

## PROCESOS TECNOLÓGICOS PARA ELEVAR EL VALOR NUTRITIVO DE LOS ALIMENTOS

Lon Wo, E.<sup>1</sup>

### INTRODUCCIÓN

La incorporación de nuevas fuentes de alimento animal que contribuyan a la sostenibilidad de la producción avícola siempre se ha considerado una necesidad por parte de los países importadores dependientes. Esta área de estudio constituye hoy un objetivo de primer orden, ante la inminencia de algunos países por dirigir las producciones cerealeras y hasta proteicas hacia la de los biocombustibles, con perjuicios de disponibilidad y precios, tanto para la alimentación humana como animal, y por supuesto en detrimento de los países más pobres y con situaciones edafoclimáticas que nunca han favorecido la producción de alimentos tradicionales no para ser competitivos pero sí al menos para lograr una autosuficiencia alimentaria.

Diversos productos, subproductos y desechos se han evaluado como alternativas que contribuyan a la sustitución parcial o total de las importaciones, la misma requiere ser precedida por la combinación de estudios biológicos y económicos que indiquen el nivel de máxima eficiencia.

Estos estudios se han desarrollado tanto por los propios países tropicales o subtropicales dependientes, como por los países exportadores, ya que muchas de estas alternativas, significan soluciones nutricionales y ambientales (Said, 1996) siempre que se empleen procesos tecnológicos que garanticen un adecuado valor nutritivo y calidad higiénica del producto y como consecuencia una mejor disposición de los residuales con menor contaminación del ambiente.

### PROCESAMIENTOS TECNOLÓGICOS MÁS EMPLEADOS

No obstante, los alimentos convencionales requieren siempre de un tratamiento previo para su uso, y éste va desde un simple secado para su molinaje posterior hasta el empleo de los más sofisticados equipos.

#### Extracción de aceite

Los principales métodos que se emplean para la extracción de aceite de las semillas son: solventes, presión hidráulica, presión de tornillo o la combinación de éste con el uso de solventes. Estos procesos con presión implican la producción

de una considerable cantidad de calor y son potencialmente perjudiciales al valor nutritivo de las proteínas.

En el caso de las oleaginosas, el aceite se presenta en vacuolas dentro de las células de las semillas, y tanto las paredes de las células como de las vacuolas deben romperse para mejorar la extracción con el solvente. Para ello se han utilizado métodos que permitan operar a niveles de humedad entre 11-13%, romper la semilla, calentarla para obtener una textura plástica y aplanar las hojuelas a un espesor de 0.012 pulg y a veces el descascarillado para bajar los niveles de fibra en la pasta que como subproducto se emplearía en la alimentación animal, en especial, aves y cerdos.

#### Secado

El material a secar no debe tener un tamaño de partícula superior a 10 cm. El secado puede ser directo al sol sobre un área de asfalto, en cámaras con secadores solares, o con secadores de resistencia eléctrica y el mismo debe ser uniforme.

Lo importante en todos los casos es la altura de la capa, que depende del tipo de material a secar (humedad, volumen, etc.) y en general no debe ser superior a 30 cm. También el volteado es importante y debe realizarse 2-3 veces al día con el uso de un rastrillo, proceso que puede ser mecanizado.

Otro aspecto a considerar es evitar que el producto se moje durante el proceso porque el producto puede fermentarse y contaminarse con hongos, cuando se alarga el proceso.

#### Tostado

El proceso de tostar los granos puede ser artesanal de forma similar al tradicional tostado del café, en una cazuela, sobre una plancha de zinc o en un tostadero eléctrico.

Los granos deben tomar una coloración pardo claro, pues el exceso de calor inactiva sustancias nutritivas necesarias como son los aminoácidos y las vitaminas, aunque también se emplea para eliminar sustancias antinutritivas que son sensibles al calor.

