



Procesamiento del haba de soja

Gonzalo G. Mateos, María Ángeles Latorre y Rosa Lázaro
Departamento de Producción Animal, UP Madrid

Introducción

El tratamiento por calor es el método más utilizado para reducir los factores antinutritivos presentes en el haba de soja cruda y otras leguminosas. El mecanismo mediante el cual el calor inactiva los factores antinutricionales es la desnaturalización. Rackis *et al.* (1986) 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 haba. 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 haba (Kouzeh-Kanani *et al.*, 1981). De aquí, la necesidad de controlar las condiciones del proceso previo a la utilización de habas en los piensos.

Debido al costo el uso de ingredientes procesados por calor estuvo limitado durante años a piensos para acuicultura y animales de compañía. En los últimos años, numerosos proyectos de investigación han mostrado los efectos beneficiosos de las habas tratadas en vacuno, ovino, porcino, aves y otros animales domésticos. Ninguno de los métodos utilizados modifica de forma apreciable el análisis proximal del haba pero todos afectan al valor nutricional ya que liberan parte de la grasa y mejoran la disponibilidad de los aminoácidos. Las modificaciones introducidas en los modelos originales para reducir la inversión inicial y los costos en energía y en mantenimiento han sido constantes en los últimos años. Por ello, la información disponible sobre cada proceso es muy heterogénea, lo que crea confusión sobre las condiciones a aplicar para obtener habas de calidad (Barbi, 1996).

El objetivo común 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 haba expuesta, tamaño de partícula y tipo de energía utilizada) pero todas utilizan energía en forma de calor para inactivar los inhibidores de la tripsina y la quimiotripsina, las lipooxigenasas, las lectinas y la ureasa (De Schutter y Morris, 1990).

De una forma general los tratamientos se dividen en procesos cortos, donde se aplican altas temperaturas durante períodos cortos de tiempo (130 a 170 °C durante 10 a 180 seg) y procesos largos, donde la temperatura máxima apenas llega a los 105 °C pero el tiempo de exposición supera los 15-30 min. Qin *et al.* (1996) estudian la digestibilidad ileal de los nutrientes en lechones de 30 kg alimentados con piensos con 20% de habas cocidas variando el tiempo y la temperatura. Los autores indican que se precisa una cierta cantidad de energía que puede lograrse bien en base a altas temperaturas por períodos cortos de tiempo (134 °C durante 1,5 min) o con temperaturas más moderadas durante tiempos más prolongados (102 °C durante 40 min) para

inactivar los principios antinutricionales del haba (tabla 1). En este estudio se obtuvieron coeficientes de correlación significativos entre la digestibilidad ileal de los nutrientes y el contenido en lectinas e inhibidores de la tripsina de las habas (tabla 2). Así, se encontró una correlación negativa de 0,78, 0,93, 0,92 y 0,90 entre digestibilidad del nitrógeno y actividad de los inhibidores de la tripsina, índice de dispersibilidad de la proteína, actividad ureásica y contenido en lectinas, respectivamente. Ejemplos típicos de procesos cortos son el tostado en seco, el jet-sploding, el micronizado y la extrusión y de procesos largos el autoclave, el tostado por vapor en cascada y la cocción-expansión.

Una ventaja adicional del tratamiento del haba es que el proceso mejora la palatabilidad del producto final. El calentamiento desarrolla olores y sabores beneficiosos que aumentan el consumo de pienso del lechón y otros mamíferos domésticos (Murray, 1987). Parte de la mejora puede deberse a la inactivación de las lipoxigenasas presentes en el haba que favorece la calidad y la conservación del producto final (Kouzeh-Kanani *et al.*, 1982).

Los tres sistemas más conocidos para tratar el haba de soja son: 1) cocido, 2) tostado, que incluye los sistemas de tambor rotatorio (tromel), lecho fluidificado, cámara en cascada, micronizado, jet-sploder y microondas y 3) extrusionado en seco o en húmedo. Existen numerosas modificaciones de los procesos generales que hacen que en ocasiones unos y otros modelos se confundan entre sí (Barbi, 1996). La soja integral puede obtenerse en una planta extractora normal haciendo un by-pass del proceso de extracción del aceite por solventes (Thomason, 1987) o mediante la simple utilización de un expander con preacondicionado y temperaturas adecuadas. La discusión sobre cuál de estos métodos es mejor es compleja y la aplicación de programas teóricos para evaluar y comparar la eficacia entre sistemas es dudosa. Los puntos claves a considerar son: 1) condiciones físico-químicas del proceso, 2) especie destino del haba tratada y 3) costo del proceso en función del precio de máquinas y energía. A continuación se describen de forma somera los principales sistemas utilizados en la práctica para procesar habas de soja.

Cocción

Es un proceso relativamente sencillo y fácil de aplicar. Las habas crudas son remojadas en agua y cocidas entre 30 y 120 min. Posteriormente se secan de forma mecánica o extendidas sobre el suelo y se usan como alimento bien enteras, bien molidas o aplastadas. Es el método utilizado de forma ancestral por los productores locales de soja.

Kaankuka *et al.* (1996) estudian el tiempo óptimo de cocción de habas sometidas a 100 °C en una olla y secadas al sol y determinan la digestibilidad de los principales

nutrientes en lechones de 9 kg de peso vivo que consumían dietas con un 37% de estas habas. La actividad antitripsica se redujo y la digestibilidad de los nutrientes, especialmente del nitrógeno, aumentó de forma progresiva con la duración del proceso. Habas procesadas durante 30 min dieron resultados similares a la harina de soja comercial utilizada como control, pero 25 min de cocción no fueron suficientes (tabla 3).

Autoclave

Tal y como se describe, el proceso de cocción es ineficiente y poco flexible pero existen numerosas variantes que lo mejoran. El autoclave consiste en cocer el haba aplicando vapor caliente a presión y ha sido el método más utilizado a nivel de centros de investigación, por lo que existe mucha información sobre el mismo (Monari *et al.*, 1996). Sin embargo, 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 de habas) variaban entre laboratorios y no siempre eran las más adecuadas para conseguir un producto de calidad por lo que la aplicación práctica de muchos de los resultados publicados en los años sesenta es cuestionable.

Kratzer *et al.* (1990) estudian el efecto de la duración del autoclave de harina de soja sometida a 121 °C sobre los factores antinutricionales, la solubilidad de la proteína y los índices de conversión en pollos, obteniendo los mejores resultados con 24 min de exposición. Sin embargo, en este trabajo la siguiente duración estudiada fue de 60 min y la anterior fue de 12 min, lo que no permite hacer recomendaciones tajantes (tabla 4). Herkelman *et al.* (1991) muelen las semillas de soja 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 indican que se precisan 30 min para reducir la actividad ureásica (< 0,20 unidades de pH) y los inhibidores de la tripsina (< 5 mg/g) a niveles aceptables (tabla 5). La mejor productividad en pollos que consumían dietas con 37% de estas habas se obtenía con 40 min de tratamiento.

Anderson-Hafermann *et al.* (1992) procesan habas en un autoclave de laboratorio a 121 °C y 124 kPa durante 0 a 18 min en incrementos de 3 min. Observan que la actividad ureásica, el contenido en inhibidores de la tripsina del haba y el peso del páncreas de pollitos de 17 d se reducen de forma lineal con la aplicación de calor. Los autores formulan dietas con 62% de esas habas y observan que los crecimientos e índices de conversión mejoraban con la duración del tratamiento (tabla 6). El autoclave por 15 min fue suficiente para lograr resultados productivos similares a los obtenidos con harina de soja a pesar de la presencia de mayor cantidad de inhibidores de la tripsina en el haba que en la harina (1.169 vs 268 unidades/g muestra). Yin *et al.* (1993) estudian 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. Al aumentar el tiempo de permanencia hasta 25 min, los factores antitripsicos siguieron disminuyendo (1,5 mg/g) pero también lo hizo la disponibilidad de la lisina (tabla 7). Herkelman *et al.* (1991) obtienen óptimos resultados en pollos alimentados con habas que se mantuvieron a 121 °C durante 30 a 40 min aunque ni las habas ni el proceso fueron idénticos al ensayo anterior (por ejemplo la presión aplicada fue diferente).

Reactor hidrotérmico

El método consiste básicamente en tratar el haba 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 limpia y troceado del material original mediante un molino rompedor de estrías. La molienda es más grosera cuando el haba va destinada a rumiantes (3 trozos/semilla) que cuando va para monogástricos (8/12 trozos/semilla, equivalente a una criba ≤ 4 mm). A continuación el haba 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 ± 2 °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 ± 3 °C con agitación continua. La temperatura sube hasta $95-100 \pm 3$ °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 $85-90 \pm 3$ °C, respectivamente. La cocción dura unos 45 min y el haba 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 seg 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% (Frank, 1988). En la figura 1 se ofrece el diagrama de procesado del haba de soja mediante reactor hidrotérmico modelo Amandus Kahl.

En este sistema es importante la homogeneidad del producto inicial, por lo que se aconseja utilizar un molino de estrías o rodillos en lugar de uno de martillos a pesar de su mayor costo. El troceado con martillos suele realizarse con tamices de 6 a 8 mm en función del tamaño de las habas, pero siempre se producen finos, difíciles de manejar y un porcentaje variable de habas enteras que precisan ser recicladas. Dado que el tratamiento para finos y habas es común, las partículas pequeñas corren el riesgo de ser tratadas en exceso mientras que las groseras quedarán crudas en su interior.

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 de los cereales y sistemas con aplicación de calor húmedo. 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 utilizado (Katic *et al.*, 1996). En su forma más simple consiste en la aplicación directa e intensa de calor seco (torrefacción) durante un tiempo en torno a los 20 seg (Lessire *et al.*, 1988). Se recomienda que la temperatura de las habas 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 rumen (Thomason, 1987). El proceso reduce la humedad inicial del haba 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 sobreprocesado. Así, es importante clasificar las habas por tamaño previo al tostado a fin de evitar el sobrecalentamiento de las más pequeñas.

Moura *et al.* (1991) estudian el tiempo óptimo de tostado con calor húmedo de habas de soja sometidas 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 (tabla 8). Qin *et al.* (1996) encuentran resultados similares en lechones con habas tostadas a 102 °C durante 40 min que a 134 °C durante tan sólo 90 seg.

Los sistemas para la alimentación animal en Holanda y Estados Unidos utilizan fuel o gas-oil y aplican vapor en lugar de calor seco (Waaijenbergh, 1987 y 1996). El tostado bien realizado permite obtener productos de calidad a un costo energético reducido debido a su alta capacidad de producción. El esquema del proceso tal y como se realiza en los Países Bajos se detalla en la figura 2. Las habas se limpian y molturan con un molino de rodillos y a continuación se procesan con vapor caliente a 110 a 130 °C durante unos 30 min (Lessire *et al.*, 1988). 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 monogástricos.

Tambor rotatorio

El proceso aplica calor de forma directa o mediante vapor (Bates, 1994). El modelo original usaba una llama directa a través de la cual pasaba el producto según rotaba el tambor. El tostador es un cilindro o tromel situado en el interior de una cámara, con un motor que le obliga a rotar y que regula a su vez la entrada y salida de las habas. Las semillas permanecen en la cámara entre 2 y 5 min y el calor producido por la llama de gas eleva la temperatura y reduce la humedad. Las habas alcanzan una temperatura a la salida de entre 110 y 130 °C (Marty y Chavez, 1993). Uno de los problemas del sistema original era la falta de homogeneidad del tratamiento sobre las habas, lo que producía pérdidas de productividad en el animal que las consumía.

Ordóñez y Palencia (1998) procesan en seco habas de soja mediante un tostado (Termal Processori Mario Tovar & Arturo Watemberg, Barranquilla, Colombia) a 113, 120, 130, 135 y 150 °C. En esta máquina el tiempo de residencia se ajusta modificando la inclinación del cilindro en función de la temperatura deseada. Los tiempos de permanencia fueron 3,0, 4,5, 6,5, 7,0 y 9,5 min, respectivamente. La actividad inhibidora de la tripsina se redujo desde 56.300 unidades/g en el caso del haba cruda hasta 8.850 en las habas calentadas en seco durante 113 °C y por debajo de 5.000 en el resto de tratamientos. Asimismo, la solubilidad en KOH de la proteína se redujo desde 94% en habas crudas hasta un 79% en habas calentadas a 135 °C. Temperaturas de 150 °C durante 9,5 min redujeron la solubilidad al 69%. Los pesos vivos en pollos a 42 d de edd fueron similares para temperaturas de entre 120 y 150 °C y superiores a los obtenidos con habas crudas o tostadas a 113 °C (1,12^c, 1,80^b, 1,97^a, 2,03^a, 1,95^b y 1,94^b, para las habas crudas y procesadas a 113, 120, 130, 135 y 150 °C, respectivamente). Los autores recomiendan no sobrepasar 130 °C durante 6,5 min en este tipo de máquinas.

