

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO DEL GRANO DE SOJA PARA MEJORAR SU APROVECHAMIENTO PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

A. González, M. de J. Marichal, R. Bauza, O. Bentancur, C. Bratschi, R. Leivas Pacheco y M. Vignolo*. 2014. Livestock Research for Rural Development, Vol. 26, Article #24.

*Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía, Garzón 780, Montevideo, Uruguay.
agonzalez@fagro.edu.uy

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Producción porcina en general](#)

RESUMEN

Se determinó la efectividad de procesamientos de complejidad tecnológica diversa del grano de soja, en la digestibilidad de la energía y la eficiencia de utilización del nitrógeno, utilizando cerdos en crecimiento. Los alimentos evaluados fueron: harina de soja (HS); extrusado de soja (EXT), expeller de soja (EXP), grano de soja tostado (TO), grano de soja remojado y hervido (RH) y grano de soja sin procesar (CRU). Los tratamientos evaluados consistieron en seis dietas isocalóricas e isoproteicas con una base de grano de maíz molido y núcleo vitamínico mineral a la que se le adicionaba uno de los alimentos a evaluar. En una secuencia de cuatro pruebas convencionales de digestibilidad, se emplearon 24 cerdos (6 cerdos/prueba) que pesaron $35 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$ al inicio de cada prueba. Las variables estudiadas fueron digestibilidad aparente de la materia seca (DapMS), de la energía (DapE), concentración de energía digestible (ED), digestibilidad aparente de la proteína cruda (DapPC), valor biológico aparente (VBap) y valor proteico neto (VPN) de las dietas experimentales. Los resultados se analizaron como medidas repetidas, con seis tratamientos y cuatro repeticiones, siendo el animal la unidad experimental.

No se observaron diferencias ($P=0.16$) en la DapMS. Las DapE y DapPC de la dieta con RH (82 y 79%, respectivamente) fueron similares ($P>0.37$) a las de las dietas con HS, EXT y EXP (85, 84 y 85 y 82, 80 y 83% para DapE y DapPC, respectivamente) pero mayores ($P=0.02$) que las de las dietas con CRU (74 y 67% para DapE y DapPC, respectivamente). El VBap y VPN de la dieta con RH (83 y 66%, respectivamente) fue mayor ($P<0.01$) a los de las demás dietas (42, 50, 44, 57 y 38 y 35, 39, 36, 38 y 27 % para VBap y VPN de las dietas con HS, EXT, EXP, TO y CRU, respectivamente). Los resultados indican que el remojado y hervido del grano de soja sería un procedimiento tecnológico adecuado para inhibir los factores antinutricionales del grano de soja sin afectar negativamente la calidad de la proteína.

Palabras clave: cerdos, digestibilidad in vivo, factores antinutritivos, metabolismo

EVALUATION OF ALTERNATIVE PROCESSING OF SOYBEANS TO IMPROVE THEIR USE FOR ANIMAL FEED

ABSTRACT

The digestibility of energy and the efficiency of utilization of nitrogen utilization in growing pigs were determined to evaluate the effectiveness of treating soybeans with process differing in technological complexity. Feedstuffs evaluated were soybean meal (HS), extruded soybean (EXT), soybean expeller (EXP), toasted soybeans (TO), soybeans soaked and boiled (RH) and raw soybeans (CRU). Treatments were six isocaloric and isoproteic diets composed of a mix ground corn grain and a vitamin mineral core to which one of the tested feedstuff was added. Twenty four homogeneous pigs were used in a sequence of four conventional digestibility trials (6 pigs / trial). At the beginning of each trial pigs weighed $35 \text{ kg} \pm 2 \text{ kg}$. Apparent digestibility of dry matter (DapMS) and of energy (DapE), concentration of digestible energy (ED), apparent digestibility of crude protein (DapPC), apparent biological value (VBap) and net protein value (NPV) of the experimental diets were determined. Results were analyzed as repeated measures with six treatments and four replications, and the animal was the experimental unit. No differences ($P = 0.16$) in DapMS were registered. The DapE and DapPC of the diet with RH (82 and 79%, respectively) were similar ($P > 0.37$) to that of diets with HS, EXT and EXP (85,84 and 85 and 82, 80 and 83% for DapE and DapPC, respectively) but higher ($P = 0.02$) than diets with CRU (74 and 67% for DapE and DapPC, respectively). The VBap and VPN of diets with RH (83 and 66%, respectively) were higher ($P < 0.01$) than those of the other diets (42, 50, 44, 57 and 38 and 35, 39, 36, 38 and 27 % for VBap and VPN of diets with HS, EXT, EXP, TO and CRU, respectively). The results indicate that soaking and boiling soybeans would be a suitable technological method for inhibiting the anti-nutritional factors of soybeans without adversely affecting the quality of the protein.