El tratamiento calórico permite destruir muchos de los FANs que son sensibles al calor, pero también acelera las interacciones carbohidratos-proteína y otras reacciones entre

<sup>1</sup>Dra.PhD Instituto de Ciencia Animal San José de las Lajas, La Habana-Cuba. E-mail: elonwo@ica.co.cu

los grupos aminos libres de la lisina y grupos amidas de la glutamina y asparagina, formando enlaces de amidas entre el grupo amino Ypsilon de la lisina y el grupo carboxilo de los ácidos aspártico o glutámico con eliminación de amonio (Bjarnason y Carpenter, 1970) lo que reduce la digestibilidad de la proteína y disponibilidad de aminoácidos aún antes de que ocurra una sustancial reducción en la energía metabolizable.

### Remojo

En este proceso se produce la imbibición de las semillas, fundamentalmente de leguminosas, en soluciones acuosas como: agua, ácido cítrico 0.1 % y bicarbonato sódico 0.07 %, en una relación 1:3 (peso del grano/ volumen del líquido). El mismo puede tener una duración de hasta 9 o 12 horas, en dependencia de las características de las cubiertas de las semillas, y se realiza a temperatura ambiente.

Transcurrido este tiempo se separa del líquido de remojo las semillas hidratadas, las que pueden ser ofrecidas con este alto contenido de humedad, a los cerdos, en sistemas de alimentación con dietas líquidas o semilíquidas.

Para ser incorporadas en piensos, de aves y cerdos, es necesario un previo proceso de secado al sol, sobre un área de asfalto o secadores solares, hasta lograra reducir su humedad hasta un 12 a 14 %.

Este proceso puede provocar un descenso en el contenido de compuestos antinutritivos y mejorara la utilización del almidón presente en estos granos.

### Cocción

Los granos procedentes de un proceso de remojo se someten a cocción en agua en una relación 1:3 (peso del grano/ volumen del líquido). El tiempo de cocción no debe exceder de los 35 a 45 minutos de ebullición, para evitar la pérdida de nutrientes como aminoácidos y proteínas. Este método debe ser empleado fundamentalmente para utilizar en dietas líquidas o semilíquidas.

Este proceso también provoca un descenso en el contenido de factores antinutricionales, fundamentalmente de naturaleza proteica y mejora la digestibilidad y utilización de los nutrientes.

### Fermentación

La fermentación se realiza desde épocas remotas y consiste en procesos de transformación para mejorar la conservación de ciertos alimentos. Recientemente, con la fermentación se pretende obtener productos con un valor añadido en lo que se refiere a sus propiedades culinarias y nutritivas.

Mediante este proceso, algunas sustancias indeseables o antinutricionales quedan destruidas. Además, las proteínas son predigeridas, por lo que mejora su asimilación por parte del

organismo. El alimento se enriquece en minerales y vitaminas, especialmente en las del grupo B y C. Por otra parte, la presencia de bacterias lácticas y enzimas de la fermentación, ayudan a restablecer el equilibrio de la flora intestinal, lo que resulta beneficioso para el organismo.

La fermentación transforma el alimento mediante la acción de enzimas o fermentos producidos por hongos, bacterias y levaduras. Hoy, su uso está muy extendido y se sabe que, además de alargar la vida útil del producto de origen, los alimentos fermentados mejoran sus propiedades nutritivas. Hay varios tipos de fermentación: láctica, alcohólica y otras que se producen de forma natural.

La fermentación láctica es la más frecuente y se produce a partir de la lactosa o de otros hidratos de carbono presentes en cereales (trigo, cebada, girasol, etc.) leguminosas (soya remojada) y verduras. Se añaden bacterias lácticas a la leche para obtener yogur, y se fermenta el suero de la leche para elaborar requesón.

La fermentación alcohólica, entre otros usos, se utiliza para producir bebidas tradicionales poco alcohólicas de algún valor alimenticio (cerveza, vino, etc.) y para elevar la masa de pan. En esta fermentación determinadas enzimas convierten los azúcares sencillos, como la glucosa o azúcar de uva y la fructosa, en alcohol etílico y anhídrido carbónico. Las fermentaciones naturales se emplean para la obtención de vinagre, de vino, etc.