Tostador de lecho fluidificado

Las tecnologías más modernas de tostado utilizan el sistema de “lecho o cama fluidificada” (fluidized bed) basado en la aplicación controlada (tiempo y temperatura) de aire supercalentado y presurizado que pasa a través de las habas. El sistema utiliza lechos de aire, sílice, sal o cualquier material capaz de transferir calor al contacto con el haba. Dispone de un quemador de llama que calienta el aire y de un transportador superior por donde pasa el producto a tratar. El aire supercalentado tiende a subir y en su camino calienta las habas situadas en una cinta transportadora utilizando exclusivamente la humedad propia. Posteriormente, este aire pasa a un ciclón para su reciclaje tras secado y calentamiento (Ferket y Jones, 1992; Barbi, 1996). La principal diferencia con respecto al tambor rotatorio es que la llama nunca toca el haba. El proceso permite trabajar con habas molturadas con lo que la temperatura aplicada se reduce en unos 6 °C con respecto a los procesos clásicos, mejorando así la calidad del producto (Bates, 1994). El sistema cuenta con un acondicionador posterior donde el

haba calentada permanece en reposo durante 20 min. La misma máquina puede utilizarse para producir habas para avicultura (110 a 125 °C) o para rumiantes (140 a 145 °C) siendo la principal diferencia el mayor porcentaje de proteína no degradable con las temperaturas más elevadas.

Osella *et al.* (1997) investigaron los efectos de la humedad inicial, la duración y la temperatura del aire aplicado sobre la actividad antitripsica de las habas. No observaron reducción de los factores antitripsicos con temperaturas de 100 a 110 °C a humedad ambiental. Sin embargo, al aumentar la humedad al 17,5 ó 23,5% y la temperatura a 120-140 °C, la inactivación fue satisfactoria sin que se detectaran pérdidas en la disponibilidad de la lisina.

Ferret y Jones (1992) describen una variante de este sistema en el que se inyecta aire calentado a 150 ± 5 °C bajo presión en una cámara inferior, pasando posteriormente a la cámara superior a través de pequeños orificios del techo. Aquí, las habas previamente molidas quedan suspendidas en corrientes de aire caliente en movimiento, siguiendo la cinética de los fluidos. Al no existir contacto directo entre el producto y la fuente de calor y mantenerse una velocidad adecuada del aire, se impide la formación de mezclas de aire y polvo, minimizándose el riesgo de fuego o de explosiones. El método asegura la penetración rápida del calor en el interior de los trozos de haba y mejora la homogeneidad del tratamiento en comparación con los sistemas clásicos de tostado. En cualquier caso, se precisa la creación de turbulencias y movimientos del aire caliente adecuados por lo que el diseño de las máquinas es esencial. Bates (1991) indica que este sistema basado en corrientes de aire supercalentado logra resultados similares a los de la extrusión por vía seca o húmeda en pollos de engorde (tabla 9).

Jet-sploding

Es una técnica de calor seco en el que las habas pasan a través de una corriente de aire precalentada (140 a 315 °C) en vez de ser expuestas directamente a la llama. Como consecuencia del calor las moléculas vibran, el agua intracelular cuece y el grano se calienta de dentro hacia afuera alcanzando en su interior temperaturas de 90 a 95 °C (De Schutter y Morris, 1990). Las semillas se hinchan y explotan, produciendo el característico “popping” (tipo palomita en el caso del maíz). El tiempo de exposición depende de la temperatura del aire y puede ser de tan sólo 26 seg (aire a 316 °C; Thomason, 1987) hasta 60 a 80 seg para temperaturas inferiores. A la salida de la máquina se alcanza una temperatura de 150 a 165 °C. Normalmente, tras el calentamiento, las habas pasan por un molino de rodillos, para fijar el proceso y facilitar la liberación de la grasa intracelular (Marty y Chavez, 1993).

Micronización

Es un proceso de calor seco que utiliza calor radiante como fuente de energía. Los modelos de carácter continuo se desarrollaron en los años sesenta y se basan en el calentamiento de baterías de piezas de cerámica mediante quemadores de gas o acoplados eléctricos. Cuando las placas alcanzan una cierta temperatura emiten infrarrojos, que son radiaciones de mayor frecuencia que las microondas (700 a 1.200 millones de megaciclos por segundo) que viajan a la velocidad de la luz y que pasan sin problemas a través de superficies transparentes. Las radiaciones son extremadamente eficientes en calentar el interior de materiales absorbentes y penetran en el haba provocando una intensa vibración molecular, lo que origina un aumento rápido de la temperatura interna y de la presión de vapor del agua. Estos cambios, junto a las altas temperaturas, hacen que el grano se vuelve blando y túrgido y producen la ruptura de las células y la inactivación de los factores antinutricionales que contienen (Murray, 1987; Fellows, 1988).

Los componentes fundamentales de una planta de micronización son los silos de maceración y de alimentación, la batería de quemadores de gas con chimenea y placas de cerámica bajo la que se sitúa el transportador, los cilindros acanalados para el aplastamiento de los granos y el enfriador. Previo al proceso las habas enteras se maceran en agua para lograr su hinchamiento para lo que se dejan en reposo durante 24-36 horas hasta alcanzar una humedad relativa del 18 al 19%. A continuación pasan al horno, donde se alcanza una temperatura en la superficie externa superior a 140 °C. Las semillas avanzan girando desde el silo de alimentación hasta los rodillos gracias a los vibradores existentes en la cinta transportadora y durante 50 a 90 seg quedan expuestas de forma homogénea al calentamiento por infrarrojos. La intensidad del proceso se regula variando la altura de los generadores de infrarrojos, el ritmo de aprovisionamiento de habas, el consumo de gas y la inclinación del transportador.

Tras el calentamiento, las habas permanecen entre 10 y 30 min en un tanque de maduración o reposo donde se completa el cocido aprovechando el calor residual. Posteriormente pasan a través de dos cilindros metálicos acanalados en su superficie externa para fijar el proceso previo a su paso por una cinta de enfriamiento (Murray, 1996). El laminado es una operación crítica ya que rompe las células y libera el aceite que empapa la masa sin chorrear al exterior. A continuación el haba se muele quedando lista para su utilización en piensos. El método de micronización es de uso común en Inglaterra (Gas fired micronizer) existiendo también algunas instalaciones en España. La producción en operaciones industriales está en torno a 1 a 3 t/h. Análisis típicos de muestras comerciales muestran que la micronización reduce las unidades de actividad ureásica de 8.000 a 6/g y los inhibidores de tripsina de 43 a 5 mg/g. A las 4 sem de almacenamiento, el porcentaje de ácidos grasos libres y el índice de peróxidos está en torno a 0,64 y 0,87 y a 0 y 1,31 en muestras micronizadas y crudas, respectivamente (Micronizing Company, 1988).

Existen numerosas ensayos que comparan la micronización con otros procesos del haba o con la combinación de cantidades equivalentes de harina y aceite de soja. En los trabajos iniciales los resultados favorecían a la combinación harina más aceite pero no así en las publicaciones más recientes. Así, Faber y Zimmerman (1973) observaron peor digestibilidad de la proteína y la energía en lechones con habas micronizadas (3 min y temperatura de salida de 115 a 127 °C) que con habas extrusionadas (temperatura de salida de 138 °C) o con harina de soja. Datos similares en cuanto a crecimientos e índices de conversión han sido publicados por Marty *et al.* (1994). Cerdos alimentados con habas micronizadas durante 90 seg tuvieron crecimientos e índices de conversión similares a cerdos alimentados con habas tostadas (575 vs 565 g/d y 2,63 vs 2,71 g/g, respectivamente) pero ligeramente inferiores a los alimentados con harina de soja o habas extrusionadas (640 y 640 g/d y 2,28 y 2,35 g/g de índices de conversión, respectivamente). Estos autores no encontraron diferencias en cuanto a la digestibilidad ileal real entre tratamientos para ninguno de los aminoácidos esenciales estudiados.

La cantidad de calor que recibe el haba y por tanto su calidad, depende no sólo de las condiciones de temperatura, tiempo y presión utilizadas sino también de la velocidad del proceso de enfriado. Al aumentar la estancia de las habas en el tanque de reposo, previo al enfriado se reduce el contenido en inhibidores de la tripsina pero la estabilidad del aceite puede verse comprometida. En la tabla 10 se ofrecen datos de Kouzeh-Kanani *et al.* (1981) sobre la influencia de la micronización sobre la calidad del haba. Un tratamiento de 133 °C durante 80 seg es insuficiente a no ser que las habas permanezcan tras el proceso en un tanque de reposo al menos durante 15 min. Tratamientos severos (133 °C durante 80 seg y 25 min de permanencia en los tanques de reposo) reducen la disponibilidad de la lisina (1,9 vs 2,3% sobre MS). El procesado más conveniente en base a consideraciones económicas y técnicas correspondió a 124 °C durante 60 seg y 15 min de reposo. La micronización a 124 °C durante 60 seg seguido de un reposo de 15 min inactiva la lipoxigenasa lo que permite mantener bajo control los peróxidos del aceite (tabla 11).

Datos recopilados por Murray (1996) sobre el efecto del micronizado sobre los valores analíticos del haba y el rendimiento productivo de broilers se ofrecen en la tabla 12. Un micronizado correcto redujo los niveles de ureasa y de inhibidores de la tripsina a valores aceptables. Los pollos alimentados con estas habas tuvieron un peso vivo y un índice de conversión similar a los pollos alimentados con un haba comercial (2,26 vs 2,25 kg y 1,85 vs 1,88 g/g, respectivamente) y mejores que los obtenidos con pollos que recibieron habas crudas (2,08 kg y 1,99 g/g, respectivamente). Resultados igualmente positivos con soja micronizada han sido presentados por Zarkadas y Wiseman (2000) en lechones de 10 a 27 kg de peso vivo.

Los datos disponibles indican que la micronización seguido de reposo mejora la calidad de las habas comerciales con resultados productivos similares a los obtenidos

con otros procesos y muy superiores a los obtenidos con habas crudas. No existen datos concretos en tablas de composición de alimentos sobre el contenido en energía y la disponibilidad de los aminoácidos de habas micronizadas en relación con habas procesadas por otros sistemas. En general se aceptan para habas micronizadas valores similares a los de habas tostadas por vapor.

Microondas

Es un sistema relativamente moderno basado en la utilización de ondas de longitud entre 0,1 y 100 cm. La energía proporcionada es absorbida por el agua interior y por las moléculas polares del haba, produciéndose fricción y el calentamiento de la semilla. El sistema comercial utiliza un transportador con velocidad variable situado dentro de un túnel aislado (Clarke y Wiseman, 2000).

No existen muchos datos en la literatura sobre la bondad de este proceso. Hafez *et al.* (1983) estudian la influencia de la duración del tratamiento sobre el contenido en factores nutricionales del haba y los parámetros productivos en pollos (tabla 13). Los mejores resultados se obtuvieron con nueve minutos mientras que tiempos superiores aumentaron las reacciones de Maillard y empeoraron los índices de conversión. Yoshida y Kajimoto (1988) demostraron que sólo se necesitaban 4 min de microondas a 2.450 MH para reducir a niveles aceptables los factores antinutricionales de habas con un 24% de humedad.

Xian y Farrell (1991) comparan el valor nutricional de habas calentadas por microondas, extrusionadas en seco o crudas con harina de soja en ratas (tabla 14). Las habas procesadas se comportaron mejor que las habas crudas sin que se detectaran diferencias entre procesos. Lessire *et al.* (1988) en una recopilación de estudios realizados en Francia con aves encuentran que habas tratadas por microondas y posteriormente granuladas mostraban valores energéticos ligeramente inferiores a los de habas extrusionadas en seco y superiores a los de habas crudas (3.883, 4.125 y 3.620 kcal EM verdadera/kg MS para microondas, extrusión en seco y haba cruda, respectivamente). No se dispone de información adicional para otros animales domésticos, pero de los datos existentes es razonable pensar que en monogástricos la duración del proceso debe estar en torno a los 6-7 min con una humedad inicial del haba alrededor del 25 al 30%.

