

## **CAPÍTULO II**

### **CALIDAD SENSORIAL DE HUEVOS Y CARNE DE AVES ENRIQUECIDOS EN ACIDOS GRASOS OMEGA-3 Y ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO**

Carlos de Blas Beorlegui<sup>1</sup>, César Álvarez Carro<sup>2</sup>, Pilar Cachaldora<sup>2</sup>,  
Paloma García Rebollar<sup>1</sup> y Jesús Méndez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup>COREN SCL.



## CALIDAD SENSORIAL DE HUEVOS Y CARNE DE AVES ENRIQUECIDOS EN ACIDOS GRASOS OMEGA-3 Y ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO

Carlos de Blas Beorlegui<sup>1</sup>, César Álvarez Carro<sup>2</sup>, Pilar Cachaldora<sup>2</sup>,  
Paloma García Rebollar<sup>1</sup> y Jesús Méndez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup>COREN SCL.

### 1.- INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos  $\omega$ -3 de cadena larga se encuentran entre los nutrientes que se consideran más favorables desde el punto de vista de la salud humana, ya que han demostrado su eficacia en la prevención de problemas cardiovasculares (efecto antiaterogénico y antitrombótico), en la reducción del crecimiento de tumores de distintos tipos, así como por sus efectos antiinflamatorios y en el desarrollo del cerebro y de las funciones mentales (Sanders, 1993; Griffin y Zampelas, 1995; Belch y Muir, 1998; Calder, 1998; Broadhurst et al., 1998; Wainwright, 2002; Calder, 2004). Dada la incapacidad de síntesis de dobles enlaces en la posición 3 de los ácidos grasos, los animales superiores dependen del suministro en la dieta de ácidos grasos de la misma serie. Por ello, la British Nutrition Foundation (1992) recomienda un consumo mínimo de 1,5 g diarios de ácido eicosapentanoico (C<sub>20:5</sub>  $\omega$ -3; EPA) o de ácido docosahexanoico (C<sub>22:6</sub>  $\omega$ -3; DHA). Más recientemente Simopoulos et al. (1999) han establecido que un consumo mínimo de 2,22 g/d de ácido  $\alpha$ -linolénico (C<sub>18:3</sub>  $\omega$ -3) y de 0,65 g/d de (EPA + DHA) es adecuado para personas adultas. Las necesidades relativas serían superiores en lactantes y ancianos (Noble, 1998). Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la síntesis de los ácidos grasos  $\omega$ -3 más activos metabólicamente (EPA y DHA) a partir de sus precursores (principalmente C<sub>18:3</sub>  $\omega$ -3) es antagónica con la de los ácidos grasos de la serie  $\omega$ -6 (Simopoulos, 2000) debido a la competencia por las enzimas responsables de la elongación y desaturación de estos ácidos grasos (Grobas et al., 2001). Los cambios producidos en la dieta humana en los últimos años tienden a incrementar la ingestión de ácido linoleico (C<sub>18:2</sub>  $\omega$ -6) presente en

altas concentraciones en muchos aceites vegetales (maíz, girasol, soja). Como consecuencia, se recomienda adicionalmente una relación óptima (máxima) de ácidos grasos  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 de 6 a 1 (British Nutrition Foundation, 1992). Dada la dificultad práctica de alcanzar los niveles recomendados con las dietas medias actuales, se han desarrollado en los últimos años sistemas para obtener productos (huevos, carne y leche) artificialmente enriquecidos en ácidos grasos  $\omega$ -3.

Recientemente se ha producido un creciente interés por el ácido linoleico conjugado (CLA), una mezcla de isómeros (principalmente cis-9, trans-11 y trans-10, cis-12) del ácido linoleico (cis-9, cis-12 octadecadienoico). A partir de su purificación y síntesis se demostró su eficacia en la supresión de distintos tumores (estómago, próstata, colon, mama) en distintos modelos animales, a concentraciones en la dieta tan bajas como 0,05% (Parodi, 1999; Williams, 2000; Watkins et al., 2000; Pariza et al., 2001; Belury, 2002; Azain, 2003). Como consecuencia, en los últimos años se han realizado numerosos trabajos con el objetivo de enriquecer diferentes productos animales en CLA (De Blas, 2004; López Bote et al., 2004).

