

Recibido 21 de abril de 2018 // Aceptado 05 de mayo de 2020 // Publicado online 19 de agosto de 2020

Evaluación de la calidad de subproductos de la soja

SEIJAS NOYA, I.¹; JAURENA, G.¹; WAWRZKIEWICZ, M.¹; GAGGIOTTI, M.²; ROMERO, L.A.²; MÉNDEZ, M.³

RESUMEN

Los subproductos provenientes de la agroindustria suelen presentar una alta variabilidad en su calidad nutricional. Esto resulta problemático al momento de utilizarlos en dietas destinadas a producción animal. En el presente trabajo se analizó mediante ensayos químicos, *in sacco* y encuestas el perfil nutricional y la variabilidad de expellers y harinas de soja provenientes de la región de Rafaela, Santa Fe. A partir de las muestras se observó que la variabilidad en los indicadores de la calidad nutricional de estos subproductos, tales como contenido de proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE) y degradabilidad, no fue diferente a la reportada por la bibliografía nacional. Además, dicha variabilidad pudo ser explicada por factores tales como los contenidos de EE y fibra cruda (FC), y estuvo asociada con la solubilidad de la proteína en hidróxido de potasio (PB-KOH). En correspondencia con esto, los expellers presentaron menor degradabilidad que las harinas. Entre los factores del procesamiento industrial que modificaron la variabilidad del expeller se encontró que la limpieza del grano previo a la extracción del aceite aumentó el contenido de EE del poroto y disminuyó el del expeller, incrementando un 22% la eficiencia de extracción. El tratamiento térmico modificó las fracciones de degradabilidad a través de la disminución de la fracción a (inmediatamente soluble) y el aumento de la fracción b (potencialmente degradable). Además de limpiar el grano, este trabajo indica que para disminuir la variabilidad de estos subproductos deberían implementarse controles de calidad sencillos y confiables como PB-KOH. Esto permitiría generar planes de protocolización y reducir la variabilidad del EE en estos subproductos.

Palabras clave: expeller de soja, variabilidad nutricional, protocolos de proceso, evaluación de alimentos.

ABSTRACT

By-products from agribusiness tend to have high variability in nutritional quality. This is problematic when used in diets intended for animal production. In the present work, the nutritional profile and variability of expellers and soy flour from the Rafaela, Santa Fe region were analyzed through chemical tests, in sacco and surveys. From the samples it was observed that the variability in the indicators of nutritional quality of these by-products, such as crude protein content (PB), ethereal extract (EE) and degradability, was not different from that reported by the national literature. In addition, this variability could be explained by factors such as the contents of EE and crude fiber (FC), and was associated with the solubility of the protein in potassium hydroxide (PB-KOH). In correspondence with this, the expellers presented less degradability than the flours. Among the factors of industrial processing that modified the variability of the expeller, it was found that cleaning the grain prior to oil extraction increased the EE content of the bean and decreased that of the expeller, increasing

¹Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía, Cátedra de Nutrición Animal. San Martín 4544, CABA.

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Rafaela, Ruta 34, km 227 (2300), Rafaela, Santa Fe, Argentina.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Oliveros, Agencia de Extensión Rural (AER) Totoras, Av. Maipú 1138 (2144). Correo electrónico: seijasnoya@agro.uba.ar

the extraction efficiency by 22%. The heat treatment modified the degradability fractions through the decrease in fraction a (immediately soluble) and the increase in fraction b (potentially degradable). In addition to cleaning the grain, this work indicates that to reduce the variability of these by-products, simple and reliable quality controls such as PB-KOH should be implemented. This would allow generating protocolization plans and reducing EE variability in these by-products.

Keywords: soybean expeller, nutritional variability, process protocols, feed evaluation.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la industrialización de la soja es la obtención de aceite, sin embargo, los subproductos de dicho proceso (expellers y harinas) son de crucial importancia económica y comercial por su masiva utilización para la alimentación animal. Estos resultan valiosos especialmente por su alto contenido y calidad de proteína. Básicamente existen dos principios para la extracción del aceite: mediante extrusión y prensado, y mediante el uso de solventes orgánicos (también existen diversos sistemas que trabajan con ambos principios). El subproducto obtenido por extrusión y prensado es conocido con el nombre de expeller, mientras que aquel excedente de la extracción por solventes se denomina harina.

Naturalmente, la variabilidad de calidad de materias primas y de los diversos procesos de extracción que existen determinan que se generen subproductos de distinta calidad (INTA, 2011).

El poroto de soja se caracteriza por la presencia de compuestos antinutricionales de naturaleza proteica, tales como inhibidores de tripsina y quimiotripsina, ureasa, fitohemaglutininas, y factores alergénicos como la glicinia y la beta-conglicina, los cuales disminuyen la digestibilidad (Cinque, 2011) y valor nutricional del alimento. Sin embargo, dado que la mayoría de las proteínas de la soja son globulinas termosensibles (Cheftel *et al.*, 1989) los tratamientos térmicos desactivan dichos factores antinutricionales. Una incorrecta desactivación (por exceso o por defecto) puede traer aparejado una disminución de la calidad de la proteína útil.