Extrusión

La base del proceso es la aplicación de altas temperaturas (140 a 170 °C) durante periodos reducidos de tiempo (menos de 90 seg). El haba molida 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 final. Serrano y Villalbí (1999) destacan los siguientes:

- Tamaño inicial de la partícula del haba.
- 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.
- 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 haba molida 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 seg alcanzándose temperaturas en torno a 120-165 °C en función de la máquina utilizada (Perilla *et al.*, 1997; Wijeratne, 2000). 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 preacondicionado previo adicionando humedad. En las granjas de Estados Unidos la extrusión seca era más popular que la húmeda por su menor costo y se utilizó para el tratamiento *in situ* del haba de producción propia (Wijeratne, 2000). La capacidad varía desde pocos cientos de kilos hasta varias toneladas por hora en función del tamaño y del uso o no de preacondicionado (Said, 1995).

Una planta típica de extrusión en húmedo consta de un tamizador o limpiador de semillas, un preacondicionador, 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. Es recomendable que la molienda inicial del haba se realice con criba fina (a ser posible de 1 mm) a fin de asegurar la homogeneidad de las partículas. En el preacondicionado se añade vapor de agua hasta que la masa alcanza un 24-28% de humedad y 80-90 °C de temperatura. La sección del eje del extrusor varía en función del tramo considerado, a fin de favorecer la mezcla, la homogeneización y la aplicación de presiones elevadas a la masa. 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 permaneciendo embebido dentro de la masa. A continuación, el haba 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; Thomason, 1987) y es más efectivo en cuanto a la desnaturalización de los factores antinutricionales (Harper, 1978).

Myer y Froseth (1983) comparan la extrusión seca a 135 °C y tiempo de estancia de 16 seg (Insta-pro, Modelo 2000) con la extrusión húmeda añadiendo 2-8% de agua en la cámara. Observan que la extrusión húmeda reduce los factores antitripsicos más efectivamente que la seca (3 vs 26 unidades/mg proteína) lo que resultó en una mejora de los resultados productivos en cerdos. En este trabajo, realizado hace más de 20 años, llama la atención los resultados equívocos obtenidos al extrusionar en seco el haba; en un primer ensayo el tratamiento redujo los factores antitripsicos de 261 a 26 unidades/mg proteína mientras que en el segundo la reducción fue mucho menor (193 a 53 unidades). Resultados similares se obtuvieron con la actividad de las hemoaglutininas (tabla 15).

Leeson y Atteh (1996) extrusionan (Brabender, modelo 2003 de laboratorio) habas enteras o molidas a 80, 100, 120 ó 140 °C e incorporan un 30% de las mismas en dietas para broilers de 0 a 21 d de edad. El tratamiento redujo la concentración de factores antitripsicos desde 58,7 en las habas crudas a 14,8 en las habas extrusionadas a 100 °C y a 8,4 mg/g en las habas extrusionadas a 140 °C pero no se observaron diferencias debido a la molienda inicial (12,9 vs 12,4 mg/g en habas enteras y molidas, respectivamente). El contenido energético de la dieta aumentó con la temperatura del tratamiento del haba (3.156 para 80 °C, 3.190 para 100 °C, 3.203 para 120 °C y 3.226 kcal/kg EMAn para habas tratadas a 140 °C) pero los autores no estimaron a partir de estos datos el valor energético del haba. La extrusión a 140 °C mejoró el consumo ($P < 0,05$) pero no los resultados productivos (ganancia de peso, índices de conversión y mortalidad) con respecto a las habas tratadas a temperaturas inferiores. En base a estos resultados los autores recomiendan extrusionar las habas enteras a más de 140 °C (tabla 16).

Perilla *et al.* (1997) estudian la influencia de la temperatura del proceso de extrusión en húmedo sobre los factores antinutricionales del haba y la productividad en pollos. La máquina utilizada fue un extrusor Anderson y el tiempo de residencia medio fue de 20 seg. Los autores indican que la temperatura óptima para esta máquina era de 122 a 126 °C, muy cercana a la recomendada por el proveedor.

Clarke y Wiseman (1999) estudiaron la influencia de la temperatura y de la humedad del proceso de extrusión sobre la calidad de las habas tanto a nivel de laboratorio como en pollos en crecimiento. Para ello utilizaron una extrusionadora Clextal de doble tornillo y habas molidas a 5 mm. La humedad añadida en el proceso varió entre 0 y 24% y la temperatura a la salida del tubo extrusionador entre 70 y 150 °C. La actividad antitripsina se redujo al aumentar la humedad y la temperatura del proceso. Las habas extrusionadas sólo con su propia humedad (11%), mostraron mayor actividad antitripsina residual que las extrusionadas añadiendo un 14 ó 24% de humedad extra. De hecho, la actividad antitripsina de las habas extrusionadas a 70 °C y sin humedad añadida fue similar a la de habas crudas (35 vs 37,5 mg/g de habas), mientras que temperaturas superiores a 115 °C dieron valores aceptables en todas las muestras (< 5 mg/g). Los autores concluyen que temperaturas de 130 a 160 °C con humedades del 11 al 35% son suficientes para lograr habas de calidad. Los valores de actividad antitripsina en mg/g encontrados en este ensayo cuando se añadía un 15% de agua a las habas fueron 23 para 70 °C, 15 para 90 °C, 6 para 110 °C y 3 mg/g para 130 y 150 °C (tabla 17). El consumo de habas incorrectamente procesadas aumentó el peso del páncreas y redujo los pesos vivos de forma significativa. Los mejores resultados productivos en pollos se obtuvieron con habas que alcanzaron un temperatura a la salida del extrusor de 150 °C (tabla 18). En un trabajo posterior Zarkadas y Wiseman (2000) extrusionan habas a temperaturas entre 70 y 150 °C y las suministran a lechones de 10 a 27 kg. Observan que los mejores resultados productivos se obtienen con niveles de inhibidores de la tripsina de las habas inferiores a 5 mg/g lo que correspondió a un ingesta inferior a 1,5 mg/d. Estos valores sólo se conseguían con temperaturas en el extrusor superiores a los 110 °C. Vandergrift (1985) recomienda que la temperatura de salida del extrusor debe estar en torno a 140 °C para asegurar la destrucción de los factores antitripsínicos.

En la tabla 19 se muestran datos de Lessire *et al.* (1988) sobre la influencia del procesado sobre el contenido en factores antitripsínicos y en energía metabolizable del haba de soja en aves. Todos los tratamientos redujeron el contenido en inhibidores de la tripsina por debajo de 8 unidades/mg (valores entre 51 y 53 unidades/mg para el haba cruda) y mejoraron el valor energético del haba. De todos los procesos testados, los mayores valores de metabolibilidad de la energía (relación energía metabolizable verdadera : energía bruta) se obtuvieron con la doble extrusión, seguido de la extrusión en seco, las microondas, el tostado y el jet-sploding. La granulación del pienso tendió a mejorar la metabolibilidad de la energía del haba tostada.

La fricción producida por el cizallamiento conjuntamente con la extrusión es un proceso muy efectivo para mejorar el valor energético del haba en monogástricos ya que rompe la estructura celular de los cotiledones y consecuentemente libera casi por completo la grasa contenida en las esferosomas haciéndola más disponible para el animal. El tostado por aplicación directa de calor al haba entera no libera la grasa, por lo que su valor energético será posiblemente inferior a la del haba extrusionada en monogástricos. En el caso de los rumiantes, la grasa de naturaleza intracelular o embebida dentro de la matriz proteica, se liberará al medio más lentamente que el aceite libre, reduciéndose los efectos negativos sobre los microorganismos del rumen. Por contra, un exceso de aceite libre aportado directamente perjudica el funcionamiento del rumen y reduce de forma indirecta la eficacia de utilización de la energía.

El tratamiento mecánico modifica la estructura y la solubilidad de la fracción fibra facilitando el acceso y la acción de los enzimas endógenos digestivos y de los enzimas exógenos producidos por los microorganismos del tubo digestivo o adicionados con la dieta, lo que puede influir en la disponibilidad de la fracción proteica del haba. El uso de enzimas exógenos es una práctica común en dietas para monogástricos, especialmente en aves y porcino. Es posible que el tratamiento térmico del haba facilite la acción de los enzimas endógenos y exógenos y mejore el aprovechamiento de la energía y la proteína contenida en el haba. Así, Marsman *et al.* (1997a) estudian *in vitro* la adición de proteasas y carbohidrasas al cultivo sobre la solubilidad de la proteína de una muestra de soja tostada o extrusionada (tabla 20). Observaron que el porcentaje de proteína liberada fue superior con el haba extrusionada que con el haba tostada, y que el efecto fue más acusado cuando se utilizó la proteasa.

Existen numerosos modelos de extrusión en el mercado. Hay extrusores con un solo tornillo sin fin en el cilindro y otros con dobles tornillos. La mayoría de los extrusores usados para alimentación animal en los Estados Unidos son de un solo tornillo, mientras que para alimentación humana y de animales de compañía se utilizan cuerpos de dos tornillos de mayor inversión inicial pero más versátiles y que mejoran la apariencia, la textura y la calidad del producto (Lusas, 1995). Últimamente algunas empresas han implantado un proceso de doble extrusión a fin de mejorar la versatilidad y las características del producto final. La tendencia actual es aumentar la producción por instalación y reducir el costo energético lo que se consigue mejorando el preacondicionamiento del producto inicial, la homogeneidad de la mezcla y la relación longitud:diámetro del tubo del extrusor. El procesado en húmedo consigue en general mayores rendimientos, mejor control, menores costes energéticos y de piezas de recambio y un producto final más homogéneo que la extrusión seca, a pesar de que sea preciso secar el producto final. Por el contrario el desembolso inicial es mayor.

Expansión

El proceso consiste en acondicionar y tratar mediante presión y vapor caliente un producto dado. El diseño del expander es similar al de un extrusor y ha sido utilizado por la industria del aceite durante muchos años a fin de aumentar la capacidad de producción, mejorar el rendimiento en aceite y reducir las pérdidas de hexano (Pipa y Frank, 1989). La mayor diferencia con respecto al extrusor es que el tratamiento es menos enérgico y que a la salida no hay una matriz sino una válvula cónica de descarga. El proceso puede aplicarse directamente a un pienso o a un ingrediente pero a menudo forma parte de un sistema más complejo donde la materia prima se expande después de la cocción.

Los principales componentes del expander son: el alimentador, el preacondicionador, el tubo hueco con los pernos y las válvulas inyectoras de vapor, el cono con sistema hidráulico que regula la presión y el eje del expander en el interior del tubo guía movido por un motor. El haba se muele, se preacondiciona y a continuación circula mediante un tornillo sinfín a lo largo del cilindro. La harina pasa a presión por el cuerpo soporte elevándose la temperatura por efecto de la fricción y la adición de vapor caliente. En el momento de salir se produce la “expansión” del producto como consecuencia de la evaporación brusca de agua por la caída de la presión. El tiempo de permanencia y la temperatura en el interior del expander es de 5 a 10 seg y entre 100 y 125 °C pero se reduce rápidamente a unos 90 °C una vez fuera de la máquina. Al final del proceso la masa pasa a un secador/enfriador horizontal durante 10 min con lo que la temperatura se reduce a 20-24 °C en función de la temperatura ambiental.

Es posible obtener un haba tratada de calidad mediante el uso exclusivo del expander. En un ensayo reciente (Navarro *et al.*, 2001) se comparó el rendimiento productivo de pollos broilers alimentados con dietas basadas en aceite y harina de soja o con un 20% de habas expandidas. El haba se procesó con una máquina Desmet (dotada con una matriz en lugar de válvula cónica de descarga a la salida de la máquina) y aunque los autores no indican las condiciones del proceso informan que el producto final tenía un 91,2% de solubilidad de la proteína en KOH, un 0,06 de actividad ureásica y un contenido de inhibidores de la tripsina de 3,6 mg/g, mientras que los valores para la harina de soja 48% utilizada como control fueron 85,5%, 0,19 unidades y 2,5 mg/g, respectivamente. A 49 d de edad no se detectaron diferencias entre tratamientos. Los pollos alimentados con habas expandidas pesaron 2.621 g y tuvieron un índice de conversión de 1,938 por 2.617 g y 1,988 g/g de los pollos controles ($P > 0,05$).