La calidad sensorial es uno de los componentes más destacados de la percepción de calidad en los consumidores europeos de huevos y carne de aves (Hernández, 2005). Las modificaciones en la alimentación animal para la obtención de productos enriquecidos en nutrientes para la nutrición humana implican cambios significativos en su composición química y propiedades físicas. Estos cambios pueden alterar sus propiedades organolépticas (aroma, sabor, flavor) y, por tanto, su aceptabilidad por los consumidores. Así, desde hace tiempo se conoce que la suplementación con aceite de pescado o con otras fuentes de ácidos grasos  $\omega$ -3, como el aceite de lino, perjudica la calidad sensorial del huevo y de la carne de aves (Van Elswyck, 1997, Noble, 1998; González-Esquerra y Leeson, 2000a; 2001; Surai y Sparks, 2001). Más recientemente, diferentes trabajos (Álvarez et al., 2004b, 2005; Cachaldora et al., 2005a) han observado problemas similares en huevos enriquecidos en ácido linoleico conjugado, agravados en este caso por venir acompañados por un incremento paralelo de la firmeza del huevo cocido.

El objetivo de esta presentación es revisar las diferentes hipótesis formuladas para explicar esta disminución de calidad sensorial y tratar de relacionarla con los cambios en el tipo de dieta y en la composición de los productos obtenidos.

## **2.- EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DEL PIENSO CON ÁCIDOS GRASOS $\omega$ -3**

El efecto negativo sobre la calidad sensorial en los productos animales de la adición al pienso de ácidos grasos  $\omega$ -3 depende de la dosis utilizada que, a su vez, está directamente relacionada con la cantidad retenida en las producciones (ver cuadro 1 y

figura 1). La percepción de sabores inadecuados (sabor a ‘pescado’ del huevo y de la carne) varía de unos países a otros (Surai y Sparks, 2001) pero, en general, se obtienen diferencias significativas con respecto al grupo control para niveles de suplementación del pienso por encima de alrededor de un 1,5% de aceite de pescado o de linaza.

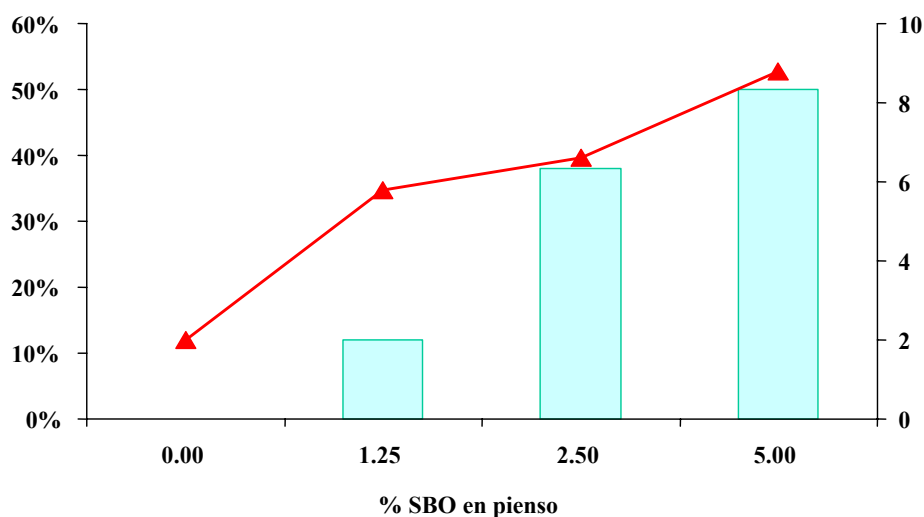
**Cuadro 1.- Efecto del nivel de suplementación con aceite de pescado (menhadden) sobre la calidad sensorial de huevos revueltos (Van Elswyck et al., 1995)**

Aceite pescado (%)	Aroma pescado <sup>1</sup>	Sabor pescado <sup>1</sup>	Calidad global <sup>2</sup>
0	0,4 <sup>b</sup>	0,3 <sup>c</sup>	7,6 <sup>a</sup>
0,5	0,4 <sup>b</sup>	0,6 <sup>b,c</sup>	7,4 <sup>a</sup>
1,5	0,8 <sup>a,b</sup>	0,9 <sup>a,b</sup>	7,0 <sup>a</sup>
3,0	1,0 <sup>a</sup>	1,2 <sup>a</sup>	6,3 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>escala evaluación: 0 (no presente) - 3 (fuerte)

