

Evaluación nutritiva de harinas y expeller de soja presentes en Uruguay en la alimentación de vacas lecheras

Nutritional evaluation of soybean meal and expellers present in Uruguay in the dairy cattle feeding

Gonzalo Fernandez-Turren^{1*}, Cecilia Cajarville², Analía Pérez-Ruchel², Darío Hirigoyen³, Marina Constantín⁴, Víctor González⁴, Jennifer Madera⁴, Fulvio Eiraldi⁵, Gilberto V. Kozloski⁶, José L. Repetto¹

¹Departamento de Bovinos, Facultad de Veterinaria - Instituto de Producción Animal-UdelaR, Ruta 1 km 42,500, CP 80100, San José, Uruguay.

²Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Veterinaria - Instituto de Producción Animal-UdelaR

³Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.

⁴Laboratorio de nutrición Cooperativa COLAVECO, Uruguay.

⁵Veterinario de ejercicio liberal.

⁶Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, Universidad Federal de Santa María, Brasil.

*Autor para correspondencia: G. Fernandez Turren (gonzalofernandezt@gmail.com)

Veterinaria (Montevideo) Volumen 54

DOI: 10.29155/VET.54.209.5

Recibido : 11/11/2017

Nº 209 - 5 (2018) 31-38

Aceptado: 19/04/2018

Resumen

La composición química y degradabilidad ruminal de los subproductos derivados de la soja pueden verse afectadas según su proceso industrial de obtención. El objetivo de este estudio fue determinar el valor proteico en vacas lecheras de harinas y expeller de soja presentes en Uruguay. Se obtuvieron muestras de estos subproductos en distribuidores de alimentos para vacunos de la cuenca lechera uruguaya. Se analizó la composición química, degradabilidad ruminal *in situ* (determinando: fracción soluble, tasa de degradación y degradabilidad efectiva) y su fermentabilidad *in vitro*. Se comparó la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de las muestras con la base de datos del programa NRC (NRC, 2001). Todos los resultados fueron comparados a través de un análisis de varianza. Las harinas presentaron menor contenido de extracto etéreo, materia orgánica y mayor contenido proteico ($P<0,05$), mayor tasa de degradación y degradabilidad efectiva *in situ*, además de una mayor tasa de producción de gas *in vitro* en comparación con los expeller ($P<0,01$). La degradabilidad ruminal *in vitro* no varió entre subproductos ($P=0,432$). La comparación de datos con la base del NRC (NRC, 2001) indicó una menor producción de leche (L/d) debido a una mayor degradabilidad ruminal de las harinas y expeller evaluados. En base a las diferencias encontradas entre la composición química y degradabilidad ruminal de los subproductos analizados y los datos incorporados en el programa (NRC, 2001) sería recomendable emplear datos nacionales a la hora de formular dietas.

Palabras claves: harina de soja, expeller, proteína degradable en rumen, producción de leche

Summary

The chemical composition and ruminal degradability of soybean byproducts can be affected by the industrial processes through which are obtained. The objective of this study was to determine the protein value for dairy cows of soybean meal and expeller present in Uruguay. Samples of soybean meal and expeller were taken from several Uruguayan suppliers. The chemical composition, *in situ* ruminal degradability (determining: soluble fraction, degradation rate and effective degradability) and its *in vitro* degradability of protein were analyzed. The chemical composition and *in situ* ruminal degradability of the samples were compared with the NRC (NRC, 2001) software database. All the results were compared through an analysis of variance. The soybean meal presented a lower content of ether extract and organic matter with a higher protein content ($P<0.05$), higher rate of degradation and effective degradability *in situ*, in addition to a higher rate of *in vitro* gas production when compared with expeller ($P<0.01$). *In vitro* ruminal degradability did not vary between byproducts ($P=0.432$). The results of the simulation indicate that the production is lower than that of which is predicted by the NRC (NRC, 2001), because to a higher protein degradability of soybean meal and expeller evaluated. Based on the differences found between the chemical composition and ruminal degradability of the byproducts analyzed and the data incorporated in the software (NRC, 2001), it would be advisable to use national data when formulating diets.

Keywords: soybean meal, expeller, rumen-degraded protein, milk production

Introducción

La harina de soja es uno de los concentrados proteicos más ampliamente utilizados en la alimentación de las vacas lecheras de alta producción debido a su elevada concentración de proteínas de alta calidad. Según distintos autores, representa una buena fuente de proteína indegradable en el rumen, por lo que, debido a su elevado valor biológico (perfil de AA), resulta beneficioso que su proteína sea protegida de la acción microbiana y llegue intacta al intestino, como proteína de pasaje, más aún en animales de alta producción (Stern y col., 1985; Santos y col., 1998).

