO	728 ^b	777 ^a	764 ^{ab}	12.19	0.0483
CMSD	757.9	780.6	783.9	62.9	0.9508
CMOD	715.4	738.0	741.3	59.2	0.9451
CEM	10.4	11.1	10.9	0.18	0.0715

^{a, b} Medias con la misma literal en la misma fila son estadísticamente diferentes (Tukey < 0.05).

CMS: Consumo de MS; CMO: Consumo de MO; CFDN: consumo de FDN; CPC: consumo de PC; DMS: Digestibilidad MS; DMO: Digestibilidad MO; CMSD: Consumo de MS digestible; CMOD: Consumo de MO digestible; CEM: Consumo de energía metabolizable.

¹Tamaños de partícula de la dieta: Pequeña, Mediana y Grande, derivado del uso de molino de martillo con cribas de 3, 13 y 25 mm respectivamente.

Conducta ingestiva

Los tiempos de consumo y rumia fueron similares ($P>0.05$) entre tratamientos, aunque se observó una tendencia hacia un mayor tiempo de masticación total conforme se incrementó el tamaño de partícula (Tabla 4).

Tasa de pasaje por el rumen y grano sin digerir excretado en las heces

El tamaño de partícula de la dieta tuvo efecto ($P<0.05$) sobre el tiempo medio de retención en el tracto total (TMRTT). La tasa de pasaje por el rumen (k_1) y el tiempo de retención en el rumen (TMRR) se incrementaron ($P<0.05$) para el tamaño de partícula grande con respecto al pequeño (Tabla 5).

No se encontró grano sin digerir en las heces de los animales en ninguno de los tratamientos. No obstante, se procedió a cribar las heces de los animales alimentados con los distintos tamaños de partícula, no encontrándose diferencias ($P>0.05$) entre el tamaño de partículas en las heces de los animales (Tabla 6).

Balance de nitrógeno y excreción de derivados de purina

El consumo, excreción en heces y orina y el balance de nitrógeno no se vieron afectados por el tamaño de partícula de la dieta ($P>0.05$). No se encontraron diferencias entre tratamientos en la excreción de alantoína, ácido úrico y xantina + hipoxantina ($P>0.05$), aporte de proteína microbial y la eficiencia de síntesis de proteína microbial (gNM día/kg MOAFR) (Tabla 7).

Tabla 4. Tiempo de consumo, rumia y masticación total (min/día) en ovinos de pelo alimentados con frijol terciopelo y maíz con tres tamaños de partícula.

Actividad	Tamaño de partícula de la dieta			E. E.	P
	Pequeña	Mediana	Grande		
Consumo	158	204	242	26.16	0.2200
Rumia	250	328	320	24.35	0.1834
Masticación	408	532	562	35.06	0.0995*

*Tendencia lineal (valor de $P=0.0522$)

Tabla 5. Tasa de pasaje por el rumen (k_1) y por colon y ciego proximal (k_2), tiempo medio de retención en el tracto total (TMRTT) y en rumen (TMRR) en ovinos de pelo alimentados con una dieta de frijol terciopelo y maíz con tres tamaños de partícula.

Parámetro	Tamaño de partícula de la dieta		E. E.	P
	Pequeña	Grande		
k_1 (% h ⁻¹)	0.09 ^b	0.03 ^a	0.003	0.0082
k_2 (% h ⁻¹)	0.11	0.17	0.02	0.1660
TMRTT (h)	20.14 ^b	35.52 ^a	0.95	0.0150
TMRR (h)	11.81 ^b	33.33 ^a	0.35	0.0010

^{a, b} Medias con la misma literal en la misma fila son estadísticamente diferentes (Tukey < 0.05).

Tabla 6. Material retenido en el cernido con mallas (g/kg MS), de las heces de ovinos de pelo alimentados con frijol terciopelo y maíz con tres tamaños de partícula.

Número de criba	Tamaño de partícula de la dieta			EE	P
	Pequeña	Mediana	Grande		
≤30*	259.0	264.8	250.3	24.15	0.9138
≥40	740.9	735.3	749.7	24.15	0.9138

* El número de criba se refiere a la cantidad de orificios por pulgada cuadrada.

