

ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN EN LA PRIMERA SEMANA DE VIDA DEL POLLITO

G.G. Mateos, E. Jiménez-Moreno, J.M. González-Alvarado y D.G. Valencia

Departamento de Producción Animal.
Universidad Politécnica de Madrid

1.- INTRODUCCIÓN

La productividad del pollo broiler ha aumentado de forma extraordinaria en los últimos 40 años gracias en gran medida a mejoras en la genética. De hecho, en el año 1985 los pollos necesitaban 49 d para alcanzar un peso de 1,9 kg mientras que hoy con esa misma edad se aproximan a los 3 kg de PV (cuadro 1). El progreso genético ha logrado que los pollos precisen 1 día menos cada año para alcanzar un peso dado y se estima que este ritmo se mantendrá en los próximos 5-10 años. Como consecuencia, la alimentación en los primeros días de vida cobra una especial relevancia ya que puede suponer hasta un 20% de la vida de un pollo comercial.

Existe una correlación positiva entre el peso del pollo a los 7 días de edad y el peso al sacrificio. De hecho, diversos autores estiman que 10 g de peso extra a los 7 d de edad representan hasta 45-100 g más de peso a 47 d. Por ello, un objetivo actual de la industria es conseguir cuadruplicar el peso al nacimiento en 7 días para lo que se precisa que el pollito consuma en ese período un mínimo de 150 g de pienso. Por tanto, un punto clave en la alimentación del pollito es potenciar el consumo voluntario formulando piensos con características nutricionales óptimas.

El pollito recién nacido carece de capacidad para producir cantidades suficientes de jugos digestivos, enzimas y ácidos biliares que le permitan utilizar eficientemente los nutrientes del pienso. Sin embargo, la mayoría de las tablas de recomendaciones (INRA, 1986; NRC, 1994; Leeson y Summers, 2005) asumen que la digestibilidad de los nutrientes es independiente de la edad. Por tanto, la práctica actual de suministrar un pienso prearter único de 1 a 21 d de vida, probablemente limite el desarrollo digestivo y corporal del pollito en los primeros días de vida. A pesar de ello, la utilización de piensos de preiniciación (0 a 7 d de vida) no es frecuente en nuestro país aunque sí en otros países productores de pollos, tal como Brasil (Vieira, 2007).

Cuadro 1.- Histórico de productividad de broilers (varias fuentes)

	Año			
	1925	1955	1985	2008
Edad, d	110	70	49	45
Peso vivo, kg	1,03	1,50	1,91	2,79
I. conversión, g pienso/g ganancia	4,7	3,0	2,0	1,8
Ganancia de peso, g/d	9,2	21,4	38,9	62,0
Mortalidad, %	18	7	5	4
Pechuga, %	<10	<12	14,5	19,3

En cualquier caso debe tenerse en cuenta que para optimizar el crecimiento, factores tales como manejo y nutrición de la reproductora, tamaño del huevo, manipulación en incubadora, programa de vacunación y manejo del pollito en granja (higiene, disponibilidad de agua, temperatura, humedad o intensidad luminosa) han de tenerse en cuenta porque son probablemente más importantes que la alimentación “*per se*”. Sólo cuando estos factores relacionados con el manejo y la sanidad están controlados, tiene sentido utilizar un pienso de preiniciación para maximizar el consumo y la productividad. Los objetivos de este trabajo son 1) estudiar la influencia de las características del aparato digestivo sobre la utilización de los alimentos en primeras edades y 2) proponer recomendaciones sobre características y niveles nutricionales lógicos en piensos de preiniciación (0 a 7 d).

2.- FISIOLÓGÍA DEL APARATO DIGESTIVO DEL POLLITO

Al nacimiento la yema supone aproximadamente un 20 a un 25% del peso del pollito y proporciona energía y proteína de forma inmediata para satisfacer las necesidades de conservación y crecimiento. Los nutrientes del saco vitelino pueden utilizarse mediante dos mecanismos diferentes: 1) fagocitosis o endocitosis del contenido de la yema hacia la circulación y transporte y 2) paso directo del contenido al tubo digestivo. En contra de lo aceptado hasta hace pocos años, la yema no supone un acúmulo de reservas importantes para el pollito desde el punto de vista energético. Sell et al. (1991) y Murakami et al. (1992) indican que en el mejor de los casos el aporte de nutrientes a partir de la yema apenas dura 4 a 5 días. Por otro lado, la utilización de los nutrientes de la yema es muy superior en pollitos con acceso al consumo de pienso solo nacer que en pollitos ayunados (Noy et al., 1996). En ausencia de pienso, el tracto gastrointestinal (TGI) no se desarrolla, en parte debido a la falta de estímulo mecánico y en parte a la actuación de mecanismos hormonales que deciden “no gastar” (reducción de la producción enzimática y del desarrollo de las microvellosidades intestinales) en ausencia de “ingresos” (bajo consumo). Por tanto, el pollito precisa un abundante aporte exógeno de nutrientes desde el mismo momento de la eclosión.

El TGI del pollito recién eclosionado es anatómicamente completo pero su escasa funcionalidad limita la digestibilidad de proteínas, lípidos e hidratos de carbono (Sell, 1996). Así, la capacidad de digerir la grasa es limitada en el ave joven, problema que parece deberse más bien a una baja producción de ácidos biliares que a una baja producción de lipasa. De hecho, la secreción de lipasa por g de pienso se mantiene constante entre los 4 y 10 d de vida, disminuyendo a partir de esta edad (Noy y Sklan, 1997). La digestibilidad de la grasa a los 4 días en dietas con un 6% de inclusión es superior al 85%, valores similares a los encontrados para el almidón por estos mismos autores. En cualquier caso, los pollitos recién nacidos no responden bien a dietas con aportes excesivos de grasa (Noy y Sklan, 2002). También, la digestibilidad de la fracción proteica es baja y en el ensayo anterior fue inferior al 78% a una edad similar. Además, en el pollito recién nacido la producción de ácido clorhídrico es reducida lo que afecta a la solubilidad de las sales inorgánicas y, por tanto, a la digestibilidad de los minerales.

En el momento actual, los piensos para pollitos durante la primera semana de vida no se diferencian de los piensos de pollos de mayor edad. Sin embargo, hay notables diferencias en las características del aparato digestivo de pollitos de una y pollitos de dos a tres semanas de vida (Batal y Parsons, 2002; Mateos et al., 2002). Por ejemplo, al nacer, el aparato digestivo del pollito está libre de microorganismos y además no está preparado para digerir con eficacia alimentos exógenos de origen vegetal, lo que no ocurre en el pollo adulto. La digestión y absorción de los nutrientes depende principalmente de la actividad pancreática pero este órgano es inmaduro en el momento del nacimiento y, como consecuencia, los nutrientes son pobremente utilizados (Nitsan et al., 1991). Por otro lado, la composición de la dieta influye de forma notable sobre el desarrollo del (TGI) y la utilización de los nutrientes en el pollito recién eclosionado (Noy y Sklan, 2002).

El peso relativo de los órganos del aparato digestivo aumenta de forma significativa en los primeros días tras la eclosión; buche, esófago e intestino delgado alcanzan el máximo desarrollo relativo en torno a los 6-8 d de vida pero la molleja y el proventrículo lo hacen antes (3-4 d) (Dror et al., 1977). Gracia et al. (2003) observaron que la edad a la que ocurre el máximo crecimiento relativo de los diversos órganos del aparato digestivo (g por kg del peso vivo) fue de 4,1 d para el proventrículo, 3,9 d para la molleja, 8,1 d para el páncreas, 4,6 d para el hígado y 7,9 d para el intestino delgado (cuadro 2). Datos similares han sido publicados por Sell (1996) y Jiménez-Moreno et al. (2008) (cuadro 3).

Cuadro 2.- Peso relativo de los órganos digestivos (% peso vivo) en función de la edad del broiler (Gracia et al., 2003)

Órgano	Edad, d					EEM n = 20
	0	4	8	15	21	
Proventrículo	0,87	1,46	1,19	0,98	0,75	0,04
Molleja	5,28	5,75	4,34	3,37	2,72	0,14
Páncreas	0,15	0,57	0,59	0,49	0,40	0,023
Hígado	2,55	4,36	4,22	3,74	3,17	0,144
Intestino delgado	2,74	6,09	6,87	4,80	4,33	0,19

Cuadro 3.- Edad del pollito (d) a la que se alcanza el máximo crecimiento relativo de los diversos órganos digestivos (% peso vivo).

Órgano	Fuente		
	Gracia et al. (2003)	Sell (1996)	Jiménez-Moreno et al. (2008)
Proventrículo	4,1	3-5	3,7
Molleja	3,9	3-4	< 3,0
Páncreas	8,1	8-9	6,3
Hígado	4,6	6-8	5,4
Intestino delgado	7,9	5-7	5,3

El pollito que tiene acceso rápido a pienso y agua presenta un mejor desarrollo de las vellosidades intestinales que los ayunados lo que facilita la utilización de los nutrientes. Noy y Sklan (1999) compararon el efecto del acceso a agua, viruta o pienso, de pollitos recién eclosionados sobre la productividad a diversas edades y observaron que la ingestión de agua inmediatamente después del nacimiento mejoró el peso de los pollitos en los primeros días de vida pero no a partir de los 8 d de edad. El acceso a la viruta también mejoró el crecimiento en los primeros días de vida pero el efecto desapareció a partir de los 14 d de edad. Además, el acceso a alimento sólido mejoró el peso vivo, sin afectar al índice de conversión al sacrificio, y al mismo tiempo aumentó el porcentaje de pechuga. Bigot et al. (2003) también observaron que una limitación del consumo voluntario de pienso durante los dos primeros días de vida redujo de forma significativa el desarrollo muscular. Por tanto, el acceso rápido a un pienso palatable y de calidad es clave durante la primera semana de vida.

El pollito recién nacido presenta un pH relativamente alto a nivel del proventrículo y de la molleja lo que perjudica la solubilización de las fuentes minerales y la calcificación del esqueleto. Valores de pH excesivamente altos reducen la capacidad de desdoblar las proteínas vegetales y, por tanto, afectan negativamente al crecimiento y a los índices de conversión. En el cuadro 4 se presentan datos de González-Alvarado et al. (2005a) sobre la variación del pH del proventrículo y de la molleja en función de la edad del pollito. El pH de la molleja bajó de 3,25 a 3,06 de 4 a 9 días de edad, subiendo a continuación de forma significativa hasta 3,46 a 21 d de edad. Parte de esta variación con la edad puede explicarse en base a diferencias en la cantidad de digesta presente en este órgano.

