

## MOLIENDA GROSER PARA AVES: EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL NITRÓGENO Y SALUD INTESTINAL

René P. Kwakkel and Pierre C.A. Moquet

Wageningen University, Animal Nutrition Group, P.O. Box 338, 6700 AH Wageningen, The Netherlands ([rene.kwakkel@wur.nl](mailto:rene.kwakkel@wur.nl))

### 1.- INTRODUCCIÓN

En los sistemas actuales de producción, los pollos reciben gránulos fácilmente degradables compuestos principalmente de ingredientes finamente molidos. Durante décadas, la industria de piensos se ha basado en el concepto de que una molienda fina favorece el acceso al sustrato de las secreciones digestivas, mejorando así su digestibilidad; como consecuencia se permite que las aves expresen todo su potencial genético de crecimiento. En la actualidad, los broilers en condiciones intensivas pueden alcanzar un peso vivo de 2 kg en 5 semanas consumiendo tan sólo 3 kg de pienso (Choct, 2009).

Sin embargo, los procesos digestivos de mezcla y molienda y las contracciones peristálticas de retroceso específicas de las aves pueden no estar activas en la producción moderna de broilers debido a este tipo de procesado tecnológico (Cumming, 1994; Duke, 1994). Como consecuencia, partes del tracto gastrointestinal (TGI) pueden funcionar incorrectamente por la estructura excesivamente fina del pienso. De ello pueden resultar desórdenes metabólicos, tales como dilatación del proventrículo y molleja infra-desarrollada (Kwakkel *et al.*, 1997).

Este trabajo tiene por objeto analizar las consecuencias fisiológicas del suministro a aves de piensos molidos de forma grosera sobre la salud intestinal y la utilización de nutrientes, para establecer estrategias aplicables a la industria.

## 2.- ESTRUCTURA GROSERA DE LAS PARTÍCULAS DEL PIENSO: UN TEMA DE RENOVADO INTERÉS?

Tal como se ha indicado en la introducción, piensos finamente molidos inducen un peor funcionamiento del TGI. Los gránulos se disuelven en el buche y pasan rápidamente la molleja, lo que resulta en una menor estimulación del TGI y en la aparición de problemas metabólicos (Cumming, 1994; Nir *et al.*, 1995; Kwakkel *et al.*, 1997).

Por otra parte, piensos con estructura más grosera tienen un efecto sobre los rendimientos de las aves, ya que estas partículas son probablemente digeridas más eficientemente. Este efecto positivo puede resultar del estímulo del crecimiento de la molleja (Amerah *et al.*, 2007). Una molleja bien desarrollada se asocia con un incremento de la secreción de enzimas del jugo pancreático y con una mayor capacidad para la molienda (Engberg *et al.*, 2002). Se ha demostrado que las partículas groseras pueden mejorar los movimientos de anti-peristalsis del TGI (Nir *et al.*, 1995; Khoa, 2007). Existe controversia en cuanto a si las partículas groseras mejoran (Rogel *et al.*, 1987; Sacranie *et al.*, 2012) o reducen (Péron *et al.*, 2005) la utilización de los nutrientes. La inconsistencia de estos resultados puede estar relacionada con el método utilizado para reducir el tamaño de partícula (Amerah *et al.*, 2007) o con la forma de presentación del pienso (Kilburn y Edwards, 2001).

En la última década, la relevancia del suministro de piensos groseros a aves ha merecido un renovado interés. Algunos de los efectos mencionados anteriormente han sido investigados por autores que estaban interesados en factores de la dieta que pudieran interactuar con el crecimiento funcional del TGI y con los efectos potenciales del reflujo (e.g., Nir *et al.*, 1995 usando diferentes métodos de molienda; Hetland y Svihus, 2001 utilizando piensos ricos en fibra; Khoa., 2007 empleando dietas húmedas y groseras). La mayoría de los autores encontraron un efecto del uso de piensos con estructura grosera sobre la distribución de los tamaños de partícula, la secreción de enzimas, los rendimientos de las aves, la velocidad de tránsito digestiva y la digestibilidad de los nutrientes (ver revisión de Amerah *et al.*, 2007). Un incremento de las propiedades de reflujo del TGI es uno de los principales efectos de la estimulación ligada a las partículas groseras, debido a su papel específico en la fisiología de las aves.