En general, mediante los tratamientos térmicos, se produce la desnaturalización de la proteína y formación de enlaces proteína-carbohidrato y enlaces cruzados proteína-proteína (NRC, 2001), protegiéndola de la acción de los microorganismos ruminales y aumentando la disponibilidad de AA en el duodeno (desde 40 a 70%) y favoreciendo su digestión (Stern y col., 1985), lo que puede repercutir en una mayor producción de leche (Ipharaguerre y col., 2005).

Los expeller de soja, obtenidos a partir de la extracción de aceite mediante presión, reciben un tratamiento térmico más intenso que las harinas de soja, aumentando la resistencia a la proteólisis y, por tanto, disminuyendo su degradabilidad ruminal. Sin embargo, su repercusión en la producción de leche no está clara en la literatura existente. Si bien, en varios trabajos se reporta un incremento en la producción de leche (kg/día) cuando se sustituyen harinas de soja por expeller (Broderick y col., 1990; Titgemeyer y Shirley, 1997; Reynal y Broderick, 2003; Giallongo y col., 2015), en otros trabajos, no se evidenció este efecto (McCormick y col., 2001; Loor y col., 2002; Broderick y col., 2013). La variabilidad en los resultados existentes podría deberse, en parte, a las diferentes condiciones de procesamiento industrial presentes durante la extracción del aceite. Es sabido que los beneficios de los procesos térmicos pueden perderse cuando se aplica excesiva temperatura debido a las reacciones de Maillard (Van Soest, 1994), lo cual afectaría la degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal de los suplementos proteicos (Stern y col., 1994). Existe muy poca información acerca de la calidad nutricional de los subproductos de soja obtenidos en Uruguay y los que ingresan al país. Algunos resultados de análisis químicos de harinas de soja fueron reportados anteriormente por otro autor (Mieres, 2004), pero con respecto a la degradabilidad ruminal son nulos los antecedentes nacionales por lo que, en general, se debe recurrir a valores de tablas internacionales cuando se formulan dietas para animales en producción.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el valor proteico de diferentes subproductos de soja para vacas lecheras, con especial énfasis en la correcta valoración de la proteína de pasaje.

Materiales y métodos

Se evaluaron 8 subproductos de soja a través de las técnicas de degradabilidad ruminal *in situ*, producción de gas *in vitro* y degradabilidad ruminal *in vitro* de la proteína. Las muestras evaluadas fueron obtenidas en muestreos realizados en distribuidores de alimentos para vacunos de diferentes puntos de la cuenca lechera uruguaya (San José, Colonia, y Río Negro). Los subproductos fueron categorizados como harinas o expeller de acuerdo a su contenido en extracto etéreo (EE) (harina < 3,0 % de EE, expeller \geq 5,5% de EE; (UNIT, 2008)), conformando un total de 4 muestras por categoría (Tabla 1). Los análisis de composición química fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de nutrición de la Cooperativa Colaveco (Nueva Helvecia, Colonia, Uruguay). Los ensayos de degradabilidad ruminal *in situ* y de producción de gas *in vitro* fueron realizados en las instalaciones del Instituto de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria (Ruta 1 km 42,500-San José, Uruguay), mientras que el ensayo de degradabilidad ruminal *in vitro* de la proteína fue realizado en el Laboratorio de Bromatología y Nutrición de Rumiantes de la Universidad Federal de Santa María (Camobi, Santa María, Brasil).

Degradabilidad ruminal in situ

Fue conducido un ensayo de degradabilidad ruminal *in situ* (Mehrez y Orskov, 1977). Se utilizaron 3 vacas no lactantes (peso vivo promedio: 516 ± 25 kg), provistas de cánulas ruminales (10 cm de diámetro interno, ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA) y alimentadas con una dieta formulada para cubrir los requerimientos de mantenimiento. Se les ofreció *ad libitum* heno de Moha (*Setaria italica*) cuya composición química fue en g/kg de materia seca (MS): 46 g de proteína bruta (PB) y 632 g de fibra neutro detergente (FND), suplementado con 2 kg de concentrado (267 g de PB y 173 g de FND) ofrecido a las 8:00 h de cada día, compuesto por (g/kg) 475 g de grano húmedo de maíz, 475 g de harina de soja y 50 g de premix vitamínico-mineral. Las vacas tuvieron libre acceso durante todo el periodo experimental a agua de bebida y contaron con un periodo de adaptación de 20 días.