Cuadro 4.- Influencia de la edad sobre el pH del proventrículo y molleja en pollos (González-Alvarado et al., 2005a)

Edad	Proventrículo	Molleja
4	4,15	3,25
9	4,03	3,06
21	3,99	3,46
EEM (n=15)	0,091	0,083
P	NS	***

3.- UTILIZACIÓN DE LOS NUTRIENTES

La capacidad digestiva del pollito en la primera semana de vida es limitada pero depende del nutriente considerado, de la edad y calidad del pollito, y del tiempo que transcurre desde la eclosión hasta el acceso a pienso y agua. En general, la capacidad de digestión aumenta con la edad pero se observan notables diferencias entre nutrientes y entre autores. Así, piensos ricos en almidón aceleran la producción de amilasa pancreática, situación parecida a la que ocurre con piensos ricos en grasa y producción de lipasas (Hulan y Bird, 1972). Zelenka (1973) indicó que los coeficientes de retención de los nutrientes eran muy reducidos entre 2 y 6 d de edad pero que aumentaban en un 20 a 25% entre los 8 y 14 días. Así, la digestibilidad de la grasa pasó de 68,5 a 82,6% y la de la materia orgánica de 63,4 a 84,7% de 6 a 14 d de edad. Murakami et al. (1988) observaron que la EMAn pasó de 2.600 kcal a los 4 d de edad, a 3.120 kcal a los 7 d. Por otro lado, Batal y Parsons (2002) observaron que la relación EMAn:EB mejoraba con la edad en piensos basados en maíz y harina de soja (66% a 0-2 d y 73% a 14 d) o en maíz-harina de colza (63% a 0-2 y 68% a 14 d) pero no en piensos basados en dextrosa-caseína (88% a ambas edades) (cuadro 5). De forma similar, González-Alvarado et al. (2005b) no observaron efecto alguno de la edad sobre la digestibilidad de dos tipos de grasa que variaban en el contenido en ácido linoleico entre 5 y 19 días de edad (cuadro 6).

Cuadro 5.- Influencia de la edad sobre la metabolicidad de la energía (EMAn:EB) de diversos tipos de dietas en pollitos (Batal y Parsons, 2002)

Edad (días)	Tipo de dieta				EEM
	Maíz Hna soja	Maíz Hna canola	Dextrosa Caseína	Maíz Aminoácidos	
0-2	66	63	88	84	0,8
3-4	68	64	88	84	0,6
7	70	65	89	87	0,4
14	73	68	89	88	0,2
21	73	69	89	89	0,4
EEM	0,6	0,7	1,0	0,5	

Cuadro 6.- Influencia del tipo de grasa y de la edad del pollito sobre la digestibilidad del extracto etéreo (González-Alvarado et al., 2005b)

Edad (días)	Grasa, 5%		EEM (n = 6)	P
	Aceite vegetal	Grasa animal		
5	91,4	85,4	0,60	0,001
15	91,6	87,4	0,58	0,001
19	90,2	85,9	0,47	0,001

3.1.- Necesidades energéticas y digestibilidad de las fuentes de energía.

Un principio básico en alimentación es que las aves comen a fin de satisfacer sus necesidades energéticas. La genética actual ha logrado producir pollitos que se adaptan fácilmente a un amplio rango de energía de los piensos. Se estima que entre 2.850 y 3.180 kcal EMAn/kg, el pollito joven no tiene dificultades para adaptar su consumo. Por tanto, el nivel energético a utilizar dentro de este rango depende fundamentalmente de los precios relativos de las materias primas aunque, en general, los crecimientos diarios son superiores con los piensos más energéticos.

La digestibilidad del almidón y de la grasa son claves en la utilización de la energía en pollitos ya que una dieta típica de iniciación contiene 35 a 40% de almidón y 2 a 5% de grasa añadida. Las diferencias más notables en digestibilidad según la edad se observan para las grasas, especialmente para aquellas de carácter más saturado. El proceso de digestión y absorción de las grasas es complejo y precisa de una serie de pasos intermedios (ácidos grasos biliares, colipasas, formación de micelas, acción de la lipasa pancreática, etc) difíciles para un sistema digestivo inmaduro. Aranibar et al. (2000) observaron que la digestibilidad de piensos con un 6,8% de grasa añadida dependía del tipo de grasa utilizada, siendo más alta para las insaturadas (aceite de girasol y pescado) que para las más saturadas (manteca). Además, entre 4 y 10 d de edad la EMAn del pienso aumentó en un 7% en los piensos con aceite de girasol, un 4% en los piensos con aceite de pescado y un 8% en los piensos con manteca (cuadro 7). Salado et al. (1999) observaron que el pollito joven utilizaba mejor los aceites de soja y linaza que las grasas más saturadas como la grasa animal. De hecho, los pollitos que recibían piensos con 6% de aceite presentaban una GMD un 3% superior y un IC 8,9% mejor que los pollitos que recibían piensos con grasa animal a los 21 d de edad (cuadro 8). Carew et al. (1972) observaron que la digestibilidad del aceite de maíz y del sebo (20% de inclusión) en pollitos de 2 a 7 d de edad fue del 83,7% y del 40%, respectivamente. Asimismo, Noy y Sklan (1995) encontraron que la digestibilidad del aceite de soja fue del 85% tanto en pollitos de 4 d como de 21 d de vida. Lilburn (1998) indica que la digestibilidad de los lípidos insaturados en pollitos de 1 a 7 días de edad es superior al 80% y que los aceites poliinsaturados son ingredientes de elección en piensos de primeras edades. En uno de los trabajos de nuestro departamento antes citados (González-Alvarado et al., 2005b; ver cuadro 6), comparamos la digestibilidad de dos tipos de grasa (aceite vegetal vs grasa animal) en pollitos de 1 a 19 d de edad. La digestibilidad fue superior para el aceite vegetal que para la grasa animal a todas las edades (91,1 vs 86,2%; $P < 0,001$). Sin embargo, en contra de lo esperado, no se observaron diferencias en digestibilidad según la edad del ave para ninguna de las dos grasas.

La producción de amilasa no parece limitar la digestibilidad del almidón en el pollito recién nacido (Moran, 1992) pero diversos informes indican que la digestión del almidón a nivel del íleon es incompleta (Shi-Hou et al., 1998). Aranibar et al. (2000) compararon dietas que incluían grasas a niveles del 6,8% con dietas que sustituían la EMAn de esas grasas por cantidades similares de energía en base a almidón o sacarosa (15% de inclusión). En estos casos la EMAn del pienso mejoró con la edad (4 vs 10 d) en

un 14% en el caso de la sacarosa y en un 8% en el caso del almidón. Las diferencias en digestibilidad observadas con la edad en este ensayo fueron similares para los lípidos y el almidón. Por tanto, este estudio indica que los pollitos muy jóvenes utilizan con eficacia ambos nutrientes. De hecho, en términos relativos, la sacarosa fue el ingrediente que peor se utilizó a edades muy jóvenes (cuadro 7). La mejor digestibilidad de los piensos basados en aceites insaturados dió lugar a mejores crecimientos e índices de conversión de los pollitos a los 10 d de vida (cuadro 9).

Cuadro 7.- Influencia de la fuente de energía sobre el contenido en EMAn (kcal/kg) de los piensos experimentales (Aranibar et al., 2000).

	Teórica	Determinada			
		4 d	7 d	10 d	Media
A. girasol ¹	3,15	2,79	2,89	2,99	2,89 ^a
A. pescado ¹	3,11	2,85	2,69	2,85	2,82 ^b
Manteca ¹	3,12	2,68	2,70	2,89	2,76 ^b
Almidón ²	2,92	2,62	2,71	2,83	2,72 ^c
Sacarosa ²	2,90	2,41	2,69	2,75	2,61 ^d
Media		2,68 ^c	2,74 ^b	2,86 ^c	

Cuadro 8.- Influencia del tipo de grasa sobre la productividad en broilers de 1 a 21 d de edad¹ (Salado et al., 1999).

	GMD, g	IC, g/g
Grasa animal	28,9	1,58
Aceite oliva	28,8	1,51
Aceite soja	29,8	1,44
Aceite linaza	30,3	1,39
Aceite pescado	28,0	1,47
Almidón	23,4	1,74
Significación		
Almidón vs grasa	0,05	0,05
Grasa animal vs aceite soja	0,05	0,01

Cuadro 9.- Influencia de la fuente de energía sobre la productividad de pollitos de 0 a 10 d de vida¹ (Aranibar et al., 2000)

	CMD, g	GMD, g	IC, g/g
Aceite girasol ²	23,8	18,4 ^a	1,29 ^a
Aceite pescado ²	22,7	17,1 ^{ab}	1,33 ^b
Manteca ²	22,2	16,7 ^b	1,33 ^b
Almidón ³	23,3	16,8 ^b	1,39 ^c
Sacarosa ³	25,4	18,3 ^a	1,39 ^c

¹No diferencias a 21 d; ²68% de grasa añadida; ³15% de hidratos de carbonos añadidos.

Todos estos trabajos indican que los aceites poliinsaturados son ingredientes de elección en piensos de preiniciación y que su utilización relativa por parte del pollito es bastante similar a la del almidón de los cereales. Esta información confirma los resultados de Plavnik et al. (1997), indicando que en situaciones prácticas la respuesta en crecimiento y eficacia es similar para las grasas y los hidratos de carbono.

González-Alvarado et al. (2007) compararon piensos para pollitos de 1 a 21 d de vida basados en arroz o maíz y observaron que la utilización del arroz mejoró los índices de conversión a 21 d de edad, pero los crecimientos diarios fueron similares (cuadro 10). Estos resultados indican que el arroz tiene aproximadamente un 3 a 6% más de EMAn que el maíz. Jiménez-Moreno et al. (2006a) compararon la digestibilidad de los nutrientes en piensos para pollitos que contenían un 50% de arroz o de maíz comprobando que el arroz era más digestible que el maíz (cuadro 11).

Cuadro 10.- Influencia del tipo de cereal, procesado del cereal e inclusión de fibra sobre la productividad en pollitos de 0 a 21 d de edad (González-Alvarado et al., 2007)¹.