El uso exclusivo de la expansión exige un proceso muy minucioso a fin de asegurar el tratamiento correcto y uniforme del haba. En primer lugar es importante que la molienda sea homogénea, por lo que es más aconsejable el uso de molinos de rodillos

que el de martillos. En segundo lugar debe realizarse un preacondicionado previo de las habas de 10 min a 100 °C. Por último la temperatura aplicada debe estar en torno a los 130 °C durante 20 seg. Temperaturas de 130 °C durante tiempos prolongados dañan la calidad de la proteína, especialmente la disponibilidad de la lisina. En la tabla 21 se ofrecen datos obtenidos en la Universidad de Göttingen a este particular (Amandus Kahl, 2000). El tratamiento del haba redujo la ureasa y los inhibidores de tripsina a niveles aceptables excepto cuando la temperatura aplicada fue de 90 en vez de 100 °C y la permanencia del haba en el preacondicionador fue de sólo 20 seg (tratamiento D). Por el contrario un acondicionado de 100 °C durante 10 min seguido de expansión a 120 °C y 20 Kwh/t (tratamiento B) dio resultados similares a los obtenidos acondicionando a 100 °C durante 40 min (tratamiento A).

En la tabla 22 se comparan las características del sistema tradicional de tostado en cascada utilizado en Holanda y el nuevo modelo de expansión propuesto para el haba de soja (Van Zuilichem *et al.*, 1996; Gilbert, 1998). Estos investigadores utilizan un expander (Almex ALI50) con inyección de vapor a presión en el acondicionador previo al proceso seguido de una prensa de granulación. Datos de los autores anteriores sobre la influencia de las características del proceso de expansión (acondicionado y temperatura del expander entre otros) sobre el contenido en factores antitripsicos y la calidad de la proteína del producto final se detallan en la tabla 23.

Otros métodos

Otros sistemas en estudio pero de escasa utilización práctica para procesar las habas son la irradiación gamma y la utilización de radiofrecuencias. Farag (1998) irradia habas de soja con 5, 15, 30 y 60 kGy y mide la actividad de la ureasa, de los factores antitripsicos, de las hemoaglutinas y la disponibilidad de la lisina y observa una reducción de la actividad antitripsica desde 35,9 para el haba cruda hasta 9,9 unidades/g para el haba procesadas a 60 kGy (tabla 24). Asimismo, la radicación gamma redujo la actividad de las hemoaglutinas en un 93,8% y aumentó la eficacia proteica (23,0, 41,5, 74,6 y 95,7% para 5, 15, 30 y 60 kGy, respectivamente) pero la disponibilidad de la lisina se redujo ligeramente pero no de una forma significativa ($P > 0,05$). Se concluye que para reducir los factores antitripsicos a niveles aceptables (4 a 4,5 unidades/g) se precisan dosis superiores a las testadas y que faltan estudios sobre los efectos de irradiaciones superiores a 60 kGy sobre la disponibilidad de la lisina de las habas (Clarke y Wiseman, 2000).

El efecto de la radiofrecuencia o calentamiento dieléctrico en la desactivación de los factores antinutricionales de la soja se conoce desde 1972. El proceso se realiza a 120 °C y consigue reducir los factores antitripsicos a menos del 10% del valor original. Es un proceso en desarrollo sin utilización práctica actual (Mikle, 1997).

Existen otros métodos no ligados a la aplicación del calor que mejoran el valor nutricional de las habas. Entre ellos destacamos el descascarado (Fedna, 2001), la adición de enzimas (Marsman *et al.*, 1997a y b), la reducción del nivel de oligosacáridos (Parsons *et al.*, 2000) y la reducción del contenido en factores de Kunitz y otros principios antinutricionales mediante mejora genética (Anderson-Hafermann *et al.*, 1992). El descascarado reduce el nivel de fibra del haba y por tanto aumenta de forma proporcional el contenido en el resto de nutrientes. La mejora obtenida depende de la eficacia del método utilizado para separar la cascarilla. La suplementación con enzimas exógenas, bien sean fitasas, proteasas, oligosacaridasas o carbohidrasas mejora el valor nutricional de las habas en función del tipo de enzima añadida. La eliminación de polisacáridos no amiláceos tipo estaquiosa y rafinosa aumenta la digestibilidad de la materia orgánica y reduce los problemas de heces pastosas. La reducción del contenido en factores de Kunitz mediante mejora genética aumenta el valor nutricional de las habas crudas pero no hasta el punto de hacer innecesario el calentamiento. Todas estas técnicas son estudiadas con más detalles en sus capítulos correspondientes.

La mayor parte de la soja integral disponible en España y Portugal procede de extractoras que procesan por extrusión aunque a menudo también se utiliza el tostado. En general, la línea de soja integral es un “apéndice” de la línea principal de procesado y se nutre de la preparación de grano para extracción. Así, si la planta de extracción está haciendo un ligero descascarado en cabeza (porque la semilla es pobre en proteína o por cualquier otra razón) la línea de soja integral se beneficiará de ello. En cualquier caso el descascarado no modifica el resto del proceso. Independientemente del tratamiento térmico, todas las plantas realizan una preparación similar que consiste en:

- 1) Limpieza y secado de la semilla: se emplean cribas dobles que separan finos y materias extrañas de gran tamaño (vainas, palos y otros) e imanes que eliminan productos metálicos. A continuación, de ser necesario, el haba va a un secadero de grano donde se utiliza aire caliente seguido de aire frío.
- 2) Una vez limpia y seca las semillas se almacenan en silos “de espera o de maduración” donde permanecen durante 24 h previo al inicio del proceso. El objetivo es equilibrar la temperatura y humedad en toda la masa del haba. El tiempo de estancia varía en función de la demanda de semilla y de las existencias disponibles.
- 3) La primera fase de preparación propiamente dicha es el quebrado del haba. La semilla fría y por tanto frágil y quebradiza, pasa por unos molinos provistos de un rodillo liso y otro acanalado. Las semillas sufren una gran compresión allí donde la estría de un rodillo la atrapa contra el otro. Los cotiledones fríos y secos se rompen en cuartos u octavos, con un tamaño bastante uniforme. La cáscara, dada su

naturaleza elástica se desgarran pero apenas se rompen, de modo que queda en gran parte abierta, suelta y completamente separada de los cotiledones.

- 4) La semilla quebrada se acondiciona mediante calentamiento a 50-60 °C durante 20 min. Con ello se logra que los fragmentos adquieran plasticidad y puedan deformarse sin romperse en las etapas posteriores.
- 5) En la fase de laminado los fragmentos de la semilla pasan entre dos rodillos lisos, aplastándose y formando láminas de un espesor cercano a las 300 μm. El proceso es clave para la obtención del aceite ya que aumenta la superficie específica de exposición mejorando el contacto con el hexano y la eficiencia de extracción pero no es crítico para la producción de soja integral. En cualquier caso, el laminado mejora la transferencia de calor y facilita el extrusionado posterior.

Cuando se fabrica soja integral de alta proteína se separa la cáscara mediante aspiración en cabeza, entre los puntos 3 y 4 (descascarado en frío) o entre los puntos 4 y 5 (descascarado en caliente). En la producción de harina de soja de alta proteína a veces se utiliza el descascarado posterior en cola pero no en el caso de soja integral. El sistema expuesto admite pequeñas variaciones entre plantas.

El tratamiento térmico del haba se hace por tostado o por extrusionado. En el primer caso la lámina de haba pasa por un tostador semejante a los empleados en el proceso de desolventización/tostado para la harina de soja. Consiste en una torre con varios pisos donde el sólido es arrastrado lentamente por unas paletas que giran en su interior. Al completar una vuelta el material llega a una trampilla por la que cae al piso siguiente, donde da otra vuelta y así sucesivamente. En general las torres disponen de tres a cuatro pisos y el tiempo de residencia de las láminas en su interior es de 30 a 40 min. Los distintos pisos disponen en su fondo de boquillas por las que se inyecta vapor a unos 120 °C. El haba abandona la máquina a una temperatura comprendida entre 100 y 102 °C y los vahos de salida mantienen una temperatura en torno a los 100 °C.

En el proceso de extrusionado se utilizan láminas de habas previamente preacondicionadas (20 a 30 min y 70-80 °C de calor seco). Los extrusores más utilizados son los de tipo cono (expanders), con contrapresiones de unos 50 kg/cm² y los de tipo de matriz (verdaderos extrusores), con contrapresiones más difíciles de precisar, pero del orden de 40-50 kg/cm². En algunas plantas se utilizan dos extrusores en serie. La temperatura de salida está en torno a los 125 °C y durante la extrusión se inyecta vapor para llevar la humedad del material hasta aproximadamente un 20 %.

Una vez procesado, el material se enfría y seca. En el caso de habas tostadas, las máquinas suelen incluir un piso extra de secado (cuarto piso contado desde arriba, que es por donde se alimenta), en el que se inyecta aire caliente y un piso de enfriado

(quinto piso), donde se inyecta aire frío. Las habas extrusionadas pasan a un secador/enfriador, bien horizontal con lecho semifluido o vertical en contracorriente con caída en zig-zag. En cualquier caso la temperatura de salida estará por debajo de los 30 °C (salvo que la temperatura ambiente sea superior).

En el procesamiento por tostado, el haba se muele al finalizar el proceso. En el caso de extrusores de matriz, la granulometría del producto a la salida es fina y uniforme y no precisa molienda posterior. En el caso de extrusores o expanders de cono el producto final es una galleta muy frágil y se disgrega rápidamente con un molido suave. En la figura 3 se ofrece un diagrama del proceso generalmente utilizado para el tratamiento del haba en las extractores de aceite.

Haba procesada vs harina de soja y aceite

Un punto de interés práctico es el estudio de la equivalencia entre el haba de soja tratada y la combinación aceite y harina de soja. En general, si el procesado es correcto ambas posibilidades dan resultados equivalentes. Sin embargo, diversos estudios previos a los años noventa indicaban que en monogástricos la digestibilidad de los aminoácidos era mejor con la harina que con la soja entera y que la disponibilidad de la grasa era superior con el aceite libre que incorporado en el haba. De hecho, Herkelman y Cromwell (1990) indican que en porcino el haba de soja no alcanza el valor nutricional de una mezcla equivalente de harina y aceite de soja, lo que achacan a una utilización reducida del aceite contenida en el haba. En un trabajo posterior, Herkelman *et al.* (1992) observan que el calentamiento del haba reduce la actividad de la ureasa y de los factores antitripsicos y mejora la digestibilidad aparente del N y de los aminoácidos esenciales, pero no hasta alcanzar los niveles logrados con la harina de soja. Las diferencias observadas entre habas y harina se reducían al moler y granular el pienso que contenía las habas.

Marty *et al.* (1994) observan que la digestibilidad aparente ileal de la proteína en cerdos era superior para la harina de soja que para el haba procesada (81,6^b, 75,6^c, 69,0^d, 71,7^{cd} y 69,5^d para harina, extrusión en seco, jet-sploded, micronización y tostado en tambor, respectivamente; P < 0,05). Estos autores también observaron que los coeficientes de digestibilidad ileal aparente para la lisina fueron superiores para la harina de soja (81,1%) y para el haba de soja extrusionada (77,4%) que para el resto de procesamientos (68,4, 69,8 y 71,3% para jet-sploded, micronizado y tostado). La magnitud de las diferencias observadas se reducía al comparar la digestibilidad verdadera ileal. Así, en el caso de la lisina los valores encontrados fueron 97,7^a, 95,5^{ab}, 95,3^b, 96,0^{ab} y 94,1^b para la harina y las habas tratadas por extrusión, procesadas por jet-sploded, micronización y tostado, respectivamente.

Lessire *et al.* (1988) trabajando con habas extrusionadas en seco y pollos de 14 d de edad encuentran un valor energético del haba en torno a las 3.800 kcal EMn/kg MS, similar al de una mezcla 80:20 de harina de soja y aceite. Estos autores concluyen que la utilización de la fracción proteica y lipídica de la mezcla harina y aceite y del haba extrusionada eran similares e independientes de la edad del animal. De hecho, los trabajos y revisiones más recientes (Monari *et al.*, 1996; Mateos *et al.*, 1996; Rand *et al.*, 1996; Clarke y Wiseman, 2000; Hancock, 2001) indican que ambas combinaciones (habas tratadas *vs* harina y aceite de soja) son cuando menos equivalentes. Así, Gundel y Matrai (1996) comparan la digestibilidad de diversos nutrientes de habas crudas, habas procesadas y harina y aceite de soja (tabla 25). Todos los tratamientos (cocido y laminado, tostado, microondas y extrusión seca) dieron mejores digestibilidades tanto para la lisina como la proteína y la energía que la mezcla de harina y aceite. Datos de la Universidad de Nottingham y de la Universidad de Madrid (Mateos *et al.*, 1996) sobre la influencia del procesado sobre el valor energético del haba se detallan en la tabla 26. Un procesado correcto da valores energéticos para el haba equivalentes al de una combinación 80:20 de harina y aceite.

