

INFLUENCIA DEL PROCESADO DE INGREDIENTES Y PIENSOS TERMINADOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD EN MONOGÁSTRICOS

G.G. Mateos, D. García Valencia y B. Vicente Piqueras
Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid

1.- INTRODUCCIÓN

El procesado de ingredientes y piensos terminados es una práctica común de la industria de piensos compuestos por sus efectos beneficiosos sobre la productividad. Los procesos tecnológicos más utilizados son la molienda, el granulado y el procesamiento térmico a altas temperaturas (>90 °C). La aplicación de estas técnicas afecta la fisiología digestiva y la composición de la microflora intestinal y por tanto a la productividad. La influencia de las condiciones del proceso (tamaño y uniformidad de las partículas tras la molienda, temperatura de acondicionamiento y tamaño y calidad del gránulo producido, y temperatura, tiempo, humedad, presión y fricción aplicados a ingredientes y piensos terminados durante el procesado térmico) sobre la rentabilidad de las explotaciones no está clara. Parte del problema radica en que los efectos de estos factores tecnológicos están interrelacionados y dependen de la composición del pienso y de la edad y el estatus sanitario de los animales (Kaldhusdal, 1999; Mateos et al., 2004).

Es difícil hacer recomendaciones prácticas sobre las características más adecuadas de la molienda y la textura de los piensos destinados a aves y cerdos. Así, el efecto del grado de molienda depende de que el pienso se ofrezca en forma de harina o de gránulo o de que se suministre a animales sanos o a animales con una cierta problemática digestiva (Mateos et al., 2002a). Un problema adicional que dificulta comparar técnicas de procesado es la carencia de metodologías adecuadas para evaluar los resultados. Por ejemplo, numerosos trabajos que estudian el efecto del tamaño de partícula sobre la productividad animal sólo diferencian entre tamaños "groseros", "medianos" y "finos" que no tienen significado biológico alguno. La instauración de la técnica de ASAE (1995) para

valorar el tamaño medio de las partículas (diámetro geométrico medio; DGM) y su dispersión pueden mejorar las valoraciones a este particular. Asimismo, la mayoría de los trabajos publicados mencionan la durabilidad (porcentaje de finos tras agitar una cantidad fija de alimento en un tambor rotatorio) de los piensos experimentales pero no la dureza (medida de compresión; tornillo de Bonald) cuya incidencia sobre el consumo es importante (Fairfield, 1994; Melcion, 1995; Thomas y van der Poel, 1996).

El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia de la molienda de ingredientes, la granulación del pienso y el procesado a altas temperaturas de ingredientes y piensos terminados sobre la productividad en aves y en ganado porcino.

2.- INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TECNOLÓGICO EN AVICULTURA

2.1.- Textura y uniformidad de la molienda

El objetivo de la molienda es reducir el tamaño de las partículas de los ingredientes para aumentar la superficie de exposición a la acción de los enzimas endógenos y facilitar la digestibilidad de los nutrientes. Además, la molienda facilita el manejo y la mezcla de las materias primas y aumenta la eficiencia de producción y la calidad del gránulo. Hasta muy recientemente se consideraba que cuanto menor era el tamaño de la partícula mejor era el índice de conversión y mayor era la productividad del ave (Davis et al., 1951). Partículas pequeñas favorecen la velocidad de tránsito, mejoran la digestibilidad de los nutrientes y ayudan a compactar las partículas en piensos granulados (Schaible, 1970; Kilburn y Edwards, 2001). Davis et al. (1951) suministran maíz molido grosero ($>1.410 \mu\text{m}$) o molido fino ($<1.410 \mu\text{m}$) y observan mayor consumo y peor conversión de los pollos con las partículas más groseras. Carré (2000 y 2004) indica que moliendas finas mejoran la disponibilidad de ciertos constituyentes intracelulares, efecto que es superior en dicotiledóneas, caso de la soja, la colza, las habas y el guisante que en monocotiledóneas, caso de los cereales. Asimismo, el efecto beneficioso de la molienda es más importante con ingredientes como el sorgo y la semilla de colza que debido a su protección externa fibrosa son difíciles de quebrar en la molleja y de atacar por lo enzimas endógenos del sistema gastrointestinal (Douglas et al., 1990).

Datos más recientes indican que moliendas finas no son necesariamente mejor que moliendas groseras en aves (Reece et al., 1986a, b; Lott et al., 1992). Nir et al. (1994a) indican que las partículas de mayor tamaño están mejor adaptadas a la fisiología de las aves y que moliendas groseras mejoran el peristaltismo digestivo y la utilización de nutrientes. Nir et al. (1990) indican que pollos alimentados con harinas tienden a consumir más si las partículas son groseras. Kilburn y Edwards (2004) utilizan en pollos de engorde dietas maíz-soja donde la fuente proteica fue molida en un molino de martillos a un DGM

de 1.239 ó de 891 μm . Observan que la utilización digestiva fue superior con la dieta basada en harina grosera que con la de harina molida fina. Pudiera ocurrir que las partículas groseras se retengan en la molleja durante más tiempo que las finas. Un mayor tiempo de retención en la porción proximal del aparato digestivo favorece la solubilidad de las partículas y el acceso enzimático posterior. De hecho, la utilización de harina grosera mejoró los índices de conversión y el contenido en cenizas de la tibia indicando que la digestibilidad de los minerales y otros nutrientes aumentaba (cuadro 1). López et al. (2000) presentan datos de EMBRAPA que demuestran que el crecimiento de pollos alimentados con piensos en harina mejora cuando el tamaño de la partícula es grosero (cuadro 2). Asimismo, Reece et al. (1985) observan que broilers alimentados con dietas a base de maíz grosero (molino de rodillos) presentaban mejores productividades que pollos alimentados con el mismo maíz molido más fino utilizando un molino de martillos. Engberg et al. (2002) y Hochstetler (2005) indican que partículas groseras pueden reducir la problemática de procesos entéricos y aumentar la digestibilidad de ciertos nutrientes.

Cuadro 1.- Influencia del tamaño de molienda de la harina de soja sobre la productividad en broilers de 1 a 16 días de edad (Kilburn y Edwards, 2004)

| | Diámetro harina de soja, μm | | P |
|---------------------------|--|-------|------|
| | 1239 | 891 | |
| Peso vivo, g | 341 | 328 | 0,18 |
| Índice de conversión, g/g | 1,52 | 1,57 | 0,05 |
| Cenizas en hueso, % | 34,0 | 32,8 | 0,01 |
| EM de la dieta, kcal/kg | 3.262 | 3.237 | 0,46 |

Cuadro 2.- Tamaño de partícula y productividad en pollos a 38 días de edad (López et al., 2000)

| | Grosero ¹ | Fino ² | P |
|---------------------------|----------------------|-------------------|----|
| Peso vivo, g | 2.042 | 1.960 | * |
| Consumo de pienso, g | 3.597 | 3.455 | * |
| Índice de conversión, g/g | 1.802 | 1.806 | NS |

¹DGM de 1.286 μm en inicio y 1.077 μm en crecimiento.

²DGM de 960 μm en inicio y 845 μm en crecimiento.

Partículas excesivamente finas aumentan la velocidad de tránsito y producen atrofia de la molleja, que es el órgano director de los movimientos peristálticos y de reflujo del aparato digestivo (Moran, 1982; Duke, 1994). Por tanto, moliendas muy finas perjudican de forma indirecta la motilidad y elevan el pH del contenido digestivo. pH elevados reducen la solubilidad y digestibilidad minerales, proteína y otros nutrientes. Además,

facilitan el crecimiento de los microorganismos patógenos ya que en la mayoría de ellos el pH óptimo de crecimiento está cercano a la neutralidad o es ligeramente básico. Por tanto, una molienda excesivamente fina puede reducir la motilidad digestiva y el contacto entre nutrientes y enzimas, empeorar los índices de conversión y aumentar la incidencia de procesos entéricos. Además, los finos del pienso en contacto con el agua causan aglomeración de partículas y pastosidad del pico reduciendo el consumo de pienso y aumentando el consumo de agua y las pérdidas de pienso al lavarse el pico en los bebederos (Elley y Bell, 1948). Por tanto, textura y dureza del pienso así como grado y uniformidad de la molienda son importantes en alimentación de aves ya que influyen sobre el consumo y la productividad, especialmente en pollitos jóvenes (Picard et al., 2000).

Tamaños de partícula excesivamente groseros perjudican la productividad en pollos mediante al menos dos mecanismos diferentes: 1) selección de unas partículas sobre el resto, 2) reducción directa o indirecta del consumo por alterar la velocidad de tránsito. Las aves seleccionan su consumo en función de la estructura de lo que se le ofrece. Schiffman (1969) sugiere que las aves prefieren alimentos estructurados sobre los que no lo están y que con la edad la preferencia por las partículas más groseras aumenta. Moran (1982) indica que la preferencia por un tamaño de partícula u otro podría estar relacionado con el tamaño del pico cuyas dimensiones son fijas a una edad dada y con la búsqueda de la forma más eficiente de llevarse el alimento a la boca. Por tanto la preferencia por un tamaño u otro depende de la edad del pollito. Partículas de tamaño excesivo no son consumidas por el pollito recién eclosionado ya que no están adaptadas a las dimensiones del pico. Parsons et al. (2003) observa que la productividad de los broilers bajaba al aumentar el tamaño de las partículas de maíz de 781 μm a 2.241 μm . Lott et al. (1992) indican que partículas con un DGM mayor de 1.196 μm (criba de 9,59 mm en molino de martillo) son excesivamente grandes y tienden a reducir el consumo en pollitos. Nir et al. (1994 a,b) indican que en dietas de preiniciación basadas en maíz, el DGM adecuado está en torno a 0,7-0,9 mm, mientras que los pollos adultos prefieren partículas superiores a 1,20 mm. Por último, la ralentización de la velocidad de paso del alimento con partículas de pienso de gran tamaño produce sensación de saciedad lo que puede reducir el consumo (Nir et al., 1994 a,b).

La uniformidad del tamaño de las partículas es otro factor a considerar en relación con las características de la molienda. Nir et al. (1994 a) indica que no sólo el tamaño medio de la partícula sino también la uniformidad de las mismas es importante en relación con la productividad en pollitos de hasta 21 días de edad. Hancock (1996) estima que para conseguir mezclas de pienso homogéneas es preciso que el coeficiente de variación del tamaño de las partículas sea inferior al 10-15%. Los molinos de rodillos dan lugar a tamaños de molienda más uniformes que los molinos de martillos (Hermann, 1989; Owens y Heimann, 1994). Por tanto, el porcentaje de partículas excesivamente finas, que perjudican la fisiología digestiva, y de partículas excesivamente groseras, que reducen la

digestibilidad de los nutrientes, es menor con molinos de rodillos. Sin embargo, la importancia de este factor (molienda con martillos vs molienda con rodillos) en alimentación práctica de broilers es reducida (Nir et al., 1990) ya que los piensos van granulados por lo que el interés en lograr un tamaño y uniformidad de partículas óptima se reduce (Reece et al., 1985; Carré, 2000).

No existen apenas trabajos que hayan estudiado la importancia del tamaño de la molienda en avicultura de puesta. El tamaño medio de la partícula es particularmente importante en piensos de iniciación para pollitas de recría en harina. Datos proporcionados por IsaBrown (1998) indican que tamaños de partícula medios del cereal inferiores a 1,1 mm reducen el consumo y el peso corporal a 21 d de edad así como el tamaño de la molleja (cuadro 3). Green (1991) indica que moliendas excesivamente finas aumentan el consumo en ponedoras sin mejorar la productividad mientras que otros autores (IsaBrown, 2000) inciden en la importancia de suministrar partículas de tamaño grosero. Por otro lado, Deaton et al. (1989) suministran piensos con un tamaño de partícula de 814 μm o 1.341 μm a ponedoras de 23 a 72 semanas de vida sin observar diferencia alguna entre tratamientos para ninguno de los parámetros estudiados (cuadro 4).

Cuadro 3.- Influencia del tamaño de la partícula del cereal sobre el crecimiento de pollitas de 1 a 3 semanas de vida (IsaBrown, 1998)

| | Tamaño partícula del cereal, mm | | |
|--------------------------------|---------------------------------|------|------|
| | 0,6 | 1,1 | 2,3 |
| Consumo pienso, g ¹ | 591 | 662 | 645 |
| Peso corporal, g | 491 | 568 | 540 |
| Peso molleja, % PV | 2,22 | 2,80 | 3,13 |

¹7 a 21 d.

Cuadro 4.- Influencia del tamaño de la partícula sobre la productividad en ponedoras (Deaton et al., 1989)¹

| DGM, μm^2 | 814 | 1.341 |
|-------------------------------|------|-------|
| Índice de puesta, % | 74,7 | 73,4 |
| Consumo de pienso, g/d | 96,0 | 94,7 |
| Peso del huevo, g | 57,1 | 57,1 |
| Índice de conversión, g/g | 2,26 | 2,27 |
| Ganancia de peso ³ | 303 | 320 |

¹Tamaño fino con molino de martillos de 4,8 mm y tamaño grueso con molino de rodillos con un espacio entre rodillos de 0,63 mm en el superior y 0,318 mm en el inferior.

²Diámetro geométrico medio.

³23 a 71 semanas.

Deben evitarse tamaños reducidos de partícula ($<600 \mu\text{m}$) en piensos de iniciación de pollitas (0 a 4 semanas) y de inicio de puesta (18 a 40 semanas) ya que reducen el consumo y el tamaño y aumentan el pH del contenido de la molleja, lo que influye sobre la fisiología y el crecimiento de los diversos microorganismos presentes en el tracto intestinal. En el trabajo de Green (1991) realizado con aves viejas la molienda fina redujo el consumo en un 3,3% (119 vs 123 g/d) en relación con la molienda grosera sin que el peso del huevo o el índice de puesta se vieran afectados. Este autor recomienda reducir el tamaño de las partículas del pienso para ponedoras a final de puesta a fin de reducir el exceso de consumo (cuadro 5).

Cuadro 5.- Influencia del tamaño de la partícula sobre el consumo de pienso y la productividad en ponedoras de 50 a 70 semanas de edad (Green, 1991)

| | Molienda | | |
|---------------------|----------|-------|------|
| | Grosera | Media | Fina |
| Consumo pienso, g/d | 123 | 120 | 119 |
| Índice de puesta, % | 77,1 | 78,1 | 78,3 |
| Peso del huevo, g | 66,6 | 66,5 | 66,7 |

Desafortunadamente este trabajo no presenta información sobre el tamaño geométrico de las partículas ni da valores de variabilidad estadística de la productividad de las aves. Portella et al. (1988) también observan que el consumo de pienso era superior con partículas finas que con partículas groseras e indican que un cambio abrupto de piensos de harina fina a piensos muy groseros reduce de forma drástica el consumo (hasta 30 g en el primer día). Estos autores indican que las ponedoras necesitan hasta cuatro días para ajustar el consumo a sus necesidades cuando se cambia de forma brusca la textura del pienso. Vandenboorn et al. (1993) trabajando con dietas con un 40% en maíz en ponedoras de 22 a 36 semanas de edad no observan diferencias en productividad con moliendas de 3 ó 9 mm. No obstante, los datos numéricos favorecieron al pienso más fino (94,2 vs 91,8% de índice de puesta y 2,18 vs 2,23 de índice de conversión). Por el contrario, el tamaño del huevo fue mejor con el maíz grosero (57,7 vs 57,2 g).

Resultados de nuestro laboratorio indican que independientemente del valor nutricional de los piensos las ponedoras prefieren partículas molidas groseras a molidas finas y que si se les permite elegir prefieren tamaños comprendidos entre 1,1 y 2,4 mm a partículas menores de 0,5 mm. Un cambio brusco de molienda fina a molienda grosera reduce el consumo durante el primer día tras el cambio y afecta ligeramente al tamaño del huevo. Una buena textura facilita el manejo del pienso y favorece el consumo. Es recomendable que entre un 75 y un 80% de las partículas estén en un tamaño comprendido entre 0,5 y 3,2 mm (cuadro 6). De hecho, si hay alimento disponible abundante, las aves

rechazan consumir aquellas partículas inferiores a 0,15 mm (Anónimo, 1994). Leeson y Summers (2005) indican que con piensos en migas, las gallinas seleccionan aquellas de mayor tamaño y sólo consumen el remanente cuando se acaban las primeras. Dado que los piensos para ponedoras se suministran en harina, la uniformidad del tamaño de partícula es importante. Por ello, y no sólo por su solubilidad más lenta, se recomienda que un alto porcentaje (>40%) del carbonato cálcico añadido como fuente de calcio sea suministrado en forma de partículas groseras (>2-3 mm).

Cuadro 6.- Recomendaciones sobre tamaño de partícula en piensos de ponedoras (IsaBrown, 1996 y 2000)

| Diámetro, mm | % |
|---------------------|----------|
| <0,5 | <10-15 |
| 0,5-1,0 | <20 |
| 0,5-3,2 | >75-80 |
| >3,2 | >8-10 |

2.2.- Granulación, tamaño y calidad del gránulo

La granulación del pienso mejora de forma consistente la productividad en pollos (Slinger, 1973; Jones, 1979; Hamilton y Proudfoot, 1995; Svihus et al., 2004) siendo el efecto más evidente cuando se utilizan ingredientes fibrosos o groseramente molidos (Zatari y Sell, 1990). Desde un punto de vista nutricional las razones más importantes que explican estas mejoras son: 1) evita la selección por el ave, 2) reduce las mermas, 3) aumenta la digestibilidad de los nutrientes, 4) disminuye los gastos de conservación y 5) mejora el consumo de pienso. Por el contrario, el gránulo tiende a aumentar el consumo de agua y reduce de forma significativa el tamaño del tracto gastrointestinal y el peso de la molleja (Choi et al., 1986) lo que puede ser perjudicial en caso de alta incidencia de problemas digestivos.