Existen diferentes determinaciones que pretenden evaluar el valor nutricional de la soja y sus subproductos para las distintas especies animales, ya sea a través de la caracterización del aporte y calidad de la proteína (ej. proteína bruta (PB), nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA), solubilidad de proteína en hidróxido de potasio (PB-KOH)), o por el grado de actividad de los factores antinutricionales (ej. actividad ureásica, AU).

En el caso de los expellers, evaluaciones realizadas en la Estación Experimental Agrícola (EEA) INTA Rafaela mostraron valores de PB entre 30% y 42% (base seca), con degradabilidades de dicha PB que variaron desde 21% hasta 42% para vacas lecheras, y digestibilidades de la proteína no degradable que variaron entre 0% y 93% de

acuerdo a los cálculos del NRC (2001). Como se puede apreciar, la variación es muy significativa y hasta la actualidad hay escasos estudios que caractericen acabadamente estos ingredientes en nuestro país.

Las razones de esta variabilidad son diversas y responden a causas asociadas con las características propias de los cultivos (ej. genética, ambiente de cada ciclo) así como de los procesos de industrialización y conservación. La implementación de protocolos para los procesos industriales, la utilización de normativas y la fijación de estándares de calidad podría disminuir la variabilidad antes mencionada y aumentar la calidad nutricional y comercial de estos subproductos, aumentando el valor agregado a la cadena agroindustrial argentina (Latimori *et al.*, 2013).

El objetivo del trabajo fue contribuir a la caracterización químico-nutricional de los expellers de soja provenientes de la zona centro-norte de la provincia de Santa Fe, así como también describir la influencia de los procesos industriales utilizados sobre la calidad de estos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de laboratorio y ensayos

Caracterización químico-nutricional

Se utilizaron tres expellers (identificados como Exp08, Exp10 y Exp17), obtenidos de la zona de influencia del INTA EEA Rafaela (Santa Fe). Adicionalmente, con el propósito de contar con un patrón de comparación, se evaluó una harina de soja (extraída con solvente) en su forma "cruda" (HS00), o tratada térmicamente a 116 °C por 30 minutos (HS30) o por 60 minutos (HS60).

Las muestras fueron analizadas de acuerdo a los protocolos sugeridos por el PROMEFA (Programa de Mejoramiento de Forrajes y Alimentos; Wawrzkiwicz y Jaurena, 2013). En breve, la materia seca (MS) total se obtuvo sometiendo las muestras a 105 °C en estufa durante 4 h. Las cenizas (Ce) se obtuvieron por ignición a 550 °C durante 12 h (AOAC, 1990). El contenido de proteína bruta (PB) se estimó multiplicando el dato de nitrógeno total (NT) por 6,25 (Kjeldahl, AOAC, 1995), y el extracto etéreo (EE) mediante lavados con éter de petróleo (AOAC, 1990). La FC se obtuvo como el residuo seco luego de la digestión de las muestras a un medio ácido (ácido sulfúrico, 1,25% H₂SO₄) y otro alcalino (hidróxido de sodio, 1,25% NaOH) (AOAC, 1990).

La solubilidad de la proteína bruta se realizó tratando la muestra con KOH (PB-KOH) al 0,2% según Jaurena (2015), luego se centrifugó la muestra en dicha solución y el sobrenadante se analizó por el método de PB, tal como fue explicado previamente. Según este análisis el poroto tiene una solubilidad del 100% y en la medida que las globulinas termolábiles son afectadas, la solubilidad disminuye.

Degradabilidad in sacco

Las fuentes de proteína (expellers y harinas de soja) fueron caracterizadas por su degradabilidad ruminal empleando 6 ovejas provistas de fístulas crónicas de rumen alimentadas con una pastura gramínea y grano de maíz (20% de inclusión en base seca). Las muestras contenidas en bolsas de nylon de 13 cm de alto por 8 cm de ancho, con poros de 50 µm fueron colocadas en 3 períodos independientes en los animales por 72, 48, 36, 24, 16, 12, 8, 6 y 2 horas antes de ser retiradas. Una vez retiradas, fueron lavadas hasta que el agua salió transparente, y secadas en estufa a 65 °C durante 72 horas. La degradabilidad de la MS (Deg MS) fue calculada como la diferencia de la MS remanente con la MS original.

La degradabilidad de la PB (Deg PB) fue calculada por diferencia entre el contenido de PB original y la PB del residuo, utilizando el método de análisis previamente explicado.

El ambiente ruminal fue caracterizado por la determinación de pH mediante un peachímetro Hanna HI 9025C y

la concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) por espectrocolorimetría con kit de uremia (Lab. Wiener®, 2003).

Encuestas a elaboradores

Se analizaron los resultados de 236 encuestas a empresas de extrusado de la región centro-norte de la provincia de Santa Fe (c.a. 21; campañas 2013 y 2015) que fueron recopiladas por la EEA INTA Rafaela y que las distintas partidas de expellers contaran con análisis de PB, EE, AU, NIDA y PB-KOH. También se analizaron los valores de PB y EE de los porotos de soja que dieron origen a cada partida y se contó con la descripción del proceso industrial teniendo en cuenta la temperatura del extrusor y limpieza previa.

Análisis estadísticos

Los expellers y las harinas fueron caracterizados por su composición química mediante métodos de estadística descriptiva (ej. media, desvío estándar).