	Ganancia de peso, g/d	Consumo de pienso, g/d	Índice de conversión, g/g
0 a 4 d			
Maíz	13,4 ^b	17,1 ^b	1,27
Arroz	13,1 ^a	16,6 ^a	1,26
0 a 21 d			
Maíz	32,6	44,4	1,37 ^b
Arroz	33,1	43,6	1,32 ^a

¹Solo se indica el efecto principal del cereal.

Cuadro 11.- Influencia del cereal (maíz vs arroz) sobre la digestibilidad ileal aparente (DIA)¹ o fecal aparente (DFA)² de los nutrientes.

CD, %	Maíz		Arroz	
	DIA	DFA	DIA	DFA
MS	65,6	71,6	70,9	77,3
MO	69,3	76,2	74,6	81,7
PB	63,7	67,5	64,7	69,7
Cenizas solubles	-	31,0	-	34,9

¹Jiménez-Moreno et al., 2006a. (DIA a 21 d de edad).

²González-Alvarado et al., 2007. (DFA a 18 d de edad).

P ≤ 0,05 para todos los parámetros.

Estos resultados eran de esperar puesto que el arroz se caracteriza por su alto contenido en almidón, en gránulos de pequeño tamaño, con una proporción reducida en amilosa y con bajo contenido en polisacáridos no amiláceos y otros factores antinutricionales (González-Alvarado et al., 2007). Sulistiyanto et al. (1999) por su parte

indican que el almidón de maíz es mejor utilizado por el pollito que el almidón del trigo o del sorgo, probablemente debido al contenido en estos cereales en polisacáridos no amiláceos y taninos, respectivamente. Se estiman valores de digestibilidad en los 10 primeros días de vida en torno al 80 a 88% para el almidón de leguminosas, 85 a 90% para el de trigo, 90 al 95% para el de maíz, y 93 a 97% para el de arroz. Por tanto, arroz y maíz parecen ser los cereales (hidratos de carbono) más recomendables por disponibilidad, precio y digestibilidad en piensos de preiniciación.

Diversos autores han especulado con las ventajas de la inclusión de azúcares en piensos de preiniciación. La glucosa, en cantidades reducidas, es utilizada bien por el pollito (Batal y Parsons, 2002) ya que se absorbe directamente a través de la pared intestinal. Además, el pollito tiene una alta capacidad para degradar la sacarosa en la mucosa digestiva solo nacer (Uni et al., 1998). Por otro lado, las reservas de glucógeno al nacer son prácticamente nulas y por tanto el suministro de azúcares, tipo glucosa o sacarosa, podría aumentar rápidamente las reservas del pollito (Lilburn, 1998). De hecho, en caso de ayuno o aporte insuficiente de pienso, los lípidos del saco vitelino se utilizan como fuente de energía lo que puede dar lugar a cetosis, con la consiguiente disminución del consumo. Sin embargo, desde el punto de vista práctico no se han observado grandes mejoras con la utilización de azúcares en piensos de preiniciación. Así, Aranibar et al. (2000) observan que la digestibilidad de la sacarosa se veía más penalizada con la edad que la digestibilidad del almidón o del aceite de soja en pollitos de 1 a 10 d de edad (cuadro 7). Lilburn (1998), en base a diversas referencias bibliográficas, señala que se alcanzan niveles aceptables de glucógeno hepático a los 2 días post-eclosión tanto con piensos basados en almidón (subida de 10 mg/g al nacer hasta 100 mg/g de glucosa a 2 d de edad) como administrando cantidades variables de glucosa o sacarosa.

Varios trabajos han comparado la eficiencia energética de grasas e hidratos de carbono en pollitos según la edad. Batal y Parsons (2002) encontraron que la EMAn y la digestibilidad fecal del almidón, grasa y aminoácidos de un pienso basado en maíz y harina y aceite de soja eran reducidas en pollitos recién nacidos pero que aumentaban rápidamente con la edad hasta alcanzar una meseta a los 14 d (cuadro 12). En este estudio, la digestibilidad de todos los nutrientes estudiados aumentó desde el nacimiento hasta los 14 d de edad pero en términos relativos el mayor efecto se observó para la grasa (21% de mejora) y el menor para el almidón (6% de mejora) lo que no concuerda con los resultados del trabajo de Aranibar et al. (2000) anteriormente comentado. Probablemente la calidad de la grasa utilizada por unos y otros autores podría explicar estas diferencias en digestibilidad. De hecho, la digestibilidad de la grasa utilizada por Batal y Parsons (2002) no pasó del 73% a los 21 d de edad.

En el cuadro 13 se ofrecen datos de Gracia et al. (2003) sobre la digestibilidad del almidón y de la grasa a nivel fecal en función de la edad del pollo; con el almidón la digestibilidad aumentó de 95,0 a 97,2% entre los 4 y 15 días de edad, mientras con la manteca pasó de 60,1% a 74,7%.

Cuadro 12.- Influencia de la edad sobre la digestibilidad aparente fecal (CDFA, %) de los nutrientes de un pienso maíz-harina de soja¹ (Batal y Parsons, 2002).

Edad días	EMAn Mcal/kg	CDFA, %			
		Almidón	Grasa	Lys	Met
0-2	2,97 ^d	93 ^c	61 ^b	78 ^d	80 ^c
3-4	3,08 ^c	93 ^c	58 ^b	81 ^c	82 ^c
7	3,18 ^b	97 ^b	59 ^b	85 ^b	87 ^b
14	3,43 ^a	99 ^a	74 ^a	89 ^a	92 ^a
21	3,43 ^a	99 ^a	73 ^a	89 ^a	92 ^a
EEM	26	0,4	1,3	0,7	0,9

¹Digestibilidad a 14 vs 0-2 d.

Cuadro 13.- Influencia de la edad sobre la digestibilidad fecal del almidón y del extracto etéreo en broilers (Gracia et al., 2003).

Edad, d	Almidón	Extracto etéreo ¹
4	95,0	60,1
8	-	52,4
15	96,7	74,7
21	97,2	78,1
EEM (n=10)	0,09	1,44

¹ 6% de manteca añadida

De todos estos trabajos se deducen cuatro puntos fundamentales: 1) el pollito debe tener acceso rápido a pienso y agua a fin de desarrollar su capacidad digestiva; 2) es importante seleccionar bien el tipo de almidón y grasa a añadir en piensos de primeras edades; 3) la inclusión de azúcares en el pienso puede mejorar la digestibilidad de la energía pero es poco justificable en términos económicos, y 4) a pesar de algunos resultados en contra, los aceites insaturados son ingredientes de elección en pollitos jóvenes. Más cuidado debe tenerse con la utilización de grasas saturadas ya que la producción de ácidos grasos biliares es limitada en el pollito recién eclosionado y, por tanto, su digestibilidad puede verse reducida (Lilburn, 1998).

3.2.- Necesidades en proteína y digestibilidad de las fuentes proteicas

Diversos investigadores han estudiado las necesidades en aminoácidos esenciales en el pollito joven (Baker, 2003; D'Mello, 2003; Sklan y Noy, 2003; Corzo et al., 2005; García y Batal, 2005) pero las necesidades proteicas del pollito en la primera semana de vida han sido poco estudiadas. De hecho, no hemos encontrado ningún trabajo que haya estudiado de forma específica la proteína ideal en pollitos de 1 a 7 d de vida. La razón es que la investigación se realiza en pollitos de 7 a 21 d, una vez que el saco vitelino desaparece. Dado que se trata de un animal muy joven cabe esperar que su crecimiento se

beneficie con niveles de aminoácidos superiores a los utilizados en los piensos comerciales actuales de 1 a 21 d de edad. La mayoría de los trabajos se refieren a la lisina que es el aminoácido más limitante en dietas prácticas para primeras edades. Jiménez-Moreno et al. (2006b) compararon en pollitos Cobb piensos isoenergéticos donde el nivel de lisina variaba entre 1,10 y 1,30%. Observaron que los pollitos que recibían 1,30% de lisina crecían más y convertían mejor que los pollitos de los otros tratamientos hasta los 10 d de edad (cuadro 14). Asimismo, Aranibar (2001) comparó en pollos Ross el crecimiento de pollitos de 1 a 10 d de vida variando el nivel de lisina total entre 1,25 y 1,35%. Estos autores observan mejores crecimientos e índices de conversión con el pienso más rico en lisina. Por tanto, parece recomendable utilizar al menos 1,30-1,35% de lisina total en piensos de preiniciación.

Cuadro 14.- Influencia del nivel de lisina del pienso sobre la productividad de pollitos de 0 a 10 d de vida (Jiménez-Moreno et al., 2006b).

	Lisina total, %			EEM
	1,10	1,20	1,30	
Aumento de peso, g/d	21,3 ^c	23,0 ^b	24,3 ^a	1,04
Consumo de pienso, g/d	27,0	27,2	27,5	0,98
I. conversión, g alimento/g peso	1,271 ^c	1,181 ^b	1,113 ^a	0,005

En cualquier caso, las necesidades reales del pollito en proteína son limitadas, siempre que se satisfagan sus requerimientos en aminoácidos esenciales (Kerr y Kidd, 1999). No cabe esperar problemas en relación con la productividad en pollitos que reciben de 1 a 10 días de edad piensos balanceados con un 20,5-21,0% de proteína total. Donaldson et al. (1992) observaron que una reducción del 30% en el nivel proteico del pienso (28 a 22% en la dieta) sobre los niveles recomendados por el NRC (1994) durante los dos primeros días de vida, no influyó sobre la productividad a los 14 d de edad en pavitos. Los autores indican que las aves jóvenes responden mejor a la presencia de hidratos de carbono que al exceso de proteína en el pienso, debido a que los primeros logran un mayor aumento de las reservas de glucógeno. Por tanto, una estrategia nutricional basada en utilizar bajos niveles de proteína y altos de hidratos de carbono podría ser beneficiosa en aves muy estresadas, previo a su llegada a la granja. Sin embargo, no todos los autores están de acuerdo con esta estrategia y de hecho no existe información a este respecto en pollitos. Además, no sería práctico preparar un pienso diferenciado bajo en proteína para ser suministrado durante los 2-3 primeros días de vida. A fin de evitar problemas de carencia de nitrógeno para la formación de otros aminoácidos banales, Bedford y Summers (1985) recomiendan mantener una relación entre aminoácidos esenciales y no esenciales en torno a 55:45.

