

Revisión

DESACTIVACIÓN DEL FRIJOL INTEGRAL DE SOYA Y SU UTILIZACIÓN EN EL ALIMENTO PARA ENGORDE DE CERDOS

(Deactivation full fat soybeans and its use in food for swine. Review)

Charly Farfán López y Vasco De Basilio

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de Producción Animal. Maracay, Edo. Aragua, Venezuela. charly.farfan@gmail.com.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace una revisión de literatura para destacar los diferentes procesos que se han utilizado para la desactivación del frijol de soya y los resultados que se han obtenido en algunas investigaciones sobre su utilización en el alimento para cerdos de engorde, a nivel internacional y nacional. Igualmente se enfatiza la importancia nutricional del frijol desactivado de soya, sus características químicas y nutricionales, las cuales la hacen una materia prima de excelente calidad, siempre y cuando se le aplique el proceso de desactivado de los metabolitos secundarios de manera adecuada, entre los cuales existe el tostado, extrusión y la cocción (autoclave y reactor hidrotérmico), dichos metabolitos secundarios, son el punto débil de dicha materia prima, los cuales al no ser desactivados, generan problemas como diarrea, disminución del consumo, peso vivo y aumento de la conversión de alimento, lo cual genera un aplazamiento en el desarrollo del cerdo, pudiendo afectar el bienestar del animal. En relación al uso del frijol de soya desactivado en la alimentación de cerdos, se presenta algunos resultados de variables productivas y calidad de canal, reportados en diferentes investigaciones, donde se refleja que la proporción a incluir en las diferentes dietas va desde 10 hasta 26% sin generar deterioro del rendimiento productivo del animal y conservando su estado de salud. En tanto, existe la importancia de generar una información resumen para resaltar las bondades, procesos inherentes a la desactivación del frijol de soya y su utilización en la alimentación de cerdos para engorde.

Palabras clave: Calidad de canal, metabolitos secundarios, materia prima, rendimiento productivo, porcinos.

ABSTRACT

In the present review to highlight the different processes that were used for deactivation of full fat soybeans and the results that have been obtained in some research on their use in feed for pigs, at international and national level. Also are emphasized the nutritional importance of deactivation full fat soybeans, their chemical and nutritional characteristics, which make it an excellent quality raw matter, provided he applies the process of secondary metabolites off properly, between which there is roasting, extrusion and cooking (autoclave and reactor hydrothermal), these secondary metabolites are the weak point of this raw material, which not being deactivated, such problems as diarrhea, decreased consumption, body weight and increased feed conversion, which generates a delay in the development of the pig, may affect animal welfare. In relation the use of full fat soybeans deactivated in feeding pigs, some results of productive variables and quality of canal, reported in different studies, where it is reflected that the proportion to be included in the different diets ranging from 10-26% occur without causing deterioration of the yield of the animal and maintaining your health. While, there is the importance of generating an information summary to highlight the benefits, processes inherent to the deactivation of full fat soybeans and its use in feed for pigs for fattening.

Key words: Carcass quality, secondary metabolites, raw matter, performance, swine.

INTRODUCCIÓN

El uso del frijol de soya [FS] (*Glycine max*), posee alrededor de 36,0 % de proteína cruda y 18,0 % de grasa cruda^{1, 2, 3}, caracterizando a dicha materia prima como un ingrediente alternativo para

disminuir el uso de aceite y harina de torta de soya en las dietas para cerdos⁴, con la cual es posible satisfacer las necesidades nutricionales de las líneas modernas de cerdos terminales, que exigen dietas de alta calidad nutricional y sanitaria⁵. Por otra parte, se ha encontrado que la administración de FS mejora la palatabilidad y el consumo de alimento, reduce incremento de calor, especialmente en climas cálidos, la mejor calidad nutricional, mejor digestibilidad, resultante de procesamiento, facilidad de gestión en la fabricación ración y una mayor rentabilidad en el sistema de producción^{1, 6, 7}. Sin embargo, para alcanzar el máximo aprovechamiento de las diferentes bondades nutricionales del FS, es necesario aplicarle al frijol un proceso térmico adecuado el cual permite inhibir la actividad de los metabolitos secundarios, inhibidores de la proteasa, lectinas y las saponinas^{8, 9, 10}, a razón de que son termolábiles, la destrucción adecuada de estos metabolitos secundarios, permitirá el uso del FS^{7, 11}, obteniendo como producto el frijol de soya integral desactivada (FSID), el cual debe ser un ingrediente con mínimo metabolitos secundarios, buen contenido y disponibilidad de proteína y aceite^{12, 13}. Tomando en cuenta que al utilizar soya cruda en la dieta para cerdos, se han reportado la inhibición del crecimiento, disminución de la eficiencia alimenticia, la hipertrofia de páncreas, y daños en el hígado⁹.

El planteamiento expuesto sitúa hacia la búsqueda de alternativas, que permitan definir la proporción óptima del frijol de soya integral que podría ser utilizado en la alimentación de los cerdos. En tal sentido, en el presente se hace una revisión sobre los diferentes procesos que se han utilizado para la desactivación del frijol de soya y su utilización en el alimento para cerdos.

ASPECTOS RELEVANTES DEL FRIJOL DE SOYA

El cultivo de la soya *Glycine max* (L) pertenece a la familia leguminosas, sub familia papilionoides¹⁴, pero con características propias que la diferencian del resto de los integrantes de dicha familia, y que se destaca por su alto contenido de proteína y por su calidad nutritiva. Ocupa una posición intermedia

entre las legumbres y los granos oleaginosos, conteniendo más proteínas que la mayoría de las legumbres, pero menos grasa que la mayor parte de las oleaginosas¹⁵. El origen de dicho cultivo, se ubica 3000 años A.C., específicamente en la zona norte y céntrica de China, considerada por los chinos junto con el arroz, el trigo, la cebada y el mijo una de las cinco semillas sagradas¹⁶. Posteriormente, se difunde su uso hacia Latinoamérica entre finales del siglo XIX y principios del XX¹⁷.