Finalmente, es un método de conservación de productos de origen vegetal como animal.

En el caso de la harina de pescado, a pesar de ser una fuente proteica muy completa, su fabricación es un proceso sumamente costoso, además la calidad de la proteína puede deteriorarse al someterse el pescado a las altas temperaturas del proceso de producción de harina, en dependencia del método que se emplee.

Por tanto una alternativa viable para conservar desechos y subproductos del pescado es el ensilado. Este proceso de conservación puede realizarse por métodos químicos y también por tratamientos biológicos.

**Ensilado químico** origina un producto semi-líquido, obtenido a partir de la totalidad del pescado entero o partes del mismo. Este estado se alcanza por efecto de las enzimas proteolíticas contenidas en el mismo pescado. Estas enzimas presentan su mayor actividad cuando el pH se reduce a valores cercanos a 4, por efecto de la producción o la adición de ácidos. A este pH se impide la descomposición del producto.

1. Utilizar los ácidos sulfúrico y fórmico al 3.5% en peso, en una relación 1:2, 1:3, ó 1:4. En recipientes plásticos cerrados, a temperatura ambiente por 15 días como mínimo se completa la liquefacción.
2. Utilizar el 3.5% de una mezcla con 20% de ácido sulfúrico diluido (1:3) y 80% de ácido fórmico. Después de 17

días se dispone de un producto estable y de buena calidad con 75% de humedad, 17% de proteína, 2% de grasa y 5% de cenizas.

3. En Cuba se han preparado con ácido sulfúrico al 50% en una proporción de 30 ml/kg. La acidez del producto final puede neutralizarse con cal u otros productos adecuados.

**Ensilado biológico** aún cuando el proceso de ensilado con ácidos es sencillo, sin requerir de equipos o infraestructuras especiales ni instrumentales sofisticados, presenta algunas desventajas: el costo de los ácidos, que generalmente son de importación, y el manejo de estos ácidos por parte del personal que los manipula, lo cual constituye un peligro y riesgo para ellos.

Para solucionar estos problemas se ha trabajado con ensilados biológicos o microbianos. El fundamento es la producción de ácido por la fermentación microbiana de carbohidratos. Esta parece ser una solución importante para el aprovechamiento de los residuos de la industria pesquera así como también a escala familiar y artesanal.

1. Cubrir totalmente el pescado con miel final y dejar una capa de 15 cm en la superficie, se coloca una malla metálica con un peso para evitar que el pescado flote y se deteriore. En este caso el pescado se deshidrata parcialmente y disminuye la carga de microorganismos.
2. La adición de microorganismos como los lactobacilos a diferentes fuentes de carbohidratos, las mieles finales constituyen el sustrato más eficiente y recomendable.

Entre las ventajas que produce el ensilado biológico o microbiano de pescado se encuentran: a) su sencilla manipulación, sin los peligros y riesgos que presentaba el ensilado químico; b) sus costos reducidos, porque no hay necesidad de importar el ácido orgánico; c) la posibilidad de adicionar diversas cepas de bacterias ácido-lácticas; d) la miel final es fácilmente obtenida en el país; e) el tiempo de proceso se reduce a la mitad; f) obtención de un producto más atractivo, agradable y palatable.

Los desechos de frutas también se utilizan como una vía para acelerar el proceso de hidrólisis del ensilado. Las mejores frutas son la piña madura y la cáscara verde de la fruta bomba o papaya. La concentración de 10-15% de estos componentes es suficiente y adecuada para adicionar al ensilado enzimas proteolíticas (bromelina y papaina, respectivamente) que aceleran el proceso de hidrólisis a la mitad sin afectar los demás parámetros.