Key words: anti-nutritional factors, digestibility in vivo, metabolism, pigs

INTRODUCCIÓN

El aumento sostenido en el área sembrada y en los rendimientos del cultivo de soja en el mundo (USDA 2013; Souto 2012), ofrecen mayores posibilidades de utilizar el grano de soja entero como ingrediente en las dietas para cerdos. Sin embargo, es necesario realizar un procesamiento que reduzca la presencia de los factores inhibidores de las proteasas, lectinas, lipoxigenasas y oligosacáridos que afectan la calidad nutritiva (Liener 2002).

El calor aplicado en los procesos tecnológicos ha resultado efectivo en la desactivación de los factores antinutritivos (FAN) (Borges et al 2003; Machado et al 2008). No obstante, la humedad del grano, la temperatura y la duración de los procesos establecen variaciones en la calidad nutricional del producto final (Marsman et al 1997; Shirley y Parson 2000; Prachayawarakorn et al 2006). El exceso de calor incrementa la formación de compuestos de la reacción de Maillard y en consecuencia disminuye la disponibilidad de carbohidratos y aminoácidos esenciales (Parsons et al 1992; Shirley y Parson, 2000; Glani y Sepehr 2003).

La actividad de la enzima ureasa, la dispersibilidad de la proteína y la solubilidad de la proteína en KOH son métodos frecuentemente utilizados para evaluar la efectividad de los procesos y la calidad del producto final (AOAC 2012; Borges et al 2003). Sin embargo, los resultados son variables entre laboratorios y muchas veces no se correlacionan con la intensidad de los procesos (Valencia et al 2008).

El objetivo de esta investigación fue determinar la efectividad de diferentes procesamientos de complejidad tecnológica diversa del grano de soja, en la digestibilidad de la energía y la eficiencia de utilización del nitrógeno, en una prueba convencional de digestibilidad y metabolismo *in vivo* utilizando cerdos en crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y animales

Se realizó una secuencia de cuatro pruebas convencionales de digestibilidad y metabolismo *in vivo* en la Estación de Pruebas de Porcinos, de la Facultad de Agronomía (Montevideo) de abril a junio de 2010.

En cada pruebas se utilizaron seis cerdos, machos castrados, genéticamente homogéneos, (cruzamiento comercial a cuatro vías: madres Large White x Landrace y padre híbrido comercial terminal) provenientes del mismo establecimiento. Los animales fueron pesados al inicio y al final de cada período experimental y recibían una cantidad de alimento calculada a partir de la ecuación de estimación del consumo: $ED \text{ ingerida (Kcal/día)} = 13162 * (1 - e^{-0,0176 PV})$ (NRC 1998). En cada prueba el peso vivo inicial promedio de los animales fue 35 ± 2 kg.

Instalaciones y Manejo

Los animales fueron alojados individualmente en jaulas metabólicas equipadas con comedero tipo batea y bebedero automático tipo chupete, con recipientes separados para la recolección de heces y de orina. Cada prueba duró 12 días, 7 días de adaptación de los animales al alimento, a las instalaciones y al ambiente y 5 días de control de consumo y recolección de heces y orina. El alimento se suministró dos veces al día, a las 9 y 15 horas. La totalidad de las heces se recolectaron diariamente, se pesaron y conservaron en bolsas plásticas a -10 °C. Al finalizar cada prueba, las heces se homogeneizaron y se tomaron muestras de 500 g para su análisis en el laboratorio. La orina se colectó en baldes plásticos conteniendo 30 ml de HCl ppa 6 Normal. Diariamente se midió el volumen excretado y se tomaron submuestras correspondientes del 5% del volumen total las cuales se conservaron a -10 °C hasta su análisis en el laboratorio.

Alimentos

Los alimentos evaluados fueron: harina de soja (HS, alimento comercial resultante de la extracción de aceite por presión y solvente); extrusado de soja (EXT, grano de soja que pasa por un extrusor); expeller de soja (EXP, grano de soja extrusado al cual se le extrajo el aceite por presión); grano de soja tostado (TO, grano de soja tostado artesanalmente en un tostador manual durante 15 minutos a 85 °C (Bratschi et al 2010)); grano de soja remojado y hervido (RH, grano de soja remojado durante 4 horas y hervido durante 15 minutos (Hirigoyen et al 2010)); grano de soja crudo (CRU, grano de soja sin procesar).