La primera utilización del frijol de soya (FS) se inició en el oriente, en donde a esta leguminosa se le daba un valor tanto alimenticio como medicinal. Su procesamiento para obtener aceite y harina, comenzó en tiempos más recientes y solo despertó interés en Europa hasta el año de 1908. La harina desgrasada de soya sirvió inicialmente como fertilizante y como alimento para el ganado. Su valor nutritivo fue reconocido después de la segunda guerra mundial y actualmente la mayor parte de la harina es utilizada en la formulación de alimentos balanceados para cerdos, aves, peces y ganado bovino^{18, 19, 20}.

El FS, se considera como la principal fuente de proteína vegetal para la alimentación animal²⁰. Ahora bien, es importante destacar que posee baja cantidad de aminoácidos azufrados, siendo la metionina el más limitante. Entre sus características nutricionales se destaca, que posee alrededor de 36,0 - 38% de proteína cruda^{1, 2, 3}. Por otra parte, McDonald *et al.*²², indican que el FS contiene principalmente hidratos de carbono solubles representados por estaquiosa, rafinosa y verbascosa, además de los polisacáridos solubles (principalmente pectinas) e insolubles constituidos por hemicelulosa, lignina, celulosa, pectinas insolubles entre otros. Considerando el FS un contenido de fibra entre 7-8%²³. En cuanto al contenido de lípidos, en el aceite de soya abundan los ácidos grasos polinsaturados, con contenido de grasa entre 18 - 20%, principalmente entre 46 - 54% de ácido linoléico y entre 7 - 8% de linolénico^{3, 16}. Por otra parte el contenido de minerales está entre el 5-6% de cenizas como: Ca (0,36%), P total (0,56%), P disponible (0,18%), S (0,29%), Cu (11 mg/kg), Fe (90 mg/kg), Zn (36

mg/kg), Mn (30 mg/kg), en cuanto al contenido de vitaminas predominan vitamina E (40 mg/kg), biotina (0,25 mg/kg) y colina (2400 mg/kg), y respecto a la solubilidad en KOH, está entre 82,4 – 87,6%³, tomando en cuenta que el contenido nutricional y químico del FS puede variar de acuerdo al origen ó de la zona donde ha sido cultivado, y principalmente caracterizándose como un ingrediente de excelente aporte de proteína y energía en relación a la harina de torta de soya, tal y como se presenta en el Tabla I.

El FS no solo posee bondades, entre sus características nutricionales y químicas, existen los metabolitos secundarios, principalmente inhibidores de la proteasa, lectinas y las saponinas^{8, 9, 10}. Desde el punto de vista bioquímico estos metabolitos son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como la distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros. Son sustancias naturales no fibrosas, generadas por las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves^{24, 25, 26}.

Los metabolitos secundarios pueden clasificarse como termoestables y termolábiles; los metabolitos termoestables incluyen: factores antigénicos, oligosacáridos y aminoácidos no proteicos tóxicos, saponinas, estrógenos, cianógenos, fitatos; siendo los más importantes: los factores antigénicos, los oligosacáridos, las saponinas y los fitatos. Así mismo, entre los metabolitos termolábiles se encuentran, los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina), lectinas, goitrogenos y antivitaminas; siendo los más importantes los inhibidores de proteasas y las lectinas^{24, 25, 26}. A razón que existen metabolitos termolábiles en el FS, la destrucción adecuada de estos metabolitos secundarios, permitirá el uso de la FS^{7, 11}, obteniendo como producto el frijol de soya desactivada (FSD), el cual debe ser un ingrediente con mínimo metabolitos secundarios, buen contenido y disponibilidad de proteína y aceite^{12, 13}. Tomando en cuenta que al utilizar soya cruda en la dieta para cerdos, se ha reportado efecto negativo en relación al desempeño productivo y anomalías (lesiones) en el sistema digestivo del cerdo⁹, ya que se asocia el efecto de los metabolitos secundarios, a la disminución de la

calidad nutricional del alimento porque interfieren en el metabolismo y disminuyen la biodisponibilidad de los nutrientes^{27, 28}. Es importante tomar en cuenta, que el producto obtenido, FSD, se caracteriza por tener una baja proporción de materia seca, lo que puede limitar su tiempo de conservación²⁹.

TABLA I. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL GRANO DE SOYA CRUDO, GRANO DE SOYA PROCESADA Y DE LA TORTA DE SOYA.

Componente	Unidad	Grano de soya		Torta de soya
		Crudo	Procesado	
Energía Metabolizable	(Mcal/kg)	3.2	3.5 - 4.2	3.25
Grasa	%	17.5	17.5	1.5
Proteína	%	37.5	37.5	45.5
Metionina	%	0.52	0.52	0.70
Lisina	%	2.42	2.42	2.90
Triptófano	%	0.54	0.54	0.62
Fibra	%	5.5	5.5	3.4
Calcio	%	0.26	0.26	0.30
Fosforo	%	0.61	0.61	0.64
Índice de ureasa	%	2.0-3.0	0.02 – 0.5	0.02 – 0.5
Inhibidor tripsina	%	70-80	< 0.10	< 0.10

Fuente: Buitrago *et al.*¹⁸. Mcal/kg=megacaloría por kilogramo

MÉTODOS APLICADOS PARA LA DESACTIVACIÓN DEL FRIJOL DE SOYA

Para utilizar el FSD como ingrediente en la alimentación de los cerdos, es necesario aplicar métodos para desactivar los metabolitos secundarios, que serán componentes anti nutricionales que no generaran una respuesta efectiva en el desarrollo del cerdo. Los métodos utilizados como desactivación, se caracterizan por la aplicación de calor, el mecanismo mediante el cual el calor inactiva los factores anti nutricionales es la desnaturalización⁷. En este sentido, Rackis *et al.*³⁰ indican que se precisa absorber un mínimo de 1.200 J de energía por g para inactivar la enzima ureasa y 1.670 J para destruir el 95% de los inhibidores de la tripsina presentes en el frijol. Sin embargo, si se sobrecalienta una fuente proteica, la disponibilidad de sus aminoácidos, en especial de la lisina, disminuye. Además, un tratamiento inadecuado reduce la estabilidad oxidativa de la grasa contenida en el frijol^{7,31}.

