

Valoración nutricional del expeller de sésamo mediante estudios de digestibilidad in vivo e in vitro en ovinos

Nutritional Valuation of the sesame cake by in vivo and in vitro digestibility studies in sheep

Graciela Concepción Aguilera Closs¹, Oscar Luis Valiente Villalba^{2*}, Winston Edgar Stanley Spezini², María Paz Corrales Marmol², Lourdes Noemí Branda de Paredes³, José Ramón Peralta² y Pedro Gustavo Castellani Rumich²

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Bromatología, Nutrición y Alimentación Animal, Filial Concepción. Concepción, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Bromatología, Nutrición y Alimentación Animal. San Lorenzo, Paraguay.

³ Universidad Comunera, Coordinación de la Carrera de Ingeniería en Zootecnia. Asunción, Paraguay.

***Autor para correspondencia:**

ovaliente@vet.una.py

Conflicto de interés:

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Licencia:

Creative Commons CC-BY

Historial:

Recibido: 21/11/17;

Aceptado: 10/11/18

RESUMEN

El expeller de sésamo (ES) es un subproducto de la extracción mecánica de aceite de la semilla, rico en proteína y energía por el aceite residual. El objetivo fue valorar los coeficientes de digestibilidad (CD) de los nutrientes utilizando distintos niveles de ES con heno de *Brachiaria decumbens* (HBD) en ovinos, mediante técnicas in vivo e in vitro. Con la primera se utilizaron ocho ovinos según un diseño cuadrado latino 4x4 (4 periodos y 4 grupos de ovinos) y 4 niveles de ES (Tratamientos: T1: 15%; T2: 30%; T3: 45% y T4: 60%). Para el in vitro se aplicó el método de Tilley y Terry (1963). El consumo de MS (CMS) y los coeficientes in vivo de DMS, DMO, DPB y DEE se incrementaron significativamente ($p < 0,05$) con el aumento del ES, a excepción de la DFND, siendo significativa la evolución lineal para los cuatros CD y la cuadrática para DPB y DEE. Con ecuaciones de regresión entre CD y porcentajes ES, se determinaron los CD del ES por extrapolación, que fueron: 70,6% DMS; 77,8% DMO, 73,6% DPB y 91% DEE. Los coeficientes in vitro de DIVMS y DIVMO se incrementaron significativamente ($p < 0,05$) con el aumento del ES, evolucionando significativamente la forma lineal y cuadrática. Concluyéndose que los valores de DMS, DMO, DPB y DEE aumentaron al incrementarse el ES en la ración, que la DMO y DPB difieren poco de las reportadas en tablas especializadas, y que los CD in vitro subestimaron un poco a los in vivo.

Palabras clave: *Sesamum indicum* L., digestibilidad, rumiantes, subproductos.

ABSTRACT

The sesame cake (SC) is a by-product of the extraction of oil from the seed, that rich in protein and energy by the residual oil. This work involves digestive assessment in vivo in vitro to evaluate the digestibility coefficients (DC) of the nutrients using different levels of SC mixed with *Brachiaria decumbens* hay (BDH) in rations to sheep. First, eight sheep were used according to latin square design 4x4 (4 periods and 4 groups of sheep) and with 4 SC levels (Treatments: T1 = 15%, T2 = 30%, T3 = 45% and T4 = 60%). For in vitro, the method of Tilley and Terry (1963) was applied. DM intake (DMI) and DC in vivo DMD, OMD, CPD, EED increased significantly ($p < 0.05$) with the increase in SC, except for the NDFD, the linear evolution being significant for these DCs and the quadratic for CPD and EED. From the equations of regression between DC and percentage of inclusion of SC, the digestibility of SC (100% inclusion) was determined by extrapolation, that were: 70.6% DMD, 77.8% OMD, 73.6% CPD, 91% EED. The in vitro coefficients of IVDMD and IVOMD were significantly increased ($p < 0.05$) with the increase of SC, evolving the linear and quadratic form. It was concluded that the values of DMD, OMD, CPD and EED increased when the SC increase in the ration, the OMD and CPD present small differences from those reported in specialized tables, and that the DCs in vitro underestimated in vivo.

Key words: *Sesamum indicum* L., by-product, digestibility, ruminants.

INTRODUCCIÓN

El Paraguay es un país eminentemente agrícola, es considerado uno de los principales exportadores de granos y semillas, constituyendo la soja el principal producto nacional comercializado en el exterior, a un precio que marca el mercado internacional, pudiendo existir años en que los precios sean altos, por lo que la utilización local, como fuente de proteína para alimentación de animales, puede ser limitada.