Análisis químicos

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía. Para los alimentos (Tabla 1) y las dietas (Tabla 2) se determinó Materia seca (MS), Cenizas (C), Nitrógeno (N), Extracto etéreo (EE) y Fibra Detergente Neutro (FDN) de acuerdo a la metodología descrita en AOAC 2012 (Ref: 934.01; 942.05; 988.05; 920.39; 2002.04; respectivamente)

Los valores de energía bruta (EB) fueron estimados a partir de la composición química y el calor de combustión de las fracciones (4,2 Mcal/Kg Carbohidratos; 5,6 Mcal/kg Proteínas; 9,3 Mcal/Kg Extracto etéreo). La energía digestible (ED) fue estimada utilizando la ecuación de predicción: $ED = 949 + (0.789 * EB) - (43 * \%C) - (41 * \%FDN)$ (NRC 1998).

En las heces se determinó en el laboratorio la MS, N y EB. En la orina se determinó N. Asimismo, se determinó el índice de actividad ureásica (IAU) de acuerdo a la metodología descrita por el Instituto Uruguayo Normas Técnicas (636:1982).

Tabla 1. Composición química e Índice de actividad ureásica (IAU) de los alimentos evaluados						
	HS	EXT	EXP	TO	RH	CRU
base fresca (%)						
Materia seca	88.9	90.0	91.9	91.0	38.8	88.9
Materia orgánica	93.8	93.7	93.4	95.0	96.1	95.1
Proteína cruda	41.3	37.3	41.3	33.2	36.2	31.8
Extracto etéreo	1.90	11.7	5.30	20.2	23.0	18.2
FDN	24.1	16.6	16.3	23.3	23.1	19.0
Cenizas	6.24	6.35	6.60	5.05	3.90	4.89
IAU	0.00	0.00	0.00	2.50	0.05	2.30
HS: harina de soja; EXT: grano de soja extrusado; EXP: expeller de soja; TO: grano de soja tostado; RH: grano de soja remojado y hervido; CRU: grano de soja sin procesar.						

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en dietas con base en grano de maíz molido y núcleo vitamínico mineral a las que se les adicionó uno de los alimentos a evaluar. Se generaron 6 dietas experimentales, con harina de soja (DHS), con grano de soja extrusado (DEXT); con expeller de soja (DEXP); con grano de soja tostado (DTO), con grano de soja remojado y hervido (DRH); con grano de soja sin procesar (DCRU). Todas las dietas se formularon para ser isocalóricas e isoproteicas, adicionando aceite de soja cuando fue necesario.

Tabla 2. Composición porcentual y composición química calculada de las dietas experimentales						
Alimentos	DHS	DEXT	DEXP	DTO	DRH	DCRU
Composición de las dietas experimentales, base fresca (%)						
Maíz	63.7	65.6	68.6	64.0	44.0	60.0
Alimento Proteico	26.2	28.4	23.5	32.0	53.0	36.0
Núcleo ⁽¹⁾	3.75	3.91	3.84	3.99	3.02	4.01
Aceite de soja	6.28	2.16	4.02	0.00	0.00	0.00
Composición química calculada base seca (%)						
Materia seca	88.5	88.5	88.9	88.6	67.9	87.9
Materia orgánica	97.4	97.1	97.3	97.3	97.7	97.2
Proteína cruda	16.5	16.6	16.1	16.6	15.7	16.9
Extracto etéreo	9.32	7.74	7.71	8.50	7.62	8.43
Fibra Detergente Neutro	13.6	12.5	11.9	15.2	15.0	14.0
Energía Digestible Mcal/kg MS	4.06	4.02	4.04	3.96	3.95	3.99
⁽¹⁾ Núcleo Terminación SUPRA: Humedad máx.10%; Minerales totales: 80%; Calcio: 16-21,5%; Fósforo: 6,5-8,5%; Solubilidad de P en ácido cítrico: 90%; Sodio: 6%; Lisina: 0,5%; Cenizas insolubles: 8%; Vitaminas.DHS: dieta con harina de soja; DEXT: dieta con grano de soja extrusado; DEXP: dieta con expeller de soja; DTO: dieta con grano de soja tostado; DRH: dieta con grano de soja remojado y hervido; DCRU: dieta con grano de soja sin procesar.						

Modelo y Diseño experimental

Las variables estudiadas fueron la digestibilidad aparente de la materia seca (DapMS), y de la energía (DapE), la concentración de energía digestible (ED), la digestibilidad aparente de la proteína cruda (DapPC), el valor biológico aparente (VBap) y el valor proteico neto (VPN) de las dietas experimentales.

El diseño experimental fue completamente al azar en bloques incompletos, donde se evaluaron seis tratamientos con cuatro unidades experimentales (animales) por tratamiento. Para el estudio de las variables aleatorias se ajustó un modelo general mixto, $y_{ijk} = \mu + \tau_i + P_j + \beta X_{ijk} + \epsilon_{ijk}$ incluyendo el período (P_j) como efecto aleatorio y el tratamiento (τ_i) como efecto fijo. El peso vivo se usó como covariable (βX_{ijk}) la que fue excluida del modelo luego de comprobar que el efecto no fue significativo ($P > 0,05$).