Hasta muy recientemente se estimaba que la proteína ideal del pollo variaba considerablemente en función de la edad. Baker et al. (2002) estudiaron la mejor relación entre aminoácidos esenciales en pollitos de 8 a 21 d de edad y en base a sus estimaciones recomendaron las siguientes valores: Lys (100), Trp (16,6), Thr (55,7), Ile (61,4) y Val

(77,5). La metionina y los aminoácidos azufrados no fueron evaluados en esta investigación, aunque en base a otros trabajos estarían en torno a 37 y 73, respectivamente. Sin embargo, Baker (2003) señaló que existen pocas diferencias en cuanto a proteína ideal del pollo en relación con la edad, excepto para el caso de la treonina. De hecho, García y Batal (2005) indicaron que las necesidades en lisina y aminoácidos azufrados digeribles determinados a 21 d eran adecuados para pollitos durante la primera semana de vida. Parece pues razonable utilizar en estos piensos de preiniciación el mismo perfil en aminoácidos que se recomienda para pollos de más edad. Por tanto, en pollitos de 1 a 7 d de edad recomendamos un nivel mínimo de PB del 21% con una lisina total de 1,37% y de lisina digerible de 1,25%. El resto de aminoácidos se estiman en función de la proteína ideal (cuadro 15).

Cuadro 15.- Proteína ideal en pollitos de 1 a 7 d de edad.

Lys	100	Ile	68
Met	37	Val	72
Met + Cys	73	Leu	110
Thr	68	Arg	106
Trp	17		

Existen pocos trabajos que evalúen las diferentes fuentes proteicas en piensos de preiniciación de pollos. Algunos trabajos han mostrado que la mejor fuente proteica es la caseína (NRC, 1994; Sulistiyanto et al., 1999; Batal y Parsons, 2002). Sulistiyanto et al. (1999) compararon la energía metabolizable verdadera (EMV) de alimentos aislados (harina de soja, harina de pescado, caseína y peptonas) en pollitos a 1, 3 y 10 d de edad y observaron que la caseína era la fuente utilizada de forma más eficiente. La EMV de la caseína fue superior a la del resto de fuentes proteicas desde los primeros días de vida y no varió con la edad (84,8 vs 82,9%). Por contra la EMV de la harina de soja aumentó un 9% entre 1 y 10 d de edad (cuadro 16). En este trabajo llama la atención la baja metabolicidad observada para la harina de soja que nunca superó el 60%. Desafortunadamente los autores no ofrecen dato alguno de la calidad (p. ej. contenido en proteína bruta e inhibidores de tripsina) de este ingrediente, que podrían explicar el bajo coeficiente de utilización. Asimismo, la digestibilidad de la peptona (oligopéptido resultantes de la hidrólisis de la caseína) fue inferior a la de la caseína. La explicación no es evidente pero los autores indican que algunos de los pollitos que recibieron peptona murieron tras la alimentación forzada aunque no se especifican las causas. Por otro lado, Batal y Parsons (2002) obtuvieron resultados similares a los de Sulistiyanto et al. (1999) al comparar la EMAn de piensos basados en dextrosa-caseína con piensos maíz-harina de soja, maíz-harina de colza o dietas semisintéticas en base a almidón de maíz, aceite de soja y aminoácidos cristalinos. El valor energético de la dieta dextrosa-caseína fue alto y apenas varió entre 0-2 y 14 días de edad (5,4% de mejora) mientras que subió un 11% en el pienso maíz-harina de soja. No hubo diferencia alguna entre edades con el pienso almidón de maíz-aminoácidos cristalinos (cuadro 17).

Cuadro 16.- Metabolicidad (EMV/EB) de distintas fuentes proteicas según la edad (Sulistiyanto et al., 1999)¹.

	1 d	3d	10 d
Harina de soja	54,2 ^{Bc}	60,1 ^{Ac}	58,9 ^{Ac}
Harina de pescado	41,9 ^{Bd}	61,7 ^{Ac}	62,3 ^{Ac}
Caseína	84,8 ^{Aa}	83,0 ^{Aa}	82,9 ^{Aa}
Peptona	59,0 ^{Bb}	75,8 ^{Ab}	73,6 ^{Ab}

¹Significación: mayúsculas para el efecto edad y minúsculas para el efecto de la fuente proteina dentro de cada edad.

Cuadro 17.- Efecto de la edad sobre los valores en energía metabolizable (EMAn, Mcal/kg MS) de piensos para pollitos basados en diversas fuentes (Batal y Parsons, 2002).

	0-2 d	3-4 d	7 d	14 d	21 d	EEM
Maíz-harina soja	3,02	3,08	3,17	3,35	3,34	2,7
Maíz-harina colza	3,24	3,29	3,34	3,48	3,52	3,6
Dextrosa-caseína	3,65	3,63	3,77	3,85	3,87	2,2
Almidón-aminoácidos	3,80	3,79	3,78	3,79	3,82	0,4
EEM	41	26	3	11	18	

La harina de soja es la fuente principal de proteína en piensos para aves de cualquier edad y sería difícil hacer piensos para pollos sin la inclusión de este ingrediente. Sin embargo, poco se sabe sobre las características más deseables de los derivados de soja en nutrición de aves jóvenes. Batal y Parsons (2002) estudiaron la influencia de la edad sobre la digestibilidad fecal aparente (DFA) de la fracción proteica de piensos maíz-harina de soja en pollitos y observaron un aumento para la lisina desde 78% a 0-2 d de vida hasta 89% a los 14 días de edad. En el caso de la metionina el valor pasó de 80 a 92% (cuadro 12). Sin embargo, no se detectaron diferencias en digestibilidad para ningún aminoácido entre 14 y 21 d de edad. De los trabajos realizados en diversas especies a edades jóvenes parece razonable deducir que las harinas de soja de mayor valor en piensos de preiniciación serían aquellas con altos niveles de proteína bruta y bajos contenidos en factores antinutricionales, especialmente de inhibidores de la tripsina (IT). En un ensayo reciente, Coca et al. (2007) compararon 5 harinas de soja que variaban en el contenido en proteína (45,5 hasta 48,6%) y en el contenido en IT (2,5 hasta 5,3 mg/kg). En este ensayo, la harina de soja con más proteína fue también la que contenía menos IT por lo que no es posible separar ambos efectos. Los autores encontraron que la digestibilidad ileal aparente (DIA) de la materia seca y de la PB fue superior en la harina con el nivel superior de PB y menor de IT (cuadro 18). Asimismo, la DIA de la lisina y la metionina fue superior para las harinas de soja con mayor contenido en PB y menor en IT. Un resultado llamativo de este ensayo fue la gran variabilidad encontrada en cuanto a DIA de la PB y de la lisina entre las diversas sojas estudiadas (77,3 y 86,9% para PB y 77,3 y 86,5% para la lisina).

Cuadro 18.- Influencia del tipo de harina de soja sobre la digestibilidad ileal aparente (DIA) de los nutrientes y de los aminoácidos en broilers a 21 d de edad (Coca et al., 2007).

Origen muestra	PB	IT	DIA, %			
	%	mg/kg	MS	PB	Lys	Met
Argentina	46,1	6,5	75,6 ^b	77,8 ^c	81,6 ^b	89,1 ^c
Brasil 1	45,5	5,1	75,2 ^b	78,8 ^{bc}	81,8 ^b	90,7 ^{bc}
Brasil 2	47,2	4,1	76,7 ^b	79,1 ^{bc}	86,8 ^a	91,5 ^b
Brasil 3	45,4	5,1	76,8 ^b	77,3 ^c	77,3 ^c	86,9 ^d
USA-LT	48,6	2,0	81,8 ^a	86,9 ^a	86,5 ^a	93,8 ^a

Un ingrediente de gran interés en piensos de preiniciación es la soja integral aunque es importante asegurar que ha sido debidamente procesada. La soja integral proporciona al pollito recién nacido cantidades elevadas de aceite y proteína de calidad. Además, mejora la textura de los piensos por lo que es un ingrediente de elección. Sin embargo, ha de cuidarse la calidad del proceso, en especial en relación con el contenido en IT, evitándose la utilización de sojas con un contenido en IT por encima de 3,5-4 mg/kg. Asimismo, sojas sobrecalentadas ya que presentan bajos valores de DIA de los aminoácidos, especialmente de la lisina, debido a la formación de reacciones de Maillard (Valencia et al., 2008a).

En los últimos años ha crecido el interés por la utilización en piensos de primeras edades de fuentes proteicas de origen animal y vegetal más elaboradas. Así, han aparecido en el mercado harinas de pescado de alta calidad con más de un 68-70% de PB y procesadas a bajas temperaturas (Fedna, 2003). Estas harinas son de elección en piensos de preiniciación, aunque debe valorarse su coste relativo con respecto a la harina de soja tradicional. Otro ingrediente a evaluar en este tipo de piensos es el concentrado de proteína de soja que se caracteriza por su bajo contenido en fibra, oligosacáridos, IT y otros principios antinutricionales (Valencia et al., 2008b). El concentrado de proteína de soja ha sido utilizado a niveles de hasta el 20% en piensos para pollitos de 1 a 20 d de edad sin problemas aparentes en cuanto a digestibilidad y productividad (González-Alvarado et al., 2007). En un trabajo reciente (Valencia et al., 2008b) compararon la DIA de la harina de soja tradicional (47% PB), soja integral procesada, concentrado de proteína de soja y concentrado de proteína de guisante sin procesar en pollitos de 25 a 28 d de vida. Los resultados se muestran en el cuadro 19. No se observaron diferencias entre las diversas fuentes proteicas para ningún aminoácido limitante, excepto para la metionina que presentó valores inferiores para el concentrado de proteína de guisante y la soja integral que para el concentrado proteico de soja. Un análisis posterior de esta muestra de soja integral reveló que contenía un nivel excesivo de IT (4,7 mg/kg) lo que podría explicar los resultados obtenidos. La DIA de la materia orgánica, PB, lisina y metionina fue idéntica para el concentrado proteico de soja que para la harina de soja. Por tanto, en base a estos datos, el uso de concentrados proteicos de alta calidad no quedó justificado y es preciso controlar el contenido en IT de las diversas fuentes de soja.