La búsqueda de alternativas para alimentar al ganado a costos más competitivos, ha direccionado la investigación en buscar el uso de otras semillas de oleaginosas o sus subproductos como proveedoras de proteínas en la alimentación animal. En coincidencia con esta situación en los últimos años en el Paraguay se inició el cultivo y la expansión del sésamo, como una alternativa de cultivo en la agricultura familiar (ISA 2008) y desde hace algunos años, el país se posicionó como exportador de sésamo (IICA 2016), realizando envíos a más de treinta países del mundo (Instituto Desarrollo 2012).

El sésamo es una de las semillas oleaginosas más antigua que se conoce, su expansión en el Paraguay se fundamenta en la existencia de buenas condiciones agroecológicas y climáticas para su cultivo, y por otro lado, el bajo costo de producción que presenta, su fácil manejo y poco impacto en el medio ambiente por el reducido uso de productos agroquímicos. El cultivo comercial en el país se inició a fines de la década del noventa, principalmente en la zona norte de la Región Oriental, incorporándose en las fincas de los pequeños productores como alternativa al cultivo del algodón a consecuencia de la pérdida de competitividad de dicho producto (Duarte 2008).

La producción nacional es destinada básicamente al mercado de exportación, aunque no todas las semillas producidas cumplan con los estándares de calidad que exigen los mercados externos, esta situación, sumado a la cantidad de superficie sembrada que en la zafra 2015/16 alcanzó las 55.000 hectáreas (IICA 2016), abre la posibilidad de industrializar sus excedentes de producción, principalmente para producir aceite, quedando un subproducto, la harina de extracción o el expeller, que puede ser utilizado en la alimentación animal.

Se destaca la importancia de realizar estudios de su nivel de aprovechamiento en el aparato digestivo de los animales, particularmente los rumiantes, mediante ensayos de digestibilidad, teniendo en cuenta que no se registran antecedentes sobre este tipo de estudios a nivel Nacional, encontrándose solo algunos antecedentes en los Continentes Asiático y Africano, en que se valoró la digestibilidad; tal como lo demuestra Omar (2002) que adicionó 10 y 20% de ES en la ración, así como Fitwi y Tadesse (2013) quienes suplementaron ovejas con niveles crecientes de ES (0 a 300 g día⁻¹) y Obeidat et al. (2009) que incluyeron en la ración harina de sésamo en 8 y 16%.

Teniendo en cuenta la ausencia de antecedentes locales y ante las escasas referencias internacionales, resulta interesante estudiar los coeficientes de digestibilidad incluyendo el ES en diferentes porcentajes en relación a un alimento de base voluminoso, y así investigar su valoración nutricional, mediante los coeficientes de digestibilidad de sus nutrientes en el animal vivo y luego simulando la digestión por método in vitro, para verificar la posibilidad de aplicar este último por ser más sencillo y económico.

La investigación tiene como objetivo general valorar los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes utilizando distintos niveles de ES mezclado con un forraje voluminoso en raciones de ovinos, mediante técnicas in vivo e in vitro de ensayos de digestibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio las muestras del ES fueron proveídos por una industria nacional que realiza extracción mecánica de aceite de sésamo. Para la valoración de la digestibilidad in vivo se utilizaron ocho ovinos adultos (n= 8), categoría machos castrados adultos, de raza cruzadas entre Criolla y Corriedale, con peso promedio de 36,7±7,7 kg. Para la digestibilidad in vitro se utilizó un ovino fistulado en el rumen, de la misma raza, como proveedor de líquido ruminal para la incubación del HBD y mezclas a valorar.

El trabajo experimental y laboratorio se realizó en el Departamento de Bromatología, Nutrición y Alimentación Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Asunción (FCV-UNA) de la Sede San Lorenzo, que consistió en un ensayo preliminar de valoración de la digestibilidad in vivo de un alimento base forraje

voluminoso constituido por heno de *Brachiaria decumbens* (HBD) como un experimento previo, utilizando los ocho ovinos, con la finalidad de determinar los coeficientes de digestibilidad del alimento base, que posteriormente según un diseño experimental en cuadrado latino 4 x 4 [4 periodos experimentales (PE), 4 grupos de 2 ovinos cada uno (GO)], fue mezclado con 4 distintos porcentajes de ES (Tratamientos) de la siguiente manera: Tratamiento 1: 85% HBD + 15% ES (T1: 85:15); Tratamiento 2: 70% HBD + 30% de ES (T2: 70:30); Tratamiento 3: 55% HBD + 45% de ES (T3: 55:45) y Tratamiento 4: 40% HBD + 60% de ES (T4: 40:60).