El paquete estadístico utilizado para análisis fue la versión 9.1.3 (2006) del SAS. Las medias de los efectos significativos fueron separadas usando test de Tukey. Se fijó la diferencia significativa para $P < 0,05$; tendencia a ser diferentes con P entre 0,05 y 0,09.

RESULTADOS

Se observaron diferencias en el consumo diario de materia seca ($P=0.02$). Los animales a los que se les ofreció la dieta DRH mostraron mayor ($P<0.05$) ingestión (1952 g MS/anim./día) que los animales de los otros tratamientos en los que se registraron valores inferiores e iguales ($P > 0.18$) entre sí (1515 g MS/anim./día). No se observaron diferencias ($P=0.16$) en la digestibilidad aparente de la materia seca (Tabla 3).

Tabla 3. Digestibilidad aparente de la materia seca (DapMS) y valor energético de las dietas evaluadas								
	DHS	DEXT	DEXP	DTO	DRH	DCRU	EEM	P
DapMS, %	84.5	84.5	84.8	80.3	83.7	78.2	1.71	0.161
DapE, %	85.3 ^a	83.9 ^a	85.5 ^a	75.5 ^{bc}	82.0 ^{ab}	73.8 ^c	2.37	0.007
ED, Mcal/kg MS	4.09 ^a	3.95 ^a	4.01 ^a	3.58 ^{bc}	3.86 ^{ab}	3.50 ^c	0.11	0.009

DHS: dieta con harina de soja; DEXT: dieta con grano de soja extrusado; DEXP: dieta con expeller de soja; DTO: dieta con grano de soja tostado; DRH: dieta con grano de soja remojado y hervido; DCRU: dieta con grano de soja sin procesar.
^{a,b,c}: medias de tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente ($P<0.05$)

La digestibilidad de la energía y la concentración de energía digestible de las dietas fueron diferentes ($P<0.01$), observándose valores similares y mayores ($P>0.3$) para DHS, DEXT, DEXP y DRH (85, 84, 85 y 82 %; 4.1, 3.9, 4.0 y 3.9 Mcal/kg MS, respectivamente) que DCRU y DTO (74 y 75 %; 3.5 y 3.6 Mcal/kg MS, respectivamente). La dieta DTO presentó valores ($P>0.09$) similares a DRH (82 % y 3.9 Mcal/kg MS).

Tabla 4. Consumo, excreción, digestibilidad y metabolismo del N de las dietas evaluadas								
	DH	DEXT	DEXP	DTO	DRH	DCRU	EEM	P
Ingestión Nitrógeno, g/d	42.6	42.3	39.3	37.9	49.0	38.5	2.55	0.082
Nitrógeno Heces, g/d	7.50 ^b	8.50 ^{ab}	6.70 ^b	12.6 ^a	10.3 ^{ab}	12.7 ^a	1.59	0.053
Nitrógeno Orina, g/d	19.9 ^a	17.3 ^a	17.9 ^a	10.7 ^{bc}	7.4 ^c	15.4 ^{ab}	1.67	0.0006
DapPC %	82.3 ^a	79.9 ^a	83.1 ^a	66.5 ^b	78.8 ^a	67.3 ^b	3.64	0.012
PC digestible %	13.5 ^a	13.4 ^a	13.2 ^a	11.9 ^{bc}	12.5 ^{ab}	11.2 ^c	0.40	0.004
VBap %	42.2 ^{bc}	49.7 ^{bc}	43.7 ^{bc}	57.2 ^b	83.0 ^a	38.3 ^c	5.11	0.0002
VPN%	35.3 ^b	39.4 ^b	36.5 ^b	38.1 ^b	65.1 ^a	26.7 ^c	4.85	0.001

DH: harina de soja; DEXT: grano de soja extrusado; DEXP: dieta con expeller de soja; DTO: grano de soja tostado; DRH; grano de soja remojado y hervido; DCRU: grano de soja sin procesar. ^{a,b,c}: medias de tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente ($P<0.05$)

Los animales que recibieron DRH tendieron ($P = 0.08$) a consumir más nitrógeno (N) que aquellos que recibieron DEXP, DCRU o DTO, presentando las dietas DHS y DEXT valores intermedios (49, 39, 39, 38, 43 y 42 g de N/anim./día respectivamente) (Tabla 4).