Las muestras de los distintos subproductos de soja fueron secadas en estufa a 55°C durante 72 h y molidas a 2 mm (Fritsch GmbH, Idar-Oberstein, Birkenfeld, Germany). De cada muestra (n=8), se pesaron 10 g en bolsas de poliéster (10,5 × 21 cm; 52 μ m de tamaño de poro, ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA). Las bolsas fueron colocadas en la porción ventral del rumen, sujetas a una cadena metálica con una pesa en el extremo. En total se incubaron 7 bolsas por cada vaca, alimento y tiempo de incubación. Se realizaron 2 series de incubaciones, en cada serie se incubaron por cada vaca 56 bolsas (día 1 y 7 del periodo de mediciones). Las bolsas fueron incubadas en el rumen una hora luego de la oferta del concentrado y durante 0, 3, 6, 12, 24, 36, 48 y 72 h. Luego de retiradas del rumen, eran inmediatamente lavadas en forma manual con agua corriente por 5 min y congeladas (-18°C). Adicionalmente, bolsas no incuba-

das, correspondientes a la hora 0, también fueron lavadas hasta obtener agua clara y congeladas. Posteriormente todas las bolsas fueron descongeladas, lavadas en agua corriente, colocadas en estufa a 55 °C durante 48 h, pesadas y almacenadas para posterior análisis. Se determinó el contenido de N de cada bolsa. Para el cálculo de las fracciones soluble y potencialmente degradable (a y b respectivamente), y de las tasas de degradación proteica los datos de cada bolsa incubada fueron modelizados según un modelo exponencial (Orskov y McDonald, 1979):

$$\text{DegPB} = a + b \cdot (1 - \exp(-kd \cdot (\text{hora})))$$

donde: DegPB= degradabilidad de la proteína del alimento; a= fracción soluble y rápidamente degradable (%); b=fracción insoluble pero potencialmente degradable (%) kd= tasa de degradación de la fracción b (%/h); hora= tiempo de incubación (h).

La degradabilidad efectiva (DE) de los alimentos fue estimada con los parámetros obtenidos *in situ*, asumiendo una tasa de pasaje (kp) de 6%/h, y utilizando la siguiente ecuación (Orskov y McDonald, 1979):

$$\text{Degradabilidad efectiva} = a + ((b \times kd) / (kd + kp))$$

Producción de gas *in vitro*

Fue realizado un ensayo de producción de gas *in vitro* (Mauricio y col., 1999). Se realizaron 3 corridas independientes, en cada corrida 0,5 g de muestra fueron pesados y colocados en frascos de vidrio de 125 mL (3 frascos por muestra y corrida). Se agregaron a cada frasco 40 mL de solución buffer (Mould y col., 2005), a continuación, fueron tapados y mantenidos refrigerados a 4°C durante 12 h antes de la inoculación para permitir la hidratación del sustrato. Previo a la inoculación de los frascos con líquido ruminal (inóculo), los mismos fueron llevados a un baño de agua a 39°C donde se mantuvieron por todo el periodo de mediciones. Inmediatamente tras la inoculación (10 mL), cada frasco fue tapado con septo de goma de butilo. Todas las manipulaciones se realizaron bajo un flujo de CO₂. Además, 3 frascos de fermentación sin sustrato fueron incluidos como blancos para corregir la fermentación propia del inóculo. Se registró la presión interna de los frascos a las 3, 6, 12, 24, 36, 48 y 72 h de incubación mediante un manómetro 840065 (Sper Scientific®, Redfield Rd#7 Scottsdale, AZ 85260) y una aguja hipodérmica. Luego de cada lectura el gas fue eliminado de los frascos. Los datos de presión de gas (psi) registrados fueron transformados a volumen (V) mediante la ecuación de predicción obtenida en un experimento previo:

$$V \text{ (mL)} = 4,40 P \text{ (psi)} + 0,09 P^2 \text{ (psi)}$$

La producción de gas acumulada fue calculada, a partir de los datos de presión, y ajustada al siguiente modelo (Orskov y McDonald, 1979):

$$P_{\text{gas}} = V (1 - \exp(-c (t-L)))$$

donde “Pgas” (mL/g MS incubada) denota la producción de gas

acumulada a tiempo t, “V” (mL/g MS incubada) es la producción potencial de gas, “c” (h⁻¹) es la tasa fraccional de producción de gas y “L” (h) es el tiempo de latencia de la producción de gas.

Degradabilidad ruminal *in vitro* de la proteína

La degradabilidad ruminal de la proteína fue estimada a través del amoníaco liberado *in vitro* (Broderick, 1987, modificada por Fernandez-Turren, 2016). Brevemente, la modificación consiste en que se evalúa únicamente la producción de amoníaco, asumiendo que la captación por parte de las bacterias es mínima en comparación a la producción de amoníaco cuando se evalúan sustratos proteicos. Además, la muestra incubada se considera libre de nitrógeno soluble, asumiendo que luego del proceso de solubilización, quedaría únicamente la fracción potencialmente degradable en rumen e indegradable. Para el presente trabajo, el procedimiento fue igual al realizado en el ensayo de producción de gas *in vitro*, partiendo de una muestra sin N soluble. El contenido de cada frasco de fermentación fue muestreado (0,5 mL) a las 0, 6, 12, 18, 24, 36, 48 y 72 h desde el comienzo de la incubación mediante una jeringa de insulina. La muestra se almacenó en 2,5 mL de ácido sulfúrico (2% v/v), y posteriormente se congelaron hasta la determinación de amoníaco mediante colorimetría (Weatherburn, 1967). Los valores de liberación de amoníaco (Amoníaco liberado) fueron calculados como proporción de la concentración de amoníaco en cada horario con respecto al N incubado en cada frasco:

$$\text{Amoníaco liberado} = [\text{N-NH}_3] / \text{N incubado}$$

donde: [N-NH₃] = concentración de amoníaco en cada horario (mg/mL) y N incubado = nitrógeno incubado en cada frasco *in vitro* (mg/mL).

La fracción de N soluble *in vitro* (NS) se determinó por diferencia entre la concentración de nitrógeno de la muestra y la obtenida luego de incubar el alimento durante 3 h en agua destilada con agitación lenta a temperatura ambiente, empleando 10 g de muestra en 1 litro de agua destilada, y posterior lavado con agua corriente.

$$\text{NS (\%)} = (1 - (\text{N residual} / \text{N incubado})) \times 100$$

donde: NS= nitrógeno soluble (%); N residual= concentración de N luego de 3 h en agua destilada a temperatura ambiente (mg/g MS);

La proporción degradable de la proteína en cada tiempo de incubación fue calculada según la siguiente ecuación:

$$\text{DNIV} = ([\text{N-NH}_3] \times (\text{Volumen saliva artificial} + \text{inóculo})) / \text{N incubado}$$

donde: DNIV= proporción degradable *in vitro* de la proteína;

La tasa de degradación proteica *in vitro* (TD) fue estimada como el coeficiente de regresión entre el logaritmo natural de la proporción indegradable de la proteína (Ln (1-DNIV)) y el tiempo de incubación (horas) (Broderick, 1987).

La degradabilidad efectiva *in vitro* (DE-N) fue estimada con los parámetros obtenidos *in vitro*, asumiendo una tasa de pasaje (kp) de 6%/h, y utilizando la siguiente ecuación (Orskov y McDonald, 1979):

$$\text{Degradabilidad efectiva} = \text{NS} + ((\text{ND} \times \text{TD}) / (\text{TD} + kp))$$

donde: NS = fracción de N soluble *in vitro*; ND = fracción insoluble pero potencialmente degradable (%); TD = tasa de degradación *in vitro* de la proteína.

Análisis de composición química

Se analizaron los contenidos de MS, materia orgánica (MO), nitrógeno total (N), nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDN), nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA), EE, FND y fibra ácido detergente (FAD) de las muestras de harina y expeller de soja evaluadas. Los contenidos de MS, MO y N fueron analizados según los métodos ID 934.01, ID 942.05 e ID 968.06 respectivamente (AOAC, 2000). Los contenidos de NIDN y NIDA también fueron analizados (Licitra y col., 1996). Los contenidos de FND y FAD fueron analizados secuencialmente (Robertson y Van Soest, 1981) utilizando un analizador de fibras Ankom (Ankom Technology Corporation, Fairport, NY, USA) y expresados excluyendo la ceniza residual. El análisis de FND fue realizado sin la utilización de alfa amilasa. El contenido de EE fue determinado para todas las muestras (AOCS, 2005).

Análisis estadístico

La comparación de medias fue realizada a través de análisis de varianza utilizando el procedimiento MIXED del SAS® (versión 9.0, SAS Institute Inc., Cary, NC).

La composición química de los subproductos fue comparada de acuerdo al modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

donde Y_{ij} es la variable dependiente, μ es la media poblacional, T_i es el efecto fijo del tratamiento (i = harina o expeller), en j réplicas del alimento ($j=4$ muestras), y e_{ij} es el error residual.

La cinética de degradación ruminal fue analizada por un modelo de regresión no lineal utilizando el procedimiento NLIN del SAS® (SAS 9.0V, SAS Institute Inc., Cary, NC).

Los parámetros de degradación fueron comparados entre tratamientos de acuerdo al modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + T_j + e_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} es la variable dependiente, μ es la media poblacional, V_i es el efecto aleatorio de la vaca ($i=3$ vacas), T_j es el efecto fijo del tratamiento (j = harina o expeller), en k réplicas del alimento ($k=4$ muestras), y e_{ijk} es el error residual.

Los parámetros de producción de gas *in vitro* y liberación de amoníaco *in vitro* fueron comparados como medidas repetidas en el frasco de acuerdo al modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

donde Y_{ij} es la variable dependiente, μ es la media poblacional, T_i es el efecto fijo del tratamiento (i = harina o expeller), en j réplicas del alimento ($j=4$ muestras), y e_{ij} es el error residual.