La granulación reduce la capacidad de selección del ave, uniformizando el consumo. En el broiler la importancia de esta ventaja es reducida ya que el porcentaje de gránulos enteros a nivel del comedero rara vez supera la cifra del 50% (al menos en dietas basadas en maíz o sorgo). Por tanto, el ave se permite cierto grado de selección. En cualquier caso, el porcentaje de partículas muy finas en comedero es inferior en piensos granulados que en piensos en harina ya que en el primer caso los finos tienden a aglomerarse, especialmente cuando se añade grasa. Es importante tener en cuenta que las dimensiones del pico no permiten a pollitos recién nacidos ingerir gránulos de excesivo tamaño (>3 mm). En caso de producir gránulos de diámetro superior, se recomienda granular a 5 mm y migajar posteriormente. Migas de excesivo tamaño, especialmente con niveles de trigo elevados, reducen el consumo.

Una ventaja del granulado, pocas veces tenido en cuenta, es la reducción de las pérdidas de pienso tanto a nivel de comedero (tiran menos) como a nivel de bebedero (agua más limpia). La valoración de estas mermas, incluso en condiciones experimentales, es muy difícil ya que depende en gran medida del tipo y diseño de comederos y bebederos y del manejo de los piensos. En cualquier caso es muy superior en granjas antiguas difíciles de manejar que en granjas modernas con equipos adecuados. Una observación común es que los bebederos y la granja en general están más limpios cuando el pienso se suministra en gránulo que cuando se da en harina. Un pollo estándar crece 60 g y consume cerca de 118 g de pienso al día lo que se traduce en un índice de conversión de 1,967. Si dejara de tirar 2 g de pienso al día (estudios convencionales de comportamiento indican que el ojo humano no detecta desperdicios de pienso en suelo inferiores al 3%) su conversión hubiera sido de 1,933; es decir, una mejora del 2%.

La mayoría de los estudios publicados indican que la granulación mejora la digestibilidad de los nutrientes y el contenido en EMn de la dieta (Allred et al., 1957; Carré et al., 1987; Moran, 1989; Svihus et al., 2004). Hamilton y Proudfoot (1995) indican que la granulación podría mejorar el grado de gelatinización del almidón del pienso y por tanto su digestibilidad. Carré et al. (1987) observan que la granulación apenas influía sobre el contenido en EMn de los cereales pero mejoraba entre un 1,8 y un 4,6% el de los guisantes. Rogel et al. (1987) determinan que la digestibilidad fecal del almidón en trigo molido aumentaba con la edad desde 85,8% a las tres semanas hasta 96,5% a las siete semanas de edad ($P < 0,05$) y que el granulado mejoraba la digestibilidad a 3 semanas (77,2 vs 94,4%; $P < 0,05$) pero no a siete semanas (95,1 vs 97,8%; $P > 0,05$). Por tanto, el granulado podría afectar a la digestibilidad del almidón de forma diferente en función de la edad la temperatura del proceso y la composición de la dieta. Además, es posible que los pollos tiren o desperdicien a través del agua algo más del pienso que se ofrece en harina que del que se ofrece granulado. Este error experimental daría lugar a menores digestibilidades teóricas del almidón (y de otros nutrientes) en las aves que consumen piensos en harina.

Dado que las temperaturas normalmente aplicadas en el proceso de granulación en pollos apenas supera los 80 °C y sólo durante periodos cortos de tiempo, su efecto sobre la estructura del almidón y por tanto sobre su digestibilidad es posiblemente reducida. De hecho, el granulado rara vez aumenta en más de un 5 a 10% la gelatinización del almidón (Svihus et al., 2004) que es aproximadamente el error del método analítico (hidrólisis enzimática) normalmente utilizado por la industria (Medel et al., 1999). Diversos trabajos (Plavnik, 2003) muestran que la molienda del gránulo reduce muy considerablemente los beneficios achacados a la granulación, lo que indica que la mejora de la digestibilidad por el calor no es clave. Además, la granulación del pienso normalmente mejora más los crecimientos que los índices de conversión, lo que probablemente sea debido a que el principal efecto del granulado sea el mayor consumo “real” de pienso. Sin embargo, la

fricción originada durante el proceso de granulación puede romper las estructuras celulares y liberar la grasa de ciertos ingredientes haciéndola más accesible a los enzimas endógenos y mejorando su digestibilidad. Por tanto, con dietas ricas en maíz estándar o rico en aceite y soja integral tostada, la granulación puede mejorar considerablemente la digestibilidad del extracto etéreo (Janssen, 1986; Gracia et al., 2002).

La influencia de la calidad del gránulo sobre la productividad ha sido ampliamente estudiada en aves. En general cuanto mayor es el porcentaje de gránulos enteros a nivel del comedero mayores son los beneficios (Leeson y Summers, 2005). En todo caso hay que tener en cuenta que gránulos excesivamente duros, tal y como ocurre cuando se utilizan altos porcentajes de trigo en la dieta, provocan rechazo del pienso y reducción del consumo (Mateos et al., 2004). Ya en 1962, Jensen et al. estudiaron el comportamiento de pollos y pavos alimentados con piensos en harina o granulados observando que éstos últimos pasaban menos tiempo ante el comedero y más tiempo descansando (cuadro 7).

Cuadro 7.- Influencia de la presentación del pienso sobre la dedicación de tiempo del ave (Jensen et al., 1962)

| | Tiempo dedicado a comer, minutos/día | | Consumo de pienso, g/ave | |
|---------------------|--------------------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | Harina | Gránulo | Harina | Gránulo |
| Pavos ¹ | 272 | 32 | 62 | 57 |
| Pollos ² | 206 | 68 | 38 | 37 |

¹38 a 45 d de edad.

²21 a 28 d de edad.

Yo et al. (1995) observan que la presentación del alimento en gránulo reducía hasta en un 60% el tiempo que los pollos dedicaban al consumo en relación con el mismo alimento en harina. Zafari et al. (1990) observaron que el peso de los pollos a 49 días de edad era superior cuando recibían un pienso con 25% de finos que cuando recibían el mismo pienso con 75% de finos (2.118 vs 2.073 g; $P < 0,01$). Sin embargo, la eficacia alimenticia fue similar para ambos tratamientos. Proudfoot y Hulan (1982) estudiaron la influencia del porcentaje de finos en dietas maíz-trigo-soja para pavos observando que según aumentaban los finos empeoraban ligeramente los crecimientos y los índices de conversión (cuadro 8). En cualquier caso, dietas granuladas con un 60% de finos dieron resultados ligeramente mejores que la dieta control en harina (6.014 vs 5.910 g de peso vivo medio de machos y hembras y 2,40 vs 2,50 de índice de conversión, respectivamente).

Cuadro 8.- Influencia del porcentaje de finos del pienso sobre la productividad en pavos a 14 semanas de edad (Proudfoot y Hulan, 1982)¹

| Textura | Finos % | Peso vivo, g | | IC g/g |
|---------|------------|--------------|---------|-----------|
| | | Machos | Hembras | |
| Harina | 100 | 6.872 | 4.947 | 2,50 |
| Gránulo | 0 | 6.951 | 5.219 | 2,31 |
| Gránulo | 7,5 | 6.942 | 5.173 | 2,35 |
| Gránulo | 15 | 7.000 | 5.281 | 2,37 |
| Gránulo | 30 | 6.966 | 5.156 | 2,37 |
| Gránulo | 60 | 6.895 | 5.134 | 2,40 |

¹Dietas basadas en trigo-maíz y soja.

El granulado aumenta el consumo de pienso en pollos al menos por tres razones: 1) mayor consumo debido a la mejora de la estructura del alimento, 2) mayor capacidad de almacenaje de gránulos que de harinas y 3) mayor velocidad de tránsito del alimento que reduce la sensación de saciedad. La granulación del pienso es más beneficiosa con dietas muy pulverulentas (altos contenidos en mandioca), de baja densidad (altos contenidos en avena) o muy fibrosas (altos contenidos en subproductos de cereales) donde la textura reduce la palatabilidad. Por otra parte el granulado compacta las partículas y aumenta la densidad del pienso lo que mejora la capacidad de consumo voluntario del ave (Hamilton y Proudfoot, 1995). En pollos, la ingesta viene limitada por la capacidad de almacenaje de pienso en los diversos compartimentos de su aparato digestivo; una vez que el pollo está "lleno" deja de comer. Hussar y Roblee (1962) observaron que la densidad de un pienso para pollos basados en avena y otros cereales aumentaba en un 24% con la granulación. Dado que la granulación aumenta la densidad del pienso, la capacidad de ingesta, especialmente durante los primeros 14 días, aumenta. Por otro lado la velocidad de tránsito es superior, y por tanto la capacidad de ingesta mayor, con gránulos que con harina. En un estudio realizado por EMBRAPA (López et al., 2000) se comparó el rendimiento productivo de pollos alimentados con gránulo o harina durante las fases de crecimiento y acabado. Al final de la prueba, los pollos que recibieron granulado entre 21 y 43 días comieron y crecieron un 8% más que los que consumieron harina (cuadro 9). Resultados similares han sido presentados por Hamilton y Proudfoot (1995) trabajando con dietas basadas en maíz y trigo (cuadro 10).

La granulación del pienso presenta ciertos inconvenientes. Por ejemplo, el procesado por calor húmedo acompañado de fricción deteriora la calidad de numerosos aditivos (p. ej. enzimas y ciertos antibióticos) y vitaminas (p. ej. vitamina A, C y ácido fólico), bien por ser sensibles al calor húmedo bien por disgregar la matriz de gelatina u otros materiales utilizados para su protección contra la agresión del medio (Pickford,

1992). Además, el consumo de piensos granulados reduce el tamaño de la molleja y del tracto digestivo en general (Choi et al., 1986) y perjudicar la motilidad intestinal y la productividad en caso de alta incidencia de procesos entéricos. Parte de este problema no se debe al granulado "per se" sino a la tendencia general de las fábricas a molturar más finamente aquellos ingredientes que van a ser utilizados en piensos granulados (Mateos et al., 2005).

Cuadro 9.- Efecto de la granulación del pienso sobre la productividad de broilers a 43 días de edad (López et al., 2000)

| Molienda¹ | Grosera | Grosera | Fina | Fina |
|--|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Presentación del pienso² | Harina | Gránulo | Harina | Gránulo |
| Consumo pienso, g | 4.542 ^c | 4.727 ^b | 4.350 ^d | 4.875 ^a |
| Peso vivo, g | 2.370 ^b | 2.536 ^a | 2.274 ^c | 2.482 ^a |
| I. conversión, g/g | 1,952 ^{ab} | 1,899 ^b | 1,952 ^{ab} | 2,002 ^a |

¹Molienda de 4,76 mm desde los 21 días de edad hasta el sacrificio.

²Diámetro geométrico medio de 1.077 μm (grosero) vs 845 μm (fino) en los piensos de crecimiento y acabado.

Cuadro 10.- Efecto del tamaño de partícula y la textura del pienso sobre la productividad en pollos de 1 a 42 d de edad (Hamilton y Proudfoot, 1995)

| Molienda | Fina¹ | Fina | Grosera² | Grosera | P |
|----------------------------|-------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------|
| Presentación pienso | Harina | Gránulo | Harina | Gránulo | |
| Peso vivo, g | 1.942 | 2.132 | 1.982 | 2.110 | 0,001 |
| I. conversión, g/g | 1,913 | 1,837 | 1,916 | 1,824 | 0,001 |

¹Tamiz de 3,2 mm para el maíz y de 4,0 mm para el trigo (molino de martillos).

²Tamiz de 5,6 mm para el maíz (molino de martillos) y distancia de 1,6 mm entre rodillos para el trigo. Efecto significativo de la presentación pero no del tamaño de la partícula.

En el cuadro 11 se ofrecen datos de Dozier (2001) sobre la influencia de diversos factores tecnológicos y nutricionales sobre la calidad del gránulo y en el cuadro 12 se detalla la importancia del nivel de trigo sobre el porcentaje de finos del pienso (Moran, 1989). Piensos con 60% de maíz ocasionaban al granular un 67,8% de finos mientras que al sustituir completamente el maíz por trigo el porcentaje de finos bajaba al 26,4%. Reimer (1992) estudió la incidencia de diversos factores sobre la durabilidad del gránulo y encuentra que los más importantes son la composición de la dieta (40%), el tamaño de la partícula (20%), el acondicionamiento previo (20%) y las características de los tamices (15%) y de los sistemas de secado y enfriado (5%).

Cuadro 11.- Factores que influyen sobre la calidad del gránulo (Dozier, 2001)¹

| Factor | ID, mejora %² |
|---|---------------------------------|
| Inclusión de 15% trigo ³ | 11,6 |
| Uso de aglomerante ³ | 12,5 |
| Aumento de la temperatura del acondicionador (+ 4 °C) | 10,0 |
| Reducción de la grasa añadida (1 a 0%) | 5,0 |
| Reducción del tamaño de la partícula (665 a 550 micrones) | 14,5 |
| Aumento del vapor añadido en mezcladora (12 a 14,5%) | 10,0 |
| Uso de expandir previo al granulado | 15,0 |

¹Recopilación de varios autores.

²Índice de durabilidad del gránulo.

³Dietas maíz-soja.

En los últimos años ha habido una tendencia a aumentar la concentración energética de los piensos para pollos y pavos de carne a fin de maximizar los crecimientos lo que ha obligado a aumentar los niveles de grasa añadida. En estos casos, un problema práctico de interés es la influencia de la grasa sobre la calidad del gránulo, especialmente en dietas basadas en maíz. A menudo un aumento de la energía metabolizable del pienso de 50-100 kcal de EM no resulta en beneficio alguno de los índices de conversión. La razón es que este incremento se logra adicionando más grasa al pienso lo que conlleva, si el control de calidad no es riguroso, a una peor calidad del gránulo (Mateos et al., 2004). Como resultado final, el beneficio de aumentar la concentración energética del pienso queda contrarrestado por el menor consumo debido a la pérdida de calidad del gránulo (Teeter y McKinney, 2003; Playnik, 2003).

Cuadro 12.- Influencia del tipo de cereal en la dieta de pavos sobre la durabilidad del gránulo (Morán, 1989)¹

| Maíz:trigo, % | Finos en el pienso terminado | |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | % | Reducción, % |
| 60:0 | 67,8 | - |
| 45:15 | 55,1 | 18,7 |
| 30:30 | 46,0 | 32,1 |
| 0:60 | 26,4 | 61,1 |

¹Temperatura de granulación: 80 °C. Pienso con 4% de grasa añadida. Información suministrada al autor por Cuddy Foods Ltd.

En ponedoras la utilización de piensos granulados no está muy extendida debido a que el aumento del coste no justifica las escasas mejoras que se obtienen. El migajado reduce el tiempo que el ave dedica a consumir el alimento que necesita lo que puede

redundar en beneficios sobre la productividad (Vilariño et al., 1996). Cherry (1959) observa que las gallinas ponedoras consumen una cantidad similar de alimentos en 6 horas si se le ofrece granulado que en 8 h si se le ofrece en harina lo que concuerda con las observaciones de Portella et al. (1988). Blamberg et al. (1964) indican que la granulación mejora el consumo en el inicio de la puesta lo que se traduce en un aumento en el tamaño del huevo. De hecho, en este ensayo las gallinas consumieron un 7% más de EM del pienso en gránulo que del pienso en harina lo que concuerda con Morris (1947), Black et al. (1958) y con Calet (1965) que en su estudio de revisión encuentra que el granulado aumenta el consumo voluntario en la mayoría de los ensayos. Ferchal et al. (2003) observan que la granulación mejora el contenido en EMn de la dieta en un 3%, reduce el consumo en un 3,9% y mejora los índices de conversión. Sin embargo, en este trabajo, la granulación redujo la puesta (86,3 vs 88,1; $P < 0,01$) y la masa de huevo (56,6 vs 58,1 g huevo/d; $P < 0,05$). Los autores achacan esta menor productividad al efecto negativo del calor aplicado durante la granulación sobre la digestibilidad del nitrógeno y la disponibilidad de los aminoácidos.

Engster (1985) indica que la granulación del pienso mejora ligeramente pero de forma consistente el tamaño del huevo así como los índices de conversión (alrededor de un 5%) (cuadro 13) y Wahlstrom et al. (1999) observan que el migajado del pienso mejoró la producción de masa de huevo en aves de 20 a 80 semanas de vida mantenidas en aviarios. Sin embargo, Kling et al. (1985) y Portella et al. (1988) no observan efecto beneficioso alguno sobre el consumo o la productividad al alimentar gallinas con piensos granulados. El efecto positivo del migajado del pienso es más evidente en piensos bajos en energía (Jensen et al., 1962; Mateos, 1987; Vilariño et al., 1996) y en verano más que en invierno (Almirall et al., 1997). Resultados de nuestro laboratorio (Mateos, 1987; Mendez et al., 1995; Mateos et al., 1995) indican que el suministro de migas a ponedoras comerciales tiende a reducir las pérdidas de pienso y a aumentar el consumo de energía, lo que resulta en una mejora ligera del tamaño del huevo y de los índices de conversión. Además, aumenta el peso corporal que puede ser importante en aves al inicio de la puesta. El efecto más positivo se observa en verano con pollitas blancas en inicio de puesta alimentadas con piensos con baja concentración energética (cuadro 14 y 15).