La excreción de N en heces fue mayor ($P<0.05$) en los animales que consumieron DCRU o DTO (12.7 y 12.6 g de N/anim./día, respectivamente) que en los animales que consumieron DHS o DEXP (7.5 y 6.7 g de N/anim./día, respectivamente). En los animales que consumieron las dietas DEXT o DRH se registraron pérdidas de N en heces intermedias (8.5 y 10.3 g de N/anim./día) y similares entre sí ($P>0.12$). Los animales que consumieron las dietas DHS, DEXP y DEXT mostraron excreciones de N en la orina similares ($P>0.30$) y mayores ($P<0.01$) que los animales que consumieron DRH (19.9, 17.9, 17.3 y 7.4 g de N/anim./día, respectivamente).

La excreción de N en la orina de los animales que consumieron DTO (10.7 g de N/anim./día) fue similar ($P=0.22$) a la de los animales que ingirieron DRH tendiendo ($P=0.07$) a ser menor a la excreción urinaria de N de los animales ingiriendo DCRU.

Se identificaron diferencias ($P < 0.01$) en la digestibilidad de la proteína cruda y la concentración de proteína digestible de las dietas evaluadas. Las dietas DHS, DEXP o DEXT presentaron valores de ambos parámetros similares ($P>0.54$) pero mayores ($P<0.04$) que DCRU o DTO (82, 83, 80, 67 y 66 %; 13.5, 13.2, 13.4, 11.2 y 11.9 g de N/anim./día, respectivamente). La dieta DRH presentó una digestibilidad de la proteína (79 %) similar ($P>0.41$) a la DHS, DEXT y DEXP, mientras que la proteína digestible (12.5 g/anim./día) fue similar ($P> 0.09$) a los tres anteriores y a DTO.

El Valor Biológico de DRH (83 %) fue mayor ($P<0.01$) que DTO (57 %) y ésta a su vez presentó mayor Valor Biológico ($P = 0,02$) que DCRU (38%). Las dietas DHS, DEXT y DEXP presentaron valores (42, 50 y 44 %, respectivamente) similares ($P > 0.13$) entre si y a DTO y DCRU

El Valor Proteico Neto (VPN) de la DRH (65%) fue mayor ($P < 0,01$) que el de las otras dietas, las que presentaron VPN similares ($P > 0.11$) observándose una tendencia ($P= 0.07$) de DEXT a ser diferente a la DCRU para esta variable (35, 36, 38, 27 y 39 %, para DHS, DEXP, DSTO, DCRU y DEXT, respectivamente).

DISCUSIÓN

El mayor consumo de materia seca observado en los animales consumiendo DRH podría explicarse por las características físicas de la misma. Esta dieta presentó una consistencia pastosa, resultado de mezclar los ingredientes secos (10% de humedad) con el grano de soja remojado y hervido (74% de humedad), lo cual generó una dieta con un contenido de humedad superior que las demás dietas (32% vs 11%).

Existen antecedentes que muestran el impacto del contenido de humedad de las dietas en el consumo (Trigueros 1996; Kim et al 2001; Lawlor et al 2002) y en las características del tracto digestivo (Pluske et al 1996) con efectos positivos sobre el crecimiento de los cerdos. Lawlor et al (2002) en un experimento con lechones en la primer semana luego del destete, reportaron consumos de 35% superiores en los lechones a los que se les ofrecía dietas líquidas (3:1 agua: harina) respecto a los que consumían dietas sólidas (ración peleteada). Así mismo, en cerdos en la etapa de crecimiento-terminación se han observado incrementos en el consumo del 10 al 15% en animales con alimentación pastosa (relación agua: alimento 1:1 a 1,5:1) (Trigueros 1996; Penz y Spillari 1998).

La mayor digestibilidad de la energía y concentración de energía digestible de DHS, DEXT y DEXP respecto a las dietas DTO y DCRU, podría explicarse por un efecto conjunto de la adición de aceite y la presencia de aceite libre residual en el subproducto de extracción, consecuencia de la ruptura de las células provocada por la presión aplicada en los procesos industriales. Estos efectos se podrían traducir en la presencia de niveles de triacilgliceroles en el tracto gastrointestinal que puedan enlentecer el pasaje del alimento aumentando el tiempo de acción de las enzimas digestivas (Entringe et al 1975; Li et al 1990; Café et al 2000).

Estudios realizados por Adams y Jensen (1984) en los que se evaluaban el efecto del origen de las fuentes de grasa sobre la digestibilidad de dietas destinadas a lechones destetados obtuvieron incrementos de 26% en la digestibilidad del extracto etéreo y de 19% en la digestibilidad de la energía cuando adicionaban aceite comparado al aporte del aceite encapsulado en la semilla. Trabajos con cerdos en crecimiento y terminación reportan que la adición de un 5% de lípidos a las dietas incrementa la ganancia diaria y el índice de conversión de los animales (Li y Sauer 1994; Penz y Spillari 1998).