En las aves pueden observarse tres puntos de reflujo intensivo (Duke, 1994). La secuencia de la contracción gastroduodenal (2-4 ciclos por minuto) ocurre entre el proventrículo y el duodeno proximal. Las contracciones antiperistálticas en el duodeno y en el íleon terminal (alrededor de 4 veces por día) aumentan el tiempo de retención y, por tanto, la absorción a nivel de yeyuno y de íleon. Finalmente, la anti-peristalsis en el colon transfiere nitrógeno urinario cuando una dieta es deficitaria en proteína (Karasawa, 1999). En el ciego, una densa población de bacterias sintetiza proteína a partir de ácido úrico procedente de la orina (Barnes e Impey, 1974). Este último punto es prometedor por sus implicaciones sobre el reciclado de nitrógeno.

### 3.- EL RECICLADO DE NITRÓGENO COMO SOLUCIÓN PARA LA EFICIENCIA ECONÓMICA DE LOS PIENSOS

Algunos autores han sugerido que el reflujo desde el colon puede jugar un papel importante en la economía de utilización del nitrógeno. Cuando se añade urea a una dieta basada en aminoácidos cristalinos y con un bajo contenido en nitrógeno no-esencial o a bien a dietas con una baja concentración en proteína, puede ser utilizada (e.g., Allen y Baker, 1974; Karasawa, 1999; Miller, 1973) o no (Moran *et al.*, 1967) para el crecimiento. La concentración en otros compuestos nitrogenados (e.g. aminos) puede explicar la inconsistencia de la respuesta a la suplementación con urea (Lee, 1977).

Parece que el reciclado de nitrógeno a través del ciego sólo se incrementa en pollos que reciben una dieta pobre en proteína, mientras que el proceso pierde importancia en los que reciben niveles altos o moderados de proteína en el pienso. Se ha demostrado que la disección del colon no reduce el balance nitrogenado en pollos que reciben un pienso con un 10% de proteína, lo contrario de lo que ocurre en aves alimentadas con una dieta con un 5% de proteína más urea (Karasawa y Maeda, 1994).

La hipótesis más aceptada para explicar el mecanismo de reciclado del nitrógeno es la siguiente: la orina puede alcanzar el ciego por transporte en retroceso (Björnhag, 1989). La flora cecal contiene microorganismos capaces de descomponer el ácido úrico (Barnes e Impey, 1974). En consecuencia, parece posible que la degradación de los compuestos de nitrógeno urinario en el ciego contribuyan a la recuperación del nitrógeno no utilizado. Sin embargo, no está claro cómo estos compuestos pueden ser utilizados por el animal huésped (Karasawa, 1999).

Puesto que los alimentos concentrados en proteína son componentes costosos en la formulación del pienso (y a menudo importados desde otros países) , un mecanismo de reciclado del nitrógeno en las aves ofrece una perspectiva interesante para la industria. En este contexto, deben ser estudiados los posibles pasos limitantes en orden a identificar estrategias que permitan optimizar el proceso.

### 4.- DIETAS MOLIDAS DE FORMA GROSERA PUEDEN MEJORAR LOS PUNTOS CRÍTICOS LIMITANTES PARA EL RECICLADO DEL NITRÓGENO

En el reciclado del nitrógeno en aves pueden distinguirse tres pasos limitantes:

En primer lugar, el flujo anti-peristáltico de orina al ciego está afectado por el contenido en nitrógeno en la dieta. Las aves tienen capacidad para compensar un bajo consumo de proteína con un mayor flujo de retroceso de orina al ciego (Björnhag, 1989).

En segundo lugar, la descomposición del nitrógeno urinario por la microbiota del ciego puede constituir también un paso limitante. Es conocido que el ácido úrico, la urea, los aminoácidos y otros componentes nitrogenados de la orina suministran nitrógeno para las bacterias productoras de amoníaco (Karasawa *et al.*, 1989a; Karasawa *et al.*, 1989b).

Este amoníaco puede ejercer distintos efectos sobre la fisiología de las aves (Gabriel *et al.*, 2005). Niveles bajos permiten la síntesis de aminoácidos no esenciales, lo que tendería a mejorar la ganancia de peso (Lee, 1977). Sin embargo, niveles elevados de amoníaco en sangre resultan en una menor longitud de los vili, toxicidad celular y peores rendimientos ligados al coste energético del reciclado (Williams *et al.*, 2001; Gabriel *et al.*, 2005). Por tanto, el elevado número de anaerobios consumidores de amoníaco puede jugar un papel importante para prevenir la síntesis de metabolitos que resulten tóxicos para el huésped (Croucher y Barnes, 1983).