Cuadro 13.- Influencia del granulado en ponedoras (Engster, 1989)¹

| | Harina | Gránulo | Mejora, % |
|---------------------------------|---------------|----------------|------------------|
| Índice de puesta, % | 81,3 | 83,5 | +2,2 |
| Peso del huevo, g | 49,9 | 50,2 | +0,6 |
| Índice de conversión, kg/docena | 2,59 | 2,45 | -5,4 |
| kcal EM/g huevo | 5,81 | 5,49 | -5,5 |

¹Evaluación estadística no ofrecida por el autor.

Cuadro 14.- Influencia de la presentación del pienso sobre la productividad en aves de 42 a 70 semanas de vida (Mateos, 1987)

| | EM, kcal/kg | | | | P |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
| | 2.725 | | 2.540 | | |
| | Harina | Migas | Harina | Migas | |
| Consumo pienso, g/d | 128 | 125 | 129 | 1.131 | NS |
| Índice de puesta, % | 78 | 79 | 77 | 78 | NS |
| Peso del huevo, g | 67,4 ^a | 67,3 ^a | 66,8 ^A | 68,0 ^b | 0,10 |
| Índice de conversión, kg/kg | 2,43 | 2,36 | 2,52 | 2,52 | NS |
| Aumento de peso, g | 133 | 136 | 68 | 102 | 0,05 |
| Huevos sucios, % | 3,5 | 3,7 | 4,2 | 5,5 | NS |

Cuadro 15.- Influencia de la presentación del pienso sobre la productividad en aves de 20 a 56 semanas de vida (Mateos, 1987)

| | EM, kcal/kg | | | | P |
|-----------------------------|-------------|-------|--------|-------|------|
| | 2.725 | | 2.540 | | |
| | Harina | Migas | Harina | Migas | |
| Consumo pienso, g/d | 106 | 105 | 112 | 110 | 0,05 |
| Índice de puesta, % | 78 | 80 | 77 | 80 | NS |
| Peso del huevo, g | 59,8 | 60,9 | 61,3 | 61,8 | 0,10 |
| Índice de conversión, kg/kg | 2,57 | 2,47 | 2,65 | 2,55 | 0,10 |
| Aumento de peso, g | 386 | 436 | 374 | 390 | 0,10 |
| Huevos sucios, % | 3,3 | 4,1 | 4,3 | 6,7 | 0,15 |

Las gallinas tienden a consumir su alimento más rápidamente cuando está compactado y por tanto tienen más tiempo libre que dedican a visitar los bebederos con más frecuencia y a comportamientos sociales (picaje de plumas). Como resultado, aumenta la humedad de las heces (Mateos et al., 1995; McCracken et al., 1996; Almirall et al., 1997) y pueden agravarse los problemas de picaje y canibalismo.

Mateos (1987) observa que en condiciones de campo y piensos con altos porcentajes de subproductos de cereales y mandioca, la presentación del pienso en migajas aumentaba de forma notable la proporción de huevos sucios (8,5 vs 2,6% en gallinas blancas y 6,7 vs 2,9% en gallinas rubias) (cuadro 16).

Cuadro 16.- Influencia de la presentación del pienso sobre la suciedad del huevo: prueba de campo (Mateos, 1987)

| | Nº granjas | Huevos analizados, miles | Sucios, % | Limpios ¹ , % |
|--------------|------------|--------------------------|-----------|--------------------------|
| Aves blancas | | | | |
| Migas | 28 | 5 | 8,5 | 21 |
| Harina | 40 | 7 | 2,6 | 45 |
| Aves rubias | | | | |
| Migas | 6 | 2 | 6,7 | 50 |
| Harina | 46 | 6 | 2,9 | 63 |

¹Sin mancha de suciedad alguna.

La utilización de migajas es importante en pollitas en los primeros estadios de vida cuando el consumo inicial de pienso y la uniformidad del lote son esenciales. Gous y Morris (2001) indican que la granulación del pienso durante las primeras cuatro semanas de vida redujo el consumo en un 2% y mejoró el peso vivo a las 20 semanas en un 6%. Resultados similares han sido obtenidos por Ballam (1986) y por Deaton et al. (1988) trabajando con dietas de baja energía. Por el contrario, la granulación de los piensos, especialmente aquellos con contenidos bajos de fibra, reduce el desarrollo de los órganos del tracto digestivo lo que puede perjudicar el comportamiento productivo posterior de las aves.

En numerosos países se recomienda utilizar piensos migajados (o en su caso expandidos) en puesta y en reproductoras pesadas a fin de mejorar la higiene de los piensos y controlar, o en su caso reducir, la incidencia de salmonelas (Engster, 1989), hongos (Tabib et al., 1984; Ferchal et al., 2003) y otros microorganismos patógenos (Furuta et al., 1980; Tabib et al., 1981; Stott et al., 1975). Rasmussen et al. (1964) ya indicaron que un calentamiento de 82 °C durante siete minutos era suficiente para reducir a un mínimo el número de salmonelas presentes en diversos subproductos para alimentación animal. Stott et al., (1975) observaron que el conteo de enterobacteriáceas se reduce a una milésima parte al granular el pienso. En cualquier caso, el granulado reduce significativamente pero no elimina la presencia de salmonellas y otros patógenos en los piensos (Engster, 1989) y no tiene efecto alguno sobre la presencia de micotoxinas. En caso de procesar el pienso, es conveniente añadir dosis adecuadas de ácidos orgánicos a fin de evitar la recontaminación microbiana. Por otro lado también es necesario controlar el consumo de agua para reducir los problemas de heces húmedas y de calidad de los huevos asociados al uso de migas.

Los datos presentados indican que es conveniente granular los piensos para pollos y pavos de cualquier edad y que debe cuidarse tanto la textura como el tamaño de partícula

de los mismos. El porcentaje de gránulos a nivel de comedero debería ser superior al 60-65% pero deben evitarse gránulos excesivamente duros ya que reducen el consumo y aumentan el desperdicio de pienso. El tamaño del gránulo depende de la edad del ave pero en pollos debiera ser inferior a 1,5-2,0 mm (miga fina "sin finos" o microgránulos) en piensos de preiniciación (0 a 10 d de vida), de 2 a 3 mm en piensos de crecimiento (11-28 días) y en torno a los 3-4 mm en piensos de acabado (>28 días). En contra de la creencia general, tamaños de partículas relativamente groseros (>700 μm) pueden ser beneficiosos ya que tienen un efecto muy limitado sobre la calidad del gránulo, no reducen la digestibilidad de los nutrientes y mejoran la estructura de la mucosa digestiva lo que puede incidir positivamente sobre el estado sanitario y la productividad. Tamaños de partícula inferiores a 600 μm reducen la producción de pienso de forma drástica y además puede que no sean adecuados en granjas con problemas entéricos. Por el contrario, tamaños superiores a 1.000 μm reducen la calidad del gránulo y la productividad de los pollos. En aves de puesta se prefiere la presentación en harinas a la de migas pero conviene que el porcentaje de partículas de tamaño comprendido entre 0,5 y 3,2 mm supere el 75-80%. Moliendas inferiores a 800 μm no resultan en beneficio alguno y pueden complicar el manejo del pienso. El migajado puede ser aconsejable en pollitas durante la primera fase de cría y en inicio de puesta de ponedoras comerciales alimentadas con altos niveles de subproductos fibrosos pero debe vigilarse la humedad de las heces y el porcentaje de huevos sucios.

2.3.- Procesado térmico de ingredientes y piensos terminados

El procesado térmico a altas temperaturas (> 90 °C) del pienso para aves o sus constituyentes es poco utilizado ya que los resultados obtenidos son variables y poco favorables, excepto quizás en el caso de piensos expandidos. El calor puede reducir el nivel de factores antinutricionales termolábiles (p. ej. factores antitripsicos del guisante), aumentar la accesibilidad de los enzimas a los nutrientes que contiene (almidón, proteína y grasa) y disminuir la contaminación microbiana del pienso. Sin embargo, un procesado excesivo puede aumentar las reacciones de Maillard y el porcentaje de almidón resistente o retrogrado, no atacable por los enzimas propios del animal. Al mismo tiempo, la aplicación de calor puede romper determinadas estructuras hidrocarbonadas aumentando el porcentaje de fibra soluble y por tanto la viscosidad intestinal. Nissinen et al. (1993) han observado que el efecto beneficioso de la inclusión de enzimas exógenos (β -glucanasas y xilanasas) era mayor en dietas expandidas que en dietas control sin procesar (cuadro 17). La expansión o el procesamiento térmico en general, aumenta la solubilidad de los polisacáridos no amiláceos (PNA) presentes en la dieta y por tanto la viscosidad intestinal. Por tanto, la adición de hidrocarbonasas es especialmente aconsejable en dietas expandidas basadas en cebada o trigo. Resultados similares han sido obtenidos por Vukic-Vranjes y Wenk (1995). Herstad y McNab (1975) observan que el procesado por autoclave a 120 °C durante 30 minutos de la cebada aumentó los pesos vivos en uno de cuatro ensayos y que

la suplementación enzimática con amilasas fue más efectiva en dietas basadas en cebada calentada que en cebada cruda. Sin embargo, García et al. (1998) (cuadro 18) no han observado interacción alguna entre procesado térmico de la cebada y adición de enzimas en pollos.

Cuadro 17.- Efecto del procesado térmico y la inclusión de enzimas en pollos de 7 a 28 días de edad (Nissinen et al., 1993)

| Tratamiento | Enzimas | Δ PV, g/d | I. conversión, g/g ¹ |
|-----------------------|---------|------------------|---------------------------------|
| Granulado | No | 1.115 | 1,50 ^a |
| | Si | 1.158 | 1,47 ^{ab} |
| Expandido + granulado | No | 1.124 | 1,53 ^a |
| | Si | 1.177 | 1,39 ^b |

¹P < 0,05.

Cuadro 18.- Influencia del procesado de la cebada y la suplementación enzimática sobre la productividad del pollo (García et al., 1998)

| | 0-7 d | | 0-42 d | |
|------------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| | A PV, g/d | I. conversión, g/g | A PV, g/d | I. conversión, g/g |
| Procesado | | | | |
| Crudo | 14,3 | 1,18 | 55,5 | 1,69 |
| Calentado ¹ | 15,5 | 1,18 | 55,6 | 1,68 |
| Enzimas ² | | | | |
| 0 | 14,6 | 1,20 | 53,7 | 1,71 |
| 500 ppm | 15,5 | 1,15 | 57,4 | 1,65 |
| EEM (n = 12) | 0,657 | 0,037 | 1,19 | 0,027 |
| P ² | | | | |
| Procesado | 0,001 | NS | NS | NS |
| Enzimas | 0,05 | 0,01 | 0,001 | 0,001 |

¹Promedio de procesado por expansión a 120 °C durante 5 segundos y micronización.

²Interacción no significativa (P > 0,05).

Los efectos del procesado térmico del cereal sobre la digestibilidad de los nutrientes dependen en gran medida de la edad del ave, de la composición de la dieta y de las condiciones del procesado. Gracia et al. (2003 a) observaron que la digestibilidad fecal del almidón del maíz en pollos aumentaba desde un 94,2% a los 4 días de edad hasta un 97,1% a los 21 días de edad. El procesado mejoraba la digestibilidad a cualquier edad de forma que la media de las cinco edades consideradas fue de 95,5% para dietas basadas en maíz crudo y de 96,6% para dietas basadas en maíz cocido (cuadro 19). Un procesado

enérgico, tal como la extrusión o la expansión puede romper las estructuras celulares, facilitando en ciertos ingredientes la liberación de la grasa intracelular y su digestibilidad (Gracia et al., 2000, 2002 y 2003 a).

Cuadro 19.- Influencia del procesado del maíz sobre la digestibilidad fecal del almidón en pollos (Gracia et al., 2003 a)

| Edad, d ¹ | Crudo | Cocido ² | P |
|----------------------|-------|---------------------|------|
| 4 | 94,2 | 95,8 | 0,05 |
| 8 | 94,9 | 96,7 | 0,05 |
| 15 | 95,7 | 96,7 | 0,05 |
| 21 | 97,1 | 97,3 | NS |
| Media | 95,5 | 96,6 | 0,05 |

¹Efecto edad (P < 0,001).

²99 °C durante 50 minutos y laminado.

La expansión es una práctica común en producción de piensos para pollos pero no existen muchos datos sobre la eficacia del proceso. Diversos autores (Fancher et al., 1996; Plavnik y Sklan, 1995) han observado ligeras mejoras en la digestibilidad de los nutrientes y en los índices de conversión con la expansión. Fancher et al. (1996) realizan una serie de ensayos en pollos y encuentran que el uso del expander mejoraba los pesos vivos entre un 1,0% y un 6,6% y los índices de conversión entre un 0,05% y un 5,3%. Por su parte, Plavnik y Sklan (1995) observan que la expansión mejoraba ligeramente la digestibilidad de la energía de piensos basados en trigo y cebada (76,8 vs 77,9%; P < 0,05) pero no en piensos basados en maíz (79,4 vs 79,6%; P > 0,05). Plavnik (2003) indica que la extrusión de la dieta aumenta el contenido en EMAn de la misma de 1,5% a 3,5%. Moritz et al. (2005) incluyen cantidades variables de maíz extrusionado (92% de gelatinización) en dietas para broilers y observan una mejora de la EMn de la dieta con los niveles de inclusión. Además, los pollos que consumieron dietas con maíz extrusionado crecieron más que los pollos controles en gran parte debido al mayor consumo de pienso. Los índices de conversión, sin embargo, no mejoraron al incluir maíz extrusionado. Sin embargo, Vukic-Vranjes y Wenk (1995) encuentran un empeoramiento de la productividad en pollos con la extrusión húmeda.

Ensayos realizados en nuestro Departamento (García et al., 1998; Gracia, 2000; Gracia et al., 2002 y 2003a, b; González Alvarado et al., 2004; Jiménez-Moreno et al., 2004 y 2005) indican que el procesado por calor de la fracción cereal del pienso a menudo mejora la digestibilidad de los nutrientes a edades jóvenes lo que resulta en una ligera mejora de la productividad. Sin embargo, los efectos positivos desaparecen rápidamente con la edad de forma que no se observa efecto alguno en el momento del sacrificio

(cuadros 18 y 20). Los beneficios en cualquier caso no son consistentes variando con el tipo de cereal utilizado (cuadro 21) y pudiendo incluso ocurrir que el procesado por calor sea perjudicial en pollos con más de 10 días de edad (Jiménez-Moreno et al., 2004).

Cuadro 20.- Influencia del procesado de la cebada sobre la productividad en broilers (Gracia et al., 2003a)

| | 0-4 días | | P | 0-21 días | | P ² |
|---------------------------|----------|---------------------|------|-----------|--------|----------------|
| | Crudo | Cocido ¹ | | Crudo | Cocido | |
| Consumo pienso, g/d | 10,5 | 11,8 | 0,01 | 41,7 | 43,2 | NS |
| Ganancia de peso, g/d | 9,8 | 11,0 | 0,01 | 27,4 | 27,0 | NS |
| Índice de conversión, g/g | 1,07 | 1,08 | NS | 1,53 | 1,61 | 0,05 |

¹Cocido a 95 °C durante 50 minutos y laminado

²Interacciones no significativas.

Cuadro 21.- Influencia del procesado por calor de dos cereales sobre la productividad en broilers (González Alvarado et al., 2004)

| Cereal | Procesado | Edad del pollo, días | | | |
|---------------------|-----------|------------------------|---------|-----------|---------|
| | | 0-4 | | 0-21 | |
| | | A PV, g/d ² | IC, g/g | A PV, g/d | IC, g/g |
| Maíz | Crudo | 14,5 | 1,31 | 31,2 | 1,37 |
| Maíz | Cocido | 13,5 | 1,36 | 32,0 | 1,40 |
| Arroz | Crudo | 13,9 | 1,34 | 32,4 | 1,35 |
| Arroz | Cocido | 13,9 | 1,30 | 31,9 | 1,32 |
| EEM (n = 18) | | 0,125 | 0,019 | 0,53 | 0,011 |
| Efectos principales | | | | | |
| Cereal | | NS | NS | NS | 0,001 |
| Procesado | | 0,001 | NS | NS | NS |

¹Cocido a 90 °C durante 50 minutos y laminado.

²Cocido a 90 °C durante 45 minutos

³Descontando el peso inicial del pollito.

