

INTERACCION NUTRICIÓN-REPRODUCCIÓN EN AVES

F. Javier Piquer
Premix Ibérica

1.- INTRODUCCIÓN

Las aves domésticas son especies estacionales desde el punto de vista reproductivo, siendo dependientes del fotoperíodo. Por tanto, la optimización de los procesos reproductivos en avicultura pasa por el manejo adecuado de la fotoestimulación y el mantenimiento de un programa de luz continuado para mantener la productividad durante todo el año. La extensión del período productivo provoca una alta demanda de algunos nutrientes durante un largo período de tiempo. Si estas necesidades no se cubren de forma adecuada, se pueden producir alteraciones graves tanto de la calidad del huevo producido como en el bienestar animal por producirse carencias nutricionales.

Además de las consideraciones relativas a la extensión del ciclo productivo tenemos que tener en cuenta que, por medio de la selección genética, se han creado dos tipologías de aves. Por un lado se han producido líneas seleccionadas para maximizar la producción de huevos destinados al consumo humano con la mejor conversión posible del alimento en huevo. Por otro lado, se han seleccionado líneas pesadas con el objetivo de que la descendencia de estas líneas de reproductoras sea eficaz en la conversión del alimento en carne. Este proceso de selección ha llevado a la obtención de animales de un mayor peso y más tendencia al engrasamiento, con peores rendimientos reproductivos que las líneas ligeras productoras de huevos. Por tanto, los programas alimenticios para cada tipo de línea tienen que ser distintos y adaptados a las necesidades de los animales. En reuniones previas de FEDNA (Flores, 1994; Mateos y Piquer, 1994) se han discutido en detalle los aspectos más importantes de los programas nutricionales para ponedoras y reproductoras.

A pesar de las diferencias entre los dos tipos de genética, el objetivo que se persigue es siempre la obtención de un huevo de máxima calidad, bien sea para consumo humano o para obtener una buena producción de pollitos de buena calidad para su engorde posterior. Para conseguir esta calidad, los esfuerzos de investigación se han centrado en intentar obtener una cáscara en las mejores condiciones posibles y en modificar la composición de la yema. En este trabajo se pretende revisar algunos de los últimos avances que se han producido para intentar mejorar la calidad de la cáscara y de la yema del huevo. Además, para el caso específico de las reproductoras se incluye un apartado sobre la importancia que tiene el manejo de la alimentación en el período de recría para conseguir una buena fertilidad.

2.- CALIDAD DE LA CÁSCARA

La parte principal de la cáscara del huevo está formada por sales minerales que constituyen el 95% de la misma. Sin embargo, muchas veces se olvida que estas sales minerales se tienen que depositar sobre una matriz proteica. La composición de esta matriz proteica se va conociendo cada vez con mayor detalle. Entre las proteínas identificadas podemos citar el colágeno tipo X en el istmo (Arias et al., 1991, 1997), la ovocleidina 17 en las capas en empalizada y mamilar, ovoalbúmina en los nudos mamilares, lisozima, transferrina, dermatan sulfato proteoglicano en la región en empalizada y keratan sulfato en las mamilas iniciales (Lavelin et al., 2000). Sobre esta matriz proteica se depositan entre 5 y 6 g de carbonato cálcico durante el proceso de calcificación, que dura entre 17 y 20 h, lo que constituye uno de los procesos más rápidos de biomineralización conocidos (Lavelin et al., 2000).

La necesidad de proporcionar la cantidad de calcio adecuada para este proceso de calcificación ha llevado a las aves a desarrollar una estructura ósea especial, el hueso medular, cuya formación se inicia por la acción de los estrógenos desde el momento de la madurez sexual, junto con una depresión de la formación de hueso estructural (Whitehead y Fleming, 2000), lo que puede ser una de las causas de la osteoporosis que se observa después de un período largo de puesta.