Los porcentajes de inclusión de ES fueron definidos según los resultados obtenidos por el análisis bromatológico (Tabla 1), especialmente en lo referente al extracto etéreo (EE), pues los rumiantes toleran hasta un máximo de 7% en su ración total (NAP 2001, Bach y Calsamiglia 2002). El suministro de las raciones a los animales fue una vez por día, a la misma hora (07:30). Posterior a los 15 días de acostumbamiento al HBD los animales fueron alzados en jaulas metabólicas individuales (largo 1,60 m, ancho 0,70 m, altura 0,90 m), con piso de rejilla de hierro, y cada una disponía de un comedero y bebedero individual para el suministro de la ración y el agua: Los animales tuvieron un periodo inicial de adaptación de 7 días a las jaulas metabólicas y a la ración en cada periodo, posterior a eso, 7 días más de medición de consumo de alimentos (que se calcularon restando de la cantidad de ración ofrecida la cantidad de residuos dejados en los comederos, en caso que se presentaba) y producción fecal. La cantidad de ración diaria ofrecida a los ovinos fue de 40 gramos (g) de materia seca (MS) por kg de peso metabólico (PV^{0,75}), además se suministró a cada animal 30 g por día de un suplemento mineral.

Posterior a la adaptación a la ración en cada periodo experimental y a partir del octavo día, la materia fecal de los ovinos fue recogida en su totalidad cada 24 h (07:00) en bolsas colectoras de heces, constituidas por una bolsa de polietileno forrada en una funda de tela de algodón y sujetadas al animal por arneses; se registró su peso fresco y se separó 20% de la cantidad total excretada por día que fueron identificadas por cada animal en una bolsa de plástico a la que se le añadió una alícuota de ácido sulfúrico al 2% como fijador de nitrógeno y se congelaron a temperatura de -4°C hasta el

momento de realización de los análisis bromatológicos correspondientes.

Los análisis proximales de Materia Seca (MS), Proteína Bruta (PB), Fibra Bruta (FB), Extracto Etéreo (EE), Cenizas fueron hallados según la metodología propuesta por AOAC (1990) y la determinación de Fibra Neutro Detergente (FND) se realizó de acuerdo al método desarrollado por Van Soest et al. (1991), tanto del HBD, del ES y de las muestras de materia fecal. Estas concentraciones de nutrientes en los alimentos se utilizaron para calcular la cantidad de nutrientes ingeridas en base al consumo de ración medida y a los porcentajes de HBD y ES en las mezclas.

Tabla 1. Composición química en materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), fibra neutro detergente (FND) y extracto etéreo (EE) del Heno de *Brachiaria decumbens* (HBD) y del expeller de sésamo (ES) utilizados en el experimento, expresadas en porcentaje (%) en base fresca (BF) para la MS y en base seca (BS) para los demás componentes.

Componentes	HBD	ES
MS (%BF)	91,49	94,10
MO (%BS)	94,37	92,58
PB (%BS)	2,46	40,58
FB (%BS)	36,67	5,95
FND (%BS)	79,72	27,07
EE (%BS)	1,70	22,31

Los coeficientes de digestibilidad (CD) expresados en porcentajes (%) de los componentes bromatológicos estudiados se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CD (\%) = \frac{\text{nutriente ingerido (g)} - \text{nutriente en heces (g)}}{\text{nutriente ingerido (g)}} \times 100$$

Los resultados de CD aparente in vivo (DMS, DMO, DPB, DFND y DEE) fueron sometidos al análisis de varianza utilizando el programa estadístico Statistix 9.0, con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$; incluyendo como efectos fijos los tratamientos (T), el periodo experimental (PE) y los grupos de ovinos (GO). Cuando el análisis de varianza resultó significativo los promedios fueron comparados por contraste ortogonal. Se realizaron ecuaciones de

regresión, con los datos individuales, entre los coeficientes de DMS, DMO, DPB y DEE y los porcentajes de inclusión de ES en la ración (tratamientos) de aquellos que fueron significativos en el análisis de varianza. Estas ecuaciones fueron utilizadas para estimar los coeficientes de digestibilidad del ES como alimento (a 100% de inclusión teórica) por extrapolación, debido a la dificultad de utilizarlos en los ovinos como alimento único por la alta concentración residual de aceite que presenta y baja concentración de FB (Tabla 1).