El último paso limitante podría ser la utilización de los compuestos nitrogenados producidos en el ciego. Este paso es todavía tema de debate entre los científicos. El nitrógeno urinario se degrada rápidamente a amoníaco y se incorpora a los aminoácidos microbianos.

Desafortunadamente, la ruta exacta de reciclado del nitrógeno todavía no se conoce. Algunos autores mantienen que los aminoácidos no pueden ser absorbidos desde el ciego (Holdsworth y Wilson, 1967; Mortensen y Tindall, 1981). Sin embargo, otros autores han demostrado la absorción activa de algunos aminoácidos desde el ciego (Lind *et al.*, 1980). El amoníaco puede incorporarse en la alanina y otros aminoácidos en la transferencia a través de la pared del ciego (Karasawa, 1984). Además, no hay indicaciones hasta ahora de que los aminoácidos puedan retroceder en el TGI hacia el yeyuno y el íleon para poder ser degradados enzimáticamente. Por tanto, la contribución de los compuestos nitrogenados producidos en el ciego al balance nitrogenado del animal no está todavía completamente explicada.

## 5.- RESULTADOS EN NUESTRO LABORATORIO

Los resultados de nuestro laboratorio confirman algunos de los efectos mencionados anteriormente. Dos de estos estudios se presentan a continuación.

Los resultados de un ensayo piloto (Cuadros 1, 2 y 3) mostraron que pollos con un TGI bien desarrollado (indicado por una molleja bien desarrollada), alimentados con trigo entero durante el periodo starter, rendían mejor con una dieta pobre en N (con similar estructura fina), probablemente por una mayor anti-peristalsis desde el colon. Las diferencias de consumo entre los grupos con bajo o alto nivel de N fueron un 11 y un 4% para las aves que habían recibido los pellets finos y la dieta 40% trigo entero, respectivamente, indicando una mayor eficiencia de utilización de los nutrientes en el último grupo. La gran recuperación relativa de  $^{14}\text{C}$ -PEG en el quimo del íleon distal de las aves que habían recibido la dieta con 40% de trigo entero a edades jóvenes es remarcable.

En otro ensayo, pollos broilers fueron alojados individualmente y alimentados con piensos molidos groseramente ricos (22%) o pobres (10%) en proteína bruta desde los 15 hasta los 25 días de edad. En el día 25, se infundió lentamente una solución salina de ácido úrico [ $1,3\text{-}^{15}\text{N}$ ] en la cloaca. En 10 periodos de tiempo después del suministro del isótopo (entre 5 y 1800 min), los pollos fueron muestreados en sangre, eutanizados y

diseccionados. En general, el enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  en intestino, hígado, canal y plasma de los pollos infundidos seguían una distribución difásica. La inspección visual revelaba un ligero enriquecimiento en  $^{15}\text{N}$  en los intestinos, hígado y canal en los pollos que recibían la dieta pobre en proteína, lo que sugiere un mayor flujo de retroceso en estos animales.

**Cuadro 1.- Diseño experimental**

No.	Tratamiento	Días 0-7	Días 8-14	Días 15-21	Días 22-28
1	Gránulos finos	----- pellets, sin trigo entero-----			
2	Harina grosera	----- Harina, sin trigo entero -----			
3	'25%TE'	Pellets + 5%TE	Pellets + 10%TE	----- Pellets + 25%TE -----	
4	'40%TE'	Pellets + 5%TE	Pellets + 15%TE	Pellets + 30%TE	Pellets + 40%TE