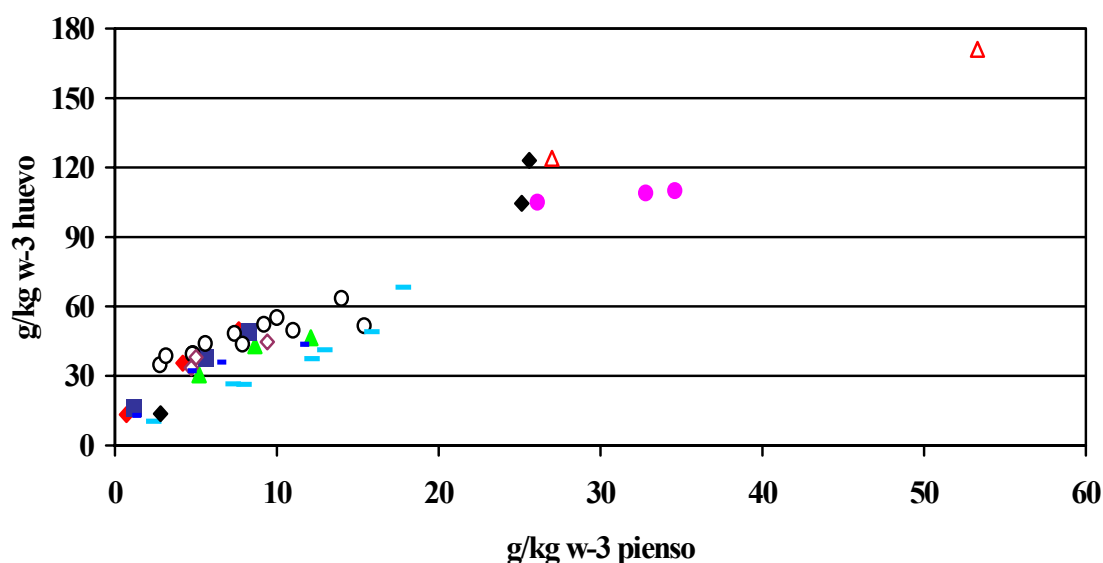
<sup>2</sup>escala evaluación: 0 (inaceptable) – 5 (aceptable) – 10 (muy buena).

**Figura 1.- Efecto del nivel de aceite de foca en el pienso (SBO, %) sobre la retención de AG  $\omega$ -3 de cadena larga ( $\blacktriangle$ , mg/g de yema) y la calidad sensorial del huevo (Schreiner et al., 2004). (en barras, en porcentaje de panelistas que encontraron diferencia con huevos comerciales)**



La relación entre la concentración de ácidos grasos  $\omega$ -3 en el huevo ( $Y\omega$ -3, g/kg ácidos grasos totales) y en la dieta ( $D\omega$ -3, g/kg pienso) según diferentes autores (González Esquerra y Leeson, 2000; Grobas et al., 2001; Galobart et al., 2001a,b; Schreiner et al., 2004; Cachaldora et al., 2005a,b y datos no publicados) se muestra en la figura 2.

**Figura 2.- Efecto de la inclusión de cantidades crecientes de ácidos grasos  $\omega$ -3 en el pienso (g/kg) sobre la retención de ácidos grasos  $\omega$ -3 (g/kg AG totales) en la yema del huevo.**



Como puede apreciarse, la suplementación del pienso aumentó linealmente el contenido en ácidos grasos  $\omega$ -3 en la grasa de la yema:

$$Y_{\omega-3} = 23,1 (\pm 1,96) + 2,67 (\pm 0,15) D_{\omega-3};$$

$$R^2 = 0,92; n = 43; P < 0,001.$$

, aunque el incremento fue proporcionalmente inferior en el huevo que en el pienso (x 13 vs x 75 entre extremos). Como consecuencia, la eficacia de retención ( $K_{\omega-3}$ , g de ácidos grasos  $\omega$ -3 retenidos en el huevo/g ácidos grasos  $\omega$ -3 aportados en el pienso), disminuyó exponencialmente con el nivel de suplementación ( $D_{\omega-3}$ , g/kg pienso) en aquellos trabajos donde esta eficacia fue estudiada (Cachaldora et al., 2005a,b y datos no publicados):