Existen muy pocos datos sobre la efectividad del tratamiento por calor en dietas para ponedoras. Hasemann et al. (1997) no observan beneficio alguno al expandir piensos para gallinas blancas. Lichovnikova et al. (2004) estudiaron el efecto de la extrusión seca (137 °C, 12 a 18% de humedad, durante 16 segundos) de piensos basados en trigo, guisantes y semilla de colza. El proceso de extrusión mejoró la digestibilidad de la grasa (93,7 vs 80,7%; $P < 0,001$), así como la de la proteína (62,9 vs 58,4%). En esta prueba el efecto positivo de la extrusión podría deberse a la destrucción de parte de los glucosinolatos o a la liberación de la grasa contenida en la semilla de colza. Por tanto, estos resultados son difícilmente extrapolables a nuestras condiciones. Por otro lado, la

expansión (120 °C durante 5 segundos) elimina la contaminación microbiana de los piensos por lo que está indicado en piensos para ponedoras o reproductoras pesadas donde la higiene es un objetivo importante (Heidenreich, 1994).

En base a los resultados expuestos no es recomendable desde un punto de vista económico utilizar cereales procesados por calor en dietas para ponedoras o aves de carne, excepto quizás en pollitos de menos de 7 d de vida. El procesamiento mejora la digestibilidad del almidón en cereales y leguminosas y puede mejorar la digestibilidad de la grasa en aquellos ingredientes donde este nutriente es de naturaleza intracelular, caso del maíz y de la semilla de soja. Cuando la higienización del pienso es un objetivo clave, es recomendable el uso de la expansión (120°C durante 5 segundos) acompañada de la incorporación de ácidos orgánicos a dosis activas. La expansión de piensos basados en trigo o cebada aumenta la conveniencia de utilizar enzimas. Procesados más enérgicos que la expansión, tales como la extrusión o el cocido-laminado no son recomendables ni desde un punto de vista productivo ni económico.

3.- INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TECNOLÓGICO EN GANADO PORCINO

3.1.- Textura y uniformidad de la molienda

La reducción del tamaño de partícula de los cereales y otros ingredientes de la dieta aumenta la superficie expuesta a la acción de los enzimas digestivos dando lugar a una mejora de la digestibilidad y de los índices de conversión (Wondra et al., 1995 a,b; Kim et al., 2005 a,b). Por ello, hasta muy recientemente se recomendaba que todos los piensos para porcino se suministraran con moliendas finas por su efecto positivo sobre los resultados económicos. Owsley et al. (1981) informan que la reducción del tamaño de partícula del sorgo desde 1.062 a 802 ó a 471 μm mejora la digestibilidad aparente de la energía, la proteína y el almidón, resultados que coinciden con los publicados por Giesemann et al. (1990) con dietas basadas en maíz. Fastinger y Mahan (2003) evalúan la digestibilidad ileal de la energía y de los aminoácidos de harina de soja de distintos tamaños en cerdos en crecimiento-cebo. La harina de soja se pasó por un molino de martillos hasta conseguir tamaños de partícula de 900, 600, 300 y 150 μm . La digestibilidad aparente media de los aminoácidos esenciales aumentó desde 83,5 hasta 84,9% según se reducía el tamaño de la partícula ($P < 0,10$) pero la digestibilidad de la energía no se vio afectada por el grado de molienda. En base a estos resultados los autores recomiendan para la harina de soja un tamaño de partícula de 600 μm . Dado que en la mayoría de las fábricas el tamaño medio de la harina de soja se encuentra entre 800 y 900 μm existe un amplio campo de mejora a este particular.

Wondra et al. (1995 b) estudiaron el efecto del tamaño de partícula del maíz (rango de 400 a 1.000 μm) en dietas maíz-soja para cerdos en cebo. Observan que según se reducía el tamaño de la partícula aumentaba el costo energético y se reducía la producción, especialmente para tamaños de partícula inferiores a 600 μm . Una reducción del tamaño de 1.000 a 400 μm mejoró la digestibilidad de la energía en un 6% ($P < 0,05$) y los índices de conversión en un 5% ($P < 0,001$) pero no afectó a los aumentos de peso vivo (cuadros 22 y 23). Así mismo, Seerly et al. (1988) comparan dietas basadas en trigo molido con martillos con tamiz de 3,18 mm ó de 6,35 mm en cerdos de 40 kg y observan que la molienda grosera perjudica los aumentos de peso vivo y los índices de conversión. Kjeldsen y Dahl (1999) observan que la molienda fina (2,0 mm) mejoró los índices de conversión (2,89 vs 2,76; $P < 0,01$) y redujo el porcentaje de almidón en heces (0,7 vs 5,1%; $P < 0,01$) con respecto a moliendas groseras (4,5 mm) en cerdos en crecimiento-cebo (cuadro 24). Resultados similares han sido encontrados por Jorgensen et al. (1999) comparando moliendas de 2 vs 4 mm en piensos granulados (cuadro 25). Moliendas groseras reducen la digestibilidad de los nutrientes y perjudican los índices de conversión, un problema que es de mayor magnitud en porcino que en aves, probablemente debido a la existencia de la molleja o estómago mecánico en estas últimas. Una revisión de 23 artículos científicos de lechones y cerdos en cebo indica que por cada 100 micras de reducción del tamaño medio de la partícula la digestibilidad de la energía mejoró en 0,6 puntos, la de la proteína en 0,8 y el índice de conversión en 0,03 unidades. Sin embargo, la variabilidad de estos valores de mejora es muy alta y función de la materia prima de la que se trate. Wondra et al. (1995b) y Goodband et al. (1995) indican que tamaños medios de partícula del cereal (600 a 700 micrones) optimizan los rendimientos productivos en cerdos cebo.

Albar et al. (2000) estudiaron en cinco ensayos el efecto del tamaño de la partícula (rango entre 430 a 900 μm) en lechones. El consumo de pienso no se vio afectado por el tamaño de partícula pero la molienda más grosera redujo de forma consistente las ganancias de peso. Las diferencias a favor de moliendas finas fueron más acusadas cuando los piensos incluían 25% de guisantes. Los autores recomiendan un tamaño medio de partícula en piensos para lechones entre 500 y 600 μm y aún inferior en caso de utilizar guisantes.

En un reciente estudio, Kim et al. (2005b) comparan el coeficiente de digestibilidad aparente fecal del almidón en lechones de 6 kg de peso vivo alimentados con dietas basadas en trigo con un DGM de 580 ó de 920 μm . La molienda fina mejoró la digestibilidad con respecto a la molienda grosera (98,3 vs 96,9%; $P < 0,05$). Resultados similares han sido publicados por Mavromichalis et al. (2000) que obtienen en lechones mejores digestibilidades y ganancias diarias con moliendas de 600 μm que con moliendas de 400 ó 1.300 μm .

Cuadro 22.- Efecto del tamaño de partícula y la textura del pienso sobre la digestibilidad de la energía bruta en cerdos cebo (Wondra et al., 1995 b)¹

| Molienda, μm | Harina | Gránulo | Media |
|-------------------------|--------|---------|-------|
| 1.000 | 77,6 | 83,3 | 80,4 |
| 800 | 75,8 | 84,6 | 80,2 |
| 600 | 79,6 | 85,7 | 82,6 |
| 400 | 84,1 | 87,5 | 85,8 |
| Media | 79,3 | 85,3 | 82,3 |

¹EEM = 1,1. Diferencia significativa lineal ($P < 0,001$) para presentación de pienso y tamaño de partícula y cuadrática ($P < 0,05$) para tamaño de partícula.

Cuadro 23.- Influencia del tamaño de partícula sobre la productividad y la morfología de la mucosa del estómago en cerdos de 55 a 115 kg de peso alimentados con piensos en harina (Wondra et al., 1995 b)

| | Tamaño de las partículas, μm | | | | P |
|---------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | 1.000 | 800 | 600 | 400 | |
| Aumento peso, g/d | 960 | 940 | 950 | 980 | NS |
| Consumo pienso, g/d | 3.250 | 3.210 | 3.260 | 3.160 | 0,01 |
| I. conversión (g/g) ¹ | 3,39 | 3,41 | 3,44 | 3,23 | 0,001 |
| Ulceración estómago ^{2,3} | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | - |
| Queratinización estómago ² | 1,4 | 2,4 | 2,5 | 3,2 | |

¹La significancia se refiere a datos conjuntos de piensos en harina y granulado.

²20 observaciones. 1 = normal; 4 = severa.

³Efecto cuadrático ($P = 0,14$).

Cuadro 24.- Influencia del tamaño de molturación y de la presentación del pienso sobre los resultados productivos y la prevalencia de Salmonella en porcino cebo (Kjeldsen y Dahl, 1999)

| Molturación, mm | 2 | 4,5 | 2 | 4,5 | P |
|-----------------------------------|--------------------|---------|--------|--------|------|
| Presentación | Gránulo | Gránulo | Harina | Harina | |
| Resultados productivos: | | | | | |
| Aumentos de peso, g/d | 766 | 760 | 736 | 754 | NS |
| Índice de conversión, g/g | 2,62 | 2,69 | 2,76* | 2,89* | 0,01 |
| Magro, % | 60,0 | 60,0 | 60,4 | 59,9 | NS |
| Almidón en heces, %MS | 0,2 | 1,1 | 0,7 | 5,1* | 0,01 |
| Índice daño gástrico ¹ | 2,6 | 2,3 | 2,3 | 0,5* | 0,01 |
| Coste relativo | 100 | 106 | 111 | 115 | |
| Prevalencia de Salmonella | % Positivos | | | | |
| Grupos con baja prevalencia | 1,0 | 3,7 | 4,4 | 1,1 | NS |
| Grupos con alta prevalencia | 42,2 | 22,2* | 34,1* | 26,2* | 0,1 |

¹0: escaso; 5: alto.

Sin embargo, Medel et al. (2000) no encuentran influencia alguna del tamaño de partícula de la cebada molida con tamices de 4.0 o 2.5 mm sobre la productividad en lechones de 21 a 45 d de vida. Así mismo, Healy et al. (1994) comparan tamaños de partículas comprendidas entre 300 y 900 µm en lechones. Los mejores resultados numéricos se obtuvieron con el tamaño de partícula de 500 µm pero las diferencias no fueron significativas con respecto a moliendas más groseras (cuadro 26). Probablemente, los beneficios de la molienda sobre la productividad sean mayores cuando pasamos de moliendas muy groseras a moliendas finas que cuando pasamos de moliendas "finas" a moliendas "muy finas".

Cuadro 25.- Efecto de la molturación, el tratamiento térmico por expansión y la presentación del pienso sobre la productividad, la salud gástrica y la prevalencia de *Salmonella* en porcino cebo (Jørgensen et al., 1999)

| Molturación, mm | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
|--|-------|------|------|-------|-------|------------------|------|
| Expansión | Sí | Sí | No | Sí | No | 2/3 ¹ | P* |
| Granulado | Sí | Sí | Sí | No | No | 2/3 | |
| Aumento de peso, g/d | 812 | 793 | 794 | 764 | 797 | 797 | NS |
| Índice de conversión, g/g | 2,77* | 2,92 | 2,92 | 3,08 | 3,09 | 3,04 | 0,01 |
| Almidón en heces, % MS | 0,22 | 1,70 | 1,90 | 4,80* | 5,70* | 2,20 | 0,10 |
| Índice daño gástrico ² | 2,9* | 1,7* | 1,7* | 0,3 | 0,08 | 1,0 | 0,01 |
| pH en estómago | 4,19* | 3,25 | 3,83 | 4,00 | 3,60 | 3,71 | 0,10 |
| Prevalencia de salmonella ³ | 12,9* | 5,6 | 8,6 | 4,6 | 2,8 | 4,6 | 0,01 |

¹Expansión de 2/3 de la dieta.

²0 = nula; 5 = alta.

³% seropositivos.

Cuadro 26.- Efecto del tamaño de partícula sobre el rendimiento de producción y la productividad en lechones (Healy et al., 1994)

| | Tamaño partícula, µm | | | |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|
| | 900 | 700 | 500 | 300 |
| Producción de pienso, t/h | 4,06 | 2,84 | 1,63 | 0,85 |
| Aumento de peso, g/d | 337 | 321 | 341 | 313 |
| Consumo de pienso, g/d | 518 | 486 | 494 | 478 |
| Índice de conversión, g/g | 1,55 | 1,52 | 1,46 | 1,53 |

Dos problemas que se han relacionado con moliendas finas del pienso son la prevalencia de salmonelas en las canales en el momento del sacrificio y la mayor incidencia de úlceras y colitis inespecíficas en cerdas y cerdos en crecimiento-cebo (Wondra et al., 1995a, b, c y d; Melnichouk, 2002; Friendship, 2003). Piensos con altos

porcentajes de finos aumentan la incidencia de procesos entéricos y potencian la presencia de salmonelas en las canales por lo que no serían recomendables en programas de producción de carne de porcino libre de este patógeno (Coma y Bonet, 2002; Hedemann et al., 2005). Trabajos epidemiológicos recientes (Stege et al., 2000; Bach-Knudsen, 2001) indican que la utilización de piensos en harina grosera reduce el riesgo de infecciones subclínicas por *Salmonella entérica*, *Lawsonia intracellularis* y *Brachyspira pilosicoli*. Jørgensen et al. (1999, 2001) observan que en condiciones de campo la prevalencia de salmonellas en la canal se reduce con piensos en harina groseramente molidos con respecto a piensos granulados con molienda fina previa de los ingredientes (cuadro 25). Kjeldsen y Dahl (1999) observan que tanto la molienda fina como la granulación del pienso mejoran los índices de conversión en cerdos en cebo pero aumentan la prevalencia de salmonelas en la canal (cuadro 24). Piensos molidos de forma grosera (o con un alto contenido en fibra) dan lugar a un contenido digestivo más homogéneo con escasa separación entre las fases sólidas y las líquidas lo que resulta en digestas con un mayor contenido en materia seca y menor pH del contenido gástrico. Digestas sólidas y ácidas modifican el ecosistema microbiano y perjudican el crecimiento de salmonellas y otros microorganismos patógenos (Bach-Knudsen, 2001).

La incidencia de procesos entéricos inespecíficos es superior en granjas que utilizan piensos granulados que los que usan piensos en harina, especialmente cuando el trigo es el cereal base. Por ello es frecuente cambiar de gránulo a harina cuando la incidencia de problemas entéricos es alta. Canibe et al. (2005) comparan los efectos de la utilización de un pienso en harina con molienda grosera (5 mm) y un pienso en gránulo con molienda fina (2 mm) sobre el desarrollo de la flora gastrointestinal de cerdos en cebo. Los resultados de este estudio sugieren que la harina grosera modifica de forma positiva la flora gastrointestinal, especialmente en su porción proximal. En particular, la molienda grosera aumentó la concentración de ácidos orgánicos y de bacterias productoras de ácido láctico en estómago e intestino delgado y redujo el número de enterobacteriáceas en ciego y colon. Brunsgaard (1998) indica que la estructura del pienso (así como el tipo y nivel de fibra del mismo) influye sobre la morfología del tracto gastrointestinal y sobre la producción y composición del mucus lo que puede proteger o en su caso facilitar las infecciones entéricas. Moliendas finas aumentan los daños de la mucosa gástrica así como la incidencia de úlceras esofágicas. Kjeldsen y Dahl (1999) observan que la molienda fina aumenta el índice de daño gástrico (valoración de 0 a 5) de 0,5 a 2,3 ($P < 0,05$) (cuadro 24). Así mismo, Jørgensen et al. (1999) indica que moliendas finas (2 vs 4 mm) en piensos expandidos y granulados aumentan el pH del estómago de 3,25 a 4,19 ($P = 0,10$) y el índice de daño gástrico de 1,7 a 2,9 ($P < 0,05$) (cuadro 25). Resultados similares han sido presentados por Wondra et al. (1995 a, b, c, d) en cerdas y en cerdos en cebo.

Diversos autores han indicado que la mayor incidencia de úlceras y problemas digestivos que se observa al moler el cereal en exceso, no se debe al tamaño de la partícula

"per se", sino al mayor porcentaje de partículas extremadamente finas. En general la instalación de molinos de rodillos exigen más capital pero menos energía durante el proceso de molienda. Además proporcionan un tamaño de partícula más uniforme que los molinos de martillos (Castaldo, 1995). Por tanto, los molinos de rodillos serían más aconsejables que los de martillos cuando la incidencia de procesos gastrointestinales es alta. Sin embargo, Ohh et al. (1983) observan mayores consumos de pienso ($P < 0,05$) pero peores índices de conversión ($P < 0,05$) cuando el cereal (maíz o sorgo) se molió con molino de rodillos que cuando se hizo con molino de martillos (cuadro 27).

Cuadro 27.- Influencia del tamaño de partícula del maíz y del sorgo sobre la productividad en porcino (Ohh et al., 1983)

| Cereal | Molino | DGM ¹ | A PV, g/g | Consumo, g/d ² | I conversión, g/g ² |
|--------|----------|------------------|-----------|---------------------------|--------------------------------|
| Maíz | Martillo | 624 | 418 | 720 | 1,70 |
| | | 877 | 414 | 740 | 1,78 |
| Maíz | Rodillo | 822 | 427 | 774 | 1,81 |
| | | 1.147 | 435 | 837 | 1,92 |
| Sorgo | Martillo | 539 | 402 | 720 | 1,78 |
| | | 722 | 418 | 749 | 1,79 |
| Sorgo | Rodillo | 885 | 418 | 799 | 1,92 |
| | | 1.217 | 393 | 761 | 1,94 |

¹Diámetro geométrico medio en μm .

²Diferencias significativas entre molino de rodillos y molino de martillos.