Al realizar la desactivación del frijol, el objetivo principal de las tecnologías existentes es lograr un producto homogéneo con un contenido residual mínimo de factores antinutricionales, una calidad óptima de la proteína y una disponibilidad alta del aceite. Los procesos difieren en cuanto a las variables aplicadas; tiempo, temperatura, presión, humedad, superficie del frijol expuesta, tamaño de partícula y tipo de energía utilizada, pero todas utilizan energía en forma de calor para inactivar los inhibidores de la tripsina, la quimiotripsina, la lipooxigenasa, las lectinas y la ureasa⁷. Una ventaja adicional del tratamiento del frijol es que el proceso mejora la palatabilidad del producto final. El calentamiento desarrolla olores y sabores beneficiosos que podría aumentar el consumo de alimento del cerdo y otros mamíferos domésticos³². Parte de la mejora, puede deberse a la inactivación de la enzima lipooxigenasa presentes

en el frijol, que favorece la calidad y la conservación del producto final³¹.

Por lo tanto, los principales métodos aplicados para desactivar el frijol de soya son: **Cocido:** la cocción es un proceso relativamente sencillo, su aplicación es ancestral. Se remoja el grano de soya en agua y se somete a cocción entre 30 y 120 minutos (min). Posteriormente se seca de forma mecánica o extendida sobre el suelo⁷. En investigación realizada por, Kaankuka *et al.*³³ evaluaron el tiempo óptimo de cocción del frijol sometidos a 100 °C en una olla y secadas al sol, a las cuales luego se les determino la digestibilidad de los principales cuatro nutrientes en lechones de 9 kg de peso vivo, que consumían dietas con un 37% de estas frijol. La actividad antitripsica se redujo y la digestibilidad de los nutrientes, especialmente del nitrógeno, aumentó de forma progresiva con la duración del proceso. Resultando que el frijol procesado durante 30 min, dieron resultados similares a la harina de torta de soya utilizada como control (Tabla II).

TABLA II. INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE CALOR AL FRIJOL DE SOYA (100°C) SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES.

Tiempo min ¹	Actividad antitripsica ²	Coeficiente de digestibilidad, % ³		
		Materia seca	Nitrógeno	Extracto etéreo
15	342	77,3	76,6 ^b	84,2
20	263	78,0	78,9 ^b	86,2
25	211	78,4	80,0 ^b	87,1
30	79	78,9	82,6 ^a	87,9
HTS	185	79,7	82,5 ^a	84,1
EEM		1,28	3,18	3,25

Fuente: Kaankuka *et al.*³³. ¹Tiempo de cocido en agua hirviendo y secado al aire en capas finas. ²mg/100 g para el frijol crudo. ³Lechones de 9 kg de peso vivo. HTS: Harina de torta de soya.

Dentro del método de desactivado del frijol por cocción destaca; el autoclave y reactor hidrotérmico. Siendo el autoclave, el método de mayor utilización y eficiencia. En este sentido, Monari *et al.*,³⁴ señaló que el autoclave consiste

en cocer el grano aplicando vapor caliente a presión y ha sido el método más utilizado a nivel de centros de investigación y de producción. Sin embargo, afirmó que la preparación de las muestras y las condiciones aplicadas durante el proceso (por ejemplo tamaño de la molienda, tiempo, presión y espesor de la capa del grano) variaban entre laboratorios por lo que la aplicación práctica de muchos de los resultados publicados en los años sesenta fueron cuestionables. En otros estudios, con la finalidad de evaluar la eficiencia del autoclave, Herkelman *et al.*³⁵ molieron las semillas de soya con parrillas de 5 mm y las procesan por autoclave a 121°C durante 0, 10, 20, 30, 40, 60 y 90 min en bandejas con un espesor de 25 mm. Los autores indicaron que se necesitaba 30 min para reducir la actividad ureásica ($< 0,20$ unidades de pH) y los inhibidores de la tripsina (< 5 mg/g) a niveles aceptables. Sin embargo, Yin *et al.*¹² estudiaron en laboratorio la duración óptima del proceso de autoclave a 125°C y 0,1 MPa de presión. Cinco minutos de permanencia fueron suficientes para hacer desaparecer la actividad ureásica y reducir los inhibidores de la tripsina de 20 a 2,1 mg/g. Cuando aumentaron el tiempo de permanencia hasta 25 min, los factores antitripsínicos siguieron disminuyendo (1,5 mg/g) pero también lo hizo la disponibilidad de la lisina.