% TE: Proporción de trigo que fue suministrado como trigo entero

**Cuadro 2.- Efectos del tipo de dieta sobre los rendimientos de las aves y el peso relativo de los segmentos del TGI**

Variable	Tipo de dieta			
	Pellets finos	Harina grosera	'25% TE'	'40% TE'
Días 0-14				
Ganancia de peso vivo (g/d)	32.6 <sup>a</sup>	26.1 <sup>b</sup>	31.7 <sup>a</sup>	32.2 <sup>a</sup>
Consumo (g/d)	41.3 <sup>a</sup>	43.7 <sup>b</sup>	40.6 <sup>a</sup>	41.0 <sup>a</sup>
Índice de conversión (g/g)	1.27 <sup>a</sup>	1.67 <sup>b</sup>	1.28 <sup>a</sup>	1.27 <sup>a</sup>
Días 0-28				
Ganancia de peso vivo (g/d)	48.9 <sup>a</sup>	42.2 <sup>b</sup>	47.6 <sup>a</sup>	47.7 <sup>a</sup>
Consumo (g/d)	71.3 <sup>a</sup>	66.2 <sup>b</sup>	69.1 <sup>a</sup>	70.3 <sup>a</sup>
Índice de conversión (g/g)	1.46 <sup>a</sup>	1.57 <sup>b</sup>	1.45 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>
Pesos relativos de los segmentos TGI (g por 100 g PV; al día 28)				
Proventriculus (P)	0.38 <sup>a</sup>	0.37 <sup>ab</sup>	0.33 <sup>b</sup>	0.36 <sup>ab</sup>
Molleja (G)	1.40 <sup>a</sup>	1.82 <sup>b</sup>	1.81 <sup>b</sup>	1.92 <sup>b</sup>
Ratio P/(P+G)	0.22 <sup>a</sup>	0.17 <sup>b</sup>	0.15 <sup>b</sup>	0.16 <sup>b</sup>
Íleon	0.83	0.86	0.79	0.85
Ciego	0.32	0.34	0.34	0.33

<sup>a,b</sup>: Medias con diferentes superíndices difieren significativamente (P<0.05)

**Cuadro 3.- Efectos del nivel de nitrógeno de la dieta en relación con la estructura del previa del alimento (días 0-28) sobre los rendimientos de los pollos (días 29-42) y sobre la recuperación de <sup>14</sup>C-PEG (en % de la dosis inyectada) en el ciego, íleon distal y en el colon a los 35 días de edad.**

Estructura previa pienso (días 0-28)	Tratamiento				Significación		
	Pellets molidos finamente		40% Trigo entero		Estructura (T)	Nivel N (N)	(T*N)
Nivel de N (días 29-42)	bajo	alto	bajo	Alto			
<i>Rendimientos aves (d 29-42)</i>							
Ganancia peso (g)	77.2 <sup>b</sup>	78.4 <sup>b</sup>	78.5 <sup>b</sup>	83.9 <sup>a</sup>	0.083	0.099	0.137
Consumo (g)	164.4 <sup>a</sup>	146.0 <sup>b</sup>	156.5 <sup>ab</sup>	150.0 <sup>b</sup>	0.532	<b>0.006</b>	0.127
Índice conversión(g/g)	2.129 <sup>a</sup>	1.866 <sup>bc</sup>	1.994 <sup>b</sup>	1.787 <sup>c</sup>	<b>0.042</b>	<b>0.0001</b>	0.592
<i>Recuperación <sup>14</sup>C-PEG (%)</i>							
Ciego	2.09	1.37	3.76	4.09	0.135	0.887	0.710
Ileon	0.40 <sup>b</sup>	0.71 <sup>ab</sup>	0.85 <sup>a</sup>	0.68 <sup>ab</sup>	<b>0.050</b>	0.459	<b>0.028</b>
Colon	1.80	3.19	2.66	1.28	0.672	0.503	0.340

<sup>abc</sup>: Medias con diferentes superíndices difieren significativamente (P<0.05)

## 6.- INTERACCIONES ENTRE TAMAÑO DE PARTÍCULA, MICROFLORA EN EL TGI Y SALUD INTESTINAL

Los microorganismos del TGI usan el quimo como sustrato para su crecimiento. Puesto que los efectos de los piensos groseros sobre la digestión y absorción de los nutrientes son controvertidos, parece difícil predecir la cantidad de sustrato disponible para el crecimiento bacteriano y por tanto sus efectos sobre la microbiota. La obtención de conclusiones es aún más difícil teniendo en cuenta que la composición de una ‘microbiota ideal’ está todavía por definir (Choct, 2009).