También es muy usado en piscicultura un fermento biológico que se prepara con 41% de repollo, 31% de fruta bomba o papaya, 17% de harina de trigo, 3% de sal de cocina y 8% de vinagre. Al residuo triturado de pescado, se agrega 30% de harina de trigo, 4% de sal de común y 10% del fermento biológico descrito.

La fabricación de ensilado requiere aproximadamente de 5 a 7 días. El ensilado de pescado con adecuada acidez se mantiene a temperatura ambiente, al menos dos años sin putrefacción.

### Fermentaciones en estado sólido

Someter a procesos biotecnológicos productos, subproductos o desechos permitiría transformarlos en alimentos con valor añadido o aditivos que contribuirían con un mejor aprovechamiento de los nutrientes de la dieta, a mantener el estatus higiénico sanitario de nuestros animales.

Como ejemplo, es conocida la saccharina (Elías *et al.*, 1995) obtenida a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) planta completa libre de paja y cogollo, molida y sometida a fermentación anaeróbica después de añadirle urea y otros minerales que son utilizados por los microorganismos epifíticos de la caña o levaduras inoculadas con lo cual se eleva el contenido de nitrógeno, y la digestibilidad de la fibra. La misma se ha mezclado con otras fuentes amiláceas como es el boniato (*Ipomea batata*) y ha mejorado significativamente su contenido energético y digestibilidad de nutrientes (Rodríguez, 2006).

Asimismo, se han fermentado plantas completas de leguminosas de granos con resultados muy alentadores (Savón *et al.*, 2007) por el incremento en su valor nutritivo y la respuesta fisiológica en animales monogástricos que las han consumido.

Por otra parte, en la obtención de los biocombustibles a partir del maíz se obtiene un desecho que es procesado como residuos de granos destilerías y comercializado por Estados Unidos como Norgold, el mismo se ha utilizado en cerdos con muy buenos resultados (Martínez, M. 2006).

### FERMENTACIONES EN ESTADO LÍQUIDO

A partir de los mostos de las destilerías de alcohol se han utilizados los fondajes y vinazas como alimentos o se han sometido a procesos de fermentación y se ha obtenido un prebiótico que ha demostrado excelentes resultados en aves de reemplazo y pollos de ceba.

### Germinación

Proceso natural de obtención de alimentos muy extendido en todo el mundo, la germinación hace que las semillas de cereales y leguminosas aumenten su valor nutricional. Cuando un grano cuenta con el agua, el oxígeno y el calor necesario, germina para formar un nuevo ser vivo, una planta que a su vez producirá nuevas semillas.

En el proceso de germinación se ha observado una respuesta favorable al incremento de la biodisponibilidad del fósforo, que como se sabe en los alimentos de origen vegetal se

encuentra en forma de fitatos, que no pueden ser hidrolizados en el tracto de los animales monogástricos.

Díaz, *et al.* (2005) encontró resultados muy sugerentes con granos de *Vigna unguiculata* (cow pea) germinados para elevar su valor nutritivo y mejor uso en animales monogástricos.

### Expansión

La expansión es un proceso de corta duración de alta intensidad térmica, que se utiliza como acondicionador de presión antes de la molienda del pellet, para así mejorar la calidad del mismo y la calidad sanitaria del propio alimento. Es similar en construcción al extrusor donde el movimiento del tornillo y los elementos del cilindro someten al alimento a calor máximo de 100-130° C, presión entre 25 y 50 bar y expansión a una temperatura de 70° C y humedad de 15-16%, ésta ocurre por la diferencia entre la presión interna y la ambiental.

Este proceso provoca cambios en el alimento por gelatinización del almidón, reducción de efectos inhibidores, incorporación de grasa, descontaminación de gérmenes y un aumento en la porosidad del producto.

Para la extracción de aceite también se recurrió al proceso de expansión, que según Watkins (1996) para este objetivo es sinónimo de extrusión con un costo que era un 1/10 de las máquinas de preprensado y con igual capacidad se procesaba 4 a 5 veces más semillas, menores gastos energéticos y de mantenimiento.