Cuadro 19.- Digestibilidad ileal aparente (DIA, %) de los nutrientes y aminoácidos de diversas fuentes proteicas en pollos (Valencia et al., 2008a).

	MO ¹	PB	Lys	Met
Hna de soja, 47% PB	84,2 ^a	83,8	88,8	89,9 ^a
Soja integral cocida	82,9 ^{ab}	82,1	86,8	87,1 ^{ab}
Concentrado proteico de soja, 55% PB	83,8 ^a	82,1	88,4	89,2 ^a
Concentrado proteico de guisante, 54% PB ²	84,5 ^b	81,1	87,0	84,0 ^b

¹Materia orgánica. ²Sin procesar por calor

3.3.- Necesidades en fibra

Hasta muy recientemente se consideraba que las necesidades del pollito en fibra eran mínimas y se recomendaba reducir su contenido en los piensos. Janssen y Carré (1985) indicaron que los componentes fibrosos de los alimentos afectaban negativamente el crecimiento de los pollitos y consecuentemente recomendaron reducir el nivel de fibra en los piensos de preiniciación. De hecho, estos piensos se basan en materias primas de escaso contenido en fibra bruta (FB) por lo que a menudo su nivel de FB es inferior al 2-2,5%. Sin embargo, en el momento actual no se tiene clara la influencia del contenido en fibra del pienso sobre el consumo voluntario y la digestibilidad de los nutrientes (Moran, 2006). Ensayos recientes realizados en nuestro laboratorio (Mateos et al., 2005a; González-Alvarado et al., 2007; Jiménez-Moreno et al., 2006c, 2007a,b, 2008) han mostrado que niveles bajos de FB (< 2,5%) pueden perjudicar el desarrollo del aparato digestivo y el crecimiento del pollito. Por ejemplo, en pollos alimentados con dietas muy bajas en fibra (1,5% FB) el pH de la molleja fue alto pero bajó de forma muy significativa (3,65 vs 2,89 vs 2,76) al añadir un 3% de cascarilla de avena o de pulpa de remolacha (cuadro 20), lo que indicaría que niveles adecuados de FB pueden ser beneficiosos durante al menos las 3 primeras semanas de vida. De hecho, estas diferencias en pH al añadir dos fuentes fibrosas fueron similares a 4, 9 y 21 d de edad (González-Alvarado et al., 2005a).

Cuadro 20.- Influencia del nivel de fibra añadida y la edad sobre el pH de la molleja en pollos (González-Alvarado et al., 2005a).

Edad, d ²	Control	Cascarilla avena 3% ¹	Pulpa remolacha 3% ¹
4	3,64	2,84	2,86
9	3,49	2,76	2,55
21	3,81	3,06	2,88
Media	3,65	2,89	2,76

¹Molida a 2,0 mm. ²P < 0,001 para la edad y el pienso.

En un trabajo posterior Jiménez-Moreno et al. (2007a,b) compararon la influencia de la inclusión de un 3% de fibra en base a cascarilla de avena, cascarilla de arroz o cascarilla de girasol a dos niveles diferentes (2,5 y 5%) en piensos basados en concentrados de soja y

arroz (1,5% FB) o maíz (2,5% FB) sobre la productividad en pollos. En este ensayo, las fuentes fibrosas se incluyeron en sustitución (peso a peso) del pienso por lo que su contenido en EMAN por kg de pienso era inferior. De 0 a 4 días de edad los pollitos controles, sin fibra adicional, consumieron menos energía y tuvieron peores índices de conversión energéticos (kcal EMAN por g de ganancia) que los pollitos que consumieron 3% de cascarilla adicional. De 0 a 21 d de edad los consumos de pienso y las ganancias medias diarias fueron similares pero los índices de conversión siguieron siendo mejores en los pollitos que consumieron fibra adicional (cuadro 21). No se detectaron diferencias ni a 4 ni a 21 días de edad en cuanto a crecimiento entre los pollitos que consumieron piensos con un 2,5 a un 5% de fibra adicional (cuadro 22).

Cuadro 21.- Influencia de la inclusión de fibra sobre los índices productivos de pollitos de 0 a 21 días de vida¹ (Jiménez-Moreno et al., 2007a).

	GMD, g	CMD, g	IC, g/g	IC, kcal/g ³
0 a 4 de de vida				
Control ²	11,9	10,2	0,868 ^a	2,74 ^a
C. avena	12,2	10,5	0,870 ^a	2,64 ^b
C. arroz	12,2	10,6	0,876 ^a	2,68 ^{ab}
C. girasol	12,4	10,3	0,844 ^b	2,55 ^c
EEM (n = 6)	0,30	0,24	0,018	0,056
0 a 21 d de vida				
Control ²	33,0	41,9	1,272 ^a	4,06 ^a
C. avena	33,9	42,6	1,260 ^{ab}	3,89 ^b
C. arroz	34,5	43,4	1,260 ^{ab}	3,88 ^b
C. girasol	33,7	42,1	1,252 ^b	3,85 ^b
EEM (n = 6)	0,69	0,82	0,094	0,029

¹Media de 2,5 a 5% de fuente de fibra añadida. ²1,5% FB en los piensos basados en arroz y 2,5% en los piensos basados en maíz. ³kcal de EMAN necesarios por g de aumento de peso vivo.

Cuadro 22.- Influencia del nivel de fibra añadida sobre los índices productivos de pollos de 0 a 21 días de vida (Jiménez-Moreno et al., 2007a)

Fibra añadida, %	0	2,5	5,0	EEM
Fibra bruta en pienso, %	1,5	2,3	3,5	(n = 6)
GMD, g	33,0	34,0	34,1	0,69
CMD, g	41,9	42,6	42,8	0,82
IC, g pienso/g peso vivo	1,272 ^b	1,256 ^a	1,258 ^a	0,0094
IC, kcal EMAN/g ganancia	4,06 ^b	3,91 ^a	3,81 ^a	0,019

Además, la inclusión de fibra adicional, bien como cascarilla de avena, arroz o girasol mejoró la DFA de todos los nutrientes (MS, cenizas y PB) y la EMAN de los piensos, diferencias que fueron significativas en todos los casos excepto para la EMAN (cuadro 23). De igual modo, al elevar el nivel de fibra de la dieta de 0 a 2,5 ó 5% mejoró la

digestibilidad de las cenizas solubles y de la PB sin que la digestibilidad de la MS y la EMAn se vieran afectadas (cuadro 24). Una mejora en la digestibilidad de las cenizas solubles podría ser indicativo de una mejor utilización de las sales minerales lo que podría mejorar la calcificación de los tejidos óseos del pollito en la primera semana de edad.

Cuadro 23.- Influencia del nivel de fibra añadida al pienso sobre la digestibilidad aparente fecal de los nutrientes (%) en pollitos de 21 d de vida¹ (Jiménez-Moreno et al., 2007b).

	Materia seca	Cenizas totales	Proteína bruta	EMAn, kcal/kg
Control	78,5 ^c	40,4 ^c	68,6 ^b	3.201
Cáscara avena	81,8 ^a	48,7 ^a	78,8 ^a	3.265
Cáscara arroz	80,6 ^b	43,0 ^b	78,2 ^a	3.260
Cáscara girasol	80,3 ^b	47,6 ^a	76,1 ^{ab}	3.254
EEM (n = 6)	0,59	2,85	1,43	17,1

¹Media de 2,5 a 5% de fuente de fibra añadida.

Cuadro 24.- Influencia del nivel de fibra añadida al pienso sobre la digestibilidad fecal aparente de los nutrientes (%) a 21 d de edad (Jiménez-Moreno et al., 2007b)

	Fuente de fibra, %¹		
	0	2,5	5
Materia seca, %	78,5 ^b	81,0 ^a	80,8 ^a
Cenizas solubles, %	40,4 ^b	44,8 ^{ab}	48,1 ^a
Proteína bruta, %	68,6 ^c	76,0 ^b	79,3 ^a
EMA, kcal/kg	3.201 ^b	3.261 ^a	3.258 ^a

¹Media de los tratamientos en base a cascarilla de avena, arroz y girasol

Un efecto importante de la inclusión de fibra en piensos de preiniciación en pollitos es su influencia sobre el tamaño de los distintos órganos del TGI. Así, González-Alvarado et al. (2007) observaron que la inclusión de un 3% de cascarilla de avena al pienso de 1 a 21 d en pollitos aumentó el peso relativo de la molleja (2,41 vs 1,79%) pero redujo la longitud del intestino delgado (167,4 vs 177,1 cm/kg) lo que podría ser indicativo de que la fibra adicional mejora la salud intestinal. Diversos autores indican que el efecto beneficioso de los promotores de crecimiento (Miles et al., 2006) y de las enzimas (Lázaro et al., 2004) sobre la salud intestinal del pollo se debe a su efecto positivo en el control de la flora intestinal que resulta en un menor grosor de las paredes intestinales y de la longitud del TGI.

3.4.- Necesidades en minerales y vitaminas

Las necesidades en Ca y P del pollito durante la primera semana de vida no han sido muy estudiadas. En esta fase, es esencial un aporte adecuado de Ca y P y un pH digestivo óptimo a fin de asegurar el desarrollo armónico del esqueleto. García et al. (2006) no observaron grandes diferencias en cuanto a la digestibilidad del P de un fosfato

bicálcico y un fosfato tricálcico defluorinado en pollitos de 4, 8 y 15 días de edad. Sin embargo, debe evitarse el exceso de ambos minerales ya que reducen la capacidad tampón del proventrículo y la molleja pudiendo afectar a la digestibilidad de otros nutrientes. Además, el exceso de cenizas tiende a reducir el consumo voluntario de pienso. No se conocen con exactitud los niveles óptimos de Ca y P en piensos para pollitos pero extrapolando de datos existentes de 1 a 21 d de edad parece lógico recomendar en torno al 1,0% para el Ca total y 0,39% para P digestible (0,45% P disponible). Es importante evitar exceso de Ca (> 1,10%) especialmente cuando se utilicen fitasas; un exceso de Ca podría reducir bien la actividad de las enzimas o bien reducir la absorción del P liberado.