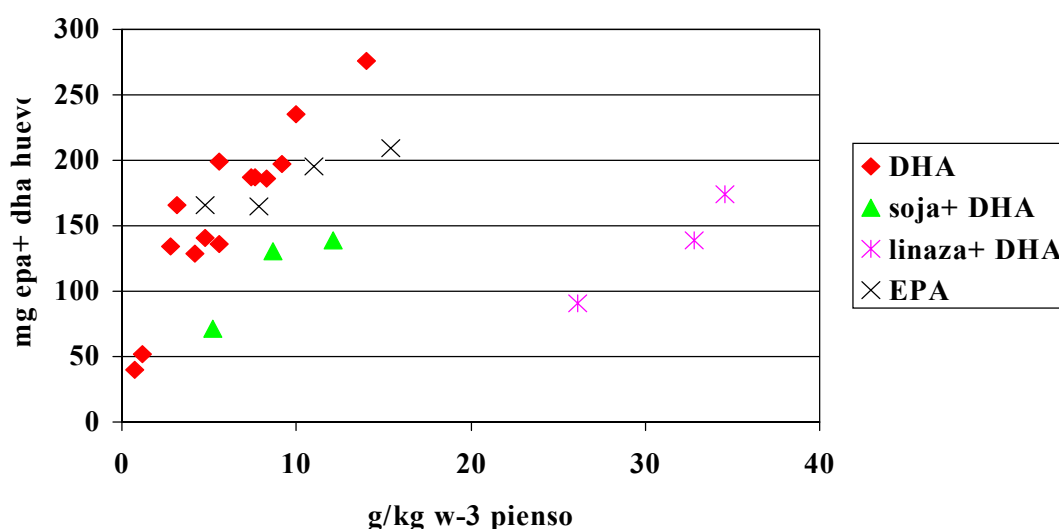
$$K_{\omega-3} \text{ (g/g)} = 0,134 (\pm 0,016) + 0,615 (\pm 0,043) e^{-0,283 (\pm 0,033) D_{\omega-3}}$$

$$R^2 = 0,98; n = 27; P < 0,001.$$

Los resultados se encuentran representados en la figura 3, donde, como puede observarse la eficacia se reduce desde valores de 0,4-0,7 g/g en dietas no suplementadas hasta valores que tienden a 0,1 cuando los niveles de suplementación son muy elevados (> 10 g ácidos grasos  $\omega$ -3/kg pienso). El efecto resultó, además, ser independiente de la fuente de ácidos grasos  $\omega$ -3 utilizada en los diferentes trabajos (ácido linolénico, EPA ó DHA, aportados por aceites de soja y de linaza, algas marinas o distintos tipos de aceite de pescado).



**Figura 4.- Efecto de la adición al pienso de distintas fuentes de AG  $\omega$ -3 sobre el contenido total de EPA y DHA en el huevo (mg/huevo 60 g).**



Desde este último punto de vista debe tenerse en cuenta que la composición en ácidos grasos  $\omega$ -3 de los distintos aceites de pescado (las fuentes comercialmente más utilizadas) es bastante variable (ver cuadro 2), de forma que la proporción de EPA a DHA puede oscilar desde alrededor de 2:1 en la anchoveta hasta 1:3 en los túnidos. Resultados propios (no publicados) sugieren que, a igualdad de nivel de suplementación de la dieta, los aceites con mayor concentración de EPA con respecto a DHA darían lugar a una peor calidad sensorial de los huevos enriquecidos.

**Cuadro 2.- Composición en AG  $\omega$ -3 de distintos tipos de aceites de pescado (Opstvedt 1985, INRA 2002, FEDNA 2003 y datos propios).**