Por otra parte, el método de cocción, el cual se realiza por medio de un reactor hidrotérmico, según Frank³⁶, básicamente en tratar el grano en una olla a cierta presión donde las condiciones aplicadas varían según el tamaño y capacidad de la máquina (desde 4 hasta 25 t/hora). Los elementos del sistema son el acondicionador, el reactor para la cocción, el sistema de expansión y el secador-enfriador. El proceso se inicia con una limpieza y troceado del material original mediante un molino rompedor de estrías. La molienda es más gruesa cuando el grano va destinado a rumiantes (3 trozos/semilla) que cuando se emplea para monogástricos (8/12 trozos/semilla, equivalente a una criba ≤ 4 mm). A continuación el grano se preacondiciona en un mezclador continuo donde se añade agua y vapor de agua a 170°C hasta empapar la masa y lograr una temperatura de $48 \pm 2^\circ\text{C}$. Posteriormente la mezcla pasa a un reactor hidrotérmico vertical dividido en

cuatro o más módulos independientes. En el primer cuerpo se eleva la temperatura mediante vapor caliente hasta $90 \pm 3^\circ\text{C}$ con agitación continua. La temperatura sube hasta $95-100 \pm 3^\circ\text{C}$ en el segundo cuerpo mediante el mismo mecanismo. En el tercer y cuarto cuerpo se sigue agitando la mezcla pero ya no se añade vapor con lo que la temperatura se reduce a 90-95 y a 85-90 $\pm 3^\circ\text{C}$, respectivamente. La cocción dura unos 45 min y el grano sale del cocedor con un 25% de humedad, aproximadamente. El sistema no rompe la estructura de las esferosomas y por ello conviene pasar posteriormente la mezcla por un expander a gran presión (> 25 bar) y a una temperatura de 105-110°C durante 5 s sin aplicar vapor. En el proceso la humedad se reduce a un 17%. A continuación la mezcla se pasa por un secador a 145°C y posteriormente por el enfriador hasta que la humedad baja al 9-11%.

Tostado: Es un proceso de origen prehistórico aún hoy día utilizado por la industria con ligeras modificaciones. Existen numerosos modelos, incluyendo sistemas convencionales en seco similares a los utilizados para el secado del café y de algunos de los cereales y sistemas con aplicación de calor húmedo⁷. El calor proviene de un horno, un quemador de carbón o directamente de una llama y la temperatura aplicada varía entre 110 y 170°C según el equipo utilizado³⁷. En su forma más simple consiste en la aplicación directa e intensa de calor seco (torrefacción) durante un tiempo en torno a los 20 s³⁸. Se recomienda que la temperatura del frijol a la salida del equipo sea de 110 a 113°C para monogástricos y en torno a 116°C para rumiantes para aumentar el porcentaje de proteína no degradable en rumen³⁹.

El proceso reduce la humedad inicial del frijol en un 30% pero no rompe las estructuras celulares ni libera el aceite, por lo que conviene un molido o laminado posterior previo a su utilización en la dieta. Los sistemas de tostado de mayor uso son el tambor rotatorio, los modelos de lecho fluidificado, el tostado en cascada, el jet-sploding, la micronización y las microondas. La diferencia clave entre métodos es la forma de aplicar el calor (seco o húmedo) y la existencia o no de laminación o expansión posterior. En cualquier

caso debe buscarse un tratamiento uniforme, evitando que el interior de algunas partículas quede crudo mientras que el exterior de otras quede sobre procesado. Así, es importante clasificar los frijoles por tamaño previo al tostado a fin de evitar el sobrecalentamiento de las más pequeñas. En este sentido, Moura *et al.*⁴⁰ estudiaron el tiempo óptimo de tostado con calor húmedo de frijoles de soya sometidos a 115°C en cerdos de 29 kg de peso. La productividad aumentó con el tiempo lográndose los mejores resultados con 30 min de duración. Qin *et al.*⁴¹ encuentran resultados similares en lechones con frijol tostada a 102 a 134°C durante tan sólo 90 s. El tostado bien realizado permite obtener productos de calidad a un costo energético reducido debido a su alta capacidad de producción. El proceso va a menudo acompañado de un tratamiento mecánico (laminado o granulado) para aumentar la disponibilidad del aceite y a veces de un descascarillado para mejorar su valor nutricional en animales no rumiantes⁷.

Extrusión: La base del proceso es la aplicación de altas temperaturas (140 a 170°C) durante periodos reducidos de tiempo (menos de 90 s). El frijol molido pasa a través de un cilindro con pernos con una configuración dada y a continuación sale a presión a través de un orificio final. Numerosos parámetros influyen sobre la calidad del producto final⁷. De acuerdo a Serrano y Villalbi⁴² destacan los siguientes; tamaño inicial de la partícula del frijol, velocidad de alimentación al extrusor y tiempo de retención, humedad y temperatura en el preacondicionado, tiempo de estancia, porcentaje de humedad añadida y temperatura alcanzada en el cuerpo del extrusor, configuración geométrica de los segmentos del tornillo sinfín y de los pernos, tamaño y forma del orificio de salida del cuerpo del extrusor y tiempo de permanencia, temperatura y velocidad del aire en el secador.

La mayoría de estos parámetros están interrelacionados y la clave para obtener un producto de calidad es lograr una combinación adecuada. Existen dos modelos de extrusión en el mercado, cada una con sus ventajas e inconvenientes. La extrusión seca es una tecnología implantada en los años sesenta en la que el frijol molido pasa a presión a través de un tubo de

paredes gruesas por la acción de un tornillo sinfín. El proceso genera una presión en torno a las 35-40 atm y el calor producido por la fricción contra las paredes del cilindro calienta y esteriliza el producto. El tratamiento dura menos de 20 a 30 s alcanzándose temperaturas en torno a 120-165°C en función de la máquina utilizada⁴³. Según Mateos *et al.*⁷ el principal inconveniente es que la fricción puede elevar las temperaturas en exceso y afectar a la disponibilidad de la lisina. Además, la extrusión seca sólo es posible con ingredientes ricos en grasa que lubrican adecuadamente la matriz. En caso de ingredientes secos con bajo contenido en aceite se precisa un pre acondicionado previo adicionando humedad. Una planta típica de extrusión en húmedo consta de un tamizador o limpiador de semillas, un pre acondicionado, un alimentador, un tubo hueco dotado con pernos y válvulas inyectoras de vapor y uno o varios ejes interiores movidos por un motor, un secador y un enfriador.