Los tamaños de partícula recomendados para las diferentes etapas de la vida del cerdo están entre 500 y 800 μm . Santomá (ver Mateos et al., 2005) recomienda tamaños de partícula de 400 μm para lechones, 500 μm para cerdos en cebo y 700 μm para cerdas reproductoras en piensos granulados. En condiciones normales alcanzar estos objetivos implica utilizar cribas de 2,5 a 4,5 mm, en función de las materias primas empleadas. En lechones no es recomendable un tamaño medio de partícula superior a 700 μm . En cerdos cebo no hay grandes diferencias en índices conversión con tamaños de molienda entre 600 y 800 μm . En cerdas, tamaños inferiores a 700 μm aumentan el porcentaje de úlceras, pero mejoran la digestibilidad de los nutrientes en uno o dos puntos porcentuales. Las moliendas de tamaño superior a las 1.200 μm son muy perjudiciales para el aprovechamiento del alimento en todo tipo de cerdos.

Partículas por debajo de 400 μm son difíciles de conseguir en condiciones prácticas a precios adecuados ya que los costes energéticos son superiores cuanto más fina es la molienda (Healy et al., 1994; Goodband et al., 1995). Por contra las partículas finas favorecen el proceso de compactación, con lo que el coste de la granulación se reduce en

parte. Healy et al. (1994) encontraron que la producción de piensos se redujo desde algo más de 4 ton/h para molineras de 90 μm a algo menos de 1 ton/h para molineras de 300 μm (cuadro 26). Un problema adicional es que los piensos en harina muy fina ($<600 \mu\text{m}$) fluyen mal a través de silos y conductos lo que complica el manejo en fábrica y en granja (Wondra et al., 1995 b). Para una buena fluidez de un pienso en harina se recomienda que un mínimo de 25 a 30% de las partículas tengan en un tamaño comprendido entre 500 y 800 μm , y que el máximo porcentaje de partículas entre 800 y 1.600 μm sea del 25 al 30%. Del resto de partículas un 40 a 45% sería de un tamaño inferior a 500 μm y no más de un 2 a 3% superiores a 1.600 μm .

3.2.- Granulación y calidad del gránulo

La granulación consiste en aplicar una cantidad moderada de calor y presión al alimento, proceso que normalmente mejora la digestibilidad (Medel et al., 2004) y la eficiencia alimenticia (Braude et al., 1960; Vanschoubroek et al., 1971; Skoch et al., 1983; Traylor et al., 1996 a), especialmente en animales jóvenes (Traylor et al., 1996 a, b; Medel et al., 2004). Se estima que la granulación de piensos con molienda fina previa de los ingredientes aumenta el aprovechamiento de los nutrientes entre un 2 y un 5% aunque Quemere et al., (1988) observaron que una mejora de los índices de conversión y los de crecimientos en cerdos cebo del 10%. Fevrier et al., (1985) realizaron una revisión bibliográfica en porcino sobre los efectos del granulado teniendo en cuenta sólo ensayos posteriores a 1960. La mejora en la eficiencia alimenticia encontrada en las pruebas analizadas fue del 4.6% (30 de las pruebas dieron un efecto positivo). La ventaja que se obtiene al granular en los índices de conversión (en torno a los 100 g con respecto a los piensos suministrados en harina grosera) se debe en parte a la mejora de la digestibilidad de los nutrientes (Smits et al., 1994) y en parte a la reducción de pérdidas de pienso (Medel et al., 2004). Vanschobroek y De Wilde (1971) encontraron en su trabajo de revisión que el granulado mejoraba el crecimiento en cerdos en crecimiento cebo en torno a un 3%. La mejora del crecimiento con la granulación es superior en aves que en cerdos (Van Spaendonck y Vanschoubroek, 1966; Skoch et al., 1983). Baird (1973) y Wondra et al. (1995 b) informan que el granulado mejora las ganancias de peso mientras que el NCR-42 (1969), Skoch et al. (1983) y Medel et al. (2004) no observan beneficio alguno a este particular.

Traylor et al. (1996 b) estudian el efecto de la granulación sobre la productividad en lechones de 5,4 kg. Durante los primeros 5 días de prueba los lechones que consumieron gránulos crecieron un 27% más ($P < 0,05$) y tuvieron un índice de conversión 29% mejor ($P < 0,001$) que los lechones que recibieron harina. Sin embargo, las mejoras obtenidas disminuyeron rápidamente con la edad de forma que a los 29 días de ensayo la mejora en la conversión fue solo del 3%. En un ensayo reciente Medel et al. (2004) estudian la influencia del procesamiento por cocido y laminado de cebada y maíz y de la

granulación del pienso que contenía estos cereales en lechones de 21 a 42 d de edad. Tanto la granulación como el procesado térmico mejoraron de forma significativa la digestibilidad aparente fecal de la proteína y la energía de los piensos pero no la de la fracción almidón (cuadro 28). Además ambos factores mejoraron los índices de conversión pero el efecto era mucho mayor para el granulado (20% de mejora; $P < 0,001$) que para el procesado por calor a altas temperaturas (3% de mejora; $P > 0,05$) (cuadro 29).

Cuadro 28.- Efecto del procesado del cereal y de la granulación del pienso sobre la digestibilidad aparente fecal de los nutrientes en lechones de 32 días de edad (Medel et al., 2004).

| | Digestibilidad fecal, % | | |
|---------------------|-------------------------|----------------|---------|
| | Energía bruta | Proteína bruta | Almidón |
| Textura | | | |
| Harina | 77,8 | 74,1 | - |
| Gránulo | 80,6 | 77,2 | - |
| <i>P</i> | 0,001 | 0,001 | - |
| Procesado térmico | | | |
| Crudo | 77,7 | 73,8 | 97,7 |
| Cocido ¹ | 80,7 | 77,5 | 98,5 |
| <i>P</i> | 0,001 | 0,001 | NS |

¹90 °C durante 50 minutos y laminado.

Cuadro 29.- Influencia del cereal, procesado del cereal y textura del pienso sobre la productividad en lechones de 21 a 42 días: efectos principales (Medel et al., 2004)

| | A PV, g/d | Consumo, g/d | I. conversión, g/g |
|---------------------|-----------|--------------|--------------------|
| Cereal | | | |
| Maíz | 258 | 330 | 1,28 |
| Cebada | 241 | 339 | 1,41 |
| <i>P</i> | NS | NS | 0,01 |
| Procesamiento | | | |
| Crudo | 246 | 331 | 1,36 |
| Cocido ¹ | 254 | 339 | 1,33 |
| <i>P</i> | NS | NS | NS |
| Textura | | | |
| Harina | 242 | 363 | 1,49 |
| Gránulo | 257 | 307 | 1,20 |
| <i>P</i> | NS | 0,01 | 0,001 |

¹ 96 °C durante 50 minutos y laminado.

Ninguno de los tratamientos mejoró las ganancias de peso vivo lo que indica que en condiciones de campo la reducción de las mermas explican más que la mejora en la digestibilidad de los nutrientes el efecto positivo de la granulación sobre la productividad. Por tanto, las mejoras del granulado serán tanto mayores cuanto peor sea el manejo del pienso y el diseño de los comederos.

La granulación de los piensos para porcino presenta varios inconvenientes entre los que destaca el coste de instalación y funcionamiento del sistema de granulación, la mayor incidencia de procesos digestivos, incluyendo diarreas inespecíficas y problemas relacionados con ulceraciones de la mucosa gástrica, y mayor prevalencia de salmonelas en la canal (Quemere, 1988). Kjelsen y Dahl (1999) han observado que la granulación del pienso aumenta ligeramente el índice de daño gástrico (cuadro 24), especialmente en piensos con molienda de 4,5 mm. Jørgensen et al. (1999) observan un aumento del índice de daño gástrico de 0,3 a 1,7 ($P > 0,05$) al granular piensos cuyos ingredientes se habían molido con parrillas de 4 mm (cuadro 25). Así mismo, Wondra et al. (1995b) indican que el granulado de una dieta maíz-soja para cerdos en cebo aumenta de forma significativa el grado de queratinización de la mucosa gástrica. El efecto es mayor cuanto menor es el tamaño de la partícula (cuadro 30).

Cuadro 30.- Influencia del tamaño de partícula sobre la productividad y la morfología del estómago en cerdos de 55 a 115 kg de peso alimentados con piensos granulados (Wondra et al., 1995 b).

| | Tamaño, μm | | | | P ¹ |
|--|-----------------------|------|------|------|----------------|
| | 1.000 | 800 | 600 | 400 | |
| Aumento peso, g/d | 990 | 1010 | 1020 | 990 | NS |
| Consumo pienso, g/d | 3290 | 3180 | 3200 | 2980 | 0,01 |
| Índice de conversión, g/g ¹ | 3,32 | 3,1 | 3,1 | 3,01 | 0,001 |
| Ulceración estómago ² | 1,2 | 1,7 | 1,4 | 1,9 | - |
| Queratinización estómago ² | 2,0 | 2,8 | 3,3 | 3,4 | - |

¹La significancia se refiere a datos conjuntos de piensos en harina y granulado.

²20 observaciones. 1 = normal; 4 = severa.

³Efecto cuadrático ($P = 0,14$).

Hasta muy recientemente se recomendaba granular (o expandir) los piensos para porcino a temperaturas elevadas para reducir la contaminación por salmonelas y otros microorganismos (cuadro 31). Sin embargo, estudios recientes han mostrado que moliendas finas y presentación en gránulos modifican las condiciones de la mucosa intestinal y facilitan la adherencia de salmonellas. Lo Fo Wong et al. (1999) y Wingstrand et al. (1999) estudian factores de alimentación y manejo que influyen sobre la seropositividad a salmonelas de la carne de porcino y encuentran que la granulación es un elemento a considerar (cuadro 32).

Cuadro 31.- Reducción de la contaminación microbiana (colonias/g de pienso) al expandir distintos tipos de piensos (Beumer y Van der Poel, 1997).

| Especie | Procesado | T °C | Presión (bar) | Aerobios totales | Entero-bacteriáceas | E. coli | Hongos | Salmonellas |
|----------|-----------|------|---------------|----------------------|---------------------|-----------------|--------|-------------|
| Pollos | Harina | - | | 63 x 10 ³ | 10 | <10 | 1.400 | - |
| | Expan. | 125 | 10 | 900 | <10 | <10 | <10 | - |
| | Expan. | 135 | 20 | 870 | <10 | <10 | | - |
| Gallinas | Harina | - | | 8 x 10 ⁵ | 10 ³ | | 1.400 | + |
| | Expan. | 125 | | 39 x 10 ³ | <10 | <10 | <10 | - |
| Cerdos | Harina | - | | 7 x 10 ⁷ | 10 ⁵ | 10 ³ | 300 | - |
| | Expan. | 120 | | 3 x 10 ⁵ | <10 | <10 | <10 | - |
| Pavos | Harina | - | | 6 x 10 ⁵ | 10 ⁴ | 10 | 120 | + |
| | Expan. | 90 | 10 | 3 x 10 ⁴ | <10 | <10 | <10 | - |
| | Expan. | 110 | 20 | 2 x 10 ⁴ | <10 | <10 | <10 | - |
| | Expan. | 120 | 30 | 1 x 10 ⁴ | <10 | <10 | <10 | - |

Cuadro 32.- Factores asociados con seropositividad a Salmonella en granja (Lo Fo Wong et al., 1999; Wingstrand et al., 1999)

| Variable | Parámetro | Probabilidad | P |
|--------------------------------|---------------------------|--------------|--------|
| Presentación del pienso | Harina en húmedo | 1,0 | - |
| | Harina en seco | 4,2 | 0,0094 |
| | Gránulo en húmedo | 10,4 | 0,0523 |
| | Gránulo en seco | 8,2 | 0,0001 |
| Alimentación líquida | Utilización de sueros | 1,0 | - |
| | Sin utilización de sueros | 5,6 | 0,0866 |
| Sistema productivo | Convencional | 1,0 | - |
| | Al aire libre | 1,8 | 0,0001 |
| | Orgánico | 1,7 | 0,2200 |
| Formación de lotes | Todo dentro / todo fuera | 1,0 | - |
| | Continuo | 2,0 | 0,0323 |

Hedemann et al. (2005) estudiaron el efecto del tamaño de partícula (molienda de 2 vs 5 mm) y la presentación (gránulo vs harina) del pienso sobre la morfología digestiva en cerdos de 50 kg de peso vivo. Observan que la adherencia de salmonelas a la mucosa ileal

fue un 60% superior en los cerdos alimentados con gránulos que en los alimentados con harina. Estos autores indican que el consumo de piensos granulados favorece la secreción de mucinas y facilita la adherencia y colonización de la mucosa ileal por *Salmonella tiphimurium* DT12. Por tanto, si se busca reducir la prevalencia de salmonelas se recomienda utilizar piensos en harina.

3.3.- Tamaño del gránulo

La influencia del tamaño del gránulo sobre la productividad ha sido poco estudiada en cerdos. La mayoría de los autores concuerdan que siempre que el porcentaje de finos sea equiparable y dentro de rangos de diámetro entre 3 y 10 mm, el tamaño influye poco sobre la productividad. Tribble et al. (1979) no encuentran diferencia alguna en un rango de diámetros entre 4,6 y 12 mm. Resultados similares han sido publicados por Hanrahan (1984) comparando diámetros de 5 y 10 mm. Luce et al. (1973) comparan gránulos de 4,8, 6,4 y 9,6 mm de diámetro sin encontrar grandes diferencias entre tratamientos aunque sí cierta ventaja de 4,8 mm con respecto a 9,6 mm. Harris et al. (1979) sugieren que diámetros de 4,6 mm son preferibles a 6,4 mm y Traylor et al. (1996 b) observan que el consumo de pienso aumenta según el diámetro del gránulo pasa de 2,0 a 12,0 mm. El mayor consumo con el diámetro de 12 mm resultó en ligeras mejoras numéricas de los aumentos de peso (940 vs 1.050 g/d para 2,0 y 12,0 mm, respectivamente). Sin embargo, los índices de conversión tendieron a empeorar con los diámetros superiores de forma que los resultados productivos fueron muy similares entre piensos en harina y piensos granulados con 12 mm de diámetro (cuadro 33).

Cuadro 33.- Efecto del diámetro del gránulo sobre la productividad en cerdos en crecimiento-cebo (Traylor et al., 1996 a)

| | Harina | Diámetro del gránulo, mm | | | | |
|--|--------|--------------------------|------|------|------|-------|
| | | 2 | 4 | 8 | 12 | ES |
| Aumento de peso, g/d ¹ | 1,03 | 0,94 | 1,01 | 1,02 | 1,05 | 0,22 |
| Consumo de pienso, kg/d ^{1,2} | 3,01 | 2,62 | 2,76 | 2,85 | 3,05 | 0,69 |
| Índice de conversión, g/g ^{1,2} | 2,91 | 2,77 | 2,74 | 2,80 | 2,91 | 0,007 |
| Rendimiento de la canal, % | 72,4 | 72,4 | 72,5 | 72,5 | 72,1 | 0,3 |

¹Efecto lineal del tamaño del gránulo ($P < 0,07$).

²Harina vs gránulo ($P < 0,08$).

Menor concordancia existe entre autores en relación con el tamaño óptimo del gránulo en piensos para lechones. La industria del porcino recomienda utilizar gránulos de un diámetro inferior a 2,5 mm en piensos de iniciación. Sin embargo, la mayoría de los trabajos científicos publicados no han sido capaces de demostrar beneficio alguno al

reducir el diámetro del gránulo por debajo de 3-4 mm. Lavorel et al. (1984) compararon gránulos de 2,5, 3,0 y 5,0 mm de diámetro en lechones. Durante las dos primeras semanas del ensayo los lechones que recibieron gránulos de 2,5 mm crecieron más que los que recibieron gránulos de 5 mm. Sin embargo, no se detectaron diferencias entre tratamientos a partir de la tercera semana postdestete. Traylor et al., (1996 a) testan en lechones de 5,4 kg de peso la influencia de tamaños de gránulo comprendidos entre 2,4 y 12,7 mm. A los 5 días de ensayo las diferencias entre tratamientos fueron escasas y no significativas. A los 15 días de prueba los resultados productivos favorecieron ligeramente al diámetro de 4 mm. La razón de esta inconsistencia en relación con el tamaño del gránulo entre teoría y práctica no es conocida pero podría deberse en parte a que la calidad del gránulo suele ser mejor con diámetros pequeños (2 a 3 mm) que con diámetros superiores. Otra razón a tener en cuenta es la dureza del gránulo (resistencia a la compresión) y su influencia sobre el consumo voluntario de pienso; los lechones tienden a rechazar gránulos excesivamente duros que en condiciones experimentales suelen aparecer más frecuentemente con diámetros de pequeño tamaño.

En base a la información disponible la decisión de usar piensos en harina o en gránulo depende en gran medida de la situación de la integración en relación con los problemas entéricos y los objetivos de la cadena de producción. En caso de granular, parece recomendable utilizar gránulos de diámetro inferior a 3 mm en lechones recién destetados. A partir de 30 días de edad, los lechones aceptan bien gránulos de 4 mm siempre que sean blandos y que no tengan finos. En la fase de crecimiento-cebo el porcentaje de finos parece ser más importante que el diámetro del gránulo en cuanto a productividad. En aquellos casos donde no sea práctico el cambio frecuente de matriz, un tamaño de 4 mm es adecuado para todos los cerdos de la explotación.