Las estrategias nutricionales an aves de puesta y en reproductoras tienen que ir encaminadas a conseguir la mayor disponibilidad de calcio para el proceso de formación de la cáscara durante las horas de calcificación, que normalmente coinciden con las horas de oscuridad. Hay diversos factores que pueden afectar a la correcta deposición de calcio en la cáscara y, normalmente un menor espesor de la cáscara va asociado a una mayor facilidad de rotura. Carnarius et al. (1996) observaron que el espesor de la cáscara era menor en huevos rotos que en huevos normales y que existía una correlación positiva entre la resistencia a la rotura por punción y el grosor de la cáscara. A continuación se discuten algunos de estos factores, sobre los que se ha investigado en los últimos años.

2.1.- Suministro de calcio

Además de administrar el calcio en cantidades adecuadas a las necesidades diarias del animal, se ha investigado la posibilidad de administrar la mayor parte del calcio durante las horas de la tarde. Esta estrategia no tuvo resultados positivos en calidad de la cáscara si se comparaba con la administración de un pienso con un 3,5% de calcio durante todo el día (Keshavarz, 1998). Sin embargo, la reducción del consumo de calcio durante las horas de la tarde sí que tuvo un efecto adverso en la calidad de la cáscara.

Otra posibilidad para manipular la calidad de la cáscara es la utilización de fuentes de calcio grueso para conseguir una liberación lenta del calcio. Zhang y Coon (1997) observaron que cuando se suministraba carbonato de calcio en forma de partículas de más de 0,8 mm de diámetro, el tiempo de retención en la molleja era mayor y la solubilidad in vivo aumentaba, aunque este efecto dependía también del origen del carbonato cálcico (cuadro 1). La mayor retención de calcio en la molleja se observó con partículas de diámetro superior a 2 mm.

Cuadro 1.- Efecto del tamaño de partícula y de la fuente de carbonato cálcico sobre la retención en la molleja y la solubilidad in vivo (Zhang y Coon, 1997).

Fuente de calcio	Tamaño de partícula (mm)	Solubilidad in vivo (%)	Retención en la molleja (g)
A	3,3-4,7	86,3	9,70
A	2-2,8	82,0	7,99
A	1,0-2,0	78,1	5,28
A	0,5-0,8	79,5	0,64
B	3,3-4,7	82,5	6,04
B	2-2,8	86,0	4,49
B	1,0-2,0	80,0	3,75
B	0,5-0,8	76,5	0,94

Aunque hay estudios que no indican efectos positivos del uso de partículas gruesas de calcio sobre la calidad de la cáscara, los estudios de larga duración indican que las fuentes de calcio menos solubles in vitro dan mejor calidad de cáscara que fuentes más solubles in vitro (Zhang y Coon, 1992). Además, el uso de carbonato cálcico en forma de partículas de más de 3 mm de diámetro tiene un efecto positivo sobre la proporción de hueso medular y la resistencia a la rotura (Fleming et al., 1998; cuadro 2).

Cuadro 2.- Efecto del uso de carbonato cálcico en forma de polvo o en partículas (diámetro 3 mm) sobre las características del hueso al final de la puesta (Fleming et al., 1998).

	Tipo de carbonato cálcico		Probabilidad
	Polvo	Partículas	
Tarsometatarso Proximal			
Hueso total (%)	23,4	28,6	<0,01
Hueso trabecular (%)	6,6	7,3	NS
Hueso medular (%)	16,8	21,4	<0,05
Vértebra torácica libre			
Hueso trabecular (%)	10,4	10,2	NS
Tibia			
Densidad radiográfica (mm Al)	1,96	2,26	<0,01
Resistencia a la rotura (kg)	19,5	23,6	<0,05
Húmero			
Densidad radiográfica (mm Al)	0,73	0,78	NS
Resistencia a la rotura (kg)	11,8	12,1	NS
Quilla			
Densidad radiográfica (mm Al)	0,61	0,68	<0,01

2.2.- Cloruro sódico

Algunos estudios han indicado que una concentración elevada de cloruro sódico en el pienso o en el agua podría tener efectos adversos sobre la calidad de la cáscara. La base fisiológica para este efecto sería que el aporte excesivo de cloro podría limitar el suministro de iones bicarbonato en el útero y, como consecuencia, la deposición de calcio en la cáscara (Chen y Balnave, 2001). Sin embargo, se ha observado que algunas estirpes son más resistentes que otras a la presencia de cloruro sódico en el agua y que esta resistencia podría estar relacionada con las concentraciones de sal utilizadas en el pienso durante el proceso de selección (Damron, 1998; Chen y Balnave, 2001; cuadro 3).