La presión en el interior del tubo está en torno a 30 atm por lo que el agua no se evapora a pesar de las elevadas temperaturas que se alcanzan. A la salida del extrusor la mezcla sufre una caída brusca de presión que provoca una rápida evaporación de agua y la "expansión" del producto. Como consecuencia la célula oleosa se rompe y el aceite se libera, pero se absorbe según se enfría permaniendo embebido dentro de la masa. A continuación, el frijol pasa al secador durante 14 min donde la humedad se reduce a un 14-16% y de aquí a un enfriador horizontal, que deja la humedad final del producto en un 10-12%. La extrusión húmeda conlleva acondicionado previo e inyección de vapor caliente en el cuerpo del extrusor, por lo que se precisa secar al final del proceso. Por ello, las instalaciones son más caras para la extrusión húmeda que para la seca. Por el contrario, la capacidad de producción es superior (hasta 5 y 9.000 t/h) y es más efectivo en cuanto a la desnaturalización de los factores antinutricionales⁷.

De manera general respecto a los procesos aplicados para la desactivación del FS, lo más importante es garantizar que el interior del frijol no permanezca crudo posterior al procesamiento,

y que su parte externa no sea sobrecalentada, por lo que el proceso requiere la clasificación del frijol por tamaño para poder tener una aplicación de calor uniforme en todo el material⁷.

USO DEL FRIJOL DE SOYA DESACTIVADO EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS

El FS es un ingrediente de elección en alimentos para el engorde de cerdos debido a su alto contenido en energía y en aminoácidos disponibles. Existiendo principios básicos para el uso del frijol en la alimentación de cerdos para engorde, teniendo como ventaja de que el animal adulto es menos sensible a los principios antinutritivos residuales que el animal joven. Dos problemas claves en crecimiento y engorde, son: 1) valor relativo de los distintos sistemas de procesado del frijol en relación con una combinación isonutritiva de harina de soya y aceite o grasa y 2) influencia del nivel de grasa

insaturada del frijol sobre la calidad de la canal. Un problema adicional es la presencia de fitatos que reduce la utilización del fósforo y de zinc, pero afortunadamente la utilización de fitasas exógenas disminuye a un mínimo la magnitud del problema⁴⁴.

La utilización del frijol de soya, ha sido muy investigado internacionalmente desde el lo productivo (Tabla III) a características de la canal (Tabla IV). Entre los principales estudios, destaca el realizado por Zollitstch *et al.*⁴⁵, quienes evaluaron los efectos de diferentes tecnologías de procesamiento sobre frijol de soya (extruido y tostado) para ser utilizado en la alimentación de cerdos en engorde. Encontrando que no hubo efecto sobre la ganancia diaria de peso (793 g), la conversión de alimento (2,68), el rendimiento de canal y características organolépticas. Sin embargo, se encontraron diferencias en la

composición química de la carne, el perfil de ácidos grasos de la grasa dorsal fue cambiado, en un menor contenido de ácidos saturados y monoinsaturados, mientras que el porcentaje de los ácidos linoleico y linolénico aumentó.

TABLA III. RESUMEN DE VARIABLES PRODUCTIVAS DE CERDOS ALIMENTADOS CON LA UTILIZACIÓN DE FRIJOL DESACTIVADO DE SOYA.

Autor (es)	% FDS	Peso Final (kg)	GDP (kg/d)	COA (kg/d)	CA	EC
Leszczynski <i>et al.</i> ⁴⁶	10,00	107,87	0,979	3,253	---	0,30
	20,00	104,32	0,828	3,087	---	0,26
Cannon <i>et al.</i> ⁴⁷	20,00	103,9	0,910	2,750	---	0,33
Bauza <i>et al.</i> ⁴⁸	20,00	---	0,778	2,220	2,86	0,35
Webster <i>et al.</i> ¹¹	23,35	122,30	0,740	1,940	---	0,38
	24,83	122,70	0,750	1,900	---	0,39
	26,28	124,10	0,760	1,890	---	0,40
Palacios <i>et al.</i> ⁹	35,44	---	0,450	0,810	---	0,56
Htoo <i>et al.</i> ⁵⁰	9,69	16,7	0,410	0,373	---	0,72
	25,72	17,3	0,429	0,379	---	0,72
Valencia <i>et al.</i> ⁵¹	15,80	---	0,376	0,405	1,08	---
Farfán ⁵²	15,00	79,43	1,100	2,250	2,06	0,49

FDS: Frijol desactivado de soya. GDP: Ganancia diaria de peso. COA: Conversión de alimento. EC: Eficiencia de conversión de alimento.

En otros estudios, Leszczynski *et al.*⁴⁶, durante la fase crecimiento y finalización de los cerdos, evaluaron dietas con inclusión de 0, 10 y 20% de FSD, obteniendo que los niveles utilizados no lograron afectar el rendimiento productivo de los cerdos y su calidad de la canal, resultado similar al de Cannon *et al.*⁴⁷, al evaluar 20% de FSD en la fase de crecimiento y engorde, donde no hubo afecto negativo, ambos autores indican que se puede sustituir por completo la harina de torta de soya por el FSD. En fase similar, Bauzá *et al.*⁴⁸ y Capra *et al.*⁴⁹, evaluaron la utilización del grano de soya desactivado, incluyéndolo en dietas para cerdos en finalización en 20%, sobre las variables productivas y calidad de la canal, obteniendo valores similares en consumo de alimento, conversión de alimento, calidad de la canal y de la carne, sin embargo hubo diferencia en la ganancia de peso (778 g/d) en relación al tratamiento control (851 g/d), indicando la utilización de alimentos con alto contenido de lípidos insaturados puede tener un efecto depresor sobre la ganancia de peso asociado a su mayor facilidad de alteración, que repercute sobre la palatabilidad y valor nutritivo.