También se estudió la digestibilidad in vitro del HBD y de las mismas mezclas entre ésta y el ES utilizadas en el experimento in vivo (T1: 85:15; T2: 70:30; T3: 55:45 y T4: 40:60), aplicando la técnica de Tilley y Terry (1963). Los resultados de los CD in vitro de la Materia Seca (DIVMS) y de la Materia Orgánica (DIVMO) fueron sometidos a análisis de varianza con un nivel de error máximo al rechazar la hipótesis nula de 5% y de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar ($n=4$ para el HBD y las distintas mezclas). Cuando el análisis de varianza de las variables dependientes resultó significativo los promedios fueron comparados por contraste ortogonal.

Tanto los coeficientes de digestibilidad in vivo e in vitro se compararon para comprobar en las condiciones del presente estudio, la sobre o subestimación entre ambas y así verificar la posibilidad de aplicar la técnica in vitro por ser más sencillo y económico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de consumo de materia seca (CMS) del alimento base (HBD) fue de $528 \pm 69,9$ gramos por día y los CD aparente promedio in vivo de los componentes nutricionales fueron: DMS= $43,7 \pm 5,73\%$; DMO= $49,5 \pm 5,71\%$; DFND= $52,7 \pm 5,88\%$ y DEE= $48,5 \pm 5,30\%$, mientras que, la digestibilidad aparente de la PB fue negativa, debido a la baja concentración de éste componente que presentó el HBD (Tabla 1) y que probablemente fue superado por el nitrógeno metabólico fecal, fracción que representa el nitrógeno excretado en animales cuya ración está libre de nitrógeno (McDonald et al. 2013).

Estos coeficientes relativamente bajos de digestibilidad in vivo del HBD son probablemente debido a la elevada proporción de FND (>70%) que presenta (Tabla 1), similar a la paja de cereales

(Sauvant et al. 2004, de Blas et al. 2010), y muy próximo a valores reportados por Gonçalves-Dias y Borges (2009) para la misma especie en otro país de clima tropical (78 a 80% de FND), ya que existe una correlación negativa entre el contenido de FND y el ritmo de digestión. Así también, la baja concentración de PB pudo influenciar en los valores de digestibilidad registrados en los demás componentes químicos estudiados, dado que no aporta la cantidad de Proteína Degradable en Rumen (PDR) que es la fuente de nitrógeno amoniacal que las bacterias ruminales necesitan para una buena multiplicación de los microorganismos celulolíticos (Pitt et al. 1996, McDonald et al. 2013).

En relación a los valores de digestibilidad in vitro promedios del HBD fueron: DIVMS= $39,8 \pm 0,76\%$ y DIVMO= $41,3 \pm 0,77\%$, apreciándose que estos valores in vitro son inferiores a los in vivo, concordando con los datos reportados sobre DIVMS en la bibliografía básica de nutrición animal, en el sentido que los valores in vitro, en general, subestima los valores in vivo (McDonald et al. 2013).

En la Tabla 2 se presentan los valores de CMS promedios y de coeficientes de DMS, DMO, DPB, DEE DFND in vivo de las raciones con diferentes porcentajes de ES, observándose que el CMS aumentó de manera progresiva en la medida que se incrementó el porcentaje de inclusión de ES, llegando la diferencia a ser estadísticamente significativa ($p < 0,05$), también el efecto de GO fue significativo ($p < 0,05$), lo que bien pudo deberse a una cierta dispersión del peso vivo de las ovejas ($36,7 \pm 7,7$ kg) que ya fuera señalado por Ferrer et al. (1996) como la variable ligada al animal, que mejor explica las diferencias de consumo.

Los CD aparentes aumentaron significativamente casi en todos los casos en la medida que lo hacía el porcentaje del ES en la ración ($p < 0,05$), a excepción de la DFND que se mantuvo relativamente estable sin ser influenciados significativamente ($p > 0,05$) por los niveles de ES, lo cual indica que no hubo un efecto asociativo negativo de la suplementación sobre la digestibilidad la pared celular del HBD y que concuerda con lo reportado para la digestibilidad del carbohidrato no fibroso por Fitwi y Tedesse (2013) suplementando con diferentes niveles de expeller de semilla de sésamo. El efecto del PE y del GO no afectaron a la mayoría de los coeficientes de digestibilidad estudiados ($P > 0,05$), a excepción de

la DPB que fue significativamente influenciado por el PE ($p < 0,05$).