Cuadro 3.- Calidad de la cáscara en función de la cantidad de sodio y de la temperatura (Chen y Balnave, 2001).

Tratamiento	Resistencia a la rotura de la cáscara (Newtons)		Peso de la cáscara (%)		Grosor de la cáscara (μ m)	
	40	60	40	60	40	60
	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas	semanas
18°C, control	40,6	37,0	9,53	9,18	391	383
18° C + 2g NaCl/L	39,5	35,3	9,39	9,03	386	378
30° C, control	38,0	33,9	9,05	8,73	379	364
30°C + 2g NaCl/L	36,1	32,9	8,95	8,51	372	360

2.3.- Magnesio

Un exceso de magnesio en la dieta puede tener efectos negativos sobre la absorción y metabolismo de otros minerales. Hess y Britton (1997) observaron que al aumentar la inclusión de magnesio en el pienso de ponedoras desde el 0,15% al 0,91% se producía una disminución de la producción de huevos y, que las concentraciones más elevadas de magnesio, se asociaban a un menor porcentaje de cáscara en el huevo y a una disminución de la concentración de calcio en sangre (cuadro 4). Los autores atribuyen este efecto a que la concentración de magnesio en sangre es tan efectiva como la concentración de calcio en el control de la secreción de hormona paratiroidea.

Cuadro 4.- Efecto de la concentración de magnesio sobre la producción, porcentaje de cáscara y calcio en plasma (Hens y Britton, 1997).

Magnesio (%)	Producción de huevos (%)		Peso cáscara (%)		Calcio en plasma (mg/dL)		Calcio en tibia (mg/g)	
	Sem. 1	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 4	Sem. 1	Sem. 4
0,15	73	71	7,9	8,0	24,4	26,8	190	195
0,36	69	66	8,0	8,0	23,8	26,3	195	190
0,53	67	57	8,3	8,1	24,0	24,8	194	178
0,76	70	56	8,1	7,9	24,9	23,8	188	293
0,91	57	51	7,6	7,3	20,5	19,8	186	289

3.- MODIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA YEMA

Durante los últimos años se ha publicado una gran cantidad de trabajos dedicados a determinar cómo se puede modificar la composición en ácidos grasos de la yema del huevo. La mayoría de estos trabajos se han hecho con ponedoras y con el objetivo de obtener huevos enriquecidos en ácidos grasos w-3. Este aspecto nutricional de la reproducción ya se revisó en gran detalle por Grobas y Mateos (1996) y no es el objetivo de este trabajo. No obstante, algunos investigadores han estudiado los posibles efectos de la adición de grasas y de distintos tipos de éstas en la alimentación de reproductores y en el embrión, también teniendo en cuenta la edad de los reproductores.

Latour et al. (1998) estudiaron el efecto de aceite de maíz, manteca y grasa de aves sobre la composición de la yema de huevo y del embrión en reproductoras de 36, 51 y 64 semanas de edad cuando se iniciaba el tratamiento a las 22 semanas. La concentración de ácidos palmítico y esteárico en yema era superior a las 51 y 64 semanas que a las 36, independientemente de la fuente de grasa utilizada. Además de las diferencias observadas con relación a la edad de la reproductora, estos autores también observaron que la composición del saco vitelino cambiaba durante el período de incubación y era distinta en huevos recién puestos que en el saco vitelino

de los pollitos recién nacidos. En el cuadro 5 se puede observar el efecto que tuvo la modificación de la composición de la ración en ácidos grasos sobre la composición de la yema del huevo y del embrión.

Cuadro 5. Efecto de distintas fuentes de grasa sobre la composición en ácidos grasos del huevo y de los pollitos de un día (Latour et al., 1998).