Por otra parte, Webster *et al.*¹¹, evaluaron diferentes temperaturas (143,3; 148,9; 154,4; 160,0; 165,6°C) para procesar la soya por extrusión (SE) y nivel idóneo de nivel energético en cerdos en fase

de crecimiento, incluyendo la SE en las dietas en 23,35; 24,83; 26,28%. Obteniendo como resultado que la temperatura ideal para el procesamiento de la soya extruida es 154,4°C, la cual cuando se formula con el mismo nivel de energía que la harina de torta de soya, no afecta la ganancia diaria de peso (0,78 kg), el consumo de alimento (2,41 kg), relación ganancia de peso y consumo (0,32), con similares características de la canal. En estudio similar, Palacios *et al.*⁹ al estudiar el efecto de diferentes variedades y procesamiento de soya sobre el crecimiento de los cerdos en fase de inicio, con peso promedio de inicio 13,8 ± 1,4 kg, utilizando como ingrediente tratamiento; frijol de soya extruido (FSE), frijol de soya descascarado, frijol de soya libre de lectina y frijol de soya libre de lectina e inhibidores de tripsina. En donde se obtienen los mejores valores productivos al incluir en la dieta el FSE; consumo de alimento (810 g/d), ganancia de peso (450 g/d) y eficiencia de conversión de alimento (0,555). En otra investigación, Htoo *et al.*⁵⁰ determinaron el efecto del contenido proteico en la dieta con inclusión de 9,59% y 25,72% de FSD con suplementación de aminoácidos cerdos en fase de inicio, resultando que no se afectó el crecimiento de los cerdos. Sin embargo, Valencia *et al.*⁵¹ al incluir 15,8% de FSD en cerdos destetados,

obtuvieron que existió una reducción de la ganancia de peso (376 vs. 412 g) y conversión de alimento (1,08 vs. 1,07) al comparar con la dieta a la cual se le incluyó harina de torta de soya, afectando el crecimiento óptimo de los cerdos. Mientras que Farfán⁵², al evaluar diferentes inclusiones de frijol desactivado de soya en cerdos en fase de crecimiento, logro mantener las variables productivas y características de la canal al incluir en la dieta 15% del frijol desactivado.

TABLA IV. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CERDOS ALIMENTADOS CON LA UTILIZACIÓN DE FRIJOL DESACTIVADO DE SOYA.

Autor (es)	% FDS	PC (kg)	EGD (mm)	AML (cm ²)	RC (%)
Leszczynski <i>et al.</i> ⁴⁶	10,00	76,6	29,6	31,1	---
	20,00	75,9	29,7	29,4	---
Cannon <i>et al.</i> ⁴⁷	20,00	73,79	25,3	33,90	---
Webster <i>et al.</i> ¹¹	23,35	91,8	17,4	---	75,5
	24,83	91,4	17,2	---	75,6
	26,28	94,6	17,5	---	75,6
Capra <i>et al.</i> ⁴⁹	20,00	91,50	18,14	52,81	81
Farfán ⁵²	15,00	---	5,90	25,43	58,47

FDS: Frijol desactivado de soya. PC: Peso de canal. EGD: Espesor de grasa dorsal. AML: Área del musculo *longissimus dorsi*. RC: Rendimiento de canal.

CONCLUSIONES

Finalmente se considera que el Frijol Desactivado de Soya es una excelente materia prima, por su buen aporte de proteína y grasa en la dieta, el cual al ser comparado con dietas elaboradas a base de harina de torta de soya y aceite vegetal, presenta a el frijol como un ingrediente más económico y fácil de utilizar en la preparación de alimentos balanceados. Por otra parte, para hacer uso eficiente del frijol es importante realizar un adecuado desactivado de sus metabolitos secundarios, entre los principales métodos de desactivado destaca el tostado, extrusión y la cocción, donde se enfatiza; el autoclave y reactor hidrotérmico, los cuales actualmente son los métodos más utilizado en Venezuela. En relación a las investigaciones sobre el uso del frijol desactivado de soya como ingrediente para alimentos de los cerdos, se han reportado mayores resultados en la fase de engorde, con inclusiones desde 10 a 26%, sin generar deterioros en la respuesta productiva de los cerdos. En tanto, el Frijol Desactivado de Soya se presenta como una materia prima ideal para ser utilizada en la alimentación de cerdos, siendo necesario aumentar las investigaciones sobre su utilización en alimento para animales reproductores, tomando en cuenta el gran avance existente en la alimentación de animales para engorde.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún conflicto de interés, real o potencial, incluyendo cualquier relación financiera, personal o de otro tipo, con personas u organizaciones, lo cual pudiesen inapropiadamente influenciar o sesgar el contenido de este trabajo.

REFERENCIAS

¹NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. **National Research Council**. Subcommittee on swine nutrition. 10th revised edition. Washington, DC: pp. 211.

²SAUVANT, D.; PEREZ, J.; TRAN, G. 2003. **Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de**

interés ganadero. INRA. Ediciones Mundi – Prensa. Barcelona, España.

³FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA EL DESARROLLO DE LA NUTRICIÓN ANIMAL (FEDNA). DE BLAS, C.; MATEOS, G.; GARCIA-REBOLLAR, P. (Eds). 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos. Tercera edición. Madrid, España. Disponible en línea. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/haba-de-soja-cocida-o-extrusionada.

Consultada el 30/10/2013.

⁴CARVALHO, A.; LOVATTO, P.; HAUSCHILD, L.; ANDRETTA, I.; LEHNEN, C.; ZANELLA, I. 2007. Processamento da soja integral e uso em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 36: 2023-2028.

⁵BISEWSKI, L. 2009. Milho pre-cozido e soja integral desativada na alimentação de leitões recém-desmamados. Trabajo de grado maestría. Curitiba, Brasil; Universidad ederal de Paraná. 10-15.

⁶NITSAN, Z.; DVORIN, Z.; MOKADI, S. 1997. Effect of added soyabean oil and dietary energy on metabolisable and net energy of broiler diets. **British Poultry Science**. 38:101-106.