Estos resultados difieren con lo reportado por Obeidat et al. (2009) quienes no encontraron variaciones incluyendo 8 y 16% de harina de sésamo en la ración, que bien pudo deberse a que no varió el porcentaje de inclusión del forraje voluminoso (20% de heno de trigo en todos los tratamientos), al igual que la DMS observada por Omar (2002), incluyendo 10 y 20% de torta de extracción de aceite de sésamo; sin embargo, la

DPB sí mostró un incremento significativo con la inclusión más alta, coincidiendo con los resultados de este trabajo. En los estudios realizados por Fitwi y Tadesse (2013) donde incorporaron 5 niveles de expeller de sésamo (de 0 a 300 g día⁻¹) en la ración de ovinos encontraron valores más altos de DMS: 70,3%, DMO: 73,2% y DPB: 92,6% con el tratamiento que incluyó 300 g día⁻¹ de ES, con una tendencia de aumentar la digestibilidad con una mayor cantidad de expeller de sésamo en la ración, que en tal sentido concuerda con lo observado en el presente estudio.

Tabla 2. Consumo de materia seca (CMS: g día⁻¹) y coeficientes de digestibilidad promedios de materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), proteína bruta (DPB), extracto etéreo (DEE), y fibra neutro detergente (DFDN) expresados en porcentaje (%) y error estándar de la media (EEM) para los distintos porcentajes de inclusión de expeller de sésamo (ES) en la ración (T1: 15%; T2: 30%; T3: 45% y T4: 60%) y la probabilidad de la diferencia entre tratamientos (T), periodos experimental (PE) y grupos de ovinos (GO).

Componentes	Tratamientos (%ES)				EEM	Probabilidad		
	15	30	45	60		T	PE	GO
CMS (g día ⁻¹)	547	550	552	555	0,18	<0,05	>0,05	<0,05
DMS (%)	53,0	54,5	56,3	60,4	1,28	<0,02	>0,05	>0,05
DMO (%)	58,7	60,3	62,8	66,9	1,35	<0,02	>0,05	>0,05
DPB (%)	66,2	77,3	82,4	85,8	0,74	<0,01	<0,05	>0,05
DEE (%)	81,7	88,4	91,0	94,0	0,48	<0,01	>0,05	>0,05
DFND (%)	59,2	57,6	57,5	59,2	1,36	>0,05	>0,05	>0,05

En relación al contraste ortogonal aplicado sobre los niveles crecientes de inclusión de ES fue estadísticamente significativo la evolución lineal ($p < 0,05$) de los valores de DMS, DMO, DPB y DEE. Así como, la forma de evolución cuadrática de la DPB ($p < 0,05$) y de la DEE ($p < 0,1$) para un nivel de error de $\alpha = 0,1$ de este último. La evolución lineal de las regresiones de la DMS y DMO se presentan en la Figura 1, estando bien explicados los incrementos en los CD por los aumentos en los niveles de inclusión de ES, tal como lo demuestra los valores de coeficientes de determinación (R^2) observados, los que indican que en un 68% y 72% de los cambios en la DMS y DMO, respectivamente están explicados por los distintos niveles de inclusión de ES. Los aumentos en los CD junto con los incrementos en los niveles de inclusión de ES, se encuentra justificado por la mejora en la calidad de

la ración al incrementarse la provisión de materia orgánica digestible.

Una forma de estimar la digestibilidad in vivo de un alimento concentrado que se dificulta su utilización como único alimento sin mezclar con un forraje voluminoso en las ovejas por posibles disturbios digestivos es por extrapolación, recurriendo a las ecuaciones de regresión de la Figura 1, los coeficientes estimados de DMS y DMO de esta manera fueron de 70,6 y 78,1%, respectivamente, haciendo la salvedad de que estos valores son solos referenciales por la forma de estimación y porque no se pudo incluir porcentajes mayores al 60% de ES para no producir desordenes digestivos en los microorganismos del rumen por superar el nivel máximo seguro de 7% de aceite (EE) en la ración de rumiantes (NAP 2001, Bach y Calsamiglia 2002).