Tabla 7. Balance de N, excreción de urea en orina (g/día) y N ureico en orina (%) en relación al N en orina, excreción urinaria de derivados de purina (mmol/día) y aporte de N microbial (g NM/día) en ovinos de pelo alimentados con frijón terciopelo y maíz con tres tamaños de partícula.

	Tamaño de partícula de la dieta			E. E.	P
	Pequeña	Mediana	Grande		
Consumido	24.9	23.3	24.0	1.88	0.8358
Excretado en heces	4.09	3.50	3.56	0.40	0.5114
Excretado en orina	2.14	2.84	2.54	0.39	0.4812
Retenido	18.7	17.0	17.9	1.47	0.7245
Urea en orina	1.48	1.02	0.86	0.34	0.4459
N ureico / N en orina	30.60	16.54	17.81	4.38	0.0920
Derivados de purina					
Alantoína	3.11	5.98	5.07	0.80	0.0814
Acido úrico	1.59	1.52	1.12	0.34	0.5943
Xantina + hipoxantina	0.43	0.53	0.48	0.08	0.6357
Total	5.13	8.03	6.67	1.00	0.1762
Aporte de N microbial	4.4	6.9	5.8	0.86	0.1764
g NM/kg MOAFR*	9.6	14.5	12.2	1.75	0.1964

*Materia orgánica aparentemente fermentada en el rumen, asume que 65% de la fermentación de la MOD ocurre en el rumen.

DISCUSIÓN

Consumo voluntario

El tamaño de partícula de la dieta no tuvo efecto sobre el consumo de los ovinos, lo que difiere con lo reportado por Baumont *et al.* (2006); Hadjigeorgiou *et al.* (2003) reportaron que el consumo de alimento en ovinos se ve afectado por el tamaño de partícula de la ración en dietas basadas en forraje con tamaños de partícula entre 0.7 a 13.3 mm. Sin embargo, Hejazi *et al.* (1999) reportaron los mayores consumos de alimento en borregos, cuando éstos fueron alimentados con una dieta concentrada que contenía el 70% de grano de maíz entero en comparación con una dieta peletizada. Gorocica y Loerch (2005) al evaluar dietas que contenían grano de maíz entero o molido en novillos, encontraron que el consumo de MS, MO, almidón, FDN y PC se incrementó cuando los novillos consumieron dietas con un 80% de maíz entero, aunque reportaron que la excreción en heces de MS, MO, almidón y FDN se incrementó en estos animales. Los resultados de este estudio avalan que en dietas basadas en granos (concentrados) para la engorda de ovinos, el tamaño de partícula parece no afectar el consumo de MS comparado con dietas basadas en forraje (Hejazi *et al.*, 1999; Petit, 2000; García-Castillo *et al.*, 2008). En este sentido, el tamaño de partícula del grano tiene un efecto de estimulación similar al factor fibra, generando un ambiente ruminal más estable para la fermentación bacteriana, los que reduciría la presencia de problemas de acidosis (Hejazi *et al.*, 1999; García-Castillo *et al.*, 2008). Cabe destacar que en las dietas evaluadas en el presente estudio se incluyó la vaina además del grano de frijol

terciopelo (fruto entero), por tanto la fibra de la vaina probablemente contribuyó a mantener la motilidad ruminal aun con el tamaño de partícula fina, a diferencia del estudio de Hejazi *et al.* (1999), Gorocica y Loerch (2005) y García-Castillo *et al.* (2008).

Digestibilidad aparente

La digestibilidad de la MS y de la MO fueron mayores para las dietas de tamaño mediano aunque no difirió de la dieta de tamaño mayor. Lo que concuerda con Hadjigeorgiou *et al.* (2003) y Quick y Dehority (1986) quienes reportaron los valores mayores en la digestibilidad de la MS y MO conforme el tamaño de partícula aumentó. Esto se pudo haber debido al mayor tiempo medio de retención en el tracto total (TMRTT), el cual fue menor conforme el tamaño de partícula de la dieta decreció (Hadjigeorgiou *et al.*, 2003). Hejazi *et al.* (1999) encontraron en borregos que la digestibilidad de la MS y MO se incrementaron cuando los animales consumieron dietas que contenían maíz entero en comparación a cuando consumieron dietas con maíz molido peletizado. Duric *et al.* (1994) al evaluar el efecto de la estructura de la dieta en borregos reportaron que la digestibilidad de la MS y del N de ésta no se vieron afectadas cuando se ofreció la dieta peletizada (12 mm), mezclas de peletizada:cortada (60:40) y (40:60) y cortada sola (38 mm).