Las medias fueron comparadas utilizando el test de Tukey. Diferencias significativas se declararon cuando $P \leq 0,05$, y se consideró una tendencia cuando $0,05 < P \leq 0,10$.

Simulación en software NRC (2001).

Los datos medios de composición química y degradabilidad ruminal *in situ* obtenidos en este trabajo para harinas y expeller fueron incluidos en el programa NRC (NRC, 2001). Se simuló una situación productiva considerando vacas lecheras de alta producción en su pico de lactancia, produciendo 40 kg de leche/día, con 3,4% de grasa, 3,0% de proteína y 4,8% de lactosa. Se evaluó una dieta de uso común en los sistemas lecheros nacionales, compuesta por 12 kg de silo de maíz, 8 kg de grano húmedo de maíz, 4,5 kg de subproductos de soja y núcleo mineral. Se realizaron 4 simulaciones en el software, donde el único componente que varió en la dieta fue el subproducto de soja empleado en la simulación (i.e. harina o expeller evaluados y harina o expeller incluidos en la biblioteca de alimentos del NRC).

Resultados

El contenido de MS, FND, FAD y NIDN fue similar entre los subproductos de soja. En cambio, las harinas presentaron mayor contenido de PB y NIDA con respecto a los expeller, pero un menor contenido de EE ($P < 0,05$, Tabla 1).

Tabla 1. Tipo y composición química (expresado como % de la MS) de los subproductos de soja muestreados.

Composición química	Harina de soja	Expeller de soja	EEM ¹	P ²
MS (%)	89,2	91,5	0,899	0,117
MO	93,4	93,9	0,106	0,024
FND	15,1	15,6	1,19	0,777
FAD	7,26	6,82	0,262	0,277
PB	52,0	48,2	0,506	0,002
NIDN (%N)	6,54	6,73	0,833	0,880
NIDA (%N)	2,99	1,58	0,303	0,016
EE	1,83	8,89	0,835	0,001

MS: materia seca; MO: materia orgánica; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; PB: proteína bruta; NIDN: nitrógeno insoluble en detergente neutro, % del N total de la muestra; NIDA: nitrógeno insoluble en detergente ácido, % del N total de la muestra; EE: extracto etéreo. ¹Error estándar de las medias ($n=4$ /subproducto de soja); ²P: nivel de significancia.

Las harinas presentaron menor fracción soluble de la MS ($P < 0,001$), pero mayor tasa de degradación y DE *in situ*, tanto de la MS ($P < 0,05$) como de la PB ($P < 0,05$), comparado con los expeller (Tabla 2).

El volumen de gas producido (V) y el tiempo de latencia en la producción de gas (L) no presentaron diferencias entre harinas y expeller ($P = 0,296$ y $P = 0,438$, respectivamente), sin embargo, la tasa de producción de gas (c) varió, siendo mayor para las harinas de soja ($P < 0,01$; Tabla 2).

Los parámetros de degradabilidad ruminal *in vitro* obtenidos a partir de la liberación de amoníaco en cada frasco de fermentación fueron similares entre los subproductos evaluados (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de degradabilidad ruminal *in situ* de la MS y PB, producción de gas *in vitro* y degradabilidad ruminal *in vitro* de harinas y expeller de soja (n = 8). Datos expresados en % a no ser que se indique expresamente.

Ítem	Harina	Expeller	EEM ⁵	P ⁶
Degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la MS ¹				
a	13,9	24,2	0,807	<0,001
b	78,8	68,2	0,758	<0,001
kd (%/h)	14,7	8,49	0,775	0,001
DE06	69,3	63,5	0,746	0,002
Degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la PB ²				
a	10,78	11,86	0,534	0,219
b	87,0	85,4	0,894	0,276
kd (%/h)	15,5	8,27	1,14	0,011
DE06	73,1	60,9	1,46	0,004
Producción de gas <i>in vitro</i> ³				
V (mL)	455	437	11,4	0,301
c (%/h)	3,10	2,87	0,042	0,008
L (h)	0,493	0,400	0,079	0,438
Degradabilidad ruminal <i>in vitro</i> ⁴				
NS (%)	17,1	17,1	2,86	0,997
ND (%)	82,9	82,9	2,86	0,997
TD (%/h)	4,62	4,15	0,203	0,180
DE-N (%)	52,6	50,7	1,55	0,432

¹ MS: materia seca; ² PB: proteína bruta; a: fracción soluble de la MS; b: fracción potencialmente degradable de la MS; kd: tasa de degradación de la fracción b de la MS; DE06: degradabilidad efectiva de la MS estimada con una tasa de pasaje de 6%/h; ³ a: fracción soluble de la PB; b: fracción potencialmente degradable de la PB; kd: tasa de degradación de la fracción b de la PB; DE06: degradabilidad efectiva de la PB estimada con una tasa de pasaje de 6%/h; ⁴ V: producción potencial de gas *in vitro*; c: tasa de producción de gas *in vitro*; L: tiempo de latencia en la producción de gas *in vitro*; ⁵ NS: fracción soluble *in vitro*; ND: fracción potencialmente degradable *in vitro*; TD: tasa de degradación *in vitro*; DE-N: degradabilidad efectiva *in vitro*; ⁶ error estándar de las medias; ⁶ P: nivel de significancia.