Estudios previos indican que las partículas groseras modifican la microflora del TGI (Engberg *et al.*, 2002; Amerah *et al.*, 2009). Los resultados son inconsistentes con respecto al efecto de las partículas groseras sobre la producción total de ácidos grasos volátiles (AGV, Williams *et al.*, 1997; Engberg *et al.*, 2002). Sin embargo, parece que un incremento del tamaño de partícula induce un cambio del perfil de AGV hacia una mayor producción cecal de acético y butírico (Taylor y Jones, 2004; Williams *et al.*, 1997). Tales cambios en los perfiles de AGV podrían resultar beneficiosos para la salud intestinal. De hecho, los ácidos orgánicos controlan el balance microbiano en el intestino (Mahdavi y Toriki, 2009). El ácido butírico es un sustrato energético preferente para los colonocitos (Guilloteau *et al.*, 2010) y favorece la absorción de agua y minerales (Gabriel *et al.*, 2005). Concentraciones más altas de butírico en el intestino grueso inducen efectos tróficos en las células epiteliales del yeyuno y el íleon (Guilloteau *et al.*, 2010). El mecanismo podría ser indirecto: se ha sugerido que una señal nerviosa podría ser emitida por el colon en presencia de butirato. Como consecuencia de la estimulación del sistema nervioso central, una señal nerviosa u hormonal secundaria produciría efectos beneficiosos sobre la morfología intestinal (Reily *et al.*, 1995, Mahdavi y Toriki, 2009). Estos resultados recientes

indican que la evaluación de los efectos del suministro de butirato en distintos tramos del TGI podrían ser de interés para mejorar la salud intestinal y la eficiencia digestiva.

## 7.- LAS BACTERIAS CECALES TAMBIÉN NECESITAN ENERGÍA

Los piensos actuales son muy concentrados en energía y proteína (Langhout *et al.*, 2002) y por tanto la proporción de energía indigestible es muy baja. Por lo tanto la mayor parte de los componentes que alcanzan el intestino grueso son compuestos N indigestibles (Williams *et al.*, 2001). Esta situación puede conducir a la formación de compuestos tóxicos tales como aminas, amoníaco, escatol o indol (Gabriel *et al.*, 2005), lo que resulta en un efecto negativo sobre la salud intestinal.

Resultados recientes de nuestro laboratorio demuestran que estos compuestos pueden perjudicar el desarrollo duodenal, dand lugar a criptas más profundas y villi más cortos. Una estrategia eficaz para minimizar estos resultados adversos podría ser añadir fibra fermentable al pienso.

## 8.- CONCLUSION

El suministro de dietas con tamaño de partícula más grosero ofrece interesantes perspectivas para la industria avícola de piensos debido a su efecto sobre el desarrollo del TIG y, como consecuencia, el fenómeno del reflujo. Estructuras más groseras pueden incluso mejorar la utilización del N en aves, en particular en dietas con baja proteína. Eficiencias de utilización del N más altas y cambios en los perfiles de AGV inducidos potencialmente por dietas con tamaños de partícula más groseros probablemente beneficien la salud intestinal. No obstante, se necesitan más trabajos de investigación para determinar los efectos de la reducción del tamaño de partícula y la forma de presentación del pienso para conseguir mejoras repetibles.

Deberíamos comenzar a diseñar estrategias innovadoras en la formulación de piensos, utilizando menos proteína (digestible) para conseguir rendimientos productivos similares. En un mundo con recursos naturales escasos, una población creciente con rentas más altas para más gente, y por tanto con un aumento de la demanda de productos animales, tales estrategias son extremadamente importantes.

## 9.- REFERENCIAS

- ALLEN, N.K. y BAKER, D.H. (1974) *Poult Sci.* 53: 258-264.  
AMERAH, A.M, RAVINDRAN, V., LENTLE R.G. y THOMAS, D.G. (2007) *World's Poultry Science Journal*, 63: 439-455.  
AMERAH, A.M., RAVINDRAN, V. y LENTLE, R.G. (2009) *Br. Poult. Sci.* 50: 366-375.  
BARNES, E.M. y IMPEY, C.S. (1974) *J. Appl. Bacteriol.* 37: 393-409.  
BJÖRNHAG, G. (1989) *J. Exp. Zool. Suppl.* 3: 32-37.  
CHOCT, M. (2009) *Br. Poult. Sci.* 50: 9-15.