Conducta ingestiva

Se observó que el tiempo de consumo, rumia y masticación total (consumo + rumia) tendió a incrementar conforme el tamaño de la dieta aumentó.

Es probable que el bajo número de observaciones haya influido en estos resultados debido a la variabilidad (E.E. Tabla 4) del indicador registrado. A pesar de esto, los resultados obtenidos concuerdan con otros autores (Baumont *et al.*, 2006; Yang y Beauchemin, 2006; Hadjigeorgiou *et al.*, 2003), quienes al evaluar el tiempo de masticación en dietas basadas en forrajes reportan que el tiempo de masticación se incrementó cuando se incrementó el tamaño de partícula de la dieta. Baumont *et al.* (2006) reportan que el tiempo de masticación en borregos decrece cuando el tamaño de partícula de la dieta es menor a 2.5 mm. Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que el borrego utilizaría más energía para reducir el tamaño de partícula de la dieta. De acuerdo con Ku *et al.* (1988) el costo por masticación es de 12 J/kgPV/min. Con base en este criterio, el gasto de energía por masticación total en los ovinos del presente estudio fue de 0.13, 0.16 y 0.17 MJ/día/animal (20 kgPV) para P, M y G respectivamente. Este gasto adicional de energía incrementaría la energía requerida para el mantenimiento en 3, 4 y 4% para cada tamaño de partícula respectivamente (AFRC, 1993). Tomando en cuenta los tamaños de partícula extremos, se obtiene una diferencia de 154 minutos entre el tamaño de partícula menor y mayor, esta diferencia implicaría que el animal gasta 0.04 MJ (40 kJ) adicionales por concepto de masticación y esta energía adicional, representaría tan solo el 1% de los requerimientos de mantenimiento para un borrego de 20 kgPV (AFRC, 1993).

Balance de nitrógeno

El N retenido y las excreciones en heces y orina por los borregos fue similar entre tratamientos, lo que difiere con Hejazi *et al.* (1999) quienes registraron los mayores valores de consumo y balance de N en ovinos alimentados con grano de maíz entero, comparado con los alimentados con la dieta peletizada. Marini *et al.* (2004) al evaluar tres concentraciones de N (15.6, 28.7 y 40.5 gN/kg MS) en dietas basadas en 15% de heno y 85% de una de dos dietas peletizadas con contenidos diferentes de proteína (alta y baja) ofrecidas a ovejas, encontraron valores para la excreción de N en orina superiores a los registrados en este estudio con las concentraciones de 28.7 y 40.5 gN/kg MS, pero con la concentración de 15.6 gN/kg MS los valores fueron similares a los registrados en el presente estudio, de igual forma reportan un balance de N fue menor a los encontrados en el presente estudio. La cantidad de urea excretada en orina y la proporción del N ureico en relación al N total excretado en orina presentó un ligero incremento conforme disminuyó el tamaño de la dieta, esto implicaría que conforme el tamaño de la dieta se hizo mayor, hubo una mayor captura de nitrógeno por los microbios del rumen, esto se explicaría por el mayor tiempo de permanencia en el

rumen que presentó este tamaño, de igual forma por el mayor reciclaje de la urea vía saliva lo cual fue promovido por el mayor tiempo de masticación (Baumont *et al.*, 2006). Sin embargo, los valores son menores a los reportados por Bristow *et al.* (1992) quienes reportan que la excreción en borregos fue entre 3 y 13 g/l, así mismo reportan que la urea corresponde al 83% del N excretado. Así mismo, Marini *et al.* (2004) encontraron que la excreción de urea y su proporción con relación al N total se incrementó en forma lineal conforme se aumentó la concentración de N en la dieta.