La inclusión de Na en el pienso (como cloruro sódico) afecta de forma notable los crecimientos del pollito en la primera semana de vida. El NRC (1994) recomienda 0,20% de Na en pollitos de 1 a 21 d de edad, un valor que es sustancialmente superior al previamente recomendado de 0,15% (NRC, 1984). Oviedo-Rondón et al. (2001) estudiaron el nivel óptimo de Na (0,10 a 0,35%) en pollos de 1 a 21 d de edad y recomendaron 0,28%. Los autores indican que al subir el nivel de Na aumenta de forma lineal el consumo de agua. Por contra, la incidencia de discondroplasia tibial se reduce. Estos mismos autores, en un segundo ensayo encontraron que el nivel óptimo de Cl era 0,25% y que el nivel de Cl no afectaba ni a la humedad de la cama ni a la incidencia de problemas de la tibia. Los mejores resultados se obtuvieron con equilibrios electrolíticos en torno a 300 (ensayo 1) o 250 (ensayo 2) mEq/kg. Britton (1992) mostró de forma clara que 0,15% de Na no es suficiente en pollitos de 0 a 7 días de vida y que al menos se debería utilizar 0,24% (cuadro 25). Vieira et al. (2003) estudiaron las necesidades en Na del pollito en la primera semana de vida. Para ello testaron 4 niveles de Na (0,12 a 0,48%) y dos niveles de balance electrolítico (160 y 240 mEq/kg). Un aumento del nivel de Na llevó consigo un aumento tanto de las ganancias de peso como de los índices de conversión, pero también del consumo de agua (hasta un 25% extra). Los resultados productivos fueron mejores con 240 que con 160 mEq/kg solamente hasta los 4 d de edad. Los autores recomiendan 0,38 a 0,40% de Na en esta semana de edad. Además, encontraron una mortalidad elevada en aquellas réplicas que consumieron piensos con 0,48% de Na.

Cuadro 25.- Influencia del nivel de sodio del pienso de 0 a 7 días de edad sobre el consumo de agua y pienso y la productividad del pollito (Britton, 1992)

Nivel Na, %	Consumos, g		Aumento peso, g	IC g/g
	Agua	Pienso		
0,08	217	112	126	0,89
0,16	257	123	143	0,86
0,24	281	126	151	0,83
0,32	310	132	162	0,81
0,40	321	128	161	0,80
0,48	356	136	0,80	0,81

Borges (1998) observó que las mejores ganancias e índices de conversión en pollitos se obtienen con niveles de Na superiores al 0,40% (0,90% de sal añadida). En este ensayo (cuadro 26) se observó un notable aumento del consumo de agua al elevar el nivel de sal añadida por encima del 0,45%. En piensos comerciales, se precisaría cerca del 0,7% de sal añadida para alcanzar niveles de Na en torno a 0,30% lo que podría perjudicar la calidad de la cama especialmente cuando el preiniciador se mantenga por más días de lo aconsejable. Por ello, parece lógico recomendar en este tipo de piensos niveles por debajo del 0,18-0,22%. En relación al Cl niveles en torno al 0,16-0,18% parecen ser más que suficientes. Los efectos beneficiosos de añadir Na en forma de bicarbonato a expensas de sal común no han sido estudiados a estas edades.

Cuadro 26.- Influencia del nivel de Na del pienso sobre la productividad en pollitos (Borges, 1998).

CINa, % ¹	Peso vivo, g	IC, g/g	Agua:pienso
0,30	2.039 ^{ab}	1,92	2,11 ^b
0,45	2.100 ^{ab}	1,92	2,10 ^b
0,60	2.150 ^{ab}	1,93	2,21 ^{ab}
0,75	2.110 ^{ab}	1,90	2,25 ^{ab}
0,90	2.177 ^a	1,86	2,35 ^a

¹Contiene un 40% de Na

Las necesidades en vitaminas y microminerales del pollito en la primera semana de vida no han sido estudiadas. Por tanto, los valores recomendados se basan en un número limitado de estudios realizados con pollos de 7 a 21 días. La mayoría de los correctores utilizados hoy día en España llevan un margen de seguridad alto por lo que no creemos necesario diseñar un nuevo corrector para piensos de preiniciación. Quizás conviniera asegurar los niveles de vitamina E por sus efectos positivos sobre la inmunidad del ave, así como de aquellos microelementos (vitaminas A y E, Se y Zn, principalmente) caracterizados por su relación con los fenómenos de oxidación e inmunidad.

4.- PRESENTACIÓN DEL PIENSO

4.1.- Granulación y tamaño de partícula

Numerosos trabajos han demostrado la importancia de la granulación en piensos para pollos de carne. Sin embargo, existen controversias sobre la importancia que tiene la calidad del gránulo sobre la productividad. Así, Stark (2007) indica que lo importante de granular el pienso es el proceso en sí y que la calidad del gránulo a la altura del comedero tiene poca influencia sobre la productividad del ave. Probablemente, esta apreciación no sea aceptable, al menos en piensos de preiniciación (Hamilton y Proudfoot, 1995). En aves, la textura del alimento es más importante que la palatabilidad en relación con el consumo voluntario (Picard et al., 2000). Este hecho es de gran importancia en el pollito recién

nacido que debido al pequeño tamaño del pico y la consistencia del mismo rechaza piensos en gránulo o miga de tamaño grande (> 2,5-3 mm) o excesivamente duros (p. ej., con exceso de trigo). En condiciones prácticas, el pollito come más y crece más rápido con piensos en microgránulos o en migaja que con piensos en harina. Sin embargo, la granulación tiene poco efecto sobre los índices de conversión siempre que el diseño de los comederos sea adecuado y el desperdicio de pienso sea limitado. Jiménez-Moreno et al. (2007a,b) compararon piensos basados en arroz y harina de soja bien en gránulo de 2,0 mm de diámetro o bien en harina, en pollitos de 0 a 21 d de edad. De 0 a 4 días los pollitos que consumieron piensos granulados comieron un 12% más, crecieron un 29% mejor y tuvieron una conversión 13% superior que los que consumieron los mismos piensos en forma de harina (cuadro 27). Estas diferencias en cuanto a ganancias de peso y consumos de pienso se mantuvieron a los 21 días de edad (mejoras del 33% y 29%, respectivamente), pero la mejora de los índices de conversión desapareció, lo que concuerda con los datos de digestibilidad de la materia seca, PB y la EMAn que no se vieron afectadas por la forma de presentación del pienso (cuadro 28).

Cuadro 27.- Influencia de la presentación del pienso sobre la productividad en pollitos de 0 a 21 días de vida (Jiménez-Moreno et al., 2007a).

	Harina	Gránulo	P	EEM (n = 6)	Mejora, %
De 0 a 4 d de edad					
Aumento de peso, g/d	10,7	13,8	0,01	0,30	29
Consumo pienso, g/d	9,9	11,1	0,01	0,24	12
IC, g/g	0,925	0,802	0,01	0,018	13
De 0 a 21 d de edad					
Aumento de peso, g/d	29,2	38,8	0,01	0,69	33
Consumo pienso, g/d	37,3	48,1	0,01	0,82	29
IC, g/g	1,277	1,238	NS	0,094	3

Cuadro 28.- Influencia de la forma de presentación del pienso sobre la digestibilidad fecal de los nutrientes (%) a 21 d (Jiménez-Moreno et al., 2006d).

	Harina	Gránulo	P	EEM (n = 6)
Materia seca	80,9	80,8	NS	0,59
Proteína bruta	77,8	77,6	NS	1,43
EMAn, kcal/kg	3.272	3.247	NS	17,1

Estos datos indican que el efecto beneficioso de la presentación en microgránulos se debe principalmente a un mayor consumo de pienso y no a una mejora en la digestibilidad de los nutrientes. Es muy probable que en estos primeros estadios de vida la capacidad física del aparato digestivo limite el consumo y, por tanto, el crecimiento. Por contra, los índices de conversión mejoraron con el granulado de 0 a 4 d de edad pero no de 4 a 21 días. Probablemente, el pollito recién nacido desperdicia más con piensos en harina

que con piensos en microgránulos pero a partir de una cierta edad este efecto desaparece o no es detectable. La microgranuación del pienso es un proceso costoso y lento que además puede crear problemas logísticos en fábrica ya que la granuladora pasa a ser cuello de botella. Desafortunadamente no existe dato alguno que compare la influencia de suministrar el pienso en harina, miga o microgránulo sobre el desarrollo digestivo y la productividad del pollito.

No existen muchos datos sobre la importancia del tamaño de partícula de los piensos sobre el desarrollo del aparato digestivo y la productividad en pollitos durante la primera semana de vida. Moliendas groseras facilitan el desarrollo de la molleja y potencian el peristaltismo (y antiperistaltismo) intestinal. Por contra, moliendas groseras perjudican la calidad del gránulo o de la miga lo que perjudica el crecimiento en esta primera semana de vida (Carré, 2000). Por tanto, en condiciones normales con pollitos sanos, la calidad del gránulo debe primar ya que interesa sobremanera potenciar el consumo. Por contra, caso de encontrarnos con un lote afectado por diarreas inespecíficas difíciles de controlar, la utilización de moliendas más groseras puede ser beneficioso (Mateos et al., 2005b).

4.2.- Procesamiento térmico del cereal

El procesado térmico de los cereales a temperaturas superiores a los 90 °C es una práctica común para mejorar la digestibilidad de los nutrientes y la productividad en lechones (Medel et al., 2004). Sin embargo, los efectos del procesado de ingredientes en broilers no están bien documentados. En los últimos años ha aumentado la utilización de piensos expandidos (110 a 120 °C durante 5 segundos) en broilers por sus efectos beneficiosos sobre la higiene, la digestibilidad de los nutrientes y la productividad (Fancher et al., 1996). Algunos autores (Plavnik y Sklan, 1995; Moritz et al., 2005) han observado que la inclusión de cereales procesados en los piensos de pollos mejora la productividad pero otros investigadores (Burnett, 1962; Herstad y McNab, 1975; Vukic-Vranjes y Wenk, 1995; Niu et al., 2003) no han encontrado efecto alguno. En el trabajo de Plavnik y Sklan (1995) la expansión y la extrusión seca del maíz mejoró la EMAN de la dieta en un 3 y un 1,5%, respectivamente y la mayor parte de la mejora se debió a un aumento en la digestibilidad del extracto etéreo. Vukic Vranjes y Wenk (1995) observaron que la extrusión de la cebada (40% del pienso) aumentó la viscosidad y el consumo de agua durante la primera semana de vida. Además, la extrusión de la cebada perjudicó la eficiencia alimenticia y la digestibilidad de la proteína, y grasa y energía entre 7 y 21 d de edad. Gracia et al. (2003) observaron que el procesamiento de la cebada mejoró la productividad en pollitos durante la primera semana de vida pero no posteriormente.