Los resultados de la simulación de las dietas utilizando el software se presentan en la Tabla 3. Para un mismo consumo de MS total (21,8 kg MS/día), el balance de proteína metabolizable es muy distinto entre los subproductos evaluados y los presentes en la base de datos. Se obtendrían hasta 5 litros de leche /día menos cuando se sustituye la composición de las harinas del NRC por la composición de las harinas evaluadas.

Tabla 3. Simulación del desempeño productivo de vacas lecheras en el pico de lactación con la inclusión en la dieta de subproductos de soja presentes en nuestro país (harinas y expeller evaluados) comparándolos con los que incluye el software del NRC (2001) en su base de datos

	Harinas de soja		Expeller de soja	
	NRC	Evaluadas	NRC	Evaluados
ENL de la dieta (Mcal/kg MS)	1,48	1,48	1,50	1,50
PB de la dieta (%MS)	16,3	16,0	14,9	15,3
Producción de leche por ENL (L/d)	41,4	41,2	41,9	42,1
Producción de leche por PM (L/d)	45,6	40,0	43,7	41,4
Balance de ENL (Mcal/día)	0,900	0,800	1,30	1,40
Balance de PDR (g/día)	-88,0	159	-830	-266
Balance de PNDR (g/día)	284	0,000	185	72,0
Balance de PM (g/día)	251	0,000	165	63,0

ENL: energía neta de lactación; PDR: proteína degradable en rumen; PNDR: proteína no degradable en rumen; PM: proteína metabolizable; PB de la dieta: proteína bruta de la dieta; MS: materia seca.

Discusión

En general, los valores de PB, EE y FND, obtenidos para las muestras relevadas en este trabajo, se encuentran dentro de lo esperado (Alderman y Cottrill, 1993; NRC, 2001). Sin embargo, se encontraron menores valores de NIDA con respecto a lo publicado (NRC, 2001). Como era de esperar, los expeller, debido al proceso de extracción mecánica, presentaron mayor cantidad de aceite y menor porcentaje de PB que las harinas, obtenidas por extracción con solventes. Esta diferencia se debe principalmente a la mayor eficiencia en la extracción del aceite por parte de los solventes en comparación al proceso mecánico (NRC, 2001).

Los elevados valores de degradabilidad ruminal de la proteína obtenidos para las harinas de soja evaluadas se explicarían por las elevadas tasas de degradación ruminal obtenidas. Este resultado es llamativo y debería tomarse en cuenta sobre todo cuando se espera que provean proteína de pasaje. Valores elevados de tasas de degradación, similares a las registradas, han sido reportadas en la bibliografía para harinas que fueron sometidas a tratamiento térmico menos intenso (Borucki Castro y col., 2007). Es sabido que los tratamientos térmicos provocan una desnaturalización parcial de las proteínas, la cual consiste en la pérdida de las estructuras terciaria y/o cuaternaria, disminuyendo la degradabilidad ruminal de la proteína y subsecuentemente un incremento en el flujo de AA al duodeno (Stern y col., 1985). Para aumentar el flujo de proteína de pasaje sin incrementar el nivel de proteína indigestible el proceso térmico debe realizarse

de manera adecuada, ya que el calentamiento excesivo favorece la aparición de reacciones de Maillard como se mencionó anteriormente. Por otra parte, los expeller en general contienen una menor fracción soluble y una menor tasa de degradación ruminal que las harinas debido al proceso térmico (Goelema y col., 1999). Sin embargo, en este experimento únicamente se registró una menor tasa de degradación con respecto a las harinas. Sin embargo, no se detectaron diferencias en la fracción soluble, lo que podría deberse a variaciones en el procesamiento industrial que sufrieron las materias primas y que se desconocen.

La fracción de N soluble (a) obtenida *in situ* a partir de todos los subproductos de soja fue baja (10-12%) en relación a otras fuentes de proteína como pasturas o reservas forrajeras que constituyen la base de la alimentación en los sistemas lecheros de Uruguay. En este tipo de alimentos la fracción de N soluble varía entre 35-45% para pasturas templadas, y alcanza valores de 59,7% en el caso de los ensilajes de leguminosas (Cohen, 2001; Repetto y col., 2005). A pesar de lo anterior, ambos subproductos presentaron un elevado porcentaje de proteína degradable en rumen *in situ*, por lo que a la hora de complementar el aporte de N de las pasturas debería ser considerado este parámetro, ya que el nivel de proteína de pasaje podría estar reducido.