Aporte de proteína microbiana

No se encontraron diferencias entre tratamientos en el aporte de proteína microbiana al intestino. La cinética ruminal fue menor y el tiempo medio de retención en el rumen se incrementó de 11.8 a 33.3 horas con el tamaño de partícula grande (Tabla 5), lo que sugiere un mayor reciclaje de N microbiana en rumen (Dijkstra *et al.* 2003; Karsli y Russell, 2001, Gosselink *et al.*, 2003) y en consecuencia un menor aporte de proteína microbiana al animal a nivel intestinal. Por otro lado, la dieta con tamaño de partícula pequeño mostró una mayor cinética ruminal ($k = 0.09$ vs 0.03) lo que limitaría la disponibilidad de nutrientes fermentables en el rumen necesarios para el crecimiento y posterior aporte de proteína microbiana al duodeno (Dijkstra *et al.*, 2003). No obstante, Karsli y Russell (2001), Dewhurst *et al.* (2000), Duric *et al.* (1994), Djouvinov y Todorov (1994) y Dewhurst y Webster (1992) mencionan que la síntesis de proteína microbiana se incrementa con el consumo de MO fermentable; esto concuerda con el tamaño de partícula mediano que registró el mayor consumo de MO. En este sentido Gosselink *et al.* (2003) y Dewhurst *et al.* (2000) encontraron que el flujo de nitrógeno microbiano al duodeno es afectado por varios factores entre ellos el procesamiento físico del forraje ya que con el forraje picado el llenado del rumen es menor e incrementa la tasa de pasaje.

Tasa de pasaje por el rumen

Los resultados del presente estudio señalan que TMRTT y el TMRR aumentaron conforme se incrementó el tamaño de partícula de la dieta, así mismo, estos datos señalan que el tamaño de partícula de la dieta afectó el sitio de la digestión de esta, ya que el tiempo de permanencia en el rumen de la dieta pequeña representó un 59% del tiempo de retención total, comparado con el 94% que se registró con la dieta de mayor tamaño, por tanto estos datos señalan que la mayor parte de la digestión de cada una de las dietas ocurrió en sitios diferentes (rumen o intestino delgado). Esto coincide con lo reportado por Allen (1996) quien reportó que el tiempo de permanencia en

el rumen se incrementa cuando el tamaño de partícula de la dieta se hace mayor. De igual forma, estos resultados concuerdan con lo registrado por Hadjigeorgiou *et al.* (2003) quienes encontraron que el TMRTT se incrementó conforme aumentó el tamaño de partícula de la ración, reportaron también que el TMRR se incrementó de 33.1 a 40.5 h para el tamaño pequeño y grande respectivamente. En este sentido Colucci *et al.* (1990) encontraron que el nivel de consumo es el aspecto más importante que afecta la tasa de pasaje por el tracto gastrointestinal en rumiantes, sin embargo reportaron también que la forma física del alimento juega un papel importante en este fenómeno.

Grano sin digerir excretado en las heces

No se encontró grano sin digerir en las heces, lo que difiere al reporte de Gorocica y Loerch (2005) quienes encontraron en novillos que la cantidad de grano excretado sin digerir en las heces fue mayor cuando los animales recibieron grano de maíz entero en la dieta comparado con los alimentados con maíz molido, esto pudo deberse a lo reportado por Hale (1973), Domingue *et al.* (1991) y Dulphy y Demarquilly (1994) quienes reportaron que la eficiencia de masticación es mayor en los ovinos en comparación con los bovinos. Lo que pudo contribuir a una mayor reducción del tamaño del grano de la dieta y por tanto a una menor excreción de partículas enteras en las heces.

CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento, el tamaño de partícula de la dieta no afectó el consumo y el metabolismo del nitrógeno de los ovinos. La digestibilidad aparente y la cinética digestiva fueron diferentes. Aunque el tiempo de masticación total tendió a incrementarse conforme aumentó el tamaño de partícula de la dieta, debido a la naturaleza de esta, relativamente concentrada, no se afectó el comportamiento digestivo del animal. Se concluye que bajo dietas con granos, en ovinos se podría utilizar un tamaño de partícula del alimento mayor al convencionalmente utilizado en los suplementos comerciales.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Yucatán Produce A.C. por el financiamiento otorgado al presente estudio (Proyecto 5805). Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a A. Chay Canul para la realización de sus estudios de maestría en Producción Animal Tropical en la FMVZ-UADY. Esta publicación es parte de los requisitos para la obtención del grado de Maestro en Producción Animal Tropical

de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, México.