- CUMMING, R.B. (1994) En: *Proceedings of the 9th European Poultry Conference*, Glasgow, UK, 2: 219-222.
- CROUCHER, S.C. y BARNES, E.M. (1983) *J. Appl. Bacteriol.* 54: 7-22.
- DUKE, G.E. (1994) En: *Proceedings of the 21st Annual Carolina Poultry Nutrition Conference*, Charlotte, North Carolina, USA, pp. 46-51.
- ENGBERG, R.M., HEDEMANN, M.S. y JENSEN, B.B. (2002) *Br. Poult. Sci.* 43:569-579.
- GABRIEL, I., MALLET, S. y SIBILLE, P. (2005) *INRA Productions Animales* 18: 309-322.
- GUILLOTEAU, P., MARTIN, L., EECKHAUT, V., DUCATELLE, R., ZABIELSKI, R. y VAN IMMENSEEL, F. (2010) From the gut to the peripheral tissues : the multiple effects of butyrate. *Nutr. Res. Reviews* 23: 366-384.
- HETLAND, H. y SVIHUS, B. (2001) *Br. Poult. Sci.* 42: 354-361.
- HOLDSWORTH, C.D. y WILSON, T.H. (1967) *Am. J. Physiol.* 212: 233-240.
- KARASAWA, Y. (1989a) *J. Exp. Zool. Suppl.* 3: 75-80.
- KARASAWA, Y. (1989b) *J. Nutr.* 119: 1388-1391.
- KARASAWA, Y. (1999) *J. Exp. Zool.* 283: 418-425.
- KARASAWA, Y. y MAEDA, M. (1994) *Br. Poult. Sci.* 35: 383-391.
- KHOA, M.A. (2007) *Wet and coarse diets in broiler nutrition: development of the GI tract and performance*. PhD thesis. Wageningen University, The Netherlands.
- KILBURN, J. y EDWARDS, H.M. (2001) *Br. Poult. Sci.* 42: 484-492.
- KWAKKEL, R.P., WILLIAMS, B.A. y VAN DER POEL, A.F.B. (1997) *Gut motility as affected by diets differing in particle size distributions: impact on bird health and feed processing*. WPSA Day, Pretoria, South Africa. 1998.
- LANGHOUT, D.J., WIJTEN, P.J.A. y PERDOK, A.H.B. (2002) En: *XVII Latin American Poultry Congress*.
- LEE, D.J. (1977) *Br. Poult. Sci.* 18: 449-458.
- LIND, J., MUNCK, B.G., OLSEN, O. y SKADHAUGE, E. (1980) *J. Physiol.* 305: 315-325.
- MAHDAVI, R. y TORKI, M. (2009) *J. Anim. Vet. Advances* 8:1702-1709.
- MILLER, D. (1973) *Poult. Sci.* 52: 1059-1064.
- MORAN, E.T., SUMMERS, J.D. y PEPPER, W.F. (1967) *Poult. Sci.* 46: 1134-&.
- MORTENSEN, A. y TINDALL, A. (1981) *Acta Physiol. Scand.* 113: 465-469.
- SACRANIE, A., SVIHUS, B., DENSTALDI, V., IJI, P. y CHOCT, M. (2012) En: *23rd Australian Poultry Science Symposium*. Sidney. New South Wales. 2012.
- NIR, I., HILLEL, R. PTICHI, I. y SHEFET, G. (1995) *Poult. Sci.* 74: 771-783.
- PÉRON, A., BASTIANELLI, D., OURY, F.X., GOMEZ, J., y CARRÉ, B. (2005) *Br. Poult. Sci.* 46: 223-230.
- REILY, K.J., FRANKEL, W.L., BAIN, A.M. y ROMBEAU, J.L. (1995) *Gut* 37: 81-86.
- ROGEL, A.M., BALNAVE, D., BRYDEN, W.L. y ANNISON, E.F. (1987) *Aust. J. Agricult. Res.* 38: 629-637.
- TAYLOR, R.D. y JONES, G.P.D. (2004) *Br. Poult. Sci.* 45: 237-246.
- WILLIAMS, B.A., VERSTEGEN, M.W.A. y TAMMINGA, S. (2001) *Nutr. Res. Reviews* 14: 207-227.
- WILLIAMS, B.A., VAN OSCH, L.J.M., y KWAKKEL, R.P. (1997) *Br. Poult. Sci.* 36: 857-858.