Los valores de tasa de producción de gas *in vitro* se correspondieron con los obtenidos para la tasa de degradabilidad ruminal, lo cual resulta lógico considerando que la producción de gas *in vitro* es un indicador indirecto del potencial de fermentación de los alimentos (Rymer y col., 2005). Por lo tanto, la técnica de producción de gas *in vitro* podría considerarse como un método rápido y económico para evaluar la degradabilidad ruminal de este tipo de alimentos.

Las diferencias detectadas en la tasa de degradación *in situ* no se lograron detectar *in vitro*, a través de la medición de la liberación de amoníaco. Por lo tanto, en este caso parecería ser que la velocidad de desaparición de la proteína, evaluada con la técnica *in situ*, fue diferente a la tasa de producción de amoníaco. Al respecto, es necesario considerar que en todo el proceso de degradación proteica hasta amoníaco participan diferentes grupos bacterianos por lo cual, la producción de amoníaco resulta un proceso más complejo que la desaparición de contenido de las bolsas (Bach y col., 2005). Aún son necesarios más trabajos que permitan una mejor aproximación a los procesos de degradación ruminal de las proteínas. Consideramos que las técnicas empleadas en este estudio, además de presentar bajo costo y alta capacidad analítica, podrían llegar a brindar información complementaria.

En cuanto a la simulación realizada en el NRC (NRC, 2001), uno de los resultados más interesantes es el impacto en la producción de leche cuando se incluyen en la dieta los valores correspondientes a los subproductos presentes en Uruguay. En este sentido, se lograría una producción de leche 12,3% menor si se utiliza el dato de composición química y degradabilidad ruminal de la harina de soja evaluada, mientras que para los expeller esa diferencia sería menor (5,26%). Esta diferencia en producción

se explicaría por la mayor degradabilidad ruminal de las harinas respecto a los expeller (disminución de la proteína de pasaje) más que a diferencias en el contenido de proteína.

Los subproductos de soja analizados presentaron alta degradabilidad ruminal, con una diferencia notoria en la velocidad de degradación sin apreciarse diferencias en la fracción soluble tanto *in situ* como *in vitro*. La ausencia de diferencias en este parámetro podría estar vinculado a las condiciones de procesamiento industrial. Serían necesarios más estudios que profundicen en las causas de la alta degradabilidad ruminal de los subproductos de soja nacionales y aquellos que ingresan al país.

Conclusiones

A pesar del reducido número de muestras analizadas en este trabajo y de las diferencias de resultados obtenidos entre las metodologías *in situ* e *in vitro*, podemos concluir que las harinas de soja presentaron menor contenido de extracto etéreo y mayor porcentaje de proteína bruta, con una mayor degradabilidad ruminal de la proteína respecto a los expeller. A su vez, los subproductos evaluados presentaron mayor degradabilidad ruminal en comparación a los datos que se manejan en el NRC (NRC, 2001). Estas diferencias deberían ser tenidas en cuenta por los nutricionistas a la hora de formular dietas.

Bibliografía

1. Alderman G, Cottrill BR. (1993). Appendix I. Tables of feed composition. En: Alderman G, Cottrill BR. Energy and protein requirements of ruminants. An advisory prepared by the AFRC Technical committee on responses to nutrient. Commonwealth Agricultural Bureau, International, Wallingford, UK pp. 129-139.
2. American Oil Chemists' Society (AOCS) (2005). Official procedure, approved procedure AM 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction, Urbana, IL, USA.
3. Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2000). Official methods of analysis, 17th edition. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
4. Bach A, Calsamiglia S, Stern MD. (2005). Nitrogen Metabolism in the Rumen. J. Dairy Sci 88:(E. Suppl.): E9-E21.
5. Borucki Castro SI, Phillip LE, Lapiere H, Jardon PW, Berthiaume R. (2007). Ruminant Degradability and Intestinal Digestibility of Protein and Amino Acids in Treated Soybean Meal Products. J Dairy Sci 90:810-822.
6. Broderick GA. (1987). Determination of protein degradation rates using a rumen *in vitro* system containing inhib-