### Extrusión en seco

Desde los inicios de la década de 1960, se comenzó a desarrollar la extrusión en seco para procesar la soya y los granos. Este método se utiliza desde hace más de 100 años para procesar alimentos para humanos, peces y mascotas. El método utiliza la fricción como única fuente de calor para cocinar, esterilizar, deshidratar y expandir productos, generando una alta temperatura en un corto tiempo (menos de 30 segundos) así como una alta presión (estimada en 40 atmósferas).

En un proceso al que pueden ser sometidos los alimentos, principalmente granos de cereales y leguminosas. La técnica consiste en el paso de las harinas a través de un sistema mecánico compuesto por tornillos móviles. Al comienzo del proceso se inyecta vapor de agua y la harina se convierte en una pasta que se mueve a través de los tornillos del extrusor. La pasta se encuentra sometida, de este modo, a elevadas temperaturas y elevadas presiones, en un tiempo total de 30 a 60 segundos, durante el cual pierde el 50% de humedad. Cambia la apariencia del producto y mejora su valor nutritivo.

La alta presión que se alcanza al final del proceso y por diferencia de presiones, produce una expansión de la célula que resulta en la gelatinización de los gránulos de almidón, se

vuelven esponjosos y ocurre rompimiento de los enlaces aminoácidos secundarios, todo lo cual repercute en los mayores valores de digestibilidad que se alcanzan (aumenta de 61 a 81%) con los productos tratados; los enlaces secundarios de los aminoácidos no sufren daño, por lo que la biodisponibilidad de los mismos no se afecta.

El producto a la salida del extrusor presenta un contenido de humedad no superior al 20 % y 100 °C de temperatura. Estas fuertes condiciones a que son sometidos los granos favorecen la eliminación de compuestos no deseables sensibles al calor (Inhibidores de tripsina disminuyen de 25 a 41%), mejora la calidad de las proteínas y, por tanto, su calidad nutritiva e higiénica respecto al grano crudo.

La extrusión posibilita el uso de subproductos y desechos (de mataderos, de incubadoras, aves muertas) aún con alta humedad, combinados con ingredientes secos (soya, maíz, subproductos del trigo) ampliando así las posibilidades del uso de los mismos (cuadros 1 y 2), con una mayor calidad nutricional, higiénica y sanitaria (Said, 1996).

Tanto la expansión como la extrusión (Ziggers, 2003) funcionan como precondicionadores que mejoran la calidad del pellet y la digestibilidad de los nutrientes.

### Pelletización

Proceso que incluye calor, vapor y presión y mediante el cual se compactan los ingredientes de un alimento balanceado con el objetivo de concentrar nutrientes, mejorar textura, reducir las contaminaciones. Tiene como desventaja que las altas temperaturas y el tiempo al que son sometidos inactiva vitaminas y otros aditivos que deben ser asperjados finalmente al pellet y en otros casos se requiere considerar mayores márgenes de seguridad.

### FANs EN FUENTES PROTEICAS ALTERNATIVAS

Con relación a las fuentes proteicas, existe cada vez más, un mayor interés por las leguminosas tropicales en aquellos lugares donde las leguminosas de granos tradicionales no son aptas agrónomicamente por factores climáticos y ambientales, (Arora, 1995) pero sólo una pequeña proporción de ellas se utiliza como alimento de animales no rumiantes y humanos, debido en gran parte a la presencia de factores antinutricionales (FANs) y las dificultades para su desintoxicación porque frecuentemente coexisten diferentes FANs en especies individuales de una misma variedad tropical, y sólo podrán ser empleadas, después de que se apliquen extensivos procesos .

Mientras que otras como tienen FANs menos potentes o con más sensibilidad al calor, requieren procesos menos rigurosos, constituyendo así las de más interés para la alimentación de animales no rumiantes.

**Cuadro 1.** Harina de Hy-Pro obtenida por extrusión de desechos de incubadoras y harina de soya (modificado de Said 1996).