Es difícil hacer recomendaciones acerca de los métodos y condiciones a utilizar para mejorar la calidad del haba, especialmente cuando se tienen en cuenta consideraciones económicas. En ningún caso el nombre del proceso utilizado sirve para valorar la calidad del producto final. Es necesario conocer los parámetros o condiciones aplicadas y evaluar químicamente el producto objeto de estudio. Asimismo, debe tenerse en cuenta que el objetivo del procesado no es destruir los factores antinutricionales por completo, sino llegar a un compromiso entre la presencia residual de los mismos y el mantenimiento de la calidad de la proteína, especialmente con respecto a la disponibilidad de la lisina. En cualquier caso, la palatabilidad y la estructura del pienso comercial mejoran al incluir habas con respecto a la harina, lo que es particularmente beneficioso en animales jóvenes y presentaciones en harina.

Procesado del haba y valor nutricional según especies

El procesado aumenta la utilización de la energía y de la proteína del haba en relación con el grano crudo y el grado de mejora depende del método, de las condiciones del proceso y de la especie a la que va destinada. La mejora en la digestibilidad de la energía se debe en parte a su acción sobre la proteína y en parte a la liberación la grasa contenida dentro de las células.

Tanto el defecto como el sobreprocesado perjudican la disponibilidad de la fracción proteica. En el primer caso parte de los factores antinutricionales no se destruyen lo que reducirá la utilización de los aminoácidos. En caso de exceso, se producen reacciones entre los grupos aminos de ciertos aminoácidos y los azúcares libres presentes en el haba (reacciones de Maillard) reduciéndose la utilización de la

fracción proteica. Estos dos efectos ocurren siempre a la par y son inevitables; es decir, según aplicamos calor se destruyen los factores antinutricionales pero al mismo tiempo provocamos reacciones de Maillard que reducen la disponibilidad de los aminoácidos (figura 4). En rumiantes, un ligero exceso de calor aumenta a la par el porcentaje de proteína no degradable a nivel ruminal y de proteína indigestible a nivel intestinal pero el resultado final es en general beneficioso en vacas de alta producción.

En monogástricos, los tratamientos basados en tostado seco probablemente liberen menos grasa intracelular y produzcan más reacciones de Maillard que los tratamientos basados en calor húmedo. Por tanto mejoran en menor proporción el valor energético del haba y la digestibilidad de la proteína. En estas especies, los métodos basados en la extrusión sean probablemente los que liberen más grasa (rotura de las células) y los basados en cocción-expansión quizás sean los que permitan una mayor digestibilidad de la proteína (proceso suave de desnaturalización de la matriz proteica del haba). En la tabla 27 se ofrecen datos de Mc Nab (1985) sobre la disponibilidad de la grasa y el valor energético de habas procesadas según diversos métodos en aves. Nótese que en este estudio los mejores valores de metabolizabilidad (energía metabolizable verdadera : energía bruta) se obtienen con habas extrusionadas y los más bajos con habas tostadas (micronizadas y jet-sploding) o procesadas mediante autoclave.

En rumiantes la situación es distinta ya que debe tenerse en cuenta el efecto del aceite de soja libre sobre los microorganismos del rumen. Una liberación rápida de la grasa intracelular (extrusión húmeda) perjudica más el crecimiento de los microorganismos que una liberación lenta tal y como ocurre cuando el aceite se mantiene protegido. En relación con la proteína, el tostado reduce la digestibilidad ileal pero mejora el porcentaje no degradable en rumen. En estos caso puede ser más beneficioso tostar el haba que extrusionarla o suministrar una combinación de harina de soja y aceite libre.

Referencias

- Amandus Kahl (2000) Reduction of ANF in soybeans by means of hydrothermal treatment and expander. Amandus Kahl, Reinbek. Alemania. 8 pp.
- Anderson-Haffermann, J.C., Zhang, Y., Parsons, C.M. y Hymowitz, T. (1992) Effect of heating on nutritional quality of conventional and Kunitz trypsin inhibitor-free soybeans. Poultry Science 71: 1700-1709.
- Barbi, J.W. (1996) Technology comparisons and results on processing and nutrition of fullfat soya. En: 2nd International Fullfat Soya Conference. American Soybean Association. Budapest, Hungria. pp: 56-66.

- Bates, L.S. (1991) Poultry and full-fat soybean meal. *Roasting Technology* 1(4). 3 pp.
- Bates, L.S. (1994) Dry heat processing of full-fat soybeans and other ingredients. FT-11. American Soybean Association. Singapore. 5 pp.
- Clarke, E. y Wiseman, J. (1999) Extrusion temperature impairs trypsin inhibitor activity in soybean meal. *Feed Technology* 3 (8): 29-31.
- Clarke, E. y Wiseman, J. (2000) Nutritional value of soya products for non-ruminant farm animals. American Soybean Association. Singapore. 183 pp
- De Schutter, A.C. y Morris, J.R. (1990) Soybeans: Full fat. En: *Non tradicional Feed Sources in Swine production*. Eds. P.D. Thacker y R.N. Kirkwood. Butterworths Publishers. Nueva York, Estados Unidos. pp: 439-451.
- Faber, J.L. y Zimmerman, D.R. (1973) Evaluation of infrared-roasted and extruded-processed soybeans in baby pig diets. *Journal of Animal Science* 36: 902-907.
- Farag, M.D. (1998) The nutritive value for chicks of full-fat soybean irradiated at up 60 kGy. *Animal Feed Science Technology* 73: 319-328.
- FEDNA (2001) Normas FEDNA sobre valoración nutritiva de leguminosas y cereales tratados. Eds. C. de Blas, G.G. Mateos y P.G. Rebollar. FEDNA. Madrid. 18 pp.
- Fellows, P. (1988) Microwave and infrared radiation. En: *Food Processing Technology*. Ellis Horwood Ltd. Chichester, Reino Unido. pp: 343-355.
- Ferket, P.R. y Jones, F.T. (1992) Drying equipment shows promise for feed, poultry industries. *Feedstuffs* 9 Marzo: 15-25.
- Frank, G. (1988) How to improve the quality of fullfat soya beans and other legumes by hydrothermal treatment. *Feed Magazine* 11: 42-46.
- Gilbert, R. (1998) Expanding soybeans minimises ANFs. *Feed Technology* 2(6): 19.
- Gundel, J. y Matrai, T. (1996) Different methods of heat treatment for soybeans in piglet nutrition. En: *2nd International Fullfat Soya Conference*. American Soybean Association. Budapest, Hungria. pp: 433-450.
- Hafez, Y.S., Singh, G., Mc Lellan, M.E. y Monroe-Lord, L. (1983) Effects of microwave heating on nutritional quality of soyabeans. *Nutrition Reports International* 28: 413-421.

- Hancock, J.D. (2001) Extrusion technologies to produce quality pig feed. *Feed Technology* 5 (3): 18-20.
- Harper, J.M. (1978) Food extrusion. *CRC Critical Review Food Science Nutrition* 11: 115-123.
- Herkelman, K.L. y Cromwell, G.L. (1990) Utilization of full-fat soybeans by swine. *Feedstuffs* 62: 13-16.
- Herkelman, K.L., Cromwell, G.L. y Stahly, T. (1991) Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. *Journal of Animal Science* 69: 4477-4486.
- Herkelman, K.L., Cromwell, G.L., Stahly, T.S., Pfeiffer, T.W. y Knabe, D.A. (1992) Apparent digestibility of amino acids in raw and heated conventional and low-trypsin inhibitor soybeans for pigs. *Journal of Animal Science* 70: 818-826.
- Kaankuka, F.G., Balogun, T.F. y 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 Technology* 62: 229-237.
- Katic, Z., Krizic, N., Pliestic, S. y Tajana, K. (1996) Optimizing toasting process of full fat soya. En: 2nd International Fullfat Soya Conference. ASA. Budapest, Hungria. pp: 90-98.
- Kouzeh-Kanani, M., van Zuilichem, D.J., Roozen, J.P. y Pilnik, W. (1981) A modified procedure for low temperature infrared radiation of soybeans. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie* 14: 242-244.
- Kouzeh-Kanani, M., van Zuilichem, D.J., Roozen, J.P. y Pilnik, W. (1982) A modified procedure for low temperature infrared radiation of soybeans. II Inactivation of lipoxigenase and keeping quality of full-fat flour. *Lebensmittel Wissenschaft Und Technologie* 15: 139-142.
- Kratzer, F.M., Bersch, S., Vohra, P. y Ernst, R.A. (1990) Chemical and biological evaluation of soybean flakes autoclaved for different durations. *Animal Feed Science Technology* 31: 247-259.
- Leeson, S. y Atteh, J.O. (1996) Response of broiler chicks to dietary full-fat soybeans extruded at different temperatures prior to or after grinding. *Animal Feed Science Technology* 57: 239-245.

- Lessire, M., Leclercq, B. y Conan, L. (1988) Variabilité de la valeur énergétique de la graine de soja traitée pour les volailles. *INRA Productions Animales* 1 (4): 265-270.
- Lusas, E. (1995) What type of extruder should I buy? *Feed International* 16 (8): 25-28.
- Marsman, G.J., Gruppen, H., Mul, A.J. y Voragen, A.G. (1997a) In vitro accessibility of untreated, toasted and extruded soybean meal for proteases and carbohydrases. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 45: 4088-4095.
- Marsman, G.J., Gruppen, H., Van der Poel, A.F., Kwakkel, R.P., Verstegen, M.W.A. y Voragen, A.G. (1997b) The effect of thermal processing and enzyme treatment of soybean meal on growth performance, ileal nutrient digestibilities, and chyme characteristics in broiler chicks. *Poultry Science* 76: 864-872.
- Marty, B.J. y Chavez, E.R. (1993) Effects of heat processing on digestible energy and other nutrient digestibilities of fullfat soybeans fed to weaner, grower and finisher pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 73: 411-419.
- Marty, B.J., Chavez, E.R. y de Lange, C.F.M. (1994) Recovery of amino acids at the distal ileum for determining apparent and true ileal amino acid digestibilities in growing pigs fed various heat-processed full-fat soybean products. *Journal of Animal Science* 72: 2029-2037.
- Mateos, G.G., García, P. y Medel, P. (1996) The use of fullfat soybeans in diets for poultry. En: 2nd International Fullfat Soya Conference. American Soybean Association. Budapest, Hungría. pp: 324-337.
- Mc Nab, J. (1985) Determinación de la valeur alimentaire de la graine de soja entière traitée par divers procédés chez les volailles.. En: III Congreso de la soja: Utilisation de la graine de soja. Onido-Cis Eds. Albi, París, Francia. pp: 16-31
- Micronizing Company (1988) Presentación de la cocción de soya con rayos infrarojos. Micro-Red 20. Micronizing Company (UK) Limited. Framlingham, Suffolk, Reino Unido. 6 pp.
- Mikkle, J. (1997) Tuning into heat treatment. *Feed Technology* 1(2): 10-11.
- Monari, S., Mateos, G.G., García, P. y Medel, P. (1996) Utilización de la soja integral en alimentación animal. 3^a ed. American Soybean Association. Bruselas. 44 pp.

- Moura, M.P., Camargo, J.C., Castro Junior, F.G. y Gorni, M. (1991) Soja grão para suínos. 1. Tempo ideal de tostagem. Boletim de Industria Animal 48: 155-159.
- Murray, J.H. (1987) Unlocking new product opportunities with infra-red processing. 2nd International Conference on designing and engineering new food plants. Chicago, Illinois, Estados Unidos. 8 pp.
- Murray, J.H. (1996) The role of the micronizer in full fat soya production with reference to young animal nutrition. En: 2nd International Fullfat Soya Conference. ASA. Budapest, Hungria. pp: 67-77.
- Myer, R.O. y Froseth, J.A. (1987) Extruded mixtures of beans (*Phaseolus Vulgaris*) and soybeans as protein sources in barley-based swine diets. Journal of Animal Science 57: 296-306.
- Navarro, G.H., López, C.C., García, E. y Forat, S.M. (2001) Evaluación de la soja integral procesada mediante expansión en dietas prácticas de pollo de engorde. American Soybean Association. Soya Noticias 265: 14-22.
- Ordóñez, L.F. y Palencia, J.C. (1998) Efecto de diferentes temperaturas de tostado seco sobre la calidad nutricional del frijol de soja integral empleado en alimentación de pollos de engorde. Referenciado por Ruiz, N. en Quality Control of Comercial Full-Fat Soybeans. Technical Bulletin. ASA Singapore. MITA (P) No. 070/10/2001.
- Osella, C.A., Gordo, N.A., Gonzalez, R.J., Tosi, E. y Re, E. (1997) Soya bean heat-treated using a fluidised bed. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie 30: 676-670.
- Parsons, C.M., Zhang, Y. y Araba, M. (2000) Nutritional evaluation of soybean meal varying in oligosaccharide content. Poultry Science 79: 1127-1131.
- Perilla, N.S., Cruz, M.P., De Belalcazar, F. y Diaz, G.J. (1997) Effect of temperature of wet extrusion on the nutritional value of full-fat soybeans for broiler chickens. British Poultry Science 38: 412-416.
- Pipa, F. y Frank, G. (1989) High-pressure conditioning with annular gap expander. A new way of feed processing. Advances in Feed Technology 2: 22-30.
- Qin, G., ter Elst, F.R., Bosch, M.W. y 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 Technology* 57: 313-324.