Los parámetros de degradabilidad de la MS fueron ajustados al modelo de Mehrez y Ørskov (1977), $\text{ej. Deg} = a + b * (1 - \exp^{-ct})$, donde, Deg es la degradabilidad; a, la fracción inmediatamente soluble; b, la fracción insoluble potencialmente degradable; c, la tasa de degradabilidad y t, el tiempo de incubación.

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a un diseño en bloques completos aleatorizados (bloque = período)

	Características químicas ¹					
	MS (%bh)	PB	FC	CEN	EE	PB-KOH (% PB)
EXPELLERS						
Exp08	93	44	6,6	6,5	7,8	72
Exp10	93	48	4,2	6,5	6,9	73
Exp17	92	45	7	6,4	6,3	70
Promedio	93	46	5,9	6,5	7	72
Referencia²	90	47	5,7	6,5	9,5	-
	-2,9	-1,9	(-)	-0,2	-1,2	
HARINAS						
HS00	92	51	4,4	7,2	2,9	78
HS30	92	50	4,6	7,3	2,9	75
HS60	93	50	4,6	7,2	2,9	72
Promedio	92	50	4,5	7,2	2,9	75
Referencia	88	48	7,2	7,4	3,1	-
	-1,7	-2,5	-4,4	-1,2	-4,2	

Tabla 1. Caracterización química de las muestras. Datos analíticos expresados en porcentaje sobre base seca (% bs) excepto que exista otra indicación.

¹MS: Materia seca; PB: Proteína bruta; FC: Fibra cruda; CEN: Cenizas; EE: Extracto etéreo; PB-KOH: Proteína bruta soluble en hidróxido de potasio.

²Valores de referencia: Media y Error Estándar (Jaurena y Danelón, 2006).

y se comprobaron los resultados por normalidad y homocedasticidad. También se evaluó linealidad entre temperatura aplicada a las HS y degradabilidad, y se comparó por contrastes ortogonales. Los análisis se realizaron utilizando el software InfoStat (2009).

Los resultados de las encuestas se resumieron por estadística descriptiva, y se analizaron por ANVA de acuerdo a un modelo anidado, identificando como fuentes de variación las plantas de origen, el año y la temperatura de extrusión. Las medias fueron comparadas por contrastes ortogonales. Se analizó la PB y el EE del expeller en un modelo que tuvo como covariables la PB y el EE del poroto correspondiente para corroborar si la variabilidad de la materia prima aporta de manera significativa a la variabilidad del subproducto final. En todos los casos las diferencias se declararon significativas cuando $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de laboratorio y ensayos

Caracterización químico-nutricional

Los resultados de los ingredientes estudiados (tabla 1) se encontraron dentro de los rangos esperados de acuerdo a lo reportado anteriormente (Jaurena *et al.*, 2006).

En comparación con las harinas, los expellers presentaron mayor concentración de EE (7,0 y 2,9% respectivamente), y menor contenido de PB (50 y 46%), diferencia que se explica por el proceso de extracción lipídica más eficiente en las harinas (Coscia, 1982), lo cual genera una mayor acumulación de compuestos remanentes.

Los resultados de PB-KOH para los expellers (70% - 73%) sugirieron que el tratamiento térmico fue superior a lo esperado (75%-85%, Gallardo, 2008). En cuanto a las harinas, se reportaron valores adecuados para la muestra testigo (HS00) y para el tratamiento térmico HS30. Por el contrario, HS60 presentó un valor de PB-KOH (72%) que sugirió una disminución en su degradabilidad potencial por exceso de calor. La variabilidad de los subproductos analizados fue escasa, inferior a 10 unidades de porcentaje (rango de valores entre 70% y 78%), como probable consecuencia del número limitado de materiales analizados.

Según Dale (1988), la tasa de crecimiento de pollos para carne fue menor cuando las harinas fueron insuficientemente procesadas (87% de PB-KOH) y también cuando sufrieron un daño excesivo ($\leq 72\%$ de PB-KOH). Esto se debería a que un tratamiento térmico insuficiente no desactiva de manera completa los factores antinutricionales, y un tratamiento excesivo produce la desnaturalización de aminoácidos de alto valor biológico como la lisina, en conjunto con las condiciones predisponentes para las reacciones de Maillard. Estas reacciones ocurren cuando la soja es sobrecalentada, y el grupo amino epsilon de principalmente lisina (y otros aminoácidos) se une irreversiblemente al grupo carbonil proporcionado por los azúcares reducibles (Dale, 1988).

La solubilidad de la PB en KOH para subproductos de soja estaría asociada con la digestibilidad verdadera de los aminoácidos (Martínez *et al.*, 1996). Según estos lineamientos, las fuentes proteicas corresponderían a expellers y harinas de calidad media, con una consecuente reducción de la disponibilidad de proteína digestible para monogástricos y rumiantes jóvenes debido a un tratamiento térmico excesivo.

Degradabilidad in sacco

No se hallaron diferencias significativas entre ambientes ruminales de los animales ni valores irregulares para pH (Krause y Oetzel, 2006) ni para $N-NH_3$ (Okorie *et al.*, 1977; Schaefer *et al.*, 1980).