Trabajos de nuestro departamento muestran que el efecto beneficioso del procesado de los cereales sobre la productividad es escaso y solo sería conveniente (y no siempre) en primeras edades. Así, García et al. (2008) comparan el efecto de micronizar o expandir cebada con o sin suplementación enzimática sobre la productividad y diversos parámetros digestivos de pollitos. De 1 a 7 d de edad los pollitos que recibieron cebada expandida o cebada micronizada crecieron más pero tuvieron la misma conversión que los que

recibieron cebada cruda. No se observó efecto positivo alguno del procesado de la cebada a los 21 d de edad (cuadro 29). De hecho el procesado por calor aumentó la viscosidad intestinal a los 7 d de edad (529 vs 234 vs 171 cp para la cebada micronizada, expandida y natural, respectivamente; $P < 0,001$). Sin embargo, el porcentaje de culos sucios a esta edad fue similar para los tres tipos de cebada (cuadro 30). En todos los casos, la adición de enzimas redujo tanto la viscosidad intestinal como el porcentaje de culos sucios. Mateos et al. (2002) observaron que el maíz cocido a 90 °C durante 50 minutos seguido de rolado mejoró la digestibilidad del almidón a 4 días de edad (95,8 vs 94,2%; $P < 0,05$) y también a 8 y 15 días pero no a 21 días (cuadro 31). Asimismo, González-Alvarado et al. (2007) han estudiado la influencia de procesar por calor el maíz o el arroz en piensos para pollitos de 1 a 21 d de edad sin encontrar efecto positivo ni sobre las ganancias de peso ni los índices de conversión (cuadro 32). De hecho, el procesado por calor empeoró los índices de conversión de 1 a 4 d de edad.

Cuadro 29.- Influencia del procesado térmico de la cebada y la suplementación enzimática (SE) sobre la productividad en pollitos (García et al., 2008).

Cebada	SE	1 a 7 d		1 a 21 d	
		GMD, g	IC, g/g	GMD, g	IC, g/g
Cruda	-	14,2	1,22	28,7	1,65
	+	14,3	1,13	31,8	1,51
Micronizada	-	14,2	1,23	26,7	1,75
	+	15,8	1,19	32,6	1,51
Expandida	-	15,6	1,16	28,3	1,65
	+	16,3	1,13	32,3	1,53
EEM (n = 12)		0,66	0,037		
P SE		0,01	0,01	0,001	0,001
P Procesado		0,001	NS	NS	NS

Cuadro 30.- Influencia del procesado de la cebada y de la inclusión de enzimas (SE)¹ sobre la viscosidad intestinal (VI, cp) y el porcentaje de culos sucios en pollitos de 7 días de edad (García et al., 2008).

	VI, cp ²	Culos sucios, % ³
Sin enzimas		
Cruda	171	81
Micronizada	529	68
Expandida	234	71
Con enzimas		
Cruda	6	7
Micronizada	10	10
Expandida	8	13
EEM (n = 6)	47,7	0,55

¹Complejo que incluía xilanasas y β glucanasas. ²Efecto procesado ($P < 0,01$) y ($P < 0,001$)

³Efecto SE ($P < 0,001$)

Cuadro 31.- Influencia del procesado por calor y de la inclusión de enzimas (SE) en el pienso sobre la digestibilidad fecal del almidón del maíz en pollos (Mateos et al., 2002).

	Edad, d ¹				Media
	4	8	15	21	
Procesado por calor					
Natural	94,2 ^b	94,9 ^b	95,7 ^b	97,1	95,5
Cocido y rolado	95,8 ^a	96,7 ^a	96,7 ^a	97,3	96,6
SE^{2,3}					
0	94,8	95,9	96,2	97,3	96,1
500 ppm	95,2	95,6	96,2	97,1	96,0

¹Efecto edad (P < 0,01). ²Proteadas, xilanasas y α -amilasas. ³n = 20.

Cuadro 32. Influencia del procesado por calor del maíz y el arroz sobre los parámetros productivos en pollitos de 1 a 21 días de edad.

Cereal	Proceso	GMD, g	CMD, g	IC, g/g
1 a 4 d de edad				
Maíz	-	13,9 ^a	16,9	1,21 ^c
Maíz	+	12,9 ^b	17,2	1,33 ^a
Arroz	-	13,1 ^b	16,7	1,27 ^b
Arroz	+	13,1 ^b	16,4	1,25 ^{bc}
EEM (n = 27)		0,10	0,22	0,016
P		***	NS	***
1 a 21 d de edad				
Maíz	-	32,4	43,7 ^{ab}	1,35
Maíz	+	32,8	45,5 ^a	1,38
Arroz	-	33,6	44,2 ^{ab}	1,32
Arroz	+	32,6	43,0 ^b	1,32
EEM (n = 27)		0,49	0,63	0,010
P		NS	*	NS

En base a estos resultados no parece recomendable el procesado de los cereales en piensos para pollos de engorde. La excepción podrían ser los piensos de primeras edades, especialmente aquellos basados en maíz, ya que el proceso (normalmente con aplicación de fricción, presión, tiempo y temperatura) puede liberar la grasa contenida en el interior de las células y mejorar la accesibilidad de las enzimas a la fracción almidón, mejorando de esta forma la digestibilidad de la energía. Asimismo puede ser de interés la expansión de piensos basados en trigo o cebada, siempre que se incluyan en el pienso las enzimas adecuadas.

5.- RECOMENDACIONES NUTRICIONALES

En el cuadro 33 se ofrecen recomendaciones prácticas para formular piensos de pollitos de 0 a 7 d de vida. Se han incluido recomendaciones también para pollitos de 8 a 21 d de edad, para el caso de que se utilicen piensos de preiniciación. En el caso de los aminoácidos esenciales se han definido las necesidades en lisina total y digestible y se ha aplicado el concepto de proteína ideal para el resto de aminoácidos (Baker, 2003; Lázaro et al., 2008). Los valores de Ca y P no tienen en cuenta la posible utilización de fitasas en estos piensos. Por último, en los cuadros 34 y 35 se ofrecen las recomendaciones de microminerales y vitaminas aportadas por el corrector. Este corrector no difiere en demasía de lo recomendado por pollitos de 1 a 21 d de edad (Lázaro et al., 2008).

Cuadro 33.- Programa de piensos para pollitos de 0 a 21 d de edad. Recomendaciones nutricionales

	Preinicio, 0-7 d	Inicio, 8-21 d
EMA, kcal/kg	3,050	3,000
Proteína bruta, %	> 22	> 21,5
Lisina total, %	1,38	1,30
Metionina total	0,51	0,48
Met + cys total	1,01	0,95
Treonina	0,94	0,88
Triptófano	0,23	0,22
Isoleucina	0,94	0,88
Valina	0,99	0,93
Arginina total	1,46	1,37
Lys dig	1,24	1,15
Met dig	0,46	0,42
Met + cys dig	0,91	0,84
Thr dig	0,84	0,78
Trp dig	0,21	0,19
Fibra bruta, Mín.	2,3	2,6
Máx.	3,8	4,2
Calcio, %	1,00	0,9
Fósforo digestible, %	0,39	0,37
Sodio, %	0,22	0,17

Cuadro 34.- Necesidades en microminerales de pollitos de 0 a 7 días de edad.

	Rango	Recomendado
Fe, ppm	20-50	30
Ca, ppm	5-10	7
Zn, ppm	60-90	70
Mn, ppm	70-100	80
Co, ppm	0-0,05	-
Se, ppm	0,2-0,3	0,3
I, ppm	0,6-1,1	1

Cuadro 35.- Necesidades vitamínicas de pollitos de 0 a 7 días de edad.

	Rango	Recomendado
Vitamina A, mUI	11-15	13
Vitamina D ₃ , mUI	3,2-4	3,3
Vitamina E, UI	35-60	5,0
Vitamina K ₃ , ppm	1,6-3,2	2,5
Tiamina, ppm	1-2,6	2
Riboflavina, ppm	6-9	7,2
Piridoxina, ppm	3-4,5	3,1
Cobalamina, ppb	16-30	20
Ácido fólico, ppm	1-1,5	1,0
Niacina, ppm	40-65	45
Ácido pantoténico, ppm	12-16	12
Biotina, ppb	100-200	125
Colina, ppm	300-500	400

6.- CONCLUSIONES

La utilización de piensos de preiniciación con características especiales permite mejorar el crecimiento y desarrollo digestivo de los pollitos durante los primeros 7 a 10 días de vida. Los puntos fundamentales a considerar son la utilización de materias primas de calidad y la presentación del pienso en forma de miga uniforme fina y sin finos o en microgránulos de menos de 2 mm de diámetro. Las materias primas de elección en estos piensos son los cereales (arroz y maíz), aceites vegetales insaturados (soja y girasol), harinas de pescado de alta calidad y harina de soja descascarillada alta en proteína y con niveles reducidos de inhibidores de la tripsina. No debe olvidarse que el sistema digestivo del pollito precisa de un mínimo de fibra que ayude al desarrollo de la molleja, la producción de enzimas y jugos digestivos y que potencien la motilidad intestinal, incluyendo los movimientos antiperistálticos. Los piensos de preiniciación deben incorporar niveles altos de Na, así como de aquellas vitaminas y microminerales relacionados con los fenómenos de antioxidación y la mejora del estado inmunitario. La utilización de aditivos en este tipo de pienso parece lógica y recomendable pero no tenemos suficiente información para recomendar un aditivo o grupo de aditivos en particular ya que dependerá de las circunstancias y problemática de cada granja considerada.

7.- REFERENCIAS

- ARANIBAR, J., GRACIA, M., GARCÍA, M. y MATEOS, G.G. (2000) *Poultry Sci.* 79: 42 (Abstract).
- ARANIBAR, J. (2001) *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid.