Rackis, J.J., Wolf, W.J. y Baker, E.C. (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.

Rand, N.T., Cier, D. y Viola, S. (1996) Israeli experience with full fat soybeans. En 2nd International Fullfat Soya Conference. American Soybean Association. Budapest, Hungría. pp: 311-323.

Rostagno, H.S. (2000) *Tabelas brasileiras para aves e suínos*. Universidad Federal Viçosa. Minas Gerais, Brasil. 140 pp.

Said, N. (1995) Extrusion processing of ingredients and feed. International Symposium of Feed Production. Curitiba, Brasil. 16 pp.

Serrano, X. y Villalbi, E. (1999) The extrusion cooking process in piglet feeding. Nutritional implications. Homatge al Dr. F. Puchal. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, Barcelona. pp: 188-197.

Thomason, D.M. (1987) Review of processing systems for full-fat soy. En: Full fat soya. A regional Conference. American Soybean Association. Milán, Italia. pp: 114-122.

Van Zuilichem, D.J., Van der Poel, A.F.B., Cruz, U., Stolp, W. y Wolters, I. (1996) Thermo mechanical treatments of soya beans. En: 2nd International Fullfat Soya Conference. ASA. Budapest, Hungría. pp: 99-117.

Vandergrift, W.L. (1985) Use of soybeans in pig diets. *Pig News Information* 6: 281-285.

Waaaijberg, A. (1987) Feed formulation with fullfat soya. The economics of its use. En: Fullfat Soya. A Regional Conference. American Soybean Association. Milán, Italia. pp: 133-150.

Waaaijberg, A. (1996) Experiences with fullfat soya in animal feed. En: 2nd International Fullfat Soya Conference. American Soybean Association. Budapest, Hungría. pp: 155-167.

Wijeratne, J. (2000) The process of dry extrusion. *Feed Tech* 4 (2): 10-12.

- Xian, J. y Farrell, D.J. (1991) The nutritive value of microwave-processed raw soyabeans, determined with chickens, rats and rabbits. *Animal Feed Science Technology* 34: 127-139.
- Yin, Y.L., Zhong, H.Y., Huang, R.L. y Cheng, X.S. (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(2): 65-75.
- Yoshida, H. y Kajimoto, G. (1988) Effects of microwave treatment on the trypsin inhibitor and molecular species of tryglycerides in soybeans. *Journal of Food Science* 53: 1756-1761.
- Zarkadas, L.N. y Wiseman, J. (2000) Inclusion of fullfat soybean in piglet diets. *Proceedings of the British Society Animal Science Occasional Meeting: The weaner pig*. pp: 45-46.

Tabla 1. Influencia del tiempo y la temperatura de tostado sobre la digestibilidad del haba de soja en lechones de 30 kg (Qin et al., 1996)

Temperatura °C	Tiempo min	Digestibilidad ileal aparente, %		
		Materia seca	Extracto etéreo	Nitrógeno
102	10	37 ^a	82	51 ^b
102	20	49 ^{ab}	84	68 ^{ab}
102	40	61 ^a	89	81 ^a
120	2	48 ^{ab}	90	70 ^a
120	7,5	57 ^{ab}	93	82 ^a
134	1,5	57 ^{ab}	92	82 ^a

Letras diferentes indican significancia a $P < 0,05$.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre el contenido en factores antinutritivos y la digestibilidad ileal de los nutrientes de habas tratadas por vapor (Qin et al., 1996)

Digestibilidad ileal	AIT ¹	IDP ²	AU ³	Lectinas
Materia seca	- 0,85	- 0,88	- 0,87	- 0,84
Extracto etéreo	- 0,49	- 0,89	- 0,78	- 0,76
Nitrógeno	- 0,78	- 0,93	- 0,92	- 0,90

Criterio	Coef. correlación	P
AIT vs AU	0,844	< 0,01
AIT vs lectinas	0,984	< 0,01
AIT vs IDP	0,959	< 0,01
AU vs lectinas	0,918	< 0,05
AU vs IDP	0,895	< 0,01
IDP vs lectinas	0,953	< 0,01

¹Actividad inhibidores de la tripsina.

²Indice de dispersibilidad de la proteína en agua.

³Actividad ureásica.

Tabla 3. Influencia de la aplicación de calor al haba de soja (100 °C) sobre la digestibilidad de los nutrientes (Kaankuka et al., 1996)

Tiempo min ¹	Actividad antitripsina 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
Hna de soja	185	79,7	82,5 ^a	84,1
EEM		1,28	3,18	3,27

¹Cocido en agua hirviendo y secado al aire en capas finas.

²mg/100 g. Valor de 924 mg de inhibidores/100 g para el haba cruda.

³Lechones de 9 kg de peso vivo.

Tabla 4. Efecto del autoclave a 121 °C sobre la calidad de la proteína de soja en pollos de carne (Kratzer et al., 1990)

Tiempo min	Actividad ureásica ¹	Inhibidores tripsina ²	Solubilidad proteína, %	Indice de conversión, g/g
0	2,00	38,6	83,2	1,56
3	0,65	23,5	78,0	-
6	0,50	22,7	74,7	-
12	0,60	14,2	75,9	1,56
24	0,0	2,52	65,2	1,38
60	0,0	0,26	31,7	1,50
120	0,0	0	13,8	1,50

¹Δ pH.

²unidades/mg.

Tabla 5. Influencia del autoclave a 121 °C sobre la calidad in vitro de las habas de soja (Herkelman et al., 1991)

Tiempo min	Aactividad ureásica ¹	Inhibidores tripsina ²	Solubilidad proteína, % ³
0	2,13	24,0	75
10	1,70	11,5	58
20	0,80	6,4	56
30	0,15	3,1	49
40	0,05	1,6	50
60	0,01	1,4	40
90	0	1,3	35

¹Cambio de pH. ²mg/g.

³0,2% KOH.

Tabla 6. Efecto del autoclave sobre la calidad del haba de soja, el peso del páncreas y el crecimiento del pollito¹ (Anderson-Hafermann et al., 1992)

Tiempo min	Actividad ureásica ¹	Inhibidor tripsina ²	Solubilidad proteína, % ³	Peso páncreas ^{4b}	Ganancia peso ^{5b}	Indice de conversión ^{6b}
0	2,2	6.780	87	0,88	98	2,08
3	2,2	ND ⁷	89	ND	113	2,00
6	2,1	5.842	91	0,85	120	1,93
9	1,9	3.548	91	ND	124	1,76
12	0,2	2.179	87	0,56	143	1,61
15	0	1.169	85	ND	150	1,47
18	0,1	ND	76	0,39	151	1,51
Hna soja	0,2	268	77	0,37	158	1,47
EEM	0,01	-	0,6	0,02	3,6	0,05

Dietas con 62,2% de habas. Autoclave a 121 °C y 124 kPa.

¹Δ pH. ²Unidades/g muestra (media de 3 muestras). ³ 0,2% KOH.

⁴% peso vivo. ⁵8 a 17 d. Peso inicial de 68,7 g. ⁶g/g. ⁷No determinado.

^bEfecto lineal del tiempo de autoclave.

Tabla 7. Influencia del autoclave a 125 °C sobre la calidad de las habas de soja (Yin et al., 1993)

Tiempo min	Actividad ureásica, Δ pH	Inhibidores tripsina mg/g	Lisina disponible ¹
0	2,19	20,0	26,2
5	0	2,1	25,2
10	0	2,2	24,7
15	0	1,6	23,8
25	0	1,5	17,5

¹Test del 2-4 dinitrofluobenceno (g/kg MS).

Tabla 8. Influencia de la aplicación de calor al haba de soja sobre la productividad en cerdos en cebo (Moura et al., 1991)¹

Tiempo min	Consumo pienso, kg ^a	Ganancia peso, g/d ^a	Índice de conversión, g/g	Rendimiento canal, % ^a	Grasa dorsal, mm ^b
0	3,32	684	4,85	77,3	3,22
15	2,86	926	3,09	77,5	3,54
30	2,88	947	3,04	79,7	3,59
45	3,09	835	3,70	77,7	3,60
60	2,97	880	3,37	77,4	3,71

¹Tostado a 115 °C.

^aEfecto cuadrático (P < 0,05).

^bEfecto lineal (P < 0,05).

Tabla 9. Influencia del tratamiento del haba de soja sobre la productividad del broiler a 35 d de edad (Bates, 1991)

	Peso vivo g	Ganancias de peso, g/d	Índice de conversión, g/g
Harina + aceite soja	1.476	42,2	1,72
Habas tostadas ¹	1.498	42,5	1,61
Habas, extrusión seca	1.481	42,3	1,61
Habas, extrusión húmeda	1.468	42,1	1,61

¹Lecho fluidizado.

P > 0,05 para todos los parámetros estudiados.

Tabla 10. Influencia de las condiciones del proceso de micronización sobre la calidad del haba de soja (Kouzeh-Kanani et al., 1981)

Tiempo seg ¹	Temper. °C ²	Residencia min ³	Actividad ureásica ⁴	Inhibidor tripsina ⁵	Solubilidad proteína ⁶	Lisina disponi. ⁷
Cruda	-	-	2,20	72,0	91	2,3
80	133	0	0,40	18,8	30	2,2
80	133	15	0,05	6,8	18	2,1
80	133	25	0,00	5,9	15	1,9
60	124	0	0,50	26,1	42	2,4
60	124	15	0,05	8,2	20	2,3
60	124	25	0,05	7,1	18	2,2

¹Tiempo de exposición a los rayos infrarrojos.

²Temperatura del haba a la salida de la cinta transportadora inmediatamente tras la exposición a los rayos infrarrojos.

³Tiempo de reposo tras el calentamiento en botellas -termos.

⁴Unidades de aumento de pH.

⁵Unidades de inhibidores de la tripsina Kakade por mg de muestra. Valores < 10 se consideran aceptables (ver Murray, 1996).

⁶Índice de dispersibilidad de la proteína (%). ⁷% MS.

Tabla 11. Efecto del proceso de micronización sobre la actividad residual de la lipoxigenasa y el índice de peróxidos (Kouzeh-Kanani et al., 1982)

Tiempo seg ¹	Temperatura °C ²	Estancia min ³	Actividad lipoxigenasa ⁴	Índice peróxidos ⁵	
				Fresca	Almacenada
-	Cruda	-	271	2,0	26
80	133	0	0,5	1,7	2
80	133	15	0,1	1,5	18
60	124	0	1,5	1,0	5
60	124	15	0,1	1,6	2

¹Tiempo de exposición a rayos infrarrojos.

²Temperatura de las habas tras la irradiación.

³Permanencia en reposo tras la exposición a los rayos infrarrojos.

⁴µmoles O₂ por min por g habas sobre sustancia seca.

⁵Índice peróxidos en muestras recién procesadas o a los 12 meses de almacenaje a temperatura ambiente.

Tabla 12. Influencia de las condiciones del proceso de micronización sobre la calidad del haba de soja y la productividad en broilers (Murray, 1996)

	Haba cruda	Haba micronizada			Haba comercial
		Insufic.	Correcto	Excesivo	
Humedad, %	10,8	6,2	6,0	3,4	9,7
Proteína bruta, %	35,5	36,9	38,5	39,7	35,0

Extracto etéreo, %	18,4	20,3	20,8	21,2	19,6
Inhibidores tripsina ¹	39	15	11	5	2
Actividad ureásica ²	4.000	400	278	19	50
Peso páncreas, g	4,5	3,4	3,4	3,2	3,0
Peso final ave, kg	2,08	2,26	2,26	2,29	2,25
I. conversión, g/g	1,99	1,87	1,85	1,85	1,88

¹Unidades Kakade/mg.