ANÁLISIS PROXIMAL	%	COMPOSICIÓN AMUNOACÍDICA	%
Materia seca	90.0	Arginina	2.80
Proteína cruda	43.0	Histidina	1.30
Grasa	3.5	Isoleucina	1.75
Fibra cruda	19.0	Leucina	3.20
Proteína degradable	36.0	Lisina	2.50
Proteína no degradable	64.0	Metionina	0.71
Proteína digestible	98.0	Cistina	0.57
Extracto libre de N	22.0	Treonina	1.80
Fibra ácido detergente	3.8	Triptófano	0.52
Fibra neutra detergente	36.3		
<b>Energía metabolizable, Kcal/kg</b>	<b>2860</b>	<b>Contenido mineral, %</b>	
		Calcio	5.50
		Fósforo total	0.65
		Fósforo no fítico	0.40
		Magnesio	0.25
		Sodio	0.09
		Cloro	0.14
		Potasio	1.50
		Azufre	0.20

**Cuadro 2.** Resultados del conteo de microorganismos aerobios en desechos antes y después de la extrusión (modificado de Said, 1996).

	ANTES	DESPUÉS
<b>Aves muertas<sup>A</sup></b>		
Broilers de 3 sem	2.1 x 10 <sup>6</sup>	0
Broilers de 4 sem	1.6 x 10 <sup>6</sup>	0
Pavos de 6 sem	2.6 x 10 <sup>6</sup>	0
Pavos de 12 sem	3.2 x 10 <sup>5</sup>	0
<b>Plumas<sup>A</sup></b>		
Sin hidrolizar	4.2 x 10 <sup>5</sup>	0
Hidrólisis enzimática	3.2 x 10 <sup>5</sup>	0
<b>Cáscaras de huevos<sup>B</sup></b>		
Fuente A	2.0 x 10 <sup>8</sup>	0
Fuente B	5.6 x 10 <sup>8</sup>	0
<b>Sólidos de incubadoras<sup>C</sup></b>		
Fuente A	1.3 x 10 <sup>10</sup>	0
Fuente B	1.9 x 10 <sup>9</sup>	0
<b>Desechos incubadoras reconst.<sup>D</sup></b>		
Fuente A	1.0 x 10 <sup>8</sup>	0
Fuente B	1.1 x 10 <sup>9</sup>	0
<b>Residuos desehuesado mecánico<sup>E</sup></b>	1.4 x 10 <sup>8</sup>	0

Residuos desehuesado mecánico<sup>E</sup> 1.4 x 10<sup>8</sup> 0<sup>A</sup> - H. de soya: aves muertas o plumas (75:25, BH)<sup>B</sup> - Maíz molido: cáscara de huevo centrifugada (25:75, BH)<sup>C</sup> - Maíz molido: sólidos de incubación centrif. (40:60, BH)<sup>D</sup> - Maíz molido: sólidos de incubación centrif. y líquido (65:19.6:15.4, BH)<sup>E</sup> - Maíz molido: residuos del deshuesado mecánico (73.2:26.8, BH)

Si bien se han evaluado muchas de estas especies, se presentan como ejemplo los intentos para contrarrestar los aspectos negativos de la *Canavalia ensiformis* por la Universidad Central de Venezuela y del *Cajanus cajan* (gandul) por la Universidad del Táchira de Venezuela.

Con el objetivo de desintoxicar la *Canavalia ensiformis* de los principales FAN<sub>s</sub> canavanina y concanavalina A, se han evaluado diferentes procesos y de ellos el tostado (cuadro 3) con temperaturas entre 180 y 220<sup>o</sup> C hacía desaparecer el efecto hemoaglutinante de las harinas y al menos el 50% del nivel original de canavanina presente en los granos crudos.