3.4.- Procesado térmico de ingredientes y piensos terminados

El procesado por calor con altas temperaturas ($> 90\text{ }^{\circ}\text{C}$) de la porción cereal de la dieta mejora la digestibilidad de los nutrientes (Medel et al., 1999, 2002; Mateos et al., 2005b) y tiende a mejorar índices de conversión y crecimientos (Aumaitre, 1976; Medel et al., 2004). Mateos et al. (2005b) han demostrado que el procesado por calor del maíz y del arroz mejoraba la digestibilidad de la energía y del extracto etéreo de la dieta (cuadro 34). Sin embargo, los efectos positivos del procesado sobre la digestibilidad de los nutrientes no es siempre significativo. Medel et al. (2002) observan que el procesado de la cebada mejoró en un 0,4%, 0,5% y 3,1% la digestibilidad fecal de la materia seca, la proteína bruta y el extracto etéreo, respectivamente, pero que las diferencias no fueron significativas (cuadro 35). Medel et al. (2004) observan una mejora del crecimiento del 18% en lechones de 22 a 32 días de edad al procesar el cereal (cebada o maíz) del pienso (135 vs 114 g/d; $P < 0,05$). Los índices de conversión también mejoraron pero las diferencias no fueron significativas (1,59 vs 1,77; $P > 0,05$) (cuadro 36).

Cuadro 34.- Influencia del procesado del cereal sobre la digestibilidad aparente fecal (%) de los nutrientes en lechones: efectos principales (Mateos et al., 2005b)¹

| | Energía bruta | Proteína bruta | Extracto etéreo |
|------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Cereal | | | |
| Maíz | 81,0 | 76,2 | 59,1 |
| Arroz | 85,5 | 77,2 | 61,4 |
| <i>P</i> | <i>0,001</i> | <i>NS</i> | <i>0,05</i> |
| Procesado² | | | |
| Crudo | 82,8 | 75,8 | 58,4 |
| Cocido | 83,8 | 77,6 | 61,0 |
| <i>P</i> | <i>0,01</i> | <i>0,05</i> | <i>0,01</i> |
| EEM (n = 6) | 0,0108 | 0,179 | 1,00 |

¹Media de tres medidas (33, 43 y 49 días de edad) y de dos niveles de fibra.

²Cocido (90 °C durante 50 minutos) para el arroz y cocido (98 °C durante 55 minutos) con laminado posterior para el maíz.

Cuadro 35.- Influencia del procesado de la cebada sobre la digestibilidad aparente fecal de los nutrientes (%) en lechones (Medel et al., 2002)

| | Cruda | Procesada¹ | P |
|-----------------|--------------|------------------------------|-----------|
| Materia seca | 87,3 | 87,7 | <i>NS</i> |
| Proteína bruta | 87,0 | 87,4 | <i>NS</i> |
| Extracto etéreo | 76,2 | 78,6 | <i>NS</i> |
| Almidón | 99,7 | 99,8 | <i>NS</i> |

¹Cocido a 95 °C durante 50 minutos y laminado.

Cuadro 36.- Efecto del tipo de cereal y el procesado sobre la productividad en lechones de 22 a 32 d de edad (Medel et al., 2004)¹

| | A PV, g/d | Consumo, g/d | I. conversión, g/g |
|---------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Cereal | | | |
| Cebada | 112 | 195 | 1,85 |
| Maíz | 137 | 198 | 1,51 |
| <i>P</i> | <i>0,05</i> | <i>NS</i> | <i>0,001</i> |
| Procesado | | | |
| Crudo | 114 | 188 | 1,77 |
| Cocido ² | 135 | 205 | 1,59 |
| <i>P</i> | <i>0,05</i> | <i>NS</i> | <i>NS</i> |

¹Media de piensos granulados y en harina.

²Cocido a 95 °C durante 50 minutos y laminado.

Medel et al. (2002) han observado que los efectos positivos del procesado térmico sobre la productividad disminuían con la edad siendo más evidentes en las primeras 2 a 3 semanas tras del destete (cuadro 37). Sin embargo, numerosos autores (Van der Poel et al., 1990; Thacker, 1999; Zarkadas y Wiseman, 2002; Lawlor, 2003a, b) no han encontrado efecto alguno del procesado por calor a altas temperaturas sobre la productividad.

Cuadro 37.- Influencia del procesado de la cebada sobre la productividad de los lechones de 21 a 49 días de edad (Medel et al., 2002)

| Período | Cruda | Procesada ¹ | P |
|---------------------------|-------|------------------------|------|
| 21-35 días | | | |
| Aumento de peso, g/d | 185 | 214 | 0,05 |
| Consumo pienso, g/d | 218 | 231 | NS |
| Índice de conversión, g/d | 1,20 | 1,09 | NS |
| 21-49 días | | | |
| Aumento de peso, g/d | 379 | 392 | NS |
| Consumo pienso, g/d | 481 | 491 | NS |
| Índice de conversión, g/d | 1,27 | 1,26 | NS |

¹Cocido a 95 °C durante 50 minutos y laminado.

La mayoría de los autores estiman que el efecto principal del procesado por calor sobre la utilización de los cereales radica en la mejora de la digestibilidad del almidón. Vicente et al. (2005) observan que el procesado del arroz por cocción hasta lograr un grado de gelatinización de 51,5% mejoró la digestibilidad ileal del almidón con respecto al arroz crudo y que una gelatinización superior (76,2%) no logró mejoras adicionales (cuadro 38). En este mismo estudio, Vicente et al. (2004) observan que la digestibilidad de la proteína bruta y de la energía bruta del arroz aumenta con la cocción pero que el exceso de calor (grado de gelatinización de 76,2 vs 51,1%) no mejoró de forma extra la digestibilidad de ninguno de los nutrientes estudiados (cuadro 39). Sin embargo, no se detectaron diferencias en cuanto a crecimientos o índices de conversión entre el arroz crudo o el arroz procesado (cuadro 40). Jørgensen et al. (2001) observó que la expansión del pienso de cerdos de 26 a 104 kg mejoró los aumentos de peso en un 3,6% (951 vs 918 g/d) pero no los índices de conversión. Al granular el pienso expandido mejoró ligeramente el crecimiento (951 g/d) y de forma significativa los índices de conversión (2,57 vs 3,02; P < 0,05) (cuadro 41). Sin embargo, Hancock et al. (1993) observan en cerdos cebo que la extrusión del trigo no mejoró la digestibilidad de la materia seca o del nitrógeno del pienso aunque no obstante, la eficacia alimenticia mejoró.

Cuadro 38.- Influencia del grado de gelatinización del almidón sobre la digestibilidad ileal de los lechones a 27 días de edad (Vicente et al., 2005).

| Cereal | Grado de gelatinización, % ³ | Materia seca, % | Energía bruta, % | Almidón % |
|--------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Maíz ¹ | 83,7 | 87,1 ^b | 85,2 ^b | 97,3 ^c |
| Arroz ² | 11,1 | 87,2 ^b | 85,9 ^b | 98,3 ^b |
| Arroz ¹ | 51,5 | 88,6 ^a | 87,1 ^a | 99,4 ^a |
| Arroz ¹ | 76,2 | 88,1 ^a | 86,4 ^a | 98,7 ^a |
| EEM (n=7) | | 0,26 | 0,32 | 0,31 |

¹Procesados por cocción; ²Crudo.

³Hidrólisis enzimática.

Cuadro 39.- Influencia del grado de gelatinización del almidón sobre la digestibilidad aparente fecal en lechones de 37 días de edad (Vicente et al., 2004).

| Cereal | Grado de gelatinización, % ³ | Materia seca, % | Energía bruta, % | Proteína bruta, % |
|--------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Maíz ¹ | 83,7 | 84,1 ^c | 83,8 ^c | 79,7 ^a |
| Arroz ² | 11,1 | 86,5 ^b | 86,2 ^b | 77,4 ^c |
| Arroz ¹ | 51,5 | 88,2 ^a | 88,8 ^a | 80,6 ^a |
| Arroz ¹ | 76,2 | 86,9 ^b | 87,0 ^b | 78,5 ^b |
| EEM (n=8) | | 4,30 | 5,90 | 0,80 |

¹Procesados por cocción; ²Crudo.

³Hidrólisis enzimática.

El almidón está formado por capas concéntricas amorfas y semicristalinas que se van alternando dentro de gránulos de tamaño variable situados en el endospermo del cereal. La proporción de amilosa está normalmente entre 20 y 30%, aunque varía entre 0 y 70% en función del cereal y la variedad. Altos contenidos en amilosa se asocian con baja digestibilidad. En la superficie de los gránulos de almidón se encuentran cantidades variables de grasa y proteína, que pueden formar complejos y actuar como barreras físicas contra la digestión (Svihus et al., 2005). En presencia de suficiente humedad el procesamiento térmico produce la gelatinización del almidón, lo que puede incrementar la susceptibilidad a ser digerido en el tracto digestivo. La influencia de la temperatura sobre el grado de gelatinización depende no sólo de la humedad sino también de las características del almidón. En situaciones prácticas de fabricación la humedad de los ingredientes de la fórmula es reducida, lo que limita la gelatinización del almidón durante el proceso.

Cuadro 40.- Influencia del grado de gelatinización del almidón sobre la productividad en lechones de 25 a 53 días de edad (Vicente et al., 2004)

| Cereal | Grado de gelatinización, % ³ | Consumo g/d | Aumento de peso, g/g | I. conversión g/g |
|--------------------|---|------------------|----------------------|-------------------|
| Maíz ¹ | 83,7 | 618 ^b | 407 ^b | 1,51 ^a |
| Arroz ² | 11,1 | 681 ^a | 459 ^a | 1,49 ^b |
| Arroz ¹ | 51,5 | 680 ^a | 482 ^a | 1,41 ^b |
| Arroz ¹ | 76,2 | 672 ^a | 456 ^a | 1,47 ^b |
| EEM (n=8) | | 16,35 | 9,40 | 0,033 |

¹Procesados por cocción; ²Crudo.

³Hidrólisis enzimática.

Cuadro 41.- Efecto del tratamiento térmico por expansión y de la presentación del pienso sobre la productividad y la microflora gastrointestinal en cerdos de 26 a 104 kg (Jørgensen et al., 2001).

| Expandido Granulado | No | Sí | Sí |
|--|------|------|-------|
| | No | No | Sí |
| Parámetros productivos | | | |
| Aumento de peso, g/d | 918 | 951 | 974 |
| Índice de conversión, g/g | 2,83 | 3,02 | 2,57* |
| Coste relativo | 116 | 125 | 100* |
| Microflora gástrica (log UFC/g)¹ | | | |
| Láctica | 8,0 | 7,4 | 7,5 |
| Coliformes | 3,1 | 3,7* | 4,0* |
| Levaduras | 4,6 | 4,1 | 4,7 |

*Diferencias significativas respecto a la harina no expandida.

¹Unidades formadoras de colonias/g.

En general, cuanto mayor es el contenido en amilosa y mayor el tamaño del gránulo menor es la digestibilidad del almidón. Por otro lado, la difracción con rayos X revela tres tipos de almidón en función de su cristalinidad; el A común en la mayoría de los cereales, el B, que se encuentra en la mayoría de los tubérculos y el C, que es una mezcla de los dos anteriores, presente en leguminosas. La digestibilidad varía según la cristalinidad del almidón, siendo menor con los tipos B y C que con el A. El almidón de los cereales se encuentra en gránulos más o menos compactados y protegidos por entramados de diferente naturaleza, que dificultan la accesibilidad de las amilasas endógenas. Hasta hace poco estaba extendida la idea de que estos entramados protectores eran fundamentalmente de naturaleza fibrosa y proteica. Sin embargo, Svihus et al., (2005) indican que la formación

de complejos hidrofóbicos lípido-amilosa son probablemente más importantes. De hecho, en los cereales la fibra no se encuentra asociada de forma directa con el almidón en el endospermo y la proteína se digiere en el intestino delgado antes que lo hace el almidón. Por tanto la formación de complejos entre estos nutrientes y la amilosa pierde importancia con respecto a los complejos lípido-amilosa.

A efectos prácticos el problema más grave con el que se encuentra el nutricionista es la falta de estudios comparativos que le permitan conocer cuál de los procesos existentes (expansión, extrusión húmeda, extrusión seca, micronizado, cocido, cocido y laminado, tostado) es el más apropiado. Así mismo, no existe información suficiente que nos permita saber cuál es el cereal que más se beneficia con el procesado por calor. Un tercer problema es la falta de una metodología adecuada que nos permita conocer si un cereal ha sido convenientemente procesado (Svihus et al., 2005). Tampoco sabemos muy bien cuáles son las condiciones óptimas de humedad, presión, temperatura y tiempo a aplicar durante el procesado por calor para mejorar la utilización del cereal o de la leguminosa. En el caso del almidón, el exceso de calor aumentará el grado de gelatinización lo cual se considera positivo para la digestibilidad, pero también incrementa la proporción de almidón resistente que llegará sin digerir a las últimas porciones del tracto digestivo y favorece la formación de complejos lípido-amilosa, lo que puede ser contraproducente. Por tanto, parece razonable pensar que el procesado severo sea más conveniente en granos con almidón protegido (caso del maíz y de los guisantes) que en cereales como el arroz, cuyo almidón es de fácil accesibilidad (Vicente et al., 2004 y 2005) (cuadros 38, 39, 40 y 42).

Cuadro 42.- Influencia del grado de gelatinización del almidón sobre la productividad de los lechones de 21 a 49 días de edad (Vicente et al., 2005; datos no publicados)

| Cereal | Grado de gelatinización, % ³ | Consumo, g/d | Aumento de peso, g/g | I. conversión g/g |
|--------------------|---|-------------------|----------------------|-------------------|
| Maíz ¹ | 83,0 | 481 ^{ab} | 351 ^{bc} | 1,38 ^a |
| Arroz ² | 13,0 | 540 ^a | 428 ^a | 1,26 ^b |
| Arroz ¹ | 51,0 | 503 ^a | 432 ^a | 1,18 ^b |
| Arroz ¹ | 72,0 | 456 ^b | 370 ^b | 1,47 ^a |
| EEM (n=6) | | 17,70 | 19,38 | 0,044 |

¹Procesados por cocción; ²Crudo.

³Hidrólisis enzimática.

La mayoría de los nutricionistas estiman que el grado de gelatinización del almidón es el método más adecuado para evaluar la bondad del procesado térmico. Sin embargo, diversos investigadores (Hongtrakul et al., 1998; Medel et al., 1999, 2000) no han observado relación alguna entre gelatinización del almidón y respuesta productiva en lechones. Cabe señalar que no existe un método oficial para determinar el grado de

gelatinización del almidón. En España se suele estimar mediante el método de hidrólisis enzimática, que consiste en incubar el almidón con amiloglucosidasa durante un tiempo fijo y determinar el almidón digerido (Medel et al., 1999). Este procedimiento favorece a los cereales extrusionados con respecto a los cocidos o tostados y tiende a sobreestimar el grado de gelatinización. Además asume que la relación entre el grado de gelatinización y la susceptibilidad a la digestión enzimática es lineal, lo que no es cierto (Svihus et al., 2005). La calorimetría diferencial de barrido que consiste en calentar la muestra con agua y medir el calor que absorbe en relación con una muestra control de material inerte, es un método más apropiado para estudiar y caracterizar las modificaciones del almidón debido al procesado (Sandoval et al., 2005).

La inclusión de arroz en piensos para lechones recién destetados mejora el consumo de pienso, la integridad de la mucosa intestinal y el crecimiento. El arroz es un cereal con un tamaño de gránulo de almidón pequeño y accesible, mínima proporción de amilosa y almidón resistente, alto nivel de almidón de tipo A, con un nivel muy reducido de complejos lípido-amilosa, así como mínimo contenido en polisacáridos no amiláceos con respecto a otros cereales, lo que lo convierte en una alternativa de interés en piensos de arranque de lechones (cuadros 40 y 42). El procesado térmico suave del arroz incrementa la digestibilidad de los nutrientes, aunque los efectos son menos pronunciados que en otros cereales. Procesados enérgicos del arroz aumentan la gelatinización del almidón con respecto a procesados moderados (76 vs 51%), pero no la digestibilidad de los nutrientes y además tienden a empeorar la morfología de la mucosa intestinal (Vicente et al., 2004 y 2005).

Ensayos realizados en nuestro laboratorio (Medel et al., 1999, 2000, 2002 y 2004; Mateos et al., 2000, 2001, 2002 b y 2005 b; Lopez et al., 2003; Vicente et al., 2004 y 2005) han mostrado que el procesado térmico mejora la digestibilidad de los nutrientes de forma consistente y en la mayoría de los casos la productividad, (cuadros 34, 36, 39 y 43). En estos ensayos no se ha observado que la mejora esté ligada a un tipo concreto de procesado (expansión vs micronizado vs extrusión vs cocido) (cuadro 44).