La degradabilidad de la MS de las harinas de soja fue mayor que la de los expellers (tabla 2), en coincidencia con las diferencias en solubilidad en KOH reportadas en la tabla 1. No obstante lo anterior, la degradabilidad para ambos ingredientes fue mayor a 90% de degradabilidad potencial (a+b). Estos resultados son coincidentes con lo reportado por Moretto (2015). Además, el contenido de PB-KOH encontrado en las harinas de este trabajo estuvo acorde con lo esperado según la bibliografía para un tratamiento térmico correcto, mientras que en los expellers este indicador sugiere un tratamiento térmico de mayor intensidad, y con ello menor degradabilidad (Gallardo, 2008).

La mayor degradabilidad de las harinas de soja estuvo asociada con un menor contenido de EE y FC. Los lípidos son compuestos menos susceptibles al ataque enzimático de las bacterias ruminales (Jenkins, 1993), y que en exceso pueden inhibir el crecimiento de los microorganismos con actividad fibrolítica (Palmquist y Jenkins, 1980). El contenido de EE de los expellers (6,3% - 7,8%) fue cercano al límite a partir del cual presentarían efectos tóxicos sobre el proceso de digestión microbiana. Hess *et al.* (2001) observaron un descenso lineal significativo de la digestibilidad total en respuesta a la inclusión de 2,9%-6,2% de EE para la ración total en novillos de carne alimentándose de heno de gramíneas y suplementados con aceite de soja.

De igual manera, el contenido de FC se correlaciona negativamente con la degradabilidad y digestibilidad del alimento (NRC, 1989).

Para el caso de las harinas, la duración del proceso térmico mostró una relación lineal negativa sobre la fracción de MS inmediatamente soluble y positiva para la fracción b (MS potencialmente degradable), sugiriendo un "traspaso" de la fracción "a" hacia "b".

La fracción "a" de los expellers fue mayor a la de las harinas, pero concomitantemente los expellers mostraron una menor fracción insoluble potencialmente degradable (parámetro b) y menor tasa de degradación (parámetro c).

La degradabilidad *in sacco* de la PB de las harinas fue mayor a la de los expellers, independientemente del tratamiento térmico. Para los expellers, el 86% de la PB potencialmente degradable desapareció hacia las 16 horas de permanencia en el rumen, mientras que para la HS00 alcanzó el 95%.

	Expellers			Harinas			EE ¹	Factores		Contrastes ortogonales		
	Exp08	Exp10	Exp17	HS00	HS30	HS60		Bq ²	Muestra	Exp vs HS	Lineal HS	
DEGRADABILIDAD DE LA MS (%)												
	6	52	47	48	59	59	51	3,68	0,68	0,026	0,006	0,048
	12	63	57	59	77	77	69	4,14	0,44	0,002	0,0001	0,09
T ³	24	76	69	71	93	91	87	3,41	0,17	0,0002	<0,0001	0,23
	48	86	82	84	97	97	97	2,21	0,16	<0,0001	<0,0001	0,87
	72	89	87	88	98	98	98	2,57	0,72	0,002	<0,0001	0,81
	a	36 ^A	33 ^{AB}	32 ^{AB}	25 ^{BC}	25 ^{BC}	19 ^C	2,9	0,24	0,002	0,0001	0,05
P ⁴	b	54 ^B	58 ^B	59 ^B	72 ^{AB}	73 ^{AB}	79 ^A	3,09	0,41	<0,0001	<0,0001	0,05
	c	0,06 ^B	0,05 ^B	0,05 ^B	0,10 ^A	0,11 ^A	0,08 ^{AB}	0,02	0,61	0,014	0,0007	0,26
DEGRADABILIDAD DE LA PB (%)												
	16	70	64	62	92	81	81	4,01	0,31	0,0007	<0,0001	0,13
T	24	82	74	73	97	92	93	3,41	0,17	0,0002	<0,0001	0,23
	36	89	79	77	-	96	-	2,56	0,1	<0,0001	<0,0001	0,5

Tabla 2. Degradabilidad *in sacco* de MS y PB para las tres muestras de expeller y las tres de harina. Valores expresados en %. Valores $p < 0,05$ indican significancia.

¹EE: Error estándar; ²Bq: Bloque; ³Tiempo (horas); ⁴P: Parámetros.

El tratamiento térmico a 30 y 60 minutos redujo la degradabilidad de la PB de la harina a las 16 y 24 h. Estos resultados fueron coherentes a los hallados por Moretto (2015), aunque no alcanzó los valores de los expellers (entre los cuales a las 16 h el más alto fue 70%, mientras que en las HS30 y 60 la PB desaparecida fue de 81%).

Esta disminución de la degradabilidad ante la exposición al calor, tanto de la MS como de la PB, podría estar explicada por la reducción del contenido del material soluble (fracción a), principalmente de compuestos nitrogenados conformados por glutelinas y albúminas termosensibles (Ganesh y Grieve, 1990). Algo similar hallaron Nowak *et al.* (2005) al comparar poroto crudo de soja con el mismo poroto extrusado (165 °C) donde observaron que la fracción "a" se redujo de 51% a 7%.

	Proteína bruta		Extracto etéreo	
	Resultado	Tabla ¹	Resultado	Tabla ¹
POROTO DE SOJA				
Promedio	330	407	167	183
Mediana	337	394	166	193
Error Estándar	43	41,1	17	28,7
C.V. ² (%)	13	10	10	16
I.C. ³ _{95%}	327-487		127-239	
EXPELLER DE SOJA				
Promedio	435	470	85	95
Mediana	436	460	86	95
Error Estándar	26	18,9	21	12,2
C.V. ² (%)	6	4	24	13
I.C. ³ _{95%}	433-507		71-119	

Tabla 3. Composición química del poroto de soja y valores tabulados. Valores medios expresados en g kg⁻¹ MS.