Los pollitos han mostrado ser más tolerantes que los cerdos a los efectos tóxicos residuales de la canavanina, pero si empleaban la canavalia cruda, no podían incluir más que un 10%, autoclaveado a 120<sup>o</sup> C por 60 minutos, hasta un 14% y con un proceso de extracción con KHC<sub>3</sub> previo al autoclaveado, el nivel sería hasta 28%. En gallinas ponedoras se plantea una mayor tolerancia a niveles más altos de granos crudos o procesados de canavalia, que pueden llegar a un 20% después de autoclaveados por 30 minutos.

Con la extrusión de la canavalia, León *et al.* (1990) aunque lograron mejorar los valores de digestibilidad del almidón y los aminoácidos y el contenido de energía metabolizable, no obtuvieron una respuesta productiva acorde, sino muy inferior al control e incluso al tostado con igual nivel de inclusión, lo cual sugiere que pudieran estar involucrados otros factores que influyeron en esa contradictoria respuesta.

Sin embargo, en el Instituto de Ciencia Animal al evaluar la mucuna y la canavalia tostada, extruída o cruda en estudios de

Cuadro 3. Efecto del tostado de granos partidos de canavalia en el contenido de FANs en pollos de engorde de 0-28 d (Campos, 1992).

Tratamiento	Gan. peso vivo		Cons. alimento		Canavalia %	Titulo hemoaglutinant.
	g/ave	%	g/ave	%		
Canavalia cruda	-	-	-	-	2.79	+7
Control	933	100	1575	100	-	-
Control + 30% canavalia tostada a						
°C						
160	402	43	962	61	1.93	+3
170	678	72	1363	87	1.41	0
180	799	86	1529	97	0.73	0
190	809	87	1518	96	0.20	0
200	806	86	1555	99	0	0
210	747	80	1538	98	0	0
220	731	78	1500	95	0	0

digestibilidad de nutrientes (cuadro 4) y en una prueba de observación sobre el comportamiento productivo (cuadro 5) se encontró por Lon Wo *et al.* (2003) que tanto el tostado como la extrusión mejoraban la respuesta productiva aun con canavalia al 50% de sustitución de la fuente proteica tradicional con mejores resultados con la extrusión.

El *Cajanus cajan* (gandul) con un contenido en energía metabolizable (EM) que varía de 10.66 a 13.7 MJ/kg, digestibilidad y valor nutritivo adecuado para especies monogástricas, también presenta factores antinutricionales que se han tratado de contrarrestar por diferentes métodos como se muestra en los cuadros 6 y 7.

## OTROS PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS

Shih (1993) señaló que durante el proceso de fermentación termofílica anaeróbica empleado para convertir excretas animales en metano (biogas), el residuo sólido en suplemento alimenticio y los nutrientes líquidos para la acuicultura, aislaron e identificaron una bacteria termofílica degradadora de las plumas, el *Bacillus licheniformis* cepa PWD-1. Este bacilo es capaz de fermentar y convertir las plumas en un producto parcialmente hidrolizado llamado pluma lisada, que demostró ser equivalente a la proteína de la soya en digestibilidad y nutricionalmente.

Cuadro 4. Composición bromatológica parcial y digestibilidad de la proteína en granos de mucuna y canavalia.

Muestra	Materia seca, %	N verdadero, %	Proteína Bruta, %	Digestibilidad Verdadera %
Mucuna				
Cruda	90.70	4.01	25.08	89.35
Extruida	90.07	3.84	24.01	90.28
Tostada	90.53	4.08	25.52	90.42
Canavalia				
Cruda	89.53	4.05	25.33	51.84
Extruida	89.90	4.53	28.29	92.15
Tostada	94.32	4.28	26.78	88.97

Cuadro 5. Comportamiento productivo de pollos de ceba (1-28d) alimentados con granos mucuna o canavalia tratados por diferentes métodos físicos.

Tratamiento	Ganancia de peso g/ave	Conversión g/g	Consumo g/ave
Dieta control	912	1.68	1531
Mucuna			
Cruda	746	1.83	1367
Extruida	818	1.68	1375
Tostada	809	1.76	1422
Canavalia			
Canaval			
Cruda	447	1.89	844
Extruida	864	1.53	1328
Tostada	834	1.69	1410

Cuadro 6. Efecto de diferentes tratamientos en la actividad antitripsina en el gandul (Romero, 1999).