Edad de las reproductoras (semanas)	Tipo de grasa	Acido oleico (%)		Acido linoleico (%)		Acido araquidónico (%)	
		Huevo	Pollito	Huevo	Pollito	Huevo	Pollito
36	Aceite de maíz	30,30	38,23	12,98	20,10	0,00	2,00
51		38,40	38,50	13,58	15,83	2,20	2,28
64		34,88	31,55	20,30	16,28	3,20	1,58
36	Grasa de aves	32,55	44,05	11,25	14,03	0,00	1,70
51		35,50	35,88	13,63	13,85	2,98	3,13
64		41,88	31,65	20,30	15,85	2,33	5,30
36	Manteca	33,50	42,90	13,10	15,00	0,00	1,95
51		36,80	43,38	13,00	12,83	2,98	2,28
64		30,65	29,98	15,43	17,40	4,83	5,73

Dado que el saco vitelino se consume durante los primeros 5 días de vida del pollito, Peebles et al. (1999) estudiaron la posible influencia del tipo de grasa utilizado en la alimentación de la reproductoras sobre el crecimiento de los pollitos en las primeras fases y concluyeron que el uso de aceite de maíz como fuente de grasa en piensos de reproductores proporcionaba mejores crecimientos en los pollitos de 0 a 21 días que en el caso de utilizar piensos que contenían manteca o grasa de aves.

4.- PROGRAMAS DE ALIMENTACIÓN EN LA FASE DE RECRÍA

El proceso de selección para obtener líneas de crecimiento rápido y con excelentes índices de conversión ha llevado a la obtención de un tipo de animal con tendencia a la obesidad, lo que obliga a restringir la cantidad de alimento suministrada y a retrasar la fotoestimulación para conseguir los objetivos reproductivos deseados (Brake 2001). La clave del éxito del programa de alimentación está tanto en la cantidad de alimento suministrado como en la forma en que se distribuyen los incrementos de pienso durante el período de recría. Bruggeman et al. (1999) observaron que reproductores con alimentación restringida entre 7 y 15 semanas tenían, en el momento de la puesta del primer huevo, un mayor peso relativo de ovario y oviducto que los grupos de reproductores alimentados ad libitum y que la producción de huevos incubables era mayor con este programa de alimentación que con alimentación ad libitum o con mayores

restricciones (cuadro 6). Esta restricción alimenticia provoca una disminución de la producción de las hormonas FSH y LH a las 15 semanas de edad, pero alcanzan concentraciones normales o superiores a los que se consiguen con otros programas de alimentación a las 18 semanas y en el momento de la puesta del primer huevo. De la misma forma, Renema et al. (1999) observaron que la alimentación ad libitum después de la fotoestimulación producía un pico de FSH y LH más elevado frente a programas restringidos, pero la alimentación restringida mantuvo las concentraciones de FSH y LH elevadas durante un período más largo de tiempo. Por el contrario, el pico de estradiol era más elevado con alimentación restringida que con alimentación ad libitum. En el cuadro 7 vemos que las concentraciones medias de estas hormonas durante el período estudiado eran superiores en el grupo alimentado ad libitum, debido a que el proceso de maduración sexual requiere más tiempo con la restricción de alimento.

Cuadro 6.- Efecto de distintos programas de alimentación en la fase de recría sobre los pesos de ovario y oviducto y sobre la producción hasta las 50 semanas (Bruggeman et al., 1999).

	RRR ¹	RRA	RAR	RAA	ARR	ARA	AAR	AAA
Edad al primer huevo, días	179,4	176,9	169,1	154,6	174,4	166,7	171,8	161,2
Peso corporal al primer huevo, g	3393	4290	4487	4633	3177	4288	4656	4710
Peso ovario, g	68,8	66,7	70,4	72,3	56,3	73,5	70,5	62,9
Peso ovario, % del peso corporal	2,03	1,55	1,56	1,56	1,75	1,70	1,52	1,35
Peso oviducto, % del peso corporal	1,69	1,58	1,55	1,21	1,58	1,58	1,35	1,26
No huevos/semana/ave	4,44	4,49	3,54	3,40	4,53	4,75	4,25	3,08
Producción acumulada	108,21	111,03	91,48	94,90	113,64	124,38	108,62	83,07
Producción de huevos incubables	91,15	92,73	69,77	80,39	96,08	103,43	83,32	69,59

¹R= restringido, A= ad libitum. La primera letra corresponde al período de 2 a 6 semanas, la segunda de 7 a 15 y la tercera de 16 a la puesta del primer huevo.