⁷MATEOS, G.; LATORRE, M.; LÁZARO, R. 2002. Procesamiento del haba de soya. Departamento de Producción Animal, UP Madrid. American Soybean Association.

⁸LIENER, I. 2000. Non-nutritive factors and bioactive compounds in soy. In: Soy in animal nutrition. Savoy: F. A. S. Soc. 13-45 pp.

⁹PALACIOS, M.; EASTER, R.; SOLTWEDEL, K.; PARSONS, C.; DOUGLAS, M.; HYMOWITZ, T.; PETIGREW, T. 2004. Effect of soybean variety and processing on growth performance of young chicks and pigs. **Journal of Animal Science**. 82: 1108 – 1114.

¹⁰NAHASHON, S.; KILONZO-NTHENGE, A. 2013. Soybean in Monogastric Nutrition: Modifications to Add Value and Disease Prevention Properties, Soybean - Bio-Active Compounds, Prof. Hany El-Shemy (Ed.). InTech. Disponible en:

<http://www.intechopen.com/books/soybean-bio-active-compounds/soybean-in-monogastric-nutrition-modifications-to-add-value-and-disease-prevention-properties>. Consultada el 17/01/2014.

¹¹WEBSTER, M.; GOODBAND, R.; TOKACH, M.; NELSEN, J.; DRITZ, S.; WOODWORTH, J.; DE LA LLATA, M.; SAID, N. 2003. Evaluating processing temperatura and feeding value or extruded-expelled soybean meal on nursery and finishing pig growth performance. **Journal of Animal Science**. 81: 2032-2040.

¹²YIN, Y.; ZHONG, H.; HUANG R.; CHENG, X. 1993. Effects of autoclaving on urease activity, trypsin inhibitors and ileal digestibility of crude protein in jack bean, field bean, and soybean for growing-finishing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**. 71: 65-75.

¹³ADELAKUN, O.; DUODU, K.; BUYS, E.; OLANIPEKUN, B. 2013. Potential Use of Soybean Flour (Glycine max) in Food Fortification, Soybean - Bio-Active Compounds, Prof. Hany El-Shemy (Ed.). InTech. Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/soybean-bio-active-compounds/potential-use-of-soybean-flour-glycine-max-in-food-fortification> . Consultada el 17/01/2014.

¹⁴TORRES, C.; LOPERA, L.; MUÑOZ, A.; TORRES, A.; CHARRY, F. 2002. **Manual Agropecuario: Tecnologías Orgánicas de la Granja Integral Autosuficiente**. Plantas de usos industriales. Editorial Ibalpe. Bogota – Colombia. 986 pp.

¹⁵TOLEDO. El cultivo de soja. 2009. Disponible en:

<http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/Ruben-Toledo/El-cultivo-de-soja.pdf> .

Consultada el 20/08/2012.

¹⁶RIDNER, E. 2006. **Soya: propiedades nutricionales y su impacto en la salud**. Grupo Q, Sociedad Argentina de Nutrición. 96p. Disponible en: <http://www.sanutricion.org.ar/pdf/soja.pdf> Consultado el 10/02/2014.

¹⁷GISPERT, C. 1999. Enciclopedia Práctica de Agricultura y Ganadería. Cultivos Oleaginosos Herbáceos. Editorial Océano/Centrum. Barcelona – España. 385p.

¹⁸BUITRAGO, A.; PORTELA, C.; EUSSE, G. 1992. Grano de soya en alimentación de cerdos y aves. **Asociación Americana de Soya**. 28 pp.

¹⁹ERICKSON, R. 1993. Historia de la industria de la soya en los E.E.U.U Asociación Americana de soya en: **Revista Soya Noticias**.

²⁰HARPER, J. 1995. Experiencias con extrusión de soya: potencial interno, desarrollo, nutrición y mercadeo de productos. **Asociación Americana de soya**. México.

²¹ERICKSON, R. 1995. Practical handbook of soybean processing and utilization Unit State. AOCS/USB.

²²MCDONALD, P.; EDWARDS, J.; GREENHALGH.; MORGAN, C. 2002. **Nutrición animal**. Carbohidratos. Editorial Acribia. Zaragoza- España. 587p.

²³RESTLE, J.; FATURI, C.; ALVES, D. 2004. Substituição do grão de sorgo por casca de soja na dieta de novilhos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 33: 1009-1015.

²⁴BELMAR, R. 2001. Importancia de los factores antinutricionales en la alimentación de animales no rumiantes. En: **Memorias del X Congreso de Veterinaria**. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria Zootecnia. p. 34-54.

²⁵BELMAR, R.; NAVA, R. 2007. Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos. Disponible en: http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/roberto.htm. Consultada el 20/11/2013.

²⁶De DIOS, A.; PORRILLA, Y.; CHAPARRO, C. 2009. Factores antinutricionales en semillas. **Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias**. 17 (1): 45 – 54.

²⁷SIDDHURAJU, P.; MAKKAR, H.; BECKER, K. 2002. The effect of ionising radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with referente to human and animal food. **Food Chemical**. 78:187-205.

²⁸CAMELO, S.; TORRES, V.; DÍAZ, M. 2008. Análisis multivariado de los factores antinutricionales de los granos de leguminosas temporales. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**. 42: 337-339.