REFERENCIAS

- Adebowale, Y. A., Adeyemi, A., Oshodi, A. A. 2005. Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. *Food Chemistry*. 89: 37-48.
- AFRC. 1993. Technical Committee on responses to nutrients. Energy and Protein Requirements of Ruminants. CAB International, Wallingford, UK.
- Allen, M. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*. 74: 3063-3075.
- AOAC, 1980. Official methods for analysis, 13th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Ayala, B. A., Herrera, D. P., Castillo, C. J., Rosado R. C., Osornio, M., Castillo, C. A. 2003. Rumen degradability and chemical composition of the velvet bean (*Mucuna spp.*) grain and husk. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1: 71-75.
- Baumont, R., Doreau, M., Ingrand, S., Veissier, I. 2006. Feeding and mastication behavior in ruminants. In Bels, V. (Ed). Feeding in domestic vertebrates: from structure to behavior. CAB International, Wallingford, UK. pp. 241-262.
- Bristow, A. W., Whitehead, D. C., Cockburn, J. E. 1992. Nitrogenous constituents in the urine of cattle, sheep and goats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 59, 387-394.
- Castillo C., J.B., Jiménez O., J.J., López P., A., Aguilar C., W., Castillo C., A.M. 2003. Feeding mucuna beans to small ruminants of mayan farmers in the Yucatan peninsula, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1, 113-117.
- Colucci, P. E., Macleod, G. K., Grovum, W. L., MacMillan, I., Barney, D. E. 1990. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *Journal of Dairy Science*. 69: 2143-2156.
- Chen, X.B., 1989. Excretion of purine derivatives by sheep and cattle and its use for the estimation