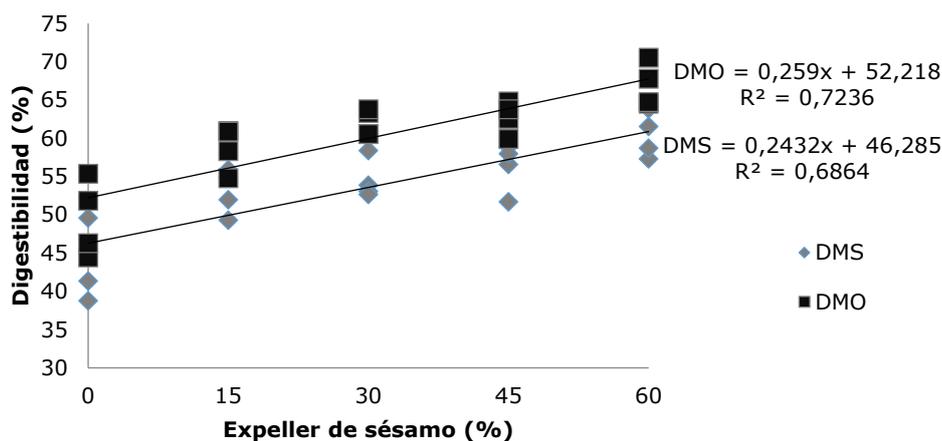


Figura 1. Regresión entre los coeficientes de digestibilidad de la Materia Seca (DMS), de la Materia Orgánica (DMO) in vivo expresados en porcentaje (%) y los distintos porcentajes de inclusión de expeller de sésamo en la ración (T1: 15%; T2: 30%; T3: 45% y T4: 60%).

Debido a que los valores bromatológicos de PB y EE del HBD fueron muy bajos no se consideraron para la regresión cuadrática el nivel de 0% de ES correspondiente a 100% de HBD presentada en la Figura 2, en la que se observa que la regresión cuadrática a partir de 15% de inclusión de ES es la que mejor se ajusta ($R^2 > 91%$ en ambos casos), lo

que indica que en más del 92% y 91% de los cambios en la DPB y DEE, respectivamente están explicados por los distintos porcentajes de inclusión de ES, estimándose a partir de estas ecuaciones los coeficientes de 73,6 y 91% para la DPB y la DEE, respectivamente por extrapolación.

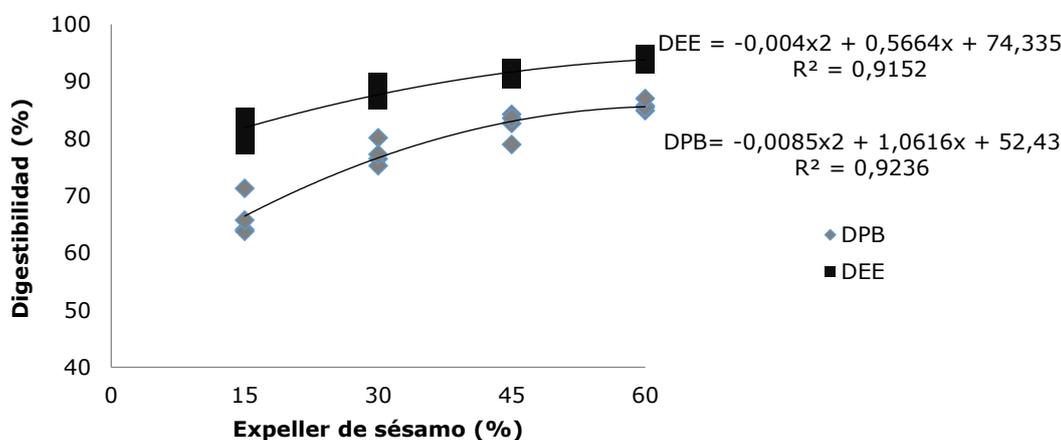


Figura 2. Regresiones entre los coeficientes de digestibilidad de la Proteína Bruta (DPB) y del Extracto Etéreo (DEE) in vivo expresados en porcentaje (%) y los distintos porcentajes de inclusión de Expeller de Sésamo en la ración (T1: 15%; T2: 30%; T3: 45% y T4: 60%).

Recurriendo a las ecuaciones de regresión entre la DMS, DMO, DPB y DEE in vivo con los distintos porcentajes de inclusión de ES presentadas en las Figuras 1 y 2, se estimaron los coeficientes de digestibilidad de 70,6; 78,1; 73,6 y 91% para la DMS, DMO, DPB y DEE, respectivamente. Al contrastar estos resultados, específicamente la DMO y DPB, con las contenidas en la tabla de

composición y de valor nutritivo de INRA de Sauvant et al. (2004) fue inferior en ambos casos (DMO: 78,1 vs. 88% y DPB: 73,6 vs. 80%, respectivamente) y con los datos de expeller de sésamo como alimento para el ganado publicado por Heuzé et al. (2016) que para la DMO fue de 80,3% y para la DPB de 78,4%, un poco más elevados a los observados en el presente estudio. A pesar de

las limitaciones de los resultados obtenidos de valoración de la DMO y DPB in vivo del ES cómo único alimento por extrapolación, no difieren mucho de los citados por las bibliografías especializadas y en ningún caso, las diferencias son superiores a los 10 puntos porcentuales.