- ²⁹HIRIGOYEN, A.; BRATSCHI, C.; FURTADO, S.; ARIAS, G.; GONZÁLEZ, A.; BAUZA, R. 2010. Caracterización química del grano de soja sometido a diferentes tratamientos de desactivación. 1: efecto del cocimiento en agua. En **III Congreso de la Asociación de Producción Animal**. Montevideo. Uruguay. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~agrocienia/index.php/directorio/isse/view/29> Consultada el 13/09/2013.
- ³⁰RACKIS, J.; WOLF, W.; BAKER, E. 1986. **Protease inhibitors in plant foods: content and inactivation**. En: Friedman, M. (ed). *Nutritional and Toxicological Significance of enzyme inhibitors in food*. Plenum Publishing. Nueva York, Estados Unidos. Pp 216-220.
- ³¹KOUZEH-KANANI, M.; VAN ZUILICHEM, D.; ROOZEN, J.; PILNIK, W. 1981. A modified procedure for low temperature infrared radiation of full fat soybeans. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie* 14: 242-244.
- ³²MURRAY, J. 1987. Unlocking new product opportunities with infra-red processing. In **2nd International Conference on designing and engineering new food plants**. Chicago, Illinois, Unit State. 8 pp.
- ³³KAANKUKA, F.; BALOGUN, T.; TEGBE, T. 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.
- ³⁴MONARI, S.; MATEOS, G.; GARCÍA, P.; MEDEL, P. 1996. **Utilización de la soja integral en alimentación animal**. 3^a ed. American Soybean Association. Bruselas. 44 pp.
- ³⁵HERKELMAN, K.; CROMWELL, G. 1990. Utilization of full-fat full fat soybeans by swine. *Feedstuffs*. 62: 13-16.
- ³⁶FRANK, G. 1988. How to improve the quality of fullfat soya beans and other legumes by hydrothermal treatment. *Feed Magazine* 11: 42-46.
- ³⁷KATIC, Z.; KRIZIC, N.; PLIESTIC, S.; TAJANA, K. 1996. Optimizing toasting process of full fat soya. En: **2nd International Fullfat Soya Conference**. ASA. Budapest, Hungria. pp: 90-98.
- ³⁸LESSIRE, M.; LECLERCQ, B.; CONAN, L. 1988. Variabilité de la valeur énergétique de la graine de soja traitée pour les volailles. *INRA Productions Animales*. 1: 265-270.
- ³⁹THOMASON, D. 1987. Review of processing systems for full-fat soy. En: **Full fat soya. A regional Conference. American Soybean Association**. Milán, Italia. Pp 114-122.
- ⁴⁰MOURA, M.; CAMARGO, J.; CASTRO JUNIOR, F.; GORNI, M. 1999. Soja grão para suínos. 1. Tempo ideal de tostagem. *Boletim de Indústria Animal*. 48: 155-159.
- ⁴¹QIN, G.; TER ELST, F.; BOSCH, M.; VAN DER POEL, A. 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.
- ⁴²SERRANO, X.; VILLALBI, E. 1999. **The extrusion cooking process in piglet feeding**. Nutritional implications. Homatge al Dr. F. Puchal. Univesidad Autònoma de Barcelona. Bellaterra, Barcelona. Pp 188-197.
- ⁴³WIJERATNE, J. 2000. The process of dry extrusion. *Feed Technology*. 4: 10-12.
- ⁴⁴YI, Z.; KORNEGAY, E.; RAVINDRAN, V.; LINDEMAN, M.; WILSON, J. 1996. Effectiveness of Natuphos phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in soybean meal-based semipurified diets for young pigs. *Journal of Animal Science*. **74: 1601-1611**.
- ⁴⁵ZOLLITSTCH, W.; WETSCHEREK, W.; LETTNER, F. 1993. Use of differently processed full-fat full fat soybeans in a diet for pig fattening. *Animal Feed Science and Technology*. 41: 237-246.
- ⁴⁶LESZCZYNSKI, D.; PIKUL, J.; EASTER, R.; MCKEITH, F.; MCLAREN, D.; NOVAKOFSKI, J.; BECHTEL, P.; JEWELL, D. 1992. Effect of feeding finishing pigs extruded full-fat full fat soybeans on performance and pork quality. *Journal of Animal Science*. 70: 2167-2174.
- ⁴⁷CANNON, J.; BECHTEL, P.; EASTER, R.; COOK, H.; MCKEITH, F.; LESZCZYNSKI, D. 1992. Effects of Diet Containing Extruded Full-Fat Full fat soybeans or Butter on the Growth,

Composition, and Sensory Characteristics of Pork.

Journal of Animal Science. 70: 3651-3856.

⁴⁸BAUZÁ R.; GONZÁLEZ, A.; SILVA, D.; CAPRA, G.; ECHENIQUE, A.; GROMPONE. M. 2007. Evaluación de la inclusión de grano de soja desactivado, afrechillo de arroz integral o suero de queso en la dieta de cerdos engorde. 1.- efecto sobre el comportamiento. En **IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos.** Volumen Especial 47 – 52.

⁴⁹CAPRA, G.; ECHENIQUE, A.; GROMPONE M.; BAUZÁ, R.; GONZÁLEZ, A.; SILVA D. 2007. Evaluación de la inclusión de grano de soja desactivado, afrechillo de arroz integral o suero de queso en la dieta de cerdos en engorde. 2- efecto en la calidad de la canal y la carne. Volumen Especial, en **IX Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos.** 53 – 59.

⁵⁰HTOO, J.; ARAIZA, B.; SAUER. W.; RADEMACHER, M.; ZHANG, Y.; CERVANTES, M.; ZIJLSTRA, T. 2007. Effect of dietary protein content on ileal amino acid digestibility, growth performance, and formation of microbial metabolites in ileal and cecal digesta of early-weaned pigs. **Journal of Animal Science.** 85: 3303-3312.

⁵¹VALENCIA, D.; SERRANO, M.; CENTENO, C.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. 2008. Pea protein as a substitute of soya bean protein in diets for young pigs: Effects on productivity and digestive traits. **Livestock Science.** 118: 1–10.

⁵²FARFÁN, C. 2014. Efecto del frijol de soya desactivado y un complejo enzimático en dietas para cerdos en crecimiento sobre el desempeño productivo y la temperatura rectal. Trabajo de Ascenso. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 71 p.