Recientemente se ha venido desarrollando el concepto de que, con los programas de restricción necesarios para conseguir pesos corporales óptimos, hay que garantizar un consumo mínimo de energía y proteína durante la fase de recría para garantizar unos buenos resultados reproductivos. Así Peak y Brake (1994) observaron que se necesita un consumo mínimo de 22.000 kcal de energía metabolizable y 1.220 g de proteína bruta por hembra para garantizar una buena productividad (cuadro 8). Los machos necesitan consumos mayores de nutrientes en la fase de recría para conseguir una buena persistencia de la fertilidad (Brake 2001; cuadro 9).

Cuadro 7.- Concentración media¹ de hormonas en reproductores alimentados ad libitum (AL) o restringidos (R) (Renema et al., 1999).

	Estradiol (pg/mL)	LH (ng/mL)	FSH (ng/mL)
AL	113,4	4,40	3,47
RF	113,3	3,38	2,85

¹Concentración media de hormonas en plasma en muestras tomadas cada 3 días entre el momento de la fotoestimulación y la madurez sexual.

Cuadro 8.- Relación entre consumo acumulado de nutrientes hasta la fotoestimulación y producción de huevos (Peak y Brake, 1994).

Grupo	Acumulado a 20 semanas		Peso vivo a 20 sem. (kg)	No. huevos por hembra alojada (25 a 64 sem)
	EM (kcal/ave)	PB (g/ave)		
1	25.397	1.397	2,06	159,8
2	22.207	1.221	1,86	164,6
3	20.792	1.144	1,98	149,4
4	18.985	1.044	1,87	149,7

Cuadro 9.- Estimación de los consumos mínimos de nutrientes de machos mezclados con las hembras a 2, 4, 6 u 8 semanas de edad (Brake, 2001).

Edad de mezcla con hembras (semanas)	Acumulado a 21 semanas		Peso machos (kg)			Fertilidad acumulada (%)
	EM (kcal/ave)	PB (g/ave)	21 sem	31 sem	60 sem	
2	23.750	1.245	2,77	4,64	5,68	66,9
4	25.125	1.345	3,11	4,75	5,72	68,5
6	27.350	1.500	3,21	4,77	5,95	76,6
8	30.225	1.690	3,66	4,95	5,95	85,2

Además de controlar los consumos totales de nutrientes durante la recría, también es importante determinar cual va a ser la pauta de alimentación y la forma de distribuir los incrementos de pienso. Walsh y Brake (1999) compararon los resultados reproductivos de reproductoras sometidas a incrementos de pienso constantes (lineal), incrementos mayores a mayor edad (programa cóncavo) e incrementos mayores en las primeras fases de recría (programa convexo) y observaron que la mejor fertilidad se obtuvo con el programa lineal, con un consumo de 1150 g de proteína bruta a las 20 semanas de edad, mientras que el programa denominado convexo, a pesar de consumir más proteína por ave, tenía peor fertilidad que el programa lineal (cuadro 10).

Cuadro 10.- Producción de reproductoras en función del programa de alimentación durante la recría (Walsh y Brake, 1999).