¹Según Jaurena *et al.* (2006); ²Coefficiente de variación, ³Intervalo de confianza.

Asociación entre degradabilidad y PB-KOH

En las harinas, el aumento del tratamiento térmico redujo linealmente la degradabilidad de la MS a las 6 h, resultado que fue coherente con el patrón observado en PB-KOH (78, 75 y 72% de PB-KOH para HS00, HS30 y HS60 respectivamente) y con los cambios de los parámetros "a" y "b". Sin embargo, en el caso de los expellers dicha asociación no pudo verificarse.

La PB-KOH no explicaría las diferencias en expellers para Deg PB a las 16 h o a las 24 h. A diferencia de lo observado en las harinas, donde la mayor degradabilidad se asoció con menores contenidos de FC y EE, en los expellers esta asociación tampoco se observó. El efecto de las diferencias en NIDA podría explicar parte de estas discrepancias, pero estos compuestos no fueron analizados.

Encuestas a elaboradores

Los datos meteorológicos reportados por INTA para las campañas 2013 y 2015 (origen de los datos) en Rafaela (Santa Fe) fueron adecuados para el normal desarrollo del

cultivo (9-30 °C, 500-600 mm, Satorre *et al.*, 2012) sin poner en evidencia ninguna limitante (Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico INTA, 2017).

Los contenidos de PB y EE del poroto utilizado como materia prima y de los expellers se encontraron dentro de los respectivos intervalos de confianza (95%) sugeridos por Jaurena *et al.* (2006).

Influencia de la materia prima

Uno de los supuestos planteados al iniciar este trabajo fue que la variabilidad de los expellers estaba fuertemente

Variables	Limpia		Significancia
	No	Sí	
Número de casos	65	171	---
PB ¹ Poroto	333	329	0,68
PB Expeller	436	435	0,09
EE ² Poroto	160	169	0,0003
EE Expeller	91	82	0,022
EE expeller / EE poroto	43	52	0,0006

Tabla 4. Comparación de la composición química de porotos y expellers de soja para plantas que declararon limpiar el grano y plantas que no. Salvo que se indique distinto, medianas expresadas en g kg⁻¹ MS. Valores con p<0,05 indican significancia.

¹PB, Proteína bruta; ²EE, Extracto etéreo.

influida por la de la materia prima. Sin embargo, al analizar la PB y el EE del expeller en un modelo que tuvo como covariables la PB y el EE del poroto correspondientes, no se pudo corroborar que la variabilidad de la materia prima determinara la variabilidad del producto final (P>0,05 cuando se usó la concentración de la PB y EE del poroto original como covariable del producto elaborado). Probablemente el hecho de que todas las industrias participantes se encuentren en la misma región geográfica minimizó la variabilidad de la materia prima y haya contribuido a reducir el impacto de esta variable.

Influencia del proceso industrial

Limpieza del grano

La limpieza de los porotos (ej. remover impurezas, someter el grano a zarandas) previo a su industrialización aumentó un 5% el contenido de EE de los porotos, y los expellers tuvieron un 9% menos. Este aumento en el EE del poroto y disminución en el del expeller resultó en una eficiencia de extracción 22% superior para las plantas que utilizaron grano limpio. Esto contribuye a explicar por qué existe la variabilidad del EE del expeller.

Por un lado, es lógico pensar que aquellas industrias que se responsabilizan del costo de limpiar el grano logren trabajar con porotos de mayor pureza, y por ende un EE más cercano al definido en las tablas (169 y 183 g kg⁻¹ MS respectivamente). Además, el hecho de utilizar materia prima más pura permite condiciones más apropiadas para la extracción de aceite, por lo que la eficiencia de extrac-