²Unidades/g.

Tabla 13. Efecto del calentamiento por microondas sobre calidad del haba de soja y la productividad en pollitos (Hafez et al., 1983)

	Duración, min			
	0	9	12	15
Inhibidores tripsina ¹	50,5	9,0	12,7	13,4
Índice de pardeamiento ²	16,4	113,5	168,5	193,3
Peso vivo, g	85	205	209	179
Índice de conversión, g/g	3,70	1,56	1,72	1,79

¹Unidades/mg muestra.

²Medida colorimétrica de las reacciones de Maillard.

Tabla 14. Efecto del calentamiento del haba por microondas o extrusión en ratas en crecimiento (Xian y Farrell, 1991)^{1,2}

	Consumo g/d	Crecimiento g/d	Índice conversión, g/g
Cruda	13,6	4,3	3,56
Microondas, 2,5 min	13,8	4,5	3,50
Microondas, 5,5 min	14,6	5,5	2,98
Extrusión seca	15,1	5,5	3,05
Harina de soja	15,9	5,7	3,16

¹15% de habas.

²18 d en prueba.

Tabla 15. Influencia de la extrusión sobre la desnaturalización de los factores antinutricionales del haba de soja (Myer y Froseth, 1983)

	Actividad ureásica ¹	Inhibidores tripsina ²	Actividad lectinas ³	Taninos ⁴
Ensayo 1				
Haba cruda	1,87	261	41	0,6
Haba, extrusión seca	0,01	26	< 1	0,3
Haba, extrusión húmeda	0,01	3	< 1	0,3
Ensayo 2				
Haba cruda	1,15	193	93	0,5
Haba, extrusión seca	0,25	53	22	0,2

¹Aumento pH.

²Unidades de actividad (inhibición tripsina a 25 °C y pH = 8,1)/mg proteína.

³Unidades de actividad (50% reducción en AG20 de una suspensión de eritrocitos en 2,5 h a 22 °C)/mg proteína.

⁴Equivalentes catequinas.

Tabla 16. Influencia de la temperatura de extrusión¹ sobre la calidad del haba de soja y la productividad en broilers a 21 d (Leeson y Atteh, 1996)

Temperatura °C	Inhibidores tripsina ²	Consumo g/ave	Peso vivo g	Indice conversión, g/g
80	16,1	626 ^a	360	1,76
100	14,8	645 ^a	349	1,86
120	9,3	635 ^a	343	1,86
140	8,4	684 ^b	380	1,81
P		0,05	NS ³	NS

¹Extrusor de laboratorio modelo Brabender 2003.

²Actividad inhibitoria de la tripsina, mg/g. Valor de 58,7 mg/g para las habas crudas.

³NS = (P > 0,05). Letras diferentes indican diferencias significativas (P < 0,05).

Tabla 17. Efecto de la temperatura y la humedad sobre el contenido en inhibidores de la tripsina en habas de soja extrusionadas¹ (Clarke y Wiseman, 1999)

Temperatura °C	Humedad, % ²		
	11	26	35
70	36	23	22
90	27	15	14
110	15	8	8
130	4	4	4
150	4	4	3
160	4	3	3

¹mg/g muestra. Valores < 5 mg/g se consideran aceptables.

²11% de humedad corresponde al contenido normal del haba.

Tabla 18. Influencia de la temperatura de extrusión del haba sobre el peso vivo y otros parámetros en broilers (Clarke y Wiseman, 1999)^{1,2}

Temperatura °C	Inhibidor tripsina, mg/g	Ganancia peso, g ³	Peso páncreas ⁴	Viscosidad cP
70	24,1	52,4	3,90	5,6
90	16,8	83,2	3,77	4,5
110	7,0	118,4	3,34	3,4
150	2,2	132,7	2,88	2,9

¹40% de habas de soja.

²14% humedad añadida en todos los casos.

³19 a 22 d de edad

⁴Peso del páncreas x 1.000/peso vivo.

Tabla 19. Efecto del tratamiento sobre el contenido en factores antitripsicos y el valor energético de habas de soja en aves (Lessire et al., 1988)

Tratamiento	Energía bruta ¹	Inhibidor tripsina ²	EM verdadera ³	Relación EMV/EB
Haba cruda A ⁴	5.628	53	3.599	63,9
Haba cruda B ⁴	5.654	ND ⁵	3.641	64,4
Haba cruda	5.671	51	ND	ND
Extrusión seca A	5.692	0,7	4.181	73,5
Extrusión seca B	5.682	ND ⁵	4.034	70,9
Extrusión seca doble B	5.523	ND	4.235	76,7
Extrusión seca	5.457	5,7	3.818	70,0
Jet-sploding	5.612	1,5	3.619	64,5
Jet-sploding	5.650	ND	3.870	68,5
Tostado	5.579	0,8	3.719	66,7
Tostado	5.665	7,5	3.752	66,2
Tostado + granulado	5.558	5,7	3.863	69,5
Microondas + granulado	5.417	3,9	3.883	71,7

¹kcal/kg MS; ²UI/mg MS; ³Gallos adultos, kcal/kg MS.

⁴Lote A ó B de las habas. El origen del resto no fué controlado.

⁵Dato no disponible.

Tabla 20. Efecto del tratamiento y de la adición de enzimas sobre la solubilidad in vitro de la proteína de soja (%) (Marsman et al., 1997a)

Enzima	Cruda	Tostada	Extrusionada
Proteasa	37,0 ^a	37,3 ^a	56,2 ^b
Carbohidrasa	20,0	19,8	19,9
Combinación	38,1 ^a	37,6 ^a	58,4 ^b

Tabla 21.- Efecto de las condiciones del proceso de expansión sobre la calidad del haba de soja (Amandus Kahl, 2000)

Proceso	A	B	C	D	E
Molienda ¹	Rodillo	Rodillo	Martillo	Martillo	Martillo
Acondicionado					
Tiempo, min	40	10	10	0,33	0,33
Temperatura, °C	100	100	100	90	90
Adición vapor, kg/t	60	60	60	50	80
Expander					
Kw h/t	-	20	20	25	15
Orificio placa	-	-	-	-	SI
Temperatura, °C	-	120	120	130	120
Actividad ureásica, Δ pH	0,03	0,12	0,22	0,8	0,1
Ind. dispersabilidad, % ²	25	21	20	40	16
Inhibidores tripsina ³	< 1	2,5	3	15	8
Ganancia peso, g ⁴	1010	990	925	800	930
Índice conversión, g/g ⁴	1,53	1,50	1,57	1,72	1,56

¹3 mm.

²Índice de dispersibilidad de la proteína en agua, % (valores óptimos entre 20 y 30%).

³Unidades /mg MS (método Kakade). El valor para el haba de soja cruda fue de 80 UIT/mg MS.

⁴De 7 a 28 d de edad.

Tabla 22. Datos comparativos del sistema tradicional por tostado y el tratamiento por expansión del haba de soja (Van Zuilichem et al., 1996)

	Moderno	Tradicional
Tipo proceso	HTST ¹	LTLT ²
Tipo instalación	Expander	Tostado, vapor en cascada
Capacidad, t/hora	2-30	> 35
Temperatura, °C	120-145	100-110
Tiempo, min	1-3	20-40
Inhibidor tripsina, mg/g	< 5	5
Índice dispersabilidad ³	> 20	20
Lisina total	Sin mermas	Siempre mermas
Inversión	Razonable	Elevada
Costos operativos	Aceptables	Bajos

¹Alta temperatura, baja duración.

²Baja temperatura, tiempo prolongado.

³Índice dispersibilidad de la proteína en agua, % (valores óptimos entre 20 y 30).

Tabla 23. Condiciones del proceso de expansión del haba y parámetros de calidad de la proteína (Gilbert, 1998)

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acondicionado									
Vapor, bares	1,2	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Agua, l/h	11,8	-	43	-	5,9	12,8	-	6,0	12,2
Temperatura, °C	100	100	100	96	97	97	100	100	99
Expander									
Posición cono, cm	1,0	0,8	0,8	0,6	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7
Carga, % máx.	60	68	25	82	70	68	76	76	76
Vapor, bares	-	3,2	3,2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Temperatura, °C	107	127	126	131	130	129	134	131	131
Prensa									
Carga, % máx.	32	30	31	31	30	35	30	30	30
Humedad, %	18,2	19,7	50,2	17,8	21,6	25,6	13,7	15,2	19,6
Inh. tripsina, mg/g									
Sin tratar	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,1	24,1	24,1
Postacondicionado	15,3	14,4	9,5	13,2	10,6	9,3	11,6	9,7	8,4
Postexpander	11,0	7,5	3,9	6,2	5,1	4,6	4,4	3,9	3,0
Postgranulado	9,6	7,0	3,7	5,8	4,8	4,4	4,3	3,5	2,8
Ind. dispersibilidad¹									
Sin tratar	92	96	96	96	96	96	86	86	86
Postacondicion.	67	62	31	54	48	55	63	64	57
Postexpander	44	24	-	19	15	40	14	26	17
Postgranulado	43	24	-	18	13	32	12	22	15

¹Índice dispersibilidad de la proteína en agua, %.

Tabla 24. Efecto de los rayos gamma sobre los factores antinutricionales y la disponibilidad de la lisina en habas de soja (Farag, 1998)

	Actividad antitripsina ¹	Actividad hemoaglutina ²	Lisina disponible ³
Haba cruda	35,9	2560	4,61
Haba irradiada ⁴			
5	20,91	2560	4,59
15	15,69	1280	4,48
30	13,38	580	4,41
60	9,89	160	4,36

¹Unidades/g haba; ²Unidades/g haba; ³g/16 g N; ⁴Dosis entre 5 y 60 kGy.

Tabla 25. Procesamiento del haba y digestibilidad de los nutrientes (Gundel y Matrai, 1996)

	Digestibilidad de los nutrientes, %			
	Extracto etéreo	Energía	Proteína	Lisina
Cocido y laminado ¹	95	82	94	98
Microondas ²	85	85	91	95
Tostado ³	92	90	92	93
Extrusión seca ⁴	93	88	94	95
Harina + aceite	88	81	89	90
Cruda	84	66	54	68

¹120 °C durante 20 min (Bocchi, Italia).

²120 a 140 °C durante 40 a 60 seg (FLR, Hungría).

³120 °C durante 5 a 10 min (acondicionado previo; Unipro, Hungría).

⁴150 °C durante 25 a 40 seg (Monor, Hungría).

Tabla 26. Procesamiento del haba de soja y valor energético (Mateos et al., 1996)

	Universidad Nottingham ¹		Universidad Madrid ²
	Harina	Gránulo	Harina
Cruda	2.913	-	-
Tostada	3.382	3.366	3.580 ^a
Micronizada	3.161	3.331	3.500 ^a
Extrusión seca	3.591	3.719	3.650 ^{ab}
Extrusión húmeda	-	3.847	3.710 ^b
Harina + aceite	3.455	3.707	3.800 ^b

¹Pollitos, EMAn en kcal/kg, 90% MS. Datos de 1986.

²Ponedoras, EMAn en kcal/kg, 90% MS. Datos de 1992 (P = 0,05).