Las diferencias en la digestibilidad de la energía y el contenido de energía digestible de DRH y DCRU podría ser resultado de la liberación de aceite por el calor y la mayor proporción de carbohidratos no estructurales. Los carbohidratos no estructurales del grano de soja, son principalmente sacarosa, y los oligosacáridos rafinosa (1,4%), estaquiosa, (5 a 6%) y trazas de verbascosa (Rackis 1981; Kempen et al 2006), los que son indigestibles por las enzimas producidas por los animales. Los tratamientos acuosos como la cocción, son efectivos en disminuir el contenido de éstos oligosacáridos reportándose reducciones del 59% de los mismos al hervir el grano de soja en 10 partes de agua durante 60 minutos (Rackis 1981; Kaankuka et al 1996). Adicionalmente, durante la etapa de remojado del grano se inicia la germinación donde ocurren cambios metabólicos y se podría haber iniciado un proceso enzimático de hidrólisis de los carbohidratos.

En el proceso de tostado, no habría rompimiento celular y por tanto los lípidos permanecen dentro de las paredes celulares pudiendo dificultar el proceso de digestión, lo que explicaría los resultados obtenidos para la DTO.

Las variaciones observadas en la digestibilidad de la proteína cruda también contribuirían a explicar las diferencias observadas en la digestibilidad de la energía ya que ambas variables mostraron comportamientos similares. La presencia de FAN (principalmente inhibidores de las proteasas) que afectan negativamente la digestibilidad de la proteína cruda del grano de soja cruda (Cranshaw y Danielson 1985; Huisman y Tolman 1992) habría sido el factor que determinó el valor de digestibilidad de la PC observado en las dietas que lo contenían y que se habrían reflejado en la digestibilidad de la energía.

En las demás dietas los valores de digestibilidad de la PC estuvieron en relación directa con las temperaturas que se aplicaron en los diferentes procesamientos del grano de soja (mayor a 120°C en el proceso de extracción de aceite por presión y solvente, en la extrusión y en la combinación de extracción de aceite por extrusión y presión, 100°C en el proceso de cocción y 85 °C en el tostado del grano) ya que es reconocido que la aplicación de calor por períodos controlados es el procedimiento más efectivo para desactivar los FAN (Hasdai y Liener 1983; Marty y Chávez 1993; Quin et al 1996).

La efectividad de los tratamientos se evidenció en las diferencias del IAU. La similitud del IAU del grano de soja tostado y el grano de soja crudo indicaría que el procesamiento no fue efectivo en la desactivación de los FAN debido a que la temperatura que se logró en el tostador no habría sido suficiente para reducir los FAN. El tostado seco es un método desuniforme en la distribución de temperatura por lo que se recomienda un calor húmedo para mejorar la eficiencia de transferencia del calor y optimizar la desactivación de los FAN sin necesidad de llegar a temperaturas muy elevadas que deterioran la calidad nutricional (Prachayawarakorn et al 2006). Así mismo, el IAU señalaría que el proceso de remojado y hervido del grano de soja (calor húmedo) habría sido tan eficaz en desactivar los FAN como la temperatura aplicada en los procesos que generan la harina, el extrusado y el expeller de soja.

Las variaciones en la digestibilidad de la PC reflejan esas diferencias en pérdidas de nitrógeno en las heces. La menor digestibilidad de la PC correspondió a las dietas con las mayores pérdidas de N en heces. La mayor excreción de nitrógeno en las heces de los animales que consumían la dieta con soja tostada y soja cruda podría fundamentarse en una mayor excreción de origen endógeno. Los inhibidores de las proteasas presentes en el grano de soja se unen de forma irreversible a las enzimas tripsina y quimiotripsina inactivándolas. Buscando contrarrestar la disminución de la actividad de estas enzimas, se aumenta la secreción de las mismas y la producción de mucina, incrementándose así las pérdidas endógenas (Myrie et al 2008).

El efecto del calor durante el procesamiento del grano de soja podría ser el factor explicativo de las variaciones observadas en el Valor Bilógico de las dietas. Diversos autores (Gilani y Sepehr 2003; Coca-Sinova et al 2008) han reportado que nuevos FAN pueden formarse como resultado del procesamiento con aplicación de exceso de calor dando lugar a compuestos de Maillard, lisinoalanina (LAL), lanthionina y rancemización de L-aminoácidos que capturan aminoácidos, principalmente lisina generando desbalance de aminoácidos esenciales. Experimentos realizados con ratas han demostrado que la presencia de LAL resultado del procesamiento con calor y/o tratamientos alcalinos reduce la cantidad de lisina (19-20%), cisteína (73-77%), treonina (35-45%) y la serina (18-30%) (Gilani y Sepehr 2003).