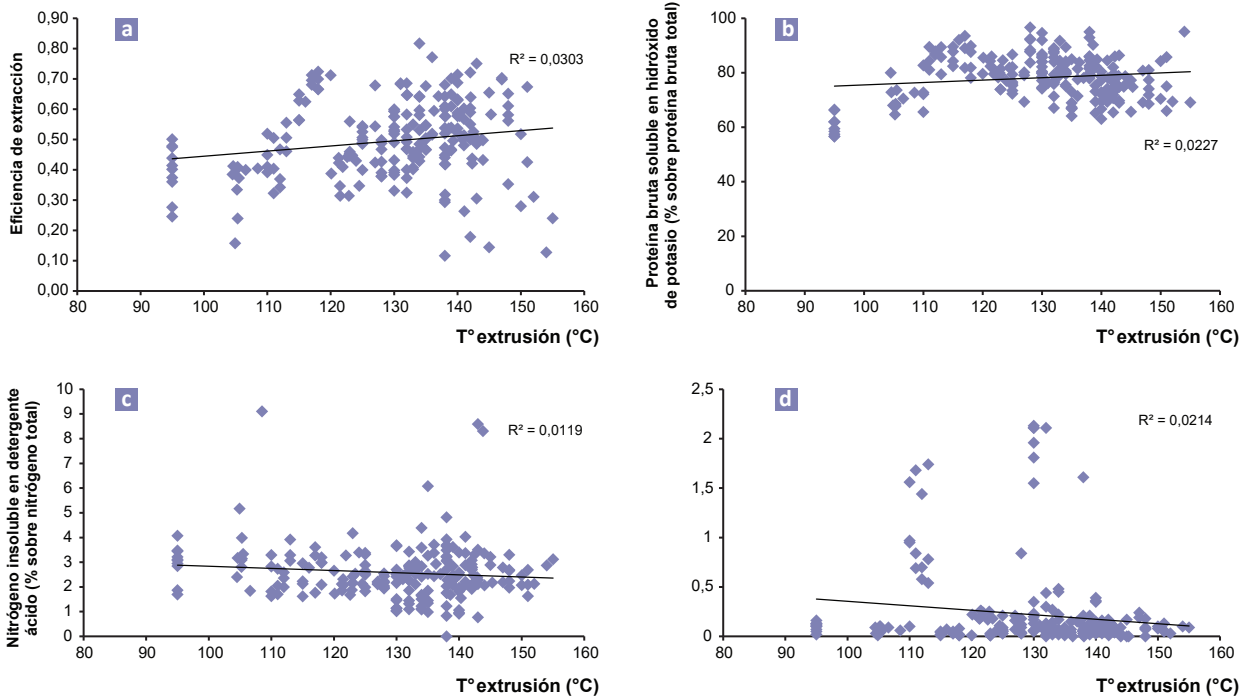


Figura 1. Eficiencia de extracción y variables descriptoras del daño térmico (proteína bruta soluble en hidróxido de potasio, nitrógeno insoluble en detergente ácido y actividad ureásica) en función de la temperatura de extrusión.

ción es mayor, y en consecuencia el contenido lipídico de los expellers se redujo. Por otro lado, esto también podría confundirse por el hecho de que procesos industriales más complejos requieren mayores inversiones económicas, y por lo tanto suelen ser realizados con mayor control, capacitación y prolijidad, probablemente en un contexto de protocolización.

Los contenidos de PB del poroto y expeller de soja no presentaron diferencias entre las plantas que procesaron el grano limpio o sin limpiar.

Temperatura del extrusor

El análisis del efecto de la temperatura declarada del extrusor y la eficiencia de extracción de EE, NIDA, AU y PB-KOH no mostró asociación alguna ($p > 0,05$).

Los valores de NIDA y AU presentaron altos coeficientes de variación (respectivamente 41 y 199%). Sin embargo, los valores para el primer y tercer cuartil fluctuaron apenas entre 2-3%, y 0-0,2% respectivamente para los dos análisis, mostrando que el alto CV en realidad estuvo determinado por la baja magnitud de las variables.

Un coeficiente de variación de NIDA de 41% es el equivalente a una fluctuación aproximada de 5 gramos diarios de nitrógeno para una dieta de vacas lecheras de 600 kg que consumen 18 kg MS/día con un 18% de PB. Por lo tanto no debería considerarse dicha diferencia como biológicamente significativa.

Como fuera dicho, las variables indicadoras de la desactivación térmica (NIDA, AU, PB-KOH) variaron en un rango relativamente estrecho (tabla 5) y resultaron coherentes con lo esperado para expellers correctamente tratados (sin daño térmico). Así, el NIDA para todos los materiales estuvo muy por debajo del umbral de 15 g 100 g⁻¹ N que indica daño térmico debido a la acumulación de compuestos de Maillard (Gallardo, 2008). Además, los valores fueron similares a los publicados por otros autores (2,6 - 5,0 g 100 g⁻¹ N, Gallardo, 2008; 2,8 g 100 g⁻¹ N, Faldet *et al.*, 1992). Es importante destacar que este método no es capaz de determinar tratamientos térmicos insuficientes.

La AU de los productos analizados mostró que al menos el 75% de los materiales tuvo un índice menor a 0,2 UpH. Consecuentemente puede concluirse que los materiales estuvieron de acuerdo al rango deseable respecto a la desactivación de principios antinutricionales. Este rango comprende como "aceptables" aquellos valores menores a 0,2 UpH; valores mayores indican tratamientos insuficientes (FEDNA, 2015). Este resultado se debe a que este análisis se mide a partir de cambios de pH, y al no haber una escala negativa asociada a este, la prueba no puede determinar si la soja fue sobrecalentada (Balloun *et al.*, 1953).

Caskey y Knapp (1944) señalaron que existe una relación directa entre la destrucción de la enzima ureasa mediante calentamiento y un mejoramiento en el valor nutricional de la harina.

	NIDA ¹	PB-KOH ²	AU ³
N ⁴	235	235	233
Promedio	2,60%	78,10%	0,2 UpH
Mediana	2,50%	79,00%	0,1 UpH
Q ₁	2,00%	72,90%	0,0 UpH
Q ₃	3,10%	83,90%	0,2 UpH
Error estándar	1,1	7,9	0,4
CV ⁵	41%	10%	199%

Tabla 5. Valores medios y estadística descriptiva de variables descriptoras del daño térmico (proteína bruta soluble en hidróxido de potasio, nitrógeno insoluble en detergente ácido y actividad ureásica) en subproductos de soja.