Los coeficientes de DIVMS y DIVMO obtenidos con la técnica in vitro con los distintos porcentajes de inclusión ES (Tabla 3) se comportaron de manera similar a la digestibilidad in vivo, incrementándose en la medida que se aumentó el porcentaje de inclusión ES, siendo la varianza estadísticamente significativas en ambos casos ($p < 0,05$).

Las variaciones de la DIVMS y DIVMO con la proporción de ES presentaron una evolución lineal altamente significativa a la prueba de contraste ortogonal ($p < 0,01$), haciendo notar que al aumentar el porcentaje de inclusión de ES se incrementó la digestibilidad. La forma de evolución

cuadrática también fue estadísticamente significativa para la DIVMS ($p < 0,05$) y para la DIVMO ($p < 0,1$), no así la evolución cúbica en ambos casos ($p > 0,05$).

Los valores promedios de la DIVMS y DIVMO obtenidos en esta investigación, se pueden considerar como buenos estimadores de la DMS y DMO in vivo, no siendo las diferencias superiores a 9,51 puntos porcentuales en el caso de la digestibilidad de la MS y a 10,13 puntos porcentuales para la digestibilidad de la MO (Tabla 4). Observándose, una reducción de las diferencias en la medida que aumentó los porcentajes de inclusiones del ES, especialmente a partir del tratamiento con 45% de ES para la DIVMS, siendo las diferencias inferiores para éstas que para la DIVMO, que concuerda por lo publicado en McDonald et al. (2013) en que los valores in vitro subestiman a los in vivo.

Tabla 3. Coeficientes de digestibilidad promedios in vitro de la Materia Seca (DIVMS) y Materia Orgánica (DIVMO) expresados en porcentaje (%) y error estándar de media (EEM) para los distintos porcentajes de inclusión de expeller de sésamo (ES) en la ración (T1: 15%; T2: 30%; T3: 45% y T4: 60%) y la probabilidad de la diferencia para los tratamientos (T), las tendencias lineal (L), cuadrática (C) y cúbica (CU).

Componentes	Tratamientos (%ES)				EEM	Probabilidad			
	15	30	45	60		T	L	C	CU
DIVMS (%)	43,5	46,2	50,4	58,5	0,94	<0,01	<0,01	0,01	0,56
DIVMO (%)	48,6	50,4	53,5	58,6	0,90	<0,01	<0,01	0,09	0,85

Tabla 4. Coeficientes de digestibilidad obtenidos mediante la técnica in vivo (de materia seca: DMS y materia orgánica: DMO) e in vitro (de materia seca: DIVMS y materia orgánica: DIVMO) expresados en porcentaje (%) para los distintos porcentajes de inclusión de expeller de sésamo (ES) en la ración (T1: 15%; T2: 30%; T3: 45% y T4: 60%) y las diferencias entre ambas.

Componentes	Métodos	Tratamientos (% ES)			
		15	30	45	60
DMS (%)	In vivo	53,03	54,5	56,29	60,35
DIVMS (%)	In vitro	43,52	46,19	50,41	58,73
DIFERENCIAS		9,51	8,31	5,88	1,62
DMO (%)	In vivo	58,74	60,3	62,77	66,9
DIVMO (%)	In vitro	48,61	50,43	53,51	58,64
Diferencias		10,13	9,87	9,26	8,26

La utilidad de contrastar para los mismos niveles de inclusión de ES el método de estudio de digestibilidad in vivo e in vitro, es porque estas diferencias no son grandes, por lo que podrán utilizarse en el futuro como factores de corrección y así realizar solamente valoraciones in vitro por ser más rápidas y económicas que las in vivo, para poder utilizarlas en la valoración de mezclas de ES con forraje voluminoso y aplicarlas en condiciones prácticas de alimentación de ovejas.

CONCLUSIÓN

Los coeficientes de DMS, DMO, DPB y DEE aumentaron de manera significativa al incrementarse las proporciones de expeller de sésamo en la ración lo que indica una mejora en el aporte de materia orgánica digestible, a excepción de la DFND que permaneció constante, lo que sugiere que no hubo un efecto asociativo que afecte en forma negativa y de manera apreciable al ambiente ruminal.

La DMO y la DPB del Expeller de sésamo estimada por extrapolación difieren poco de los citados para este alimento en tablas especializadas de composición y valoración nutricional de alimentos y en ningún caso superan los 10 puntos porcentuales.

Los coeficientes de digestibilidad in vitro de la MS Y MO subestiman un poco al in vivo y en ningún caso llegan las diferencias a ser superiores a los 10,13 puntos porcentuales, siendo éstas menos importantes en los tratamientos que incluyeron porcentajes más altos de expeller de sésamo.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Selma Rosthoj como Jefa, a los Profesionales, Técnicos y Personal de Servicios del Departamento de Bromatología, Nutrición y Alimentación animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Asunción, por sus apoyos constantes y desinteresados en la realización de esta investigación.