Las dietas con HS, EXP o EXT de soja presentaron las mayores pérdidas de N en orina lo que podría haber resultado de una mayor presencia de compuestos de Maillard o LAL (responsables de la menor utilización de aminoácidos), pudiendo haber modificado el perfil de aminoácidos absorbidos de la dieta. Este efecto no se habría dado en el tostado y la cocción ya que las temperaturas fueron menores.

Como resultado de los procesos, la temperatura de cocción habría sido adecuada para inhibir lo FAN sin afectar en forma negativa el balance de aminoácidos esenciales de la dieta, dando como resultado el mayor índice de Valor Proteico Neto en comparación con los otros procesos donde el Valor Biológico fue menor quizás por el efecto de calor insuficiente o por el exceso de temperatura.

CONCLUSIÓN

Los animales a los que se les ofreció la dieta con grano de soja remojado y hervido habrían realizado un mayor consumo de energía digestible y de proteína digestible y asimilable. El proceso de remojado y hervido del grano de soja se presenta como una alternativa que viabiliza el uso del grano de soja entero, ofreciendo un producto de calidad al reducir los FAN presentes sin afectar la calidad de la proteína.

REFERENCIAS

- Adams K L and Jensen A H 1984** Comparative Utilization of In-Seed Fats and the Respective Extracted Fats by the Young Pig. *Journal Animal Science* 59(6):1557-1566 <http://www.journalofanimalscience.org/content/59/6/1557>
- A O A C 2012** Official Methods of Analysis. 19th Ed Association of Analytical Chemists. Washington DC
- Bratschi C, Hirigoyen A, Furtado S, Arias G, González A y Bauza R 2010** Caracterización química del grano de soja sometido a diferentes tratamientos de desactivación 2: Efecto del tostado. III Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal Montevideo Uruguay Resumen <http://www.fagro.edu.uy/~agrocienca/index.php/directorio/issue/view/29>
- Borges S A, Salvador D e Ivanoski R A 2003** Utilização da soja desativada na dieta de monogástricos. Anais do Simpósio sobre Nutrição de Aves e Suínos Cascavel PR Brasil 27-28 de março de 2003pp 21-59
- Café M B, Sakomura N K, Junqueira O M, Carvalho M R B e Del Bianchi M 2000** Determinação do Valor Nutricional das sojas Integrais Processadas para Aves. *Revista Brasileira de Ciências Avícolas* volumen 2 (1) Campinas Brasil
- Coca-Sinova A, Valencia D G, Jiménez-Moreno E, Lázaro R y Mateos G G 2008** Apparent Ileal Digestibility of Energy Nitrogen and Amino Acids of Soybean Meals of Different Origin in Broilers. *Poultry Science* 87:2613-2623
- Cranshaw M A and Danielson D M 1985** Raw Soybeans for Growing-Finishing Pigs. *Journal Animal Science* 60:725-730
- Entringer R P, Plumlee M P, Conrad J H, Cline T R and Wolfe S 1975** Influence of Diet on Passage Rate and Apparent Digestibility by Growing Swine. *Journal of Animal Science* 40:486-494 <http://www.journalofanimalscience.org/content/40/3/486>
- Gilani S and Sepehr E 2003** Protein Digestibility and quality in Products Containing Antinutritional Factors Are Adversely Affected by Old Age in Rats. *The Journal of Nutrition* 133:220-225
- Hasdai A and Liener I E 1983** Growth, Digestibility and Enzymatic Activities in the Pancreas and Intestines of Hamsters Fed Raw and Heated Soy Flour. *The Journal of Nutrition* 113: 662-668.
- Hirigoyen A, Bratschi C, Furtado S, Arias G, González A y Bauza R 2010** Caracterización química del grano de soja sometido a diferentes tratamientos de desactivación 1: Efecto del cocimiento en agua. III Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal Montevideo Uruguay Resumen <http://www.fagro.edu.uy/~agrocienca/index.php/directorio/issue/view/29>
- Huisman J and Tolman G H 1992** Anti-nutritional Factors in the Plant Proteins of Diets for Non-ruminants. pp3-31 En: Recent Advances in Animal Nutrition P.C.Garnsworthy, W. Haresing and D.J.A. Cole. Ed. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford UK. pp 3- 31.