Tratamiento	Tripsina inhibida, g/g de muestra	Inhibición %	Actividad destruida %
Crudo	7.8	86.9	-
Autoclaveado	2.3	26.0	70.8
Microonda	2.7	30.9	65.3
Extrusión	2.3	26.5	70.2

La enzima queratinasa aislada y purificada de un medio de cultivo de la bacteria PWD-1 (Lin et al 1992) hidroliza un amplio rango de proteínas que incluye: queratina, colágeno y elastina y demostró una actividad proteolítica más alta que la mayoría de las proteasas. Su efectividad fue probada a través de la digestibilidad en aves con productos de plumas crudas y molidas o harina comercial y mejoró de 30 a 66% y de 77 a 90% respectivamente.

Las fermentaciones lácticas y el uso de enzimas y otros aditivos, permitirán conformar sistemas de alimentación alter-

nativos donde diversos productos, subproductos y desechos podrán transformarse en fuentes de proteína con alto valor nutritivo que compita con los sistemas de producción de alta tecnología, con menores costos por concepto de alimentación. Además, el impacto ecológico es sumamente importante pues ofrece soluciones a la contaminación que incluso la propia industria avícola crea en el entorno.

Cuadro 7. Efecto de la germinación en la disponibilidad de fósforo en el gandul (Duhan *et al.*, 2001).

Tratamiento	P total mg/100g	P fitato mg %		P no fitato, %
Control	437	245	56	44
Remojo:				
6h	424	231	54.5	45.5
12h	414	217	52.4	47.6
18h	400	182	45.6	54.5
Remojo + Descasc.	384	178	46.2	53.8
Cocinado ordinario:				
Sin remojar	437	234	56.0	44.0
Remojado	414	209	56.6	43.4
Remojo + descasc.	384	169	54.3	45.7
Cocinado a presión:				
Sin remojar	437	214	49.0	51.0
Remojado	414	203	49.0	51.0
Remojo + descasc.	384	162	42.2	57.8
Germinado:				
24h	414	168	40.5	59.5
36h	414	162	39.1	60.9
48h	414	158	38.1	61.9

## BIBLIOGRAFÍA

- Arora, S.K. 1995. Composition of legume grains. In Trop. Legumes in Anim. Nut. Edited by J.P.F. D'Mello & C. Devendra pp.67-93, Ed. Cab. Internat. UK.
- D'Mello, J.P.F. 1995. Antinutritional substances in Legume seeds. In: Trop. Legumes in Anim. Nut. Edited by J.P.F. D'Mello & C. Devendra, pp.135-172. Ed. Cab. Internat. UK.
- Lon-Wo, E. 1995. Alimentación no convencional para las aves en el trópico. XIV Cong. Latinoam. de Avicultura. Memorias. Sept. 1995. Stgo. Chile.
- Martínez, M. Uso del Norgold en dietas para credos. Tesis en opción al título de Máster en Ciencias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.
- Rodríguez, Z. 2006. Fermentación en estado sólido de la caña de azúcar con una fuente amilácea (*Ipomea batata*) Tesis en opción al grado científico de Dr. En Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.
- Said, N.W. 1996. Extrusion of alternative ingredients: An environmental and a nutritional solution. J. Appl. Poult. Res. 5:395
- Savón, L. 2007. Caracterización físico-química de las harinas de leguminosas de granos y evaluación fisiológica para su uso en la alimentación de animales monogástricos. Informe Final de proyecto CITMA nacional. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.
- Scott, M.L., M.C. Nesheim & R.J. Young. 1982. Nutrition of the chicken. Publ. by M.L. Scott & Associates. 3<sup>rd</sup> Ed. Pp 431-470. Ed. W.F. Humphrey Press Inc., Geneva, New York.