Los datos publicados y la experiencia práctica parecen demostrar que la utilización de cereales procesados mejora la digestibilidad de los nutrientes especialmente de la fracción almidón y en su caso del extracto etéreo. Su utilización es recomendable en piensos de iniciación hasta las cinco semanas de vida pero lechones de más edad no parecen beneficiarse en la misma medida. Probablemente el cereal que más se beneficie del procesado por calor sea el maíz y el que menos el arroz lo que podría estar relacionado con el mayor encapsulamiento de los gránulos de almidón y de la grasa en el primer cereal. En el caso del arroz se recomienda un procesado suave a fin de higienizar el producto final sin que se observe efecto beneficioso alguno de exceso de calor o altos grados de gelatinización. En base a los resultados publicados (Medel et al., 2004; Mateos et al.,

2005b; Pluske y Hampson, 2005) se recomienda la utilización de arroz procesado por calor en estas primeras edades a pesar de su mayor costo ya que mejora los consumos y los crecimientos en relación con el resto de cereales (Mateos et al., 2001 y 2005b; Vicente et al., 2004 y 2005) (cuadros 45 y 46). Dada la alta digestibilidad de los nutrientes del arroz crudo se recomienda que el procesado por calor sea suave a fin de evitar la formación de almidón resistente o retrogradado que reduce la digestibilidad (Vicente et al., 2005).

Cuadro 43.- Influencia del procesado del cereal sobre la productividad en lechones de 21 a 35 días de edad: efectos principales (Lopez et al., 2003)¹

| | Consumo, g/d | Aumento de peso, g/g | I. conversión, g/g |
|-------------|--------------|----------------------|--------------------|
| Cereal | | | |
| Arroz | 397 | 287 | 1,40 |
| Maíz | 332 | 240 | 1,40 |
| <i>P</i> | 0,001 | 0,001 | NS |
| Procesado | | | |
| Crudo | 364 | 264 | 1,41 |
| Cocido | 364 | 263 | 1,39 |
| <i>P</i> | NS | NS | NS |
| EEM (n = 6) | 22,4 | 19,1 | 0,056 |

¹Medias de dos niveles de fibra en pienso.

²Arroz cocido a 90 °C durante 50 minutos. Maíz cocido a 99 °C durante 50 minutos y posteriormente laminado.

Cuadro 44.- Influencia del tipo de procesado del cereal sobre la productividad en lechones de 21 a 35 días (Medel et al., 1999)

| | A PV, g/d | Consumo, g/d | I. conversión, g/g |
|--------------------|-----------|--------------|--------------------|
| Cebada | | | |
| Cruda | 272 | 348 | 1,30 |
| Extrusionada | 314 | 338 | 1,10 |
| Micronizada | 305 | 354 | 1,17 |
| Maíz | | | |
| Crudo | 285 | 332 | 1,16 |
| Extrusionado | 289 | 349 | 1,20 |
| Micronizado | 256 | 304 | 1,19 |
| Cebada vs maíz | 0,11 | 0,04 | NS |
| Crudo vs procesado | NS | NS | NS |

Cuadro 45.- Efecto del tipo de cereal procesado sobre la digestibilidad aparente fecal (%) de los nutrientes en lechones (Mateos et al., 2005b)¹

| | Arroz procesado ² | Maíz procesado ³ | EEM (n = 24) | P |
|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|-------|
| Materia seca | 83,8 | 80,6 | 0,0041 | 0,001 |
| Energía bruta | 82,7 | 79,0 | 0,0048 | 0,001 |
| Proteína bruta | 72,9 | 72,9 | 0,0052 | NS |
| Extracto etéreo | 60,9 | 58,8 | 0,0095 | 0,05 |
| Almidón | 99,2 | 99,4 | 0,0017 | NS |

¹Media de dos edades (27 y 37 días de edad) y de tres niveles de fibra.

²Cocido a 90 °C durante 50 minutos.

³Cocido a 99 °C durante 55 minutos y posteriormente laminado.

Cuadro 46.- Efecto del tipo de cereal procesado sobre la productividad en lechones de 21 a 41 días de edad (Mateos et al., 2005b)¹

| | Arroz cocido ² | Maíz cocido ³ | EEM (n = 8) | P |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|------|
| Aumento de peso, g/d | 320 | 285 | 10 | 0,05 |
| Consumo pienso, g/d | 452 | 393 | 13 | 0,01 |
| Índice de conversión, g/g | 1,41 | 1,39 | 0,03 | NS |
| Índice de diarreas ⁴ | 3,2 | 9,0 | 0,65 | 0,10 |

¹Media de tres niveles de fibra

²Cocido 90 °C durante 50 minutos

³Cocido 99 °C durante 55 minutos y posteriormente laminado

⁴Porcentaje de días con diarrea

4.- CONCLUSIONES

La textura del pienso y el tamaño de partícula influyen de forma notable sobre la salud intestinal y la productividad de aves y cerdos mantenidos bajo condiciones de producción intensiva. En aves de carne un tamaño de partícula relativamente grosera (>700 µm) es probablemente más conveniente que tamaños más finos debido a su influencia positiva sobre el desarrollo de la molleja (peso y pH) y la motilidad intestinal. El granulado del pienso mejora la productividad, especialmente las ganancias de peso, debido en gran medida a la reducción de las mermas y al aumento de la ingesta. El calentamiento por calor (>90 °C) de la fracción cereal no supone beneficio alguno excepto quizás en la primera semana de vida.

En ponedoras se recomiendan utilizar piensos en harina con tamaño de partícula uniforme con un 80% de las partículas entre 0,5 y 3,2 mm, evitando la presencia de finos que son rechazados por el ave y de partículas muy groseras que permiten la selección. La

presentación en migas o la utilización de piensos expandidos pueden ser recomendables cuando el objetivo es higienizar el pienso o se utilizan niveles altos de subproductos de cereales. La textura apropiada del pienso y la ausencia de partículas excesivamente finas es de particular importancia durante las primeras tres semanas de vida en pollitas para puesta. Piensos finamente molidos reducen el consumo lo que puede incidir negativamente sobre la uniformidad del lote.

En porcino es recomendable utilizar piensos con partículas de tamaño reducido (<800 μm) ya que la digestibilidad de los nutrientes disminuye con molineras muy groseras. En caso de problemas entéricos conviene aumentar el tamaño de la misma. El granulado del pienso es una práctica aconsejable ya que reduce las mermas y mejora los índices de conversión. Además, permite la higienización del pienso reduciendo la carga de hongos, salmonelas y microorganismos en general. En lechones, gránulos de diámetro menor a 3 a 4 mm podrían mejorar el consumo pero en cerdos cebo la calidad del gránulo es más importante que el diámetro. El granulado exige una molienda muy fina de los ingredientes lo que puede perjudicar la estructura de la mucosa digestiva y aumentar la incidencia de úlceras y la prevalencia de salmonelas en las canales, efecto que se contrapone con la mejora de la higienización del pienso. En caso de granjas con problemas entéricos inespecíficos o de etiología desconocida el suministro de piensos en harina en vez de gránulo tiende a reducir la problemática. El procesamiento térmico de los cereales (u otras materias primas tales como el guisante) mejora la digestibilidad de los nutrientes y tiende a mejorar los índices de conversión durante los dos a tres primeras semanas post-destete. La intensidad del procesado por calor a aplicar, depende del cereal (o leguminosa considerado) pero debería ser más alto para el maíz y el guisante y más bajo para el arroz, con valores intermedios para el trigo y la cebada. El procesado por calor probablemente no esté justificado económicamente en lechones de más de 12 kg de peso vivo.

En la práctica es relativamente frecuente controlar la durabilidad de los piensos comerciales pero no la dureza o el tamaño de partícula de los mismos. La medida de estos parámetros de calidad, especialmente del tamaño geométrico media de la partícula y su desviación estándar, es de interés en piensos para broilers y cerdos con problemas digestivos y en pollitas y ponedoras con bajos consumos de pienso. Asimismo, la valoración de la gelatinización del almidón mediante métodos basados en hidrólisis enzimática y utilización de aminoglucosidasa no son los más aconsejables. Nuevos métodos basados en calorimetría diferencial de barrido permiten valorar mejor la bondad del procesado por calor y el valor nutritivo del cereal.

5.- REFERENCIAS

ALBAR, J., SKIBA, F., ROYER, E. y GRANIER, R. (1000) *Journées de la Recherche Porcine en France* 32: 193-200.

- ALLRED, J.B., FRY, R.E., JENSEN, L.S. y MCGINNIS, J. (1957) *Poultry Sci.* 36: 1284-1289.
- ALMIRALL, M., COS, R., ESTEVE-GARCIA, E. y BRUFAU, J. (1997) *Br. Poultry Sci.* 38: 530-536.
- ANÓNIMO (1994) *L'Aviculteur* 556: 66-67.
- ASAE (1995) *ASAE Standard 51392*. American Society of Agriculture Engineers. St. Joseph, Missouri, EEUU. pp: 461-462.
- AUMAITRE, A. (1976) *Annales Zootechnie* 25: 41-51.
- BACH KNUDSEN, K.E. (2001) En: *Fourth NAHWOA WORKSHOP*. Wageningen, Holanda. pp: 169-201.
- BAIRD, D.M. (1973) *J. Anim. Sci.* 36: 516-521.
- BALLAM, G.C. (1986) *Poultry Sci.* 65 (Suppl. 1): 9.
- BEUMER, H. y VAN DER POEL, A.F. B. (1997) En: *Expander processing of animal feeds*. Van der Poel (Ed.). Wageningen Feed Processing Center. Países Bajos. pp: 39-48.
- BLACK, D.J., JENNINGS, R.C. y MORRIS, T.R. (1958) *Poultry Sci.* 37: 702-722.
- BLAMBERG, B. (1964). *Poultry Sci.* 43: 875-878.
- BRAUDE, R., TOWNSEND, M.J. y ROWELL, J.G. (1960) *Journal Agriculture Science* 54: 274-277.
- BRUNSGAARD, G. (1998) *J. Anim. Sci.* 76: 2787-2798.
- CALET, C. (1965) *World's Poultry Sci. Journal* 21: 23-52.
- CANIBE, N., HOJBERG, O., HOJSGAARD, S. y JENSEN, B.B. (2005) *J. Anim. Sci.* 83: 1287-1302.
- CARRÉ, B., ESCARTIN, R., MELCION, J.P., CHAMP, M., ROUX, G. y LECLERCQ, B. (1987) *Br. Poultry Sci.* 28: 219-229.
- CARRÉ, B. (2000) *INRA Prod. Anim.* 13: 131-136.
- CARRÉ, B. (2004) *World's Poultry Sci. Journal* 60: 76-89.
- CASTALDO, D.J. (1995) *Feed Int.* 16 (3): 22-34.
- CHERRY, (1959) *Br. Poultry Sci.* 42: 203-206.
- CHOI, J.H., SO, K.S. y KANG, S.L. (1986) *Poultry Sci.* 65: 594-597.
- COMA, J. (2001) En: *Curso de Especialización de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Avances en Nutrición y Alimentación Animal*. 17: 163-186.
- DAVIS, R.L., HILL, E.G., SLOAN, H.J. y BRIGGS, G.M. (1951) *Poultry Sci.* 30: 325-328.
- DEATON, J.W., MAY, J.D. y LOTT, B.D. (1988) *Poultry Sci.* 67: 375-377.
- DEATON, J.W., LOTT, B.D. y SIMMONS, J.D. (1989) *Poultry Sci.* 68: 1342-1344.
- DOUGLAS, J.H., SULLIVAN, T.W., BOND, P.L., STRUWE, F.J., BAIER, J.G. y ROBESON, L.G. (1990) *Poultry Sci.* 69: 2150-2156.
- DOZIER, W.A. (2001) *Feed Int.* 22 (6): 28-33.

- DUKE, G.E. (1994) En: *Proc. 21st North Carolina Nutrition Conference*. NCSU, EEUU. pp: 46-51.
- ELLEY, C.P. y BELL, J.C. (1948) *Poultry Sci.* 27: 660-661.
- ENGBERG, R.H., HEDEMANN, M.S. y JENSEN, B.B. (2002) *Br. Poultry Sci.* 44: 569-579.
- ENGSTER, H. (1989) *Egg Industry* 95 (5): 14-17.
- FAIRFIELD, D. (1994) *Feed Manufacturing Technology*. R.R. Ellhiney (Ed.). AFIA, Arlington, Virginia. pp: 111-140.
- FANCHER, B.I., ROLLINS, D. y TRIMBEE, B. (1996) *J. Appl. Poultry Res.* 5: 386-394.
- FASTINGER, N.D. y MAHAN, D.C. (2003) *J. Anim. Sci.* 81: 697-704.
- FERCHAL, E., GALEA, F. y ROUILLERE, H. (2003) *Br. Poultry Sci.* 44: 804-806.
- FEVRIER, C. (1985) En: *Colloque sur la production porcine*. C.P.A.Q., Victoriaville, Quebec, Canada. pp 11-26.
- FRIENDSHIP, R.M. (2003). *Advances in Pork Production* 14: 159-164.
- FURUTA, K., MORIMOTO, S. y SATO, S. (1980) *Laboratory Animals* 14: 221-224.
- GARCÍA, M., LÁZARO, R., GRACIA, M., REVUELTA, R. y MATEOS, G.G. (1998) *Poultry Sci.* 77 (Suppl. 1): 72.
- GIESEMANN, M.A., LEWIS, A.J., HANCOCK, J.D. y PEO, F.R. (1990) *J. Anim. Sci.* 68 (Suppl. 1): 104.
- GONZALEZ ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ MORENO, E., VALENCIA, D.G., LAZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *Poultry Sci.* 83 (Suppl. 1): 436-437.
- GOODBAND, R.D., TOCKACH, M.D. y NELSSSEN, J.L. (1995) *The effects of diet particle size on animal performance* (MF-2050). Kansas State University Agricultural Experimental Station and Cooperative Extension Service. Manhattan, Kansas, EEUU.
- GOUS, R.M. y MORRIS, T.R. (2001) *Br. Poultry Sci.* 42: 203-206.
- GRACIA, M.I. (2000) *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid.
- GRACIA, M.I., ARANIBAR, M.J. y MATEOS, G.G. (2002) *Poultry Sci.* 80 (Suppl. 1): 167.
- GRACIA, M.I., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2003a) *Poultry Sci.* 82: 436-442.
- GRACIA, M.I., LATORRE, M.A., GARCÍA, M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2003b) *Poultry Sci.* 82: 1281-1291.
- GREEN, S. (1991) *Feedstuffs* 63 (3): 11.
- HAMILTON, R.M.G. y PROUDFOOT, F.G. (1995) *Anim. Feed Sci. Techn.* 51: 203-210.
- HANCOCK, J.D., HINES, R.H., RICHERT, B.T. y GUGLE, T.L. (1993) *J. Anim. Sci.* 71 (Suppl. 1): 13.
- HANCOCK, J.D. (1996) *World Poultry Misset* 12 (12): 33.
- HANRAHAN, T.J. (1984) *Anim. Feed Sci. Tech.* 10: 277-284.
- HARRIS, D.D., TRIBBLE, L.F. y ORR, D.E. (1979) En: *Proc. 27th Swince Short Course*. Technical Report N° T-5-144. Texas Technical University. Texas, EEUU.

- HASEMANN, D.L., BEYER, R.S., FROETSCHNER, R. Y BEHNKE, K.C. (1997). *Poultry Sci.* 76 (Supl. 1): 83.
- HEALY, B.J., HANCKOCK, J.D., KENNEDY, G.A., BRAMEL, P.J., BEHNKE, K.C. y HINES, R.H. (1994) *J. Anim. Sci.* 72: 2227-2236.
- HEDEMANN, M.S., MIKKELSEN, L.L., NAUGHTON, P.J. y JENSEN, B.B. (2005) *J. Anim. Sci.* 83: 1554-1562.
- HEIDENREICH, E. (1994) *Feed Mix* 2 (5): 32-34.
- HEIMANN, M. (1989) *Feed Int.* 10 (6): 12-22.
- HERSTAD, O. y McNAB, J.M. (1975) *Br. Poultry Sci.* 16: 1-8.
- HOCHSTETLER, H.W. (2005) En: *Arkansas Annual Animal Nutrition Conference*. Rogers, Arkansas, EEUU. pp: 1-3.
- HONGTRAKUL, K., GOODBAND, R.D., BEHNKE, K.C., NELSSSEN, J.L., TOKACH, M.D., BERGSTRÖM, J.R., NESMITH, W.B. y KIM, I.H. (1998) *J. Anim. Sci.* 76: 3034-3092.
- HUSSAR, N. y ROBLEE, A.R. (1962) *Poultry Sci.* 41: 1489-1493.
- ISABROWN (1996) *Guía de Manejo de la Ponedora*. ISA, S.A. Lyon, Francia.
- ISABROWN (1998) *Poultry Newsletter* 11: 3. Hubbard-ISA. Lyon, Francia.
- ISABROWN (2000) *Guía de Manejo de la Ponedora*. Hubbard-ISA, Lyon, Francia.
- JANSSEN, W.W. (1986) *European Table of Energy Values for Poultry Feedstuffs*. Beekbergen, Países Bajos.
- JENSEN, L.S., MERRIL, L.H., REDDY, C.V. y MCGINNIS, J. (1962) *Poultry Sci.* 41: 1414-1419.
- JIMÉNEZ MORENO, E., GONZALEZ ALVARADO, J.M., VALENCIA, D.G., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *Poultry Sci.* 83 (Suppl. 1): 323.
- JIMENEZ-MORENO, E., GONZALEZ ALVARADO, J.M., LAZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005) *Poultry Sci.* 84 (Suppl. 1): 69-70.
- JONES, F.T. (1979) *Poultry Digest*. Agosto: 454-456.
- JØRGENSEN, L., DAHL, J. y WINGSTRAND, A. (1999) En: *Proc. third International Symposium on the Epidemiology and Control of Salmonella in Pork*. P.B. Bahnson (Ed.). Urbana-Champaign. Illinois, EEUU. pp: 308-312.
- JØRGENSEN, L., JENSEN, B.B. y KJAERGAARD (2001) *Danske Slagterier*. Nutrition Finishers. Informe 489. En: <http://www.danskeslagterier.dk>.
- KALDHUSDAL, M.I. (1999) En: *Proc. 12th European International Poultry Nutrition Symposium*. Veldhoven, Países Bajos. pp.: 301-310.
- KJELDSSEN, N. y DAHL, J. (1999) En: *Proc. of the 3rd international symposium on the epidemiology and control of Salmonella in pork*. Washington, EEUU. pp: 313-316.
- KILBURN, J. y EDWARDS, H.M. (2001) *Br. Poultry Sci.* 42: 484-492.
- KILBURN, J. y EDWARDS, H.M. (2004) *Poultry Sci.* 83: 428-432.
- KIM, J.C., SIMMINS, P.H., MULLAN, B.P. y PLUSKE, J.R. (2005a) *Anim. Feed Sci. Techn.* 112: 257-287.
- KIM, J.C., MULLAN, B.P. y PLUSKE, J.R. (2005b) *Anim. Feed Sci. Techn.* 120: 51-65.