¹NIDA, Nitrógeno insoluble en detergente ácido; ²PB-KOH, Proteína bruta soluble en hidróxido de potasio; ³AU, Actividad ureásica; ⁴N, Número de muestras; ⁵CV, Coeficiente de variación.

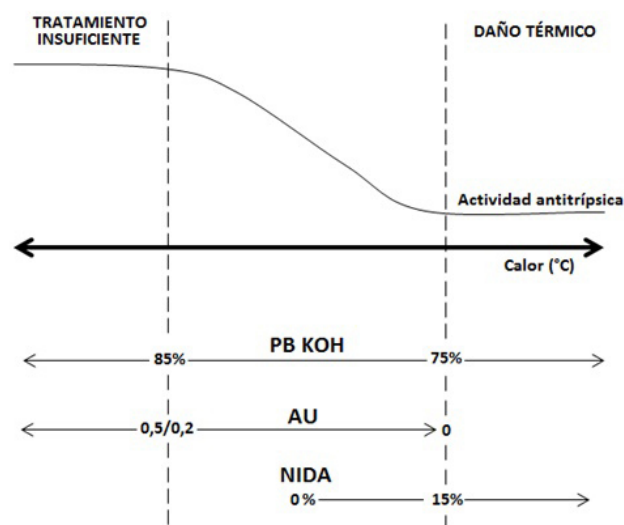


Figura 2. Recopilación bibliográfica de límites para variables descriptoras del daño térmico. PB-KOH: Proteína soluble en hidróxido de potasio; AU: Actividad ureásica; NIDA: Nitrógeno insoluble en detergente ácido. Referencias extraídas de Gallardo (2008) y FEDNA (2015).

En cuanto a la PB-KOH, los valores reportados por las plantas industriales sugieren una desactivación térmica adecuada, acorde a lo concluido a partir de los análisis comentados anteriormente. La medición de PB-KOH fue el indicador que menor variabilidad estadística mostró (tabla 5, figura 1b). Dale (1988) demostró que el crecimiento de pollitos disminuyó a medida que aumentó la intensidad de procesamiento, y mostró una mayor correlación con los valores de PB-KOH que con los de AU. A esto se agrega el hecho de que es el único indicador capaz de detectar fallas en el tratamiento térmico tanto por exceso como por defecto. Además, desde 2014 IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de

Materiales) incluye la solubilidad de PB-KOH como método estándar para la determinación de proteínas solubles en harina de soja, harina de colza y pellets de girasol (IRAM 5614 / ISO 14244:2015). De lo anterior, se desprende que PB-KOH constituiría un indicador básico para tener en cuenta a la hora de evaluar los subproductos de soja.

CONCLUSIONES

Uno de los objetivos centrales de este trabajo fue caracterizar la calidad de los expellers de soja de la zona de Rafaela (Santa Fe). Se pudo concluir que la variabilidad en la calidad nutricional (PB, EE, Deg MS, Deg PB) de los subproductos de la soja no difirió de la reportada en la bibliografía nacional. Dicha variabilidad pudo ser explicada por los contenidos de EE y FC, y estuvo asociada con PB-KOH. En adición y en correspondencia con las características composicionales antes señaladas, los expellers presentaron menor degradabilidad que las harinas.

Entre los factores del procesamiento industrial que modificaron la variabilidad del expeller, la limpieza de los granos previo a la extracción del aceite aumentó la concentración de lípidos en la materia prima, y se asoció con menores contenidos de EE en el expeller, generando una eficiencia de extracción un 22% mayor.

Por un lado, también se corroboró que el tratamiento térmico disminuyó la fracción a (inmediatamente soluble) y aumentó la fracción b (potencialmente degradable) de las harinas.

Por otro lado, no se halló correlación entre la temperatura de extrusión declarada y las concentraciones de NIDA, AU o PB-KOH. Dichas variables se mantuvieron dentro de los límites recomendados según la bibliografía, de lo que se deduce que es probable que las plantas hayan utilizado tratamientos térmicos adecuados.