- BAKER, D.H., BATAL, A.B., PARR, T.M., AUGSPURGER, N.R. y PARSONS, C.M. (2002) *Poult. Sci.* 81: 485-494.
- BAKER, D. (2003) En: *Amino acids in animal nutrition*. J.P.F. D'Mello (ed). CABI Publishing. Wallingford, RU. pp. 223-235.
- BATAL, A.B. y PARSONS, C.M. (2002) *Poult. Sci.* 81: 400-407.
- BEDFORD, M. y SUMMERS, J.D. (1985) *Brit. Poult. Sci.* 26: 483-491.
- BIGOT, K., MIGNON, S., PICARD, M. y TESSERAND, S. (2003) *Poult. Sci.* 82: 781-788.
- BORGES, S.A. (1998) *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 50: 619-624.
- BRITTON, W.M. (1992) *Proc. Georgia Nutr. Conf. for Feed Manufactur.* p. 48-53.
- BURNETT, G.S. (1962) *Brit. Poult. Sci.* 3: 89-102.
- CAREW, L.B., MACHEMER, R.H., SHARP, R.W. y FOSS, D.C. (1972) *Poult. Sci.* 51: 738-742.
- CARRÉ, B. (2000) *INRA Prod. Anim.* 13:131-136.
- COCA, A., VALENCIA, D.G., JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2007) *Poult. Sci.* 86: 642 (Abstract).
- CORZO, A., FRITTS, C.A., KIDD, M.T. y KERR, B.J. (2005) *Anim. Feed Sci. Technol.* 118: 319-327.
- D'MELLO, J.P.F. (2003) *Responses of growing poultry to amino acids. Amino Acids in animal nutrition*. CABI Publishing, Lodnres RU.
- DONALDSON, W.E., BREWER, C.E., FERKEL, P. y CHRISTENSEN, V.L. (1992) *Poultry Sci.* 71: 128-132.
- DROR, Y., NIR, I. y NITSAN, Z. (1977) *Poult. Sci.* 18: 493-496.
- FANCHER, B., ROLLINS, I.D. y TRIMBEE, B. (1996) *J. Appl. Poultry Res.* 5: 386-394.
- FEDNA (2003) *Normas Fedna para la formulación de piensos compuestos*. C. de Blas, G.G. Mateos y P.G. Rebollar (eds). Fedna, Madrid.
- GARCÍA, A. y BATAL, A.B. (2005) *Poult. Sci.* 84: 1350-1355.
- GARCÍA, A. y BATAL, A.B. y DALE, N. (2005). *J. Appl. Poultry Res.* 15: 518-524.
- GARCÍA, M., LATORRE, M.A., LÁZARO, R., GRACIA, M. y MATEOS, G.G. (2008) *Poult. Sci.* 87 (P507-00266; aceptado).
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZALEZ-SANCHEZ, D., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005a) *Poult. Sci.* 85: 130 (Abstract).
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., GONZÁLEZ-SERRANO, A., JIMÉNEZ, E., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005b) *Poult. Sci.* 84: 69 (Abstract).
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ-MORENO, E., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2007) *Poult. Sci.* 86: 1705-1715.
- GRACIA, M.I., LATORRE, M.A., GARCÍA, M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2003) *Poult. Sci.* 82: 1281-1291.
- HAMILTON, R. M.G. y PROUDFOOT, F.G. (1995) *Anim. Feed Sci. Technol.* 51: 203-210.
- HERSTAD, O. y MCNAB, J.M. (1975) *Brit. Poult. Sci.* 16: 1-8.
- HULAN, H.W. y BIRD, F.H. (1972) *J. Nutr.* 102: 459-468.
- INRA (1989) *L'alimentation des animaux monogastriques*. Porc, lapin, volailles. INRA, Cedex, París. Francia.

- JANSSEN, W.M. y CARRE, B. (1985) *Recent advances in Animal Nutrition*. W. Harsesign y D.J.A. Cole (Eds). Butterworths, Londres, RU.
- JIMÉNEZ-MORENO, E., COCA, A., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006a) *Poult. Sci.* 85: 54 (Abstract).
- JIMÉNEZ-MORENO, E., COCA, A., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006b) *Poult. Sci.* 85: 131 (Abstract).
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, A.P., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, D., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006c) *Poultry Sci.* 85: 64 (Abstract).
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, A.P., BONILLA, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2007a) *Poultry Sci.* 86: 68 (Abstract).
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, A.P., COCA, A., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2007b) *Poultry Sci.* 86: 640 (Abstract).
- JIMENEZ-MORENO, E., GONZALEZ-ALVARADO, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS G.G. (2008) *Poult. Sci.* 87 (en evaluación).
- JONES, E. (2007) *Broiler nutrition in Ireland and UK*. Arkansas Annual Animal Nutrition Conference. Rogers, Arkansas.
- KERR, B.J. y KIDD, M.T. (1999) *J. Appl. Poult. Res.* 8: 298-309.
- LÁZARO, R., M. A. LATORRE, P. MEDEL, M. GRACIA y G. G. MATEOS (2004) *Poult. Sci.* 83:153–160
- LÁZARO, R., BARROETA, A. y MATEOS, G.G. (2008) *Recomendaciones FEDNA para aves: pollos y ponedoras*. Fedna, Madrid. (En prensa)
- LEESON, S. y SUMMERS, J.D. (2005) *Commercial Poultry Nutrition* University Books. Guelph, Ontario, Canadá.
- LILBURN, M.S. (1998) *J. Appl. Poult. Res.* 7: 420-424.
- MATEOS, G.G., GONZALEZ ALVARADO, J.M. y LAZARO, R. (2005a) En: *Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries*. T.P. Lyons y R.A. Jacques (eds). Nottingham University Press, Nottingham, RU. pp. 69-79.
- MATEOS, G.G., VALENCIA, D.G. y VICENTE, B. (2005b) *Fedna* 21:277-324
- MATEOS, G.G., LÁZARO, R. y GRACIA, M. (2002) *J. Appl. Poult. Res.* 11: 437-452.
- MEDEL, P., LATORRE, M.A., DE BLAS, C., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *Anim. Feed Sci. Technol.* 135: 100-112.
- MILES, R. D., G. D. BUTCHER, P. R. HENRY y R. C. LITTELL (2006) *Poult. Sci.* 85: 476-485.
- MORAN, E.T. (1992) *Poult. Sci.* 61: 1257-1267.
- MORAN, E.T. (2006) *J. Appl. Poultry Res.* 15: 154-160.
- MORITZ, J.S., PARSONS, A.S. BUCHANAN, N.P., CALVAKANTI, W.B., CRAMER, K.R. y BEYER, R.S. (2005) *J. Appl. Poult. Res.* 14: 47-54.
- MURAKAMI, H., AKIBA, A. y HORIGUCHI, M. (1988) *Jpn. J. Zootech. Sci.* 59: 890-895.
- MURAKAMI, H., AKIBA, Y. y HORIGUCHI, M. (1992) *Growth, Development, and aging* 56: 75-84.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1984) *Nutrient requirements of poultry*. 8th ed. National Academy Press, Washington DC, EEUU.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994) *Nutrient Requirement of Poultry*. 9th ed. National Academy of Sciences. Washington DC, EEUU.
- NIR, I., NITSAN, Z. y MAHAGNA, M. (1993) *Br. Poult. Sci.* 34: 523-532.

- NITSAN, Z., BEN-AVRAHAM, G., ZOREF, Z. y NIR, I. (1991) *Br. Poult. Sci.* 32: 515-523.
- NIU, Z.Y., CLASSEN, H.L. y SCOTT, T.A. (2003) *Can. J. Anim. Sci.* 83: 113-121.
- NOY, Y. y SKLAN, D. (1995) *Poult. Sci.* 74: 366-373.
- NOY, Y., UNI, Z. y SKLAN, D. (1996) *Brit. Poult. Sci.* 37: 987-996.
- NOY Y. y SKLAN, D. (1997) *J. Appl. Poultry Res.* 6: 344-354.
- NOY, Y. y SKLAN, D. (1999) *J. Appl. Poultry Res.* 8: 16-24.
- NOY, Y. y SKLAN, D. (2002) *Poult. Sci.* 81: 391-399.
- OVIEDO-RONDÓN, E.O., MURAKAMI, A.E., FURLAN, A.C., MOREIRA, I. y MACARIA, M. (2001) *Poult. Sci.* 80: 592-598.
- PICARD, M., LE FUR, C. y MELCION, J.P. (2000) *INRA Prod. Anim.* 13 : 117-130.
- PLAVNIK, I. y SKLAN, D. (1995) *Anim. Feed Sci. Technol.* 55 : 247-251.
- PLAVNIK, I., WAX, E., SKLAN, D., BORTON, I. y HORWITZ, S. (1997) *Poult. Sci.* 76: 1000-1005.
- SALADO, S., PIQUER, J., CASTELLANOS, I., MÉNDEZ, J. y MATEOS, G.G. (1999) *Poult. Sci.* 78: 86 (abstract).
- SELL, J., ANGEL, C., PIQUER, F., MALLARINO, E. y AL BATSHAN, H. (1991) *Poult. Sci.* 70: 1200-1205.
- SELL, J.L. (1996) *Poult. Sci.* 5: 96-101.
- SHI-HOU, J., CORLESS, A.C. y SELL, J.L. (1998) *World's Poult. Sci. J.* 54: 335-345.
- SKLAN, D. y NOY, Y. (2003) *Br. Poult. Sci.* 44: 266-274.
- STARK, C. (2007) *Proc. 68th Minnesoat. Nutr. Conf. for Feed Manuf.* p. 1-14.
- SULISTIYANTO, B., AKIBA, Y. y SATO, K. (1999) *Brit. Poult. Sci.* 40: 653-659.
- UNI, Z., GANOT, S. y SKLAN, D. (1998) *Poult. Sci.* 77: 75-82.
- VALENCIA, D.G., PÉREZ-SERRANO, M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2008a) *Liv. Sci.* (en evaluación)
- VALENCIA, D.G., PÉREZ-SERRANO, M., CENTENO, C., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2008b) *Liv. Sci.* (En evaluación: LIVSCI-D-07-804)
- VIEIRA, S. (2007) *Broiler nutrition in Brazil*. Arkansas Annual Animal Nutrition Conference. Rogers, Arkansas, EEUU.
- VUKIC-VRANJES, M. y WENK, C. (1995) *Anim. Feed Sci. Technol.* 54: 21-32.
- ZELENKA, J. (1968) *Br. Poult. Sci.* 9: 135-142.