A la Ingeniera Agrónoma María Gloria Ovelar, por sus oportunas y pertinentes orientaciones en el diseño experimental y análisis estadísticos de los resultados.

Al Dr. Mario Insaurralde por la revisión de la traducción del resumen al inglés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists, Washington). 1990. AOAC Official Methods of Analysis. 15th. 1: 136-138.
- Bach, A; Calsamiglia, S. 2002. Manual de Racionamiento para el Vacuno Lechero. B Alex; C Sergio (eds). Barcelona, España, Servet Diseño y Comunicación. 44 p.
- de Blas, C; Mateos, GG; García-Rebollar, P; coord(s). 2010. Ingredientes para piensos (Tablas FEDNA 2010) (en línea). Madrid, España, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Consultado 8 nov. 2017. Disponible en <http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>
- Duarte Riveros, C. 2008. Análisis de la Producción de Sésamo (en línea). Asunción, Paraguay, Agencia Financiera de Desarrollo. 33 p. Consultado 9 nov. 2017. Disponible en <https://es.slideshare.net/guestf886d8/produccion-de-ssamo>
- Ferrer, R; Casasús, I; Petit, M. 1996. Factores determinantes de la ingestión de forrajes por el vacuno. ITEA 92a nº 2: 143-154.
- Fitwi, M; Tadesse, G. 2013. Effect of sesame cake supplementation on feed intake, body weight gain, feed conversion efficiency and carcass parameters in the ration of sheep fed on wheat bran and teff (*Eragrostis teff*) straw. Momona Ethiopian Journal of Science (MEJS) 5(1): 89-106.
- Gonçalves Dias, LC; Borges, BDSFP. 2009. Alimentação de Gado de Leite (en línea). Consultado 8 nov. 2017. Disponible en <http://vet.ufmg.br/ARQUIVOS/FCK/file/Livro - Alimentação de Gado de Leite.pdf>
- Heuzé V., Tran G., Bastianelli D., Lebas F. 2016. Sesame (*Sesamum indicum*) seeds and oil meal (en línea) . Consultado el 8 nov. de 2017. Disponible en <http://www.feedipedia.org/node/26>
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Asunción). 2016. Sésamo (en línea). San Lorenzo, Asunción. Consultado 9

- nov. 2017. Disponible en <http://www.iica.org.py/observatorio/sesamo.htm>
- ID (Instituto Desarrollo, Asunción). 2012. Estudio de Recopilación de Datos Sobre Cultivos Potenciales para la Exportación Producidos por Pequeños Productores en el Paraguay (en línea), Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Consultado 30 oct. 2017. Disponible en https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/info_02_01.pdf
- ISA (Informe Sector Agropecuario, Asunción). 2008. Sesamo 2007/2008 (en línea). 15 p. Consultado 8 nov. 2017. Disponible en http://www.mag.gov.py/dgp/isa_sesamo.pdf
- McDonald, P; Edwards, RA; Greenhalgh, JFD; Morgan, CA; Sinclair, LA; Wilkinson, R. 2013. Nutrición Animal. Valoración de los alimentos: Digestibilidad. 7ma. ed. Zaragoza, España, Acribia 225 p.
- NAP (National Academy Press, Washington). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington, USA, Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, National Research Council. 401 p.
- Obeidat, BS; Abdullah, AY; Mahmoud, KZ; Awawdeh, MS; Al-beitawi, NZ; Al-Lataifeh, FA. 2009. Effects of feeding sesame meal on growth performance, nutrient digestibility, and carcass characteristics of Awassi lambs. *Small Ruminant Research* 82(1): 13-17.
- Omar, JMA. 2002. Effects of feeding different levels of sesame oil cake on performance and digestibility of Awassi lambs. *Small Ruminant Research* 46(2-3): 187-190.
- Pitt, RE; Van Kessel, JS; Fox, DG; Pell, AN; Barry, MC; Van Soest, PJ. 1996. Prediction of ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *Journal of Animal Science* 74(1):226.
- Sauvant, J; Perez, M; Tran, G. 2004. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero. Ed. JTG Sauvant, D; Perez. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa, 186-187.
- Tilley, JMA; Terry, RA. 1963. A two-stage technique for de in vitro digestion of forage crop. *J. Brit. Grassland Soc.* 18: 104-111.
- Van Soest, PJ; Robertson, JB; Lewis, BA. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science* 74(10): 3583-3597.