Este trabajo indica que uno de los procesos que puede aumentar la eficiencia del uso de los subproductos de la soja es trabajar con grano limpio, así como implementar controles de calidad sencillos y confiables como PB-KOH.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC International (formerly the Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Arlington, VA: AOAC International, N.º 942.05. 962.09. 920.85.
- AOAC International (formerly the Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis. Arlington, VA: AOAC International.
- BALLOUN, S.; JOHNSON, E.; ARNOLD, L.K. 1953. Laboratory Estimation of the Nutritive Value of Soybean Oil Meals *Poult Sci* 32 (3): 517-527 pp.
- CASKEY, C.D.; KNAPP, F.C. 1944. Method for detecting inadequately heated soybean oil meal. *Southern States Labs; Baltimore, Md. Industrial and Engineering Chemistry, Analytical*. Vol. 16.640-641 pp.
- CHEFTEL, J.C.; CUQ, J.L.; LORIENT, D. 1989. Las proteínas de soja. *Proteínas Alimentarias*, Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 257-275 pp.
- CINQUE, F. 2011. Proyecto de inversión de una planta extrusadora de soja: Análisis económico y comercial. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina. 16-17 pp.
- COSCIA, A. 1982. *Economía de las Oleaginosas*. Ed. Hemisferio Sur. 7-10 pp.
- DALE, N. 1988. Solubilidad de la proteína: indicador del procesamiento de la harina de soja. *Avicultura profesional*, 5:122 p.
- FALDET, M.A.; SON, Y.S.; SATTER, L.D. 1992. Chemical, in vitro, and in vivo evaluation of soybeans heat-treated by various processing methods. *Journal of dairy science*, 75(3), 789-795.
- FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA EL DESARROLLO DE LA NUTRICIÓN ANIMAL (FEDNA). 2015. (Disponible: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-soja-47-pb verificado: 16 de abril de 2015).
- GALLARDO, M. 2005. Soja: harinas de extracción para la alimentación del ganado. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- GALLARDO, M. 2008. Concentrados y subproductos para la alimentación de rumiantes. *xxi Curso Internacional de lechería para profesionales de América Latina*. 153-162 pp.
- GALLARDO, M. 2013. Utilización de subproductos agroindustriales para formular y balancear dietas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 3-9 pp.
- GANESH, D.; GRIEVE, D.G. 1990. Effect of roasting raw soybeans at three temperatures on in situ dry matter and nitrogen disappearance in dairy cows. *Journal of dairy science*, 73(11), 3222-3230.
- HESS, B.W.; WHITNEY, M.B.; RULE, D.C. 2001. Site and extent of digestion by beef heifers fed medium-quality hay and supplemental corn or soybean oil. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.*, vol. 52, 469-472 pp.
- INFOSTAT, 2009. Versión 3.0. Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Ed. Brujas. Córdoba, Argentina.
- INTA. 2011. Seguimiento de la calidad del expeller de soja elaborado por diferentes plantas productoras. Informe Interno del Proyecto Nacional Procesos Productivos Agroindustriales para Agregar Valor en Origen en forma Sustentable. 4 p.
- INTA. 2017. Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico. (<http://siga2.inta.gov.ar/>).
- IRAM. 2015. Proceso de estandarización de una metodología analítica. De Argentina a ISO "Proteínas Solubles en harinas de soja". (Disponible: asaga.org.ar/descargas/material/SESSION_AACI/AACI2_Fernandez.pdf verificado: 11 de junio de 2015).
- JAURENA, G.; DANIELÓN, J.L. 2006. Tabla de composición de alimentos para rumiantes de la región pampeana argentina. *Hemisferio Sur*. 52 pp.
- JAURENA, G. 2015. Determinación de Proteína Soluble en Hidróxido de Potasio (recopilación). Programa para el Mejoramiento de la Evaluación de Forrajes y Alimentos (PROMEFA).
- JENKINS, T.C. 1993. Lipid Metabolism in the Rumen. *Journal of Dairy Science* 76:3851-3863.
- KRAUSE, K.M.; OETZEL, G.R. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126: 215.
- LATIMORI, N.; KLOSTER, A.; GARIS, M. 2013. Uso de expeller de soja como sustituto de la harina de soja en dietas de engorde de bovinos a corral. Información para Extensión N.º 143. Proyecto Nacional: Procesos productivos agroindustriales para agregar valor en origen en forma sustentable. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria (INTA). 5 p.
- MARTÍNEZ, A.; CUCA-GARCÍA, M.; MENDOZA-MARTÍNEZ, G.; HERRERA-HARO, J.G. 1996. Digestibilidad y valor nutritivo de aminoácidos de sorgo y soja en diversas formas de dietas para pollos de engorda. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 4 (1):7.

- MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. 1977. A study of artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, Volume 88, Issue 3. 645-650 pp.
- MORETTO, F. 2015. Efecto de la temperatura de extrusión del grano de soja sobre la degradación ruminal de la proteína del expeller. Universidad Nacional de Villa María, Córdoba. 20-28 pp.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1989. The nutrient requirements of dairy cattle. Sixth edition. National Academy Press, Washington, D. C.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle, seventh ed. National Research Council, National Academy Press, Washington, D. C.
- NOWAK, W.; MICHALAK, S.; WYLEGALA, S. 2005. In situ evaluation of ruminal degradability and intestinal digestibility of extruded soybeans. *Czech J. Anim. Sci*, 50, 281-287.
- OKORIE, A.U.; BUTTERY, P.J.; LEXIS, D. 1977. Ammonia concentration and protein synthesis in the rumen. *Abstracts of communications. Proc. Nutr. Soc.* 36. 38 p.
- PALMQUIST, D.L.; JENKINS, T.C. 1980. Fat in lactation rations: review. *Journal of Dairy Science*, vol. 63. 1-14 pp.
- SATORRE, E.; BENECH ARNOLD, R.; SLAFER, G.; DE LA FUENTE, E.; MIRALLES, D.; OTEGUI, M.; SAVIN, R. 2012. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. EU-DEBA.
- SCHAEFER, D.M.; DAVIS, C.L.; BRYANT, M.P. 1980. Ammonia saturation constants for predominant species of rumen bacteria. *Journal of Dairy Science*, 63:1248-1263.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA. 2015. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (Disponible: <http://www.siaa.gob.ar/> verificado: 17 de septiembre de 2017).
- WAWRZKIEWICZ, M.; JAURENA, G.; MARTÍNEZ, R.; CANTET, J.M. 2013. Protocolos de trabajo LASERNU y PROMEFA. Cátedra de Nutrición Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- WIENER® LAB. 2003. Protocolo de uso. UREMIA, del kit de uremia de laboratorios Wiener®.