Programa	Acumulado a 20 semanas		Peso corporal a 24 sem. (g)	Peso oviducto (g)	Fertilidad (%)
	(Kcal EM)	(g PB)			
Cóncavo	23.193	1.145	2.477	7,7	86,1
Lineal	24.095	1.192	2.345	8,8	95,5
Convexo	25.442	1.255	2.152	6,0	91,6
Muy cóncavo	22.639	1.120	2.509	9,7	88,1

5.- RESUMEN

Los resultados reproductivos en las aves dependen en gran medida de los programas de alimentación utilizados tanto en la fase de cría y recría como en la de puesta. Estos resultados no dependen sólo de la composición adecuada de la dieta, sino también de un adecuado manejo de la alimentación. En este artículo hemos revisado sólo algunos de los factores nutricionales que afectan a la calidad del huevo, tanto para consumo como para incubación. Hay otros muchos factores nutricionales a considerar para conseguir resultados productivos óptimos en reproducción y que requerirían un tratamiento mucho más extenso de la interacción entre alimentación y reproducción.

6.- REFERENCIAS

- ARIAS, J.L., FERNANDEZ, M.S., DENNIS, J.E. y CAPLAN, A.I. (1991) *Connect. Tissue Res.* 26: 37-45.
- ARIAS, J.L., NAKAMURA, O., FERNANDEZ, M.S., WU, J.J., KNIGGE, P., EYRE, D.R. y CAPLAN, A.I. (1997) *Connect. Tissue Res.* 36: 21-23.
- BRAKE, J.T. (2001) *The World's Poultry Science Association (Thailand Branch)*.
- BRUGGEMAN, V., ONAGBESAN, O., D'HONT, E., BUYS, N., SAFI, M., VANMONTFORT, D., BERGHMAN, L., VANDESANDE, F. y DECUYPERE, E (1999) *Poultry Sci.* 78: 1424-1434.
- CARNARIUS, K.M., CONRAD, K.M., MAST, M.G. y MACNEIL, J.H. (1996) *Poultry Sci.* 75: 656-663.
- DAMRON, B.L. (1998) *Poultry Science* 77: 1488-1491.
- CHEN, J. y BALNAVE, D. (2001) *Poultry Sci.* 80: 91-94.
- DAMRON, B.L. (1998) *Poultry Sci.* 77: 1488-1491.
- FLEMING, R.H., McCORMACK, H.A y WHITEHEAD, C.C. (1998) *Br. Poultry Sci.* 39: 434-440.
- FLORES, A. (1994) *X Curso de Especialización FEDNA. Nuevos Sistemas de Valoración de Alimentos para Especies Domésticas*: 29-60.
- GROBAS, S. y MATEOS, G.G. (1996) *XII Curso de Especialización FEDNA. Avances en Nutrición y Alimentación Animal*: 219-241.
- HESS, J.B. y BRITTON, W.M. (1997) *Poultry Sci.* 76: 703-710.
- KESHAVARZ, K. (1998) *Poultry Sci.* 77: 1333-1346.
- LATOURE, M.A., PEEBLES, E.D., DOYLE, S.M., PANSKY, T., SMITH, T.W., y BOYLE, C.R. (1998) *Poultry Sci.* 77: 47-53.
- LAVELIN, I., MEIRI, N. Y PINES, M. (2000) *Poultry Sci.* 79: 1014-1017.

- MATEOS, G.G y PIQUER, F.J. (1994) *X Curso de Especialización FEDNA. Nuevos Sistemas de Valoración de Alimentos para Especies Domésticas*: 63-85.
- PEEBLES, E.D., DOYLE, S.M., PANSKY, T., GERARD, P.D., LATOUR, M.A., BOYLE, C.R. y SMITH, T.W. (1999) *Poultry Sci.* 78: 505-511.
- RENEMA, R.A., ROBINSON, F.E., PROUDMAN, J.A., NEWCOMBE, M. y McKAY (1999) *Poultry Sci.* 78: 629-639.
- WALSH, T.J. y BRAKE, J. (1999) *Poultry Sci.* 78: 827-832.
- WHITEHEAD, C.C. y FLEMING, R.H. (2000) *Poultry Sci.* 79: 1033-1041.
- ZHANG, B. y COON, C.N. (1997) *Poultry Sci.* 76: 1702-1706.
- ZHANG, B. y COON, C.N. (1992) *Nutrition Institute on Minerals. Chapter 7. Practical Applications. Natural Feed Ingredient Association, Chicago, IL.*