- of absorbed microbial protein. PhD thesis, University of Aberdeen UK. Pp 38-66.
- Chen, X. B., Hovell, F. D., Orskov, E. R., Brown, D. S. 1990. Excretion of purine derivatives by ruminants: effect of exogenous nucleic acid supply on purine derivative excretion by sheep. *British Journal of Nutrition*. 63:131-142.
- Chikagwa-Malunga, S. K., Adesogan, A. T., Szabo, N.J., Littell, R. C., Phatak, S. C., Kim, S. C., Arriola, K. G., Huisden, C. M., Dean, D. B., Krueger, N.A. 2009. Nutritional characterization of *Mucuna pruriens*. 3. Effect of replacing soybean meal with *Mucuna* on intake, digestibility, N balance and microbial protein synthesis in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 148: 107-123.
- Dewhurst, R. J., Davies, D. R., Merry, R. J. 2000. Microbial protein supply from the rumen. *Animal Feed Science and Technology*. 85: 1-21.
- Dewhurst, R. J., Webster, A. J. 1992. A note on the effect of plane nutrition on fractional outflow rates from the rumen and urinary allantoin excretion by wether sheep. *Animal Production*. 54: 445-448.
- Dijkstra, J., France, J., Tamminga, S., Mills, J. 2003. Prediction of the yield of nutrients from microbial metabolism in the rumen. In Mannetje, L., Ramírez – Avilés, L., Sandoval-Castro, C. and Ku-Vera, J., (eds). *Matching Herbivore Nutrition to Ecosystems Biodiversity*. VI International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Mérida, México. pp. 101-127.
- Djouvinov, D. S., Todorov, N. A. 1994. Influence of dry matter intake and passage rate on microbial protein synthesis in the rumen of sheep and its estimation by cannulation and non-invasive method. *Animal Feed Science and Technology*. 48: 289-304.
- Domingue, B. M. F., Dellow, D. W., Barry, T. N. 1991. The efficiency of chewing during eating and ruminating in goats and sheep. *British Journal of Nutrition*. 65: 355-363.
- Duric, M., Zhao, G. Y., Orskov, E. R., Chen, X. N. 1994. Indirect measurement of saliva secretion in sheep fed diets of different structures and the effect of such diets on ruminal fluid kinetics and fermentation pattern. *Experimental Physiology*. 79: 823-830.
- Dulphy, J.P., Demarquilly, C. 1994. The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. *Livestock Production Science*. 39: 1-12.
- Ezeagu, I. E., Maziya-Dixon, B., Tarawali, G. 2003. Seed characteristics and nutrient and antinutrient composition of 12 *Mucuna* accessions from Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1: 129-139.
- Fenton, T. W., Fenton, M. 1979. An improved procedure for the determination of chromic oxide in feed and faeces. *Canadian Journal of Animal Science*. 59: 631-634.
- García-Castillo, R. F., Chávez-Hernández, Sh. D., Salinas-Chavira, J., García-Martínez, J. E., Kawas-Garza, J. R., Fuentes-Rodríguez, J. M. 2008. Influence of diets with different ratio of ground:whole sorghum grain on growth performance of feedlot lambs. *Journal of Animal Veterinary Advances*. 7: 1546-1550.
- Gorocica, M., Loerch, S. 2005. Effect of cattle age, level forage, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. *Journal of Animal Science*. 83: 705-714.
- Gosselink, J. M., Poncet, C., Dulphy, J. P., Cone, J. W. 2003. Estimation of the duodenal flow of microbial nitrogen in ruminants based on the chemical composition of forages: a literature review. *Animal Research*. 52, 229-243.
- Grovum, W. L. and Williams, V. J. 1973. Rate of passage of digesta in sheep. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of markers in faeces. *British Journal of Nutrition*. 30: 313-329.
- Hadjigoergiou, I. E., Gordon, I. J., Milne, J. A. 2003. Intake, digestion and selection of roughage with different staple lengths by sheep and goats. *Small Ruminant Research*. 47: 117-132.
- Hale, W. H. 1973. Influence of processing on the utilization grains (starch) by ruminants. *Journal of Animal Science*. 37: 1075-1080.

- Hejazi, S., Fluharty, F., Perley, J., Loerch, S., Lowe, G. D. 1999. Effect of corn processing and dietary fiber source on feedlot performance, visceral organ weight, diet digestibility, and nitrogen metabolism in lambs. *Journal of Animal Science*. 77: 507-515.
- Karsli, M. A., Russell, J. R. 2001. Effects of some dietary factors on ruminal protein synthesis. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 25, 681-686.
- Ku, V. J., Orskov, E. R., MacLeod, N. A. 1988. Energy exchanges in cattle nourished by intragastric nutrition. In Van der Honig, Y. (Ed) Proc. E. A. A. P. Energy Metabolism Symposium. pp 271-274, Pudok, Wageningen.
- Marini, J. C., Klein, J. D., Sands, J. M., Van Amburgh, M. E. 2004. Effect of nitrogen intake on nitrogen recycling and urea transporter abundance in lambs. *Journal of Animal Science*. 82: 1157-1164.
- Petit, H. V. 2000. Effect of whole and rolled corn or barley on growth and carcass quality of lambs. *Small Ruminant Research*. 37: 293-297.
- Quick, T. C., Dehority, B. A. 1986. A comparative study of feeding behaviour and digestive function in dairy goats, wool sheep and hair sheep. *Journal of Animal Science*. 63: 1516-1526.
- SAS. 2002. Institute Inc., SAS/STAT. Software, Ver. 9.00, Cary, NC27512-8000. USA.
- Siddhuraju, P., Becker, K. 2005. Nutritional and antinutritional composition, in vitro amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed mucuna beans (*Mucuna pruriens* var. *utilis*): an under-utilised legume. *Food Chemistry*. 91: 275-286.
- Udén, P., Colucci, P. E., Van Soest, P. J. 1980. Investigation of Chromium, Cerium and Cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 31: 625-632.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583-3597.
- Yang, W. Z., Beauchemin, K. A. 2006. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science*. 89: 217-228.

Submitted September 19, 2008 – Accepted February 10, 2009
Revised received March 26, 2009