- KJELDSSEN, N. y DAHL, S. (1999) En: *Proc. 3rd Internat. Symposium on the Epidemiology and Control of Salmonella in Pork*. Washington, D.C. EEUU. pp: 313-316.
- KLING, L.J., HAWES, R.O. y GERRY, R.W. (1985) *Poultry Sci.* 64: 1242-1244.
- LAVOREL, O., FEKETE, J. y LEVILLET, M. (1984) En: *14th French Swine Research Day*. INRA, París, Francia. pp 36-38.
- LAWLOR, P.G., LYNCH, P.B., CAFFREY, P.J. y O'DOHERTY, J.R. (2003a) *Anim. Sci.* 76: 251-261.
- LAWLOR, P.G., LYNCH, P.B., CAFFREY, P.J. y O'DOHERTY, J.R. (2003b) *Anim. Sci.* 76: 263-271.
- LEESON, S. y SUMMERS, J. (2005) *Commercial Poultry Nutrition* (3ª ed.). University Books. Guelph. Ontario, Canadá.
- LICHOVNIKOVA, M., ZEMAN, I., KRACHAR, S. y KLECKER, D. (2004) *Anim. Feed Sci. Techn.* 116: 313-318.
- LO FO WONG, D.M., DAHL, J., ALTROCK, A. VON, GRAFANKIS, S., THORBERG, B.M. y VAN DER WOLF, P.J. (1999) En: *Proc. of the 3rd international symposium on the epidemiology and control of Salmonella in pork*. Washington, EEUU. pp: 151-157.
- LOPEZ, C.A., BALACO, N.C. y FREITAS, N.M. (2000) *Avicultura Profesional* 18: 12-14.
- LOPEZ, E., LATORRE, M.A., VALENCIA, D.G., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2003) *J. Anim. Sci.* 81 (Suppl. 1): 47.
- LOTT, B.D., DAY, E.J., DEATON, J.W. y MAY, J.D. (1992) *Poultry Sci.* 71: 618-624.
- LUCE, W.G., OMTVEDT, I.T. y MAXWELL, C.V. (1973) *J. Anim. Sci.* 36 (Suppl. 1): 204.
- MATEOS, G.G. (1987) En: *Curso de Especialización de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Avances en Nutrición y Alimentación Animal*. 17: 1-21.
- MATEOS, G.G., MENDEZ, J., MEDEL, P. y ALVAREZ, C. (1995) *Poultry Sci.* 74 (Suppl. 1): 19.
- MATEOS, G.G., GOMEZ, E., LAZARO, R. y MEDEL, P. (2000) *J. Anim. Sci.* 78 (Suppl. 1): 184.
- MATEOS, G.G., ALCANTARILLA, A., LATORRE, M.A., LAZARO, R., GOMEZ, E. y LASO, N. (2001) *J. Anim. Sci.* 79 (Suppl. 1): 106.
- MATEOS, G.G., LÁZARO, R. y GRACIA, M. (2002a) *J. Appl. Poultry Res.* 11: 437-452.
- MATEOS, G.G., LATORRE, M.A., MARTIN, F., GRACIA, M.I. y LAZARO, R. (2002b) *J. Anim. Sci.* 80 (Suppl. 1): 199.
- MATEOS, G.G., GONZALEZ ALVARADO, J.M. y LÁZARO, R. (2004) En: *Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries*. T.P. Lyons y K.A. Jacques (Eds.). Nottingham University Press. Reino Unido. pp.: 69-77.
- MATEOS, G.G., ACEDO-RICO, J. y SANTOMA, G. (2005 a) *Suis* 19: 6-10.

- MATEOS, G.G., MARTÍN, F., LATORRE, M.A., VICENTE, B. y LÁZARO, R. (2005 b) *Animal Science*. (En prensa)
- MAVROMICHALIS, I., HANCKOCK, J.D., SENNE, B.W., GUGLE, T.L., KENNEDY, G.A., HINES, R.H. y WYATT, C.L. (2000) *J. Anim. Sci.* 78: 3086-3095.
- McCRACKEN, K.J., McALLISTER, A. y JOHNSTON, R. (1996) *Br. Poultry Sci.* 37 (Suppl. 1): 561-562.
- MEDEL, P., SALADO, S., DE BLAS, C. y MATEOS, G.G. (1999) *Anim. Feed Sci. Technology* 82: 145-156.
- MEDEL, P., GARCIA, M., LÁZARO, R., DE BLAS, C. y MATEOS, G.G. (2000) *Anim. Feed Sci. Technology* 84: 13-21.
- MEDEL, P., BAUCCELLS, F., GRACIA, M., DE BLAS, C. y MATEOS, G.G. (2002) *Anim. Feed Sci. Technology* 95: 113-122.
- MEDEL, P., LATORRE, M.A., DE BLAS, C., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *Anim. Feed Sci. Technology* 113: 127-140.
- MELCION, J.P. (1995) *Feed Mix* 3 (5): 33-37.
- MELNICHOUK, S.I. (2002). *Canadian Veterinary Journal* 43: 223-225.
- MENDEZ, J., GROBAS, S., RIAL, E. y MATEOS, G.G. (1995) *Poultry Sci.* 74 (Suppl. 1): 20-21.
- MORAN, E. (1982) *Comparative nutrition of fowl and swine: the gastrointestinal systems*. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá.
- MORAN, E. (1989) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (Eds.). Butterworths. Reino Unido. pp: 87-108.
- MORITZ, J.S., PARSONS, A.S., BUCHANAN, N.P., CALVALCANTI, W.B., CRAMER, K.R. y BEYER, R.S. (2005) *J. Appl. Poultry Res.* 14: 47-54.
- MORRIS, L. (1947). *Poultry Sci.* 26: 122-125.
- NCR-42 (1969) *J. Anim. Sci.* 29: 927-934.
- NIR, I., MELCION, J.P. y PICARD, M. (1990) *Poultry Sci.* 69: 2177-2184.
- NIR, I., SHEFET, G. y AARONI, Y. (1994a) *Poultry Sci.* 73: 45-49.
- NIR, I., HILLEL, R., SHEFET, G. y NITSAN, Z. (1994b) *Poultry Sci.* 73: 781-791.
- NISSINEN, V.J., PEISKER, M. y LIEBERT, F. (1993) *Kraftfutter* 9: 364-367.
- OHH, S.J., ALLEE, G.L., BEHNKE, K.C. y DEYOE, C.W. (1983) *J. Anim. Sci.* 75 (Suppl. 1): 260.
- OWENS, J.M. y HEIMANN, M. (1994) *Feed Manufacturing Technology*. R.R. Ellhiney (Ed.). AFIA, Arlington, Virginia. EEUU. pp: 81-98.
- OWSLEY, W.F., KNABE, D.A. y TANKSLEY, T.D. (1981) *J. Anim. Sci.* 52: 557-566.
- PARSONS, A.S., MORITZ, J.S., BLEMING, K.P. y STEINFELT, B.M. (2003). *Poultry Sci.* 82 (Supl. 1): 26.
- PERON, A., BASTIANELLI, D., OURY, F.X., GOMEZ, J. y CARRE, B. (2005) *Br. Poultry Sci.* 46: 223-230.
- PICARD, M., LE FUR, C., MELCION, J.P. y BOUCHOT, C. (2000) *INRA Prod. Anim.* 13: 117-130.

- PICKFORD, J.R. (1992) *Recent Advances in Animal Nutrition*. P.C. Garnsworthy, W. Haresign y D.J.A. Cole (Eds.). Butterworths-Heinemann. Reino Unido. pp.: 177-192.
- PLAVNIK, I. y SKLAN, D. (1995) *Anim. Feed Sci. Technology* 55: 247-251.
- PLAVNIK, I., WAX, E., SKLAN, D. y HURWITZ, S. (1997) *Poultry Sci.* 76: 1006-1013.
- PLAVNIK, I. (2003) En *Proc. 14th European Symposium of Poultry Nutrition*. Linemayer, Austria. pp 1-13.
- PLUSKE, J. y HAMPSON, D. (2005) *Rice-based diets in pigs-for protection against intestinal bacterial infections*. RIRDC Publication No 05/143. Kingston, Australia.
- PORTELLA, F.J., CASTON, L.J. y LEESON, S. (1988) *Can. J. Anim. Sci.* 68: 915-922.
- PROUDFOOT, F.G. y HULAN, H.W. (1982) *Poultry Sci.* 61: 327-330.
- QUEMERE, P., CASTAING, J., CHASTANET, J.P., LATIMIER, P., SAULNIER, J., WILLEQUET, F. y GROSJEAN, F. (1988). *Journées Recherche Porcine en France* 20: 351-357.
- RASMUSSEN, O.G., HANSEN, R., JACOBS, N.J. y WILDER, O.H.M. (1964) *Poultry Sci.* 43: 1151-1157.
- REECE, F.N., LOTT, B.D. y DEATON, J.W. (1985) *Poultry Sci.* 64: 1834-1839.
- REECE, F.N., LOTT, B.D. y DEATON, J.W. (1986a) *Poultry Sci.* 65: 636-641.
- REECE, F.N., LOTT, B.D. y DEATON, J.W. (1986b) *Poultry Sci.* 65: 1257-1261.
- REIMER, L. (1992) En: *Proc. Feed Mill Management and Feed Manufacturing Technology Short Course Northern Crops Institute*. California Pellet Mill Co. Crawfordsville, Indiana, EEUU. p: 1-7.
- ROGEL, A.M., ANNISON, E.F., BRYDEN, W.L. y BALNAVE, D. (1987) *Aust. J. Agric. Res.* 38: 639-649.
- SANDOVAL, A., RODRIGUEZ, E. y FERNÁNDEZ, A. (2005) *Dyna* 146: 45-53.
- SCHAIBLE, P.J. (1970) *Poultry: Feeds and Nutrition*. AVI, Westport, Connecticut, EEUU.
- SCHIFFMAN, H.R. (1969) *J. Comp. Phys. Psychol.* 67: 462-467.
- SEERLY, R.W., VANDERGRIFT, W.L. y HALE, O.M. (1988) *J. Anim. Sci.* 66: 2484-2489.
- SKOCH, E.R., BINDER, S.F., DEYOE, C.W., ALLEE, G.L. y BEHNKE, K.C. (1983) *J. Anim. Sci.* 57: 922-928.
- SLINGER, S.J. (1973) En: *Effects of processing on nutrient value of feeds*. National Academy of Sciences, Washington, D.C. pp: 48-66.
- SMITS, B., JONGBLOED, A.W. y SEBEK, L.B.J. (1994) *Anim. Feed Sci. Techn.* 45: 349-362.
- STEGE, H., JENSEN, T.K., MOLLER, K., BAKBO, P. y JORSAL, S.E. (2000) *Preventive Veterinary Medicine* 46: 279-292.
- STOTT, J.A., HODGESON, J.E. y CHANEY, J.C. (1975) *J. Appl. Bact.* 39: 41-46.

- SVIHUS, B., KLOVSTAD, K.H., PEREZ, V., ZIMONJA, O., SAHLSTRÖM, S., SCHÜLLER, R.B., JEKSRUD, W.K. y PERESTLOKKEN, E. (2004) *Anim. Feed Sci. Techn.* 117: 281-293.
- SVIHUS, B., UHLEN, A.K. y HARSTAD, O.M. (2005) *Anim. Feed Sci. Techn.* 122: 303-320.
- TABIB, Z., JONES, F.T. y HAMILTON, P.B. (1981) *Poultry Sci.* 60: 1392-1397.
- TABIB, Z., JONES, F.T. y HAMILTON, P.B. (1984) *Poultry Sci.* 63: 70-75.
- TEETER, R. y MCKINNEY, L. (2003) *Poultry Int.* 42 (12): 40-46.
- THACKER, P.A. (1999) *Anim. Feed Sci. Techn.* 79: 29-41.
- THOMAS, M. y VAN DER POEL, A.F.B. (1996) *Anim. Feed Sci. Techn.* 61: 89-112.
- TRAYLOR, S.L., BEHNKE, K.C., HANCOCK, J.D., SORRELL, P., FAIRCHILD, F.J. y HINES, R.H. (1996 a) Kansas State University Swine Day Proceedings. Manhattan, Kansas, EEUU. pp.: 145-148.
- TRAYLOR, S.L., BEHNKE, K.C., HANCOCK, J.D., SORRELL, P. y HINES, R.H. (1996 b) *J. Anim. Sci.* 74 (Suppl. 1): 67.
- TRIBBLE, L.F., HARRIS, D.D. y ORR, D.E. (1979) En: *Proc. 27th Swine Short Course*. Tech. Report N° T-5-144. Texas Technical University. Texas, EEUU.
- VAN DER POEL, A.F.B., DEN HARTOG, L.A., VAN STIPHOUT, W.A.A., BREMMERS, R. y HUISMAN, J. (1990) *Anim. Feed Sci. Techn.* 29: 309-320.
- VAN SPAENDONCK, R.L. y VANSCHOUBROEK, F.X. (1966) *Ann. Zootechnie* 15: 343-351.
- VANDENBOORN, J.M., KWAKKEL, R.P. y VAN DER POEL, A.F.B. (1993) Texture of poultry diets. *Internal Report WAV*. Wageningen. Países Bajos. (En holandés)
- VANSCHOUBROEK, F., COUCKE, L. y VAN SPAENDONCK, R.L. (1971) *Nutr. Abst. Rev.* 41: 1-9.
- VANSCHOUBROEK, F., y DE WILDE, R.C. (1971) Hoja técnica Lohmann Tierernährung. Cuxhaven, Alemania. pp 129-146.
- VICENTE, B., VALENCIA, D.G., LAZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 1): 456.
- VICENTE, B., VALENCIA, D.G., SERRANO, M.P., LAZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005) *J. Anim. Sci.* 83 (Suppl. 1): 334.
- VILARIÑO, M., PICARD, M.L., MELCION, J.P. y FAURE, J.M. (1996) *Br. Poultry Sci.* 37: 895-907.
- VUKIC-VRANJES, M. y WENK, C. (1995). *Anim. Feed Sci. Techn.* 54: 21-32.
- WAHLSTROM, A., TAUSON, R. y ELWINGER, K. (1999). *Poultry Sci.* 78: 1675-1680.
- WINGSTRAND, A., DAHL, J., LO FO WONG, D.M. (1999) En: *Proc. 3rd International Symposium on the Epidemiology and Control of Salmonella in Pork*. Washington D.C. EEUU. pp: 186-189.
- WONDRA, K.J., HANCKOCK, J.D., KENNEDY, G.A., HINES, R.H. y BEHNKE, K.C. (1995a) *J. Anim. Sci.* 73: 421-426.

- WONDRA, K.J., HANCKOCK, J.D., BEHNKE, K.C., HINES, R.H. y STARK, C.R. (1995b) *J. Anim. Sci.* 73: 757-763.
- WONDRA, K.J., HANCKOCK, J.D., BEHNKE K.C. y HINES, R.H. (1995c) *J. Anim. Sci.* 73: 414-420.
- WONDRA, K.J., HANCKOCK, J.D., BEHNKE, K.C. y STARK, C.R. (1995d) *J. Anim. Sci.* 73: 2564-2573.
- YO, T., SIEGEL, P.B., GUERIN, H. y PICARD, M. (1997) *Poultry Sci.* 76: 1467-1473.
- ZARKADAS, L.N. y WISEMAN, J. (2002) *Anim. Feed Sci. Techn.* 95: 73-82.
- ZATARI, I.M. y SELL, J.L. (1990) *Anim. Feed Sci. Techn.* 30: 121-129.
- ZATARI, I.M., FERKET, P.R. y SCHEIDELER, S.E. (1990) *Poultry Sci.* 69 (Suppl. 1): 198.

FEDNA