- itors of microbial nitrogen metabolism. *Br J Nutr* 58:463-475.
7. Broderick GA, Kerkman TM, Sullivan HM, Dowd MK, Funk PA. (2013). Effect of replacing soybean meal protein with protein from upland cottonseed, Pima cottonseed, or extruded Pima Cottonseed on production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 96:2374-2386.
 8. Broderick GA, Ricker B, Drive LS. (1990). Expeller Soybean Meal and Corn By-Products Versus Solvent Soybean Meal for Lactating Dairy Cows Fed Alfalfa Silage as Sole Forage. *J Dairy Sci* 73:453-462.
 9. Cohen DC. (2001). Degradability of crude protein from clover herbage used in irrigated dairy production systems in Northern Victoria. *Aust J Agric Res* 52: 415-425.
 10. Fernandez Turren G. (2016). Evaluación de un método *in vitro* para estimar la degradabilidad ruminal de los compuestos nitrogenados. Tesis de Maestría en Nutrición de Rumiantes, Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
 11. Giallongo F, Oh J, Frederick T, Isenberg B, Kniffen DM, Fabin RA, Hristov AN. (2015). Extruded soybean meal increased feed intake and milk production in dairy cows. *J Dairy Sci* 98:1-15.
 12. Goelema JO, Smits A, Vaessen LM, Wemmers A. (1999). Effects of pressure toasting, expander treatment and pelleting on *in vitro* and *in situ* parameters of protein and starch in a mixture of broken peas, lupins and faba beans. *Anim Feed Sci Technol* 78:109-126.
 13. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). (2008). Norma UNIT 639:2008 Productos para alimentación animal. Productos sólidos derivados de la industrialización de soja. Requisitos. 2^{da} Edición, p.13.
 14. Ipharraguerre IR, Clark JH, Freeman DE. (2005). Rumen Fermentation and Intestinal Supply of Nutrients in Dairy Cows Fed Rumen-Protected Soy Products. *J Dairy Sci* 88:2879-2892.
 15. Licitra G, Hernández TM, Van Soest PJ. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol* 57: 347-358.
 16. Loor JJ, Herbein JH, Polan CE. (2002). Trans18:1 and 18:2 Isomers in Blood Plasma and Milk Fat of Grazing Cows Fed a Grain Supplement Containing Solvent-Extracted or Mechanically Extracted Soybean Meal. *J Dairy Sci* 85:1197-1207.
 17. Mauricio RM, Mould FL, Dhanoa MS, Owen E, Channa KS, Theodorou MK. (1999). A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Anim Feed Sci Technol* 79: 321-330
 18. McCormick ME, Redfearn DD, Ward JD, Blouin DC. (2001). Effect of Protein Source and Soluble Carbohydrate Addition on Rumen Fermentation and Lactation Performance of Holstein Cows. *J Dairy Sci* 84:1686-1697
 19. Mehrez AZ, Orskov ER. (1977). A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen. *J Agric Sci* 88: 645-650.
 20. Mieres JM. (2004). Guía para la alimentación de rumiantes. Serie técnica N°142. INIA, Uruguay. 56-65.
 21. Mould FL, Morgan R, Kliem KE, Krystallidou E. (2005). A review and simplification of the *in vitro* incubation medium. *Anim Feed Sci Technol* 123-124, 155-172.
 22. National Research Council (NRC). (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
 23. Orskov ER, McDonald I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci* 92:499-503.
 24. Repetto JL, Cajarville C, D'Alessandro J, Curbelo A, Soto C, Garín D. (2005). Effect of wilting and ensiling on ruminal degradability of temperate grass and legume mixtures. *Anim Res* 54: 73-80.
 25. Reynal SM, Broderick GA. (2003). Effects of Feeding Dairy Cows Protein Supplements of Varying Ruminant Degradability. *J Dairy Sci* 86:835-843.
 26. Robertson JB, Van Soest PJ. (1981). The detergent system of analysis and its application to human foods. En: James, WPT; Theander, O. (eds.). The analysis of dietary fiber in food. Marcel Dekker, NY, p 123.
 27. Rymer C, Huntington JA, Williams BA, Givens DI. (2005). *In vitro* cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *Anim Feed Sci Technol* 123-124:9-30.
 28. Santos FAP, Santos JEP, Theurer CB, Huber JT. (1998). Effects of Rumen-Undegradable Protein on Dairy Cow Performance: A 12-year Literature Review. *J Dairy Sci* 81:3182-3213.
 29. Stern MS, Calsamiglia S, Endres MI. (1994). Dinámica del metabolismo de los hidratos de carbono y del nitrógeno en el rumen. X curso de especialización FEDNA. Madrid, España. 1-18.
 30. Stern MD, Santos KA, Satter LD. (1985). Protein degradation in rumen and amino acid absorption in small intestine of lactating dairy cattle fed heat-treated whole soybeans. *J*

31. Titgemeyer EC, Shirley JE. (1997). Effect of Processed Grain Sorghum and Expeller Soybean Meal on Performance of Lactating Cows. *J Dairy Sci* 80:714-721.
32. Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd edition. Cornell University Press, Ithaca, New York. Pp 173-184 y 290-296
33. Weatherburn MW. (1967). Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry*.