Tabla 27. Valoración energética de habas de soja en aves según tratamientos¹ (Mc Nab, 1985)

Tratamiento	Energía bruta ¹	EM verdadera ²	Relación EMVn/EB	CD lípidos % ³
Autoclave	5.674	4.058	71	
Extrusión húmeda	5.573	3.556	64	
Extrusión seca	5.628	4.073	72	
Micronización				
Con humedad previa	5.597	3.704	66	
Sin humedad	5.671	4.032	71	
Tostado				
- Continuo	5.621	3.798	68	
- Discontinuo	5.576	3.795	68	
Extrusión húmeda ⁴	5.774	4.053	70	91,9
Extrusión seca ⁵	5.729	4.087	71	92,5
Extrusión seca ⁵	5.573	3.867	69	92,0
Extrusión seca ⁵	5.648	4.032	71	96,0
Autoclave	5.695	3.905	68	92,0
Tostado continuo	5.800	4.168	72	95,0
Jet-sploding	5.418	3.487	64	87,3
Micronización	5.411	3.525	65	89,8

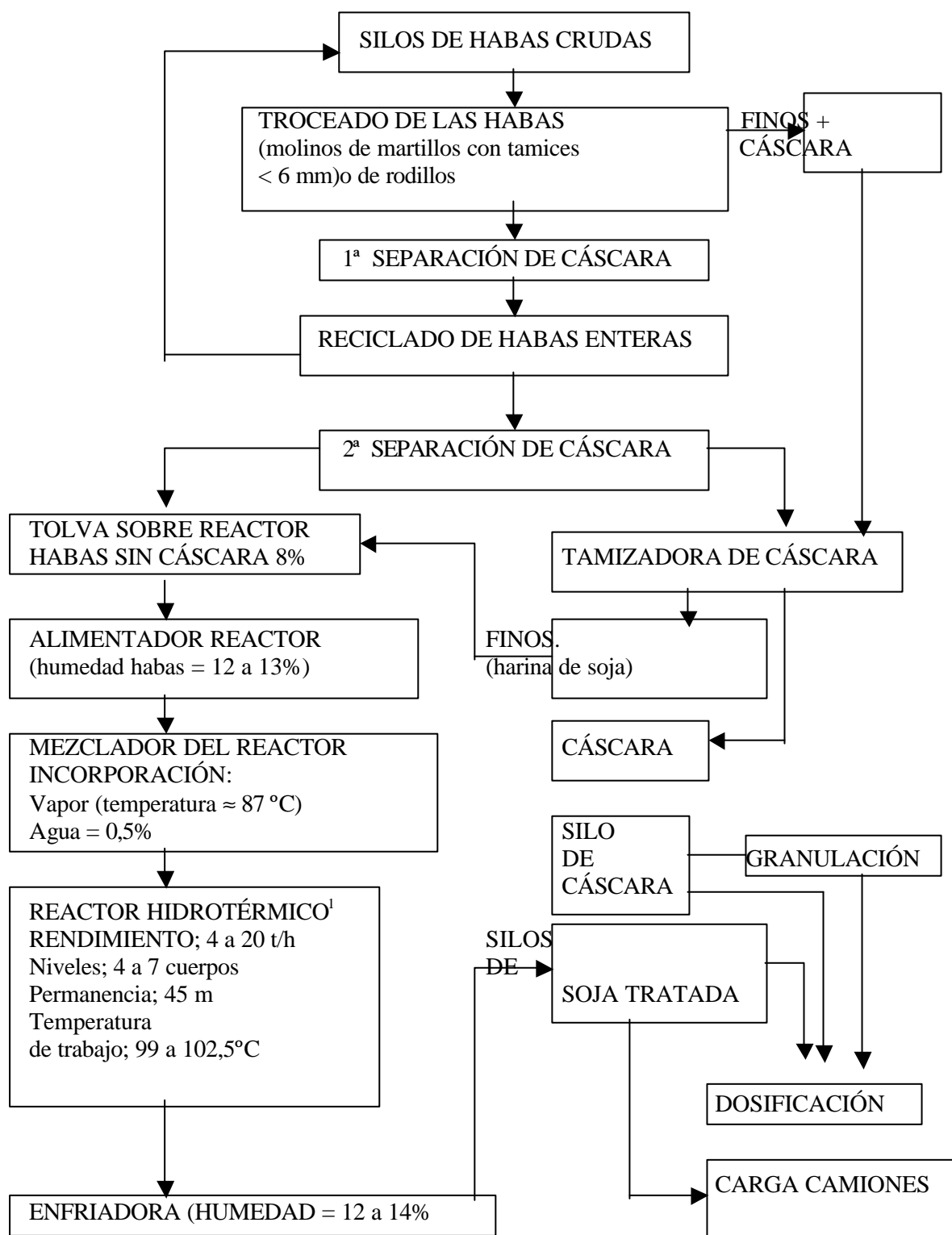
¹Mcal/kg MS.

²Energía metabolizable verdadera corregida en N (kcal/kg MS en gallos adultos).

³Coefficiente de digestibilidad del extracto etéreo.

⁴Wenger. ⁵Insta-pro.

Figura 1. Diagrama del procesado del haba de soja mediante reactor hidrotérmico (Amandus Kahl)



¹PDI en KOH ≈ 80%.
Ureasa < 0,30 unidades ΔpH.

Figura 2. Sistema de procesado de tostado del haba de soja (Waijbergen, 1996)

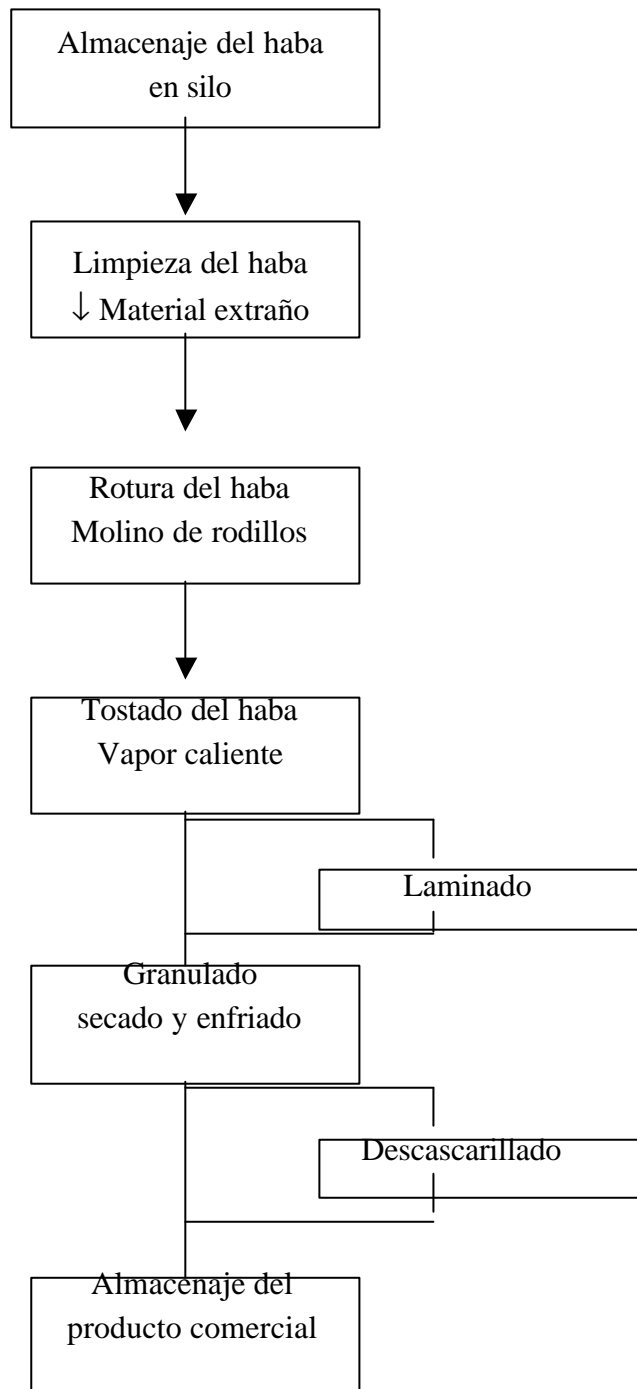


Figura 3. Proceso de tratamiento del haba en extractoras de aceite

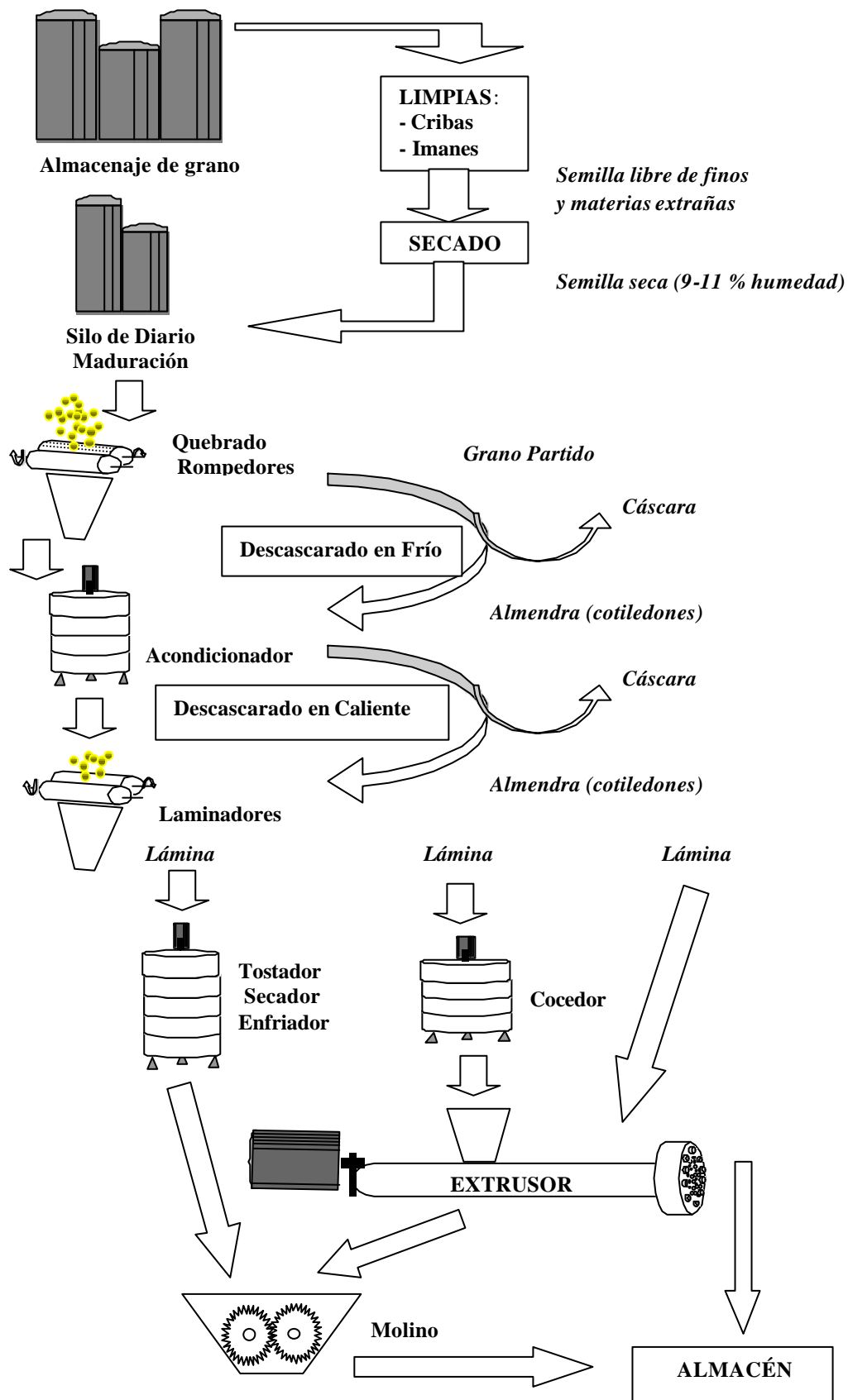
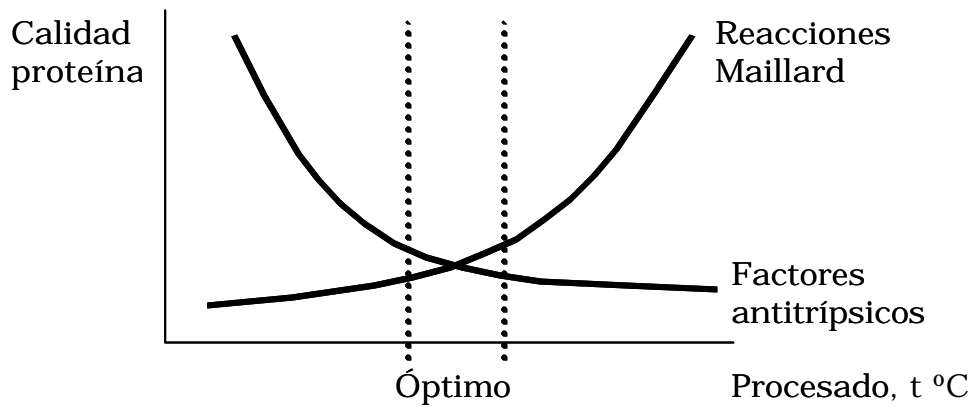


Figura 4. Influencia del procesado sobre la calidad de la proteína del haba de soja y la productividad





American Soybean Association
Rue du Luxembourg 16 b
1000 Brussels, Belgium
Tel: +32.2.548 93 80
Fax: +32.2.502 68 66
Email : soyabru@coditel.net
www.asa-europe.org