- Kaankuka F G, Balogun T F and Tegbe T S B 1996** Effects of duration of cooking of full-fat soya beans on proximate analysis, levels of antinutritional factors, and digestibility by weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology* 62:229-237
- Kempen T A T G van, Heugten E van, Moeser A J, Muley N S and Sewalt V J H 2006** Selecting soybean meal characteristics preferred for swine nutrition. *Journal of Animal Science* 84:1387-1395 <http://www.journalofanimalscience.org/content/84/6/1387>
- Kim J H, Heo K N, Odle J, Han K and Harrell R J 2001** Liquid diets accelerate the growth of early-weaned pigs and the effects are maintained to market weight. *Journal of Animal Science* 79:427-434 <http://www.journalofanimalscience.org/content/79/2/427>
- Lawlor P G, Lynch P B, Gardiner G E, Caffrey P J and O' Doherty J V 2002** Effect of liquid feeding weaned pigs on growth performance to harvest. *Journal of Animal Science* 80:1725-1735 <http://www.journalofanimalscience.org/content/80/7/1725>
- Li D F, Thaler R C, Nelssen J L, Harmon D L, Allee G L and Weeden T L 1990** Effect of fat source and combinations on starter pig performance, nutrient digestibility and intestinal morphology. *Journal of Animal Science* 68:3694-3704 <http://www.journalofanimalscience.org/cgi/reprint/68/11/3694>
- Li S and Sauer W C 1994** The effect of dietary fat content on amino acid digestibility in young pigs. *Journal of Animal Science* 72: 1737-1743 <http://www.journalofanimalscience.org/cgi/reprint/72/7/1737>
- Liener I E 2002** A Trail of Research Revisted. *Journal Agricultural and Food Chemistry* 50:6580-6582
- Machado F P P, Queiróz J H, Oliveira M G A, Piovesan N D, Peluzio N M B and Moreira M A 2008** Effects of heating on protein quality of soybean flour devoid of Kunitz inhibitor and lectin. *Food Chimestry Science Direct Elsevier* 107: 649-655
- Marsman G J P, Gruppen H, van der Poel A F B, Kwakkel R P, Verstegen M W A and Voragen A G J 1997** The effect of Thermal Processing and Enzyme Treatments of Soybean Meal on Growth Performance, Ileal Nutrient Digestibilities, and Chyme Characteristics in Broiler Chicks. *Poultry Science* 76:864-872
- Marty B J and Chavez E R 1993** Effects of heat processing on digestible energy and other nutrient digestibilities of full-fat soybeans fed to weaner, grower and finisher pigs. *Canadian Journal Animal Science* 73:411-419
- Myrie S B, Bertolo R F, Sauer W C and Ball R O 2008** Effect of common antinutritive factors and fibrous feedstuffs in pig diets on amino acid digestibilities with special emphasis on threonine. *Journal of Animal Science* 86:609-619 <http://www.journalofanimalscience.org/cgi/reprint/86/3/609>
- Penz J A M e Spillari Viola E 1998** Nutrição Capitulo 3 In: Suinocultura Intensiva Produção, Manejo e Saúde do Rebanho. Sobestinsky J, Wentz I, da Silveira PRS e Sesti, LAC Embrapa Brasil pp 47-59
- Pluske J R, Thompson M J, Atwood C S, Bird P H, Williams I H, Hartmann P E 1996** Maintenance of villus height and crypt depth, and enhancement of disaccharide digestion and monosaccharide absorption, in piglets fed on cows whole milk after weaning. *British Journal of Nutrition*.76:409-422
- Prachayawarakorn S, Prachayawasin P, Soponronarit S 2006** Heating process of soybean using hot-air and superheated –steam fluidized-bed dryers. *LWT. Science Direct. Elsevier.* 39:770-778
- Quin G, Elst E R, Bosch M W, van der Poel A F B 1996** Thermal processing of whole soya beans: Studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on ileal digestibility in piglets. *Animal Feed Science and Technology.* 57:313-324.
- Rackis J J 1981** Flatulence Caused by Soya and Its Control through Processing. Northern Regional Research Center. USDA. JAOCS march 1981. Pp:503-509
- Shirley R B. and Parson C M 2000** Effect of Pressure Processing on Amino Acid Digestibility of Meat and Bone Meal for Poultry. *Poultry Science.* 79:1775-1781.
- Souto G 2013** Oleaginosas y derivados: situación y perspectivas. En: <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario2012/material/pdf/10.pdf>
- Trigueros R O 1996** Factibilidad del Uso de Raciones Liquidas y Patosas en Alimentación de Cerdos en Etapa de Engorde – Acabado. Nota Técnica. En: *Agronomía Mesoamericana* 7(2):69-72
- U S D A 2013** United States Departament of Agriculture World Agricultural Supply and Demand Estimates. In: <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>
- Valencia D G, Serrano M P, Lázaro R, Latorre M A, Mateo G G 2008** Influence of micronization (fine grinding) of soya bean meal and fullfat soya bean on productive performance and digestive traits in young pigs. *Abstract. Animal Feed Science and Technology* 147(4):340-356

Volver a: [Producción porcina en general](#)