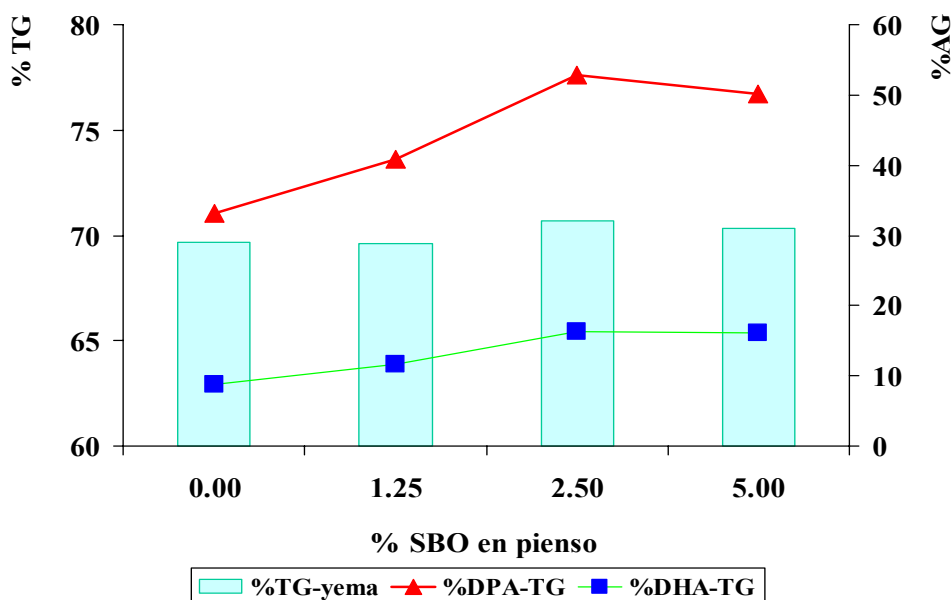
Tipo de pescado	EPA	DHA	Total $\omega$ -3
Arenque	70	70	250
Anchoveta	180	85	350
Túnidos	80	220	320
Sardina	170	220	440

El principal sabor extraño detectado por los panelistas es el sabor a pescado del huevo o de la carne de pollo en aves alimentadas con piensos suplementados en AG  $\omega$ -3. Una explicación de este efecto podría estar en una mayor susceptibilidad a la oxidación de la grasa de los productos enriquecidos. Aunque la yema de huevo se considera de forma general un medio particularmente estable frente a la oxidación de los lípidos (Ahn et al., 1995; Cherian et al., 1996), la situación varía en el caso de carne y huevos enriquecidos en ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, que son fácilmente enranciables.



De acuerdo con Schreiner et al. (2004), la proporción entre triglicéridos (TG) y fosfolípidos (FL) en la yema de huevos de gallinas suplementadas es estable, pero la distribución de los AG  $\omega$ -3 de cadena larga (especialmente C<sub>22:5 $\omega$ 3</sub>-DPA y C<sub>22:6 $\omega$ 3</sub>-DHA) varía con su nivel de inclusión en el pienso. Como puede apreciarse en la figura 5, la suplementación aumenta la proporción de EPA y DHA que se encuentra retenida en TG (disminuyendo paralelamente la retenida en FL). Estos cambios podrían contribuir a explicar la caída de la calidad sensorial por encima del nivel umbral, si se acepta que los lípidos estructurales resultan más estables frente a la oxidación que los de reserva.

**Figura 5.- Efecto del nivel de aceite de foca en el pienso (SBO, %) sobre la proporción de triglicéridos (%TG) y la distribución de AG  $\omega$ -3 de cadena larga (DPA y DHA) en los TG de la yema (Según Schreiner et al., 2004).**



Una elevada correlación entre valoración sensorial y nivel de oxidación o enranciamiento de los lípidos (estimada por su valor TBA) ha sido observada por varios autores (O'Neill et al., 1998; Bou et al., 2001; Surai y Sparks, 2001; González-Esquerria y Leeson, 2001). Si se acepta esta relación, podría resultar de interés el enriquecimiento adicional de los productos animales con sustancias antioxidantes. En este sentido, la incorporación de vitamina E al pienso ha demostrado ser útil para incrementar la concentración de vitamina E en la yema y corregir la disminución en la estabilidad oxidativa de huevos enriquecidos en ácidos grasos  $\omega$ -3 (Ahn et al., 1995; Cherian et al., 1996; Galobart et al., 2001 a,b; Grobas et al., 2002 y 2005; ver cuadro 3), así como la pérdida de flavor en carne de pollos y pavos (Crawford et al., 1975; De Winne y Dirinck, 1996; Sheldon et al., 1997; Morrisey et al., 1997; Bou et al., 2001 y 2004; ver cuadro 4). Sin embargo, esta alternativa es costosa y no siempre se obtienen resultados positivos. Así, la adición al pienso de niveles altos (100 mg/kg) de vitamina E (Leeson et al., 1998) no permitió mejorar la peor aceptabilidad de huevos procedentes de gallinas suplementadas con una

proporción elevada (> 10%) de semilla de lino, lo que los autores achacan a que un exceso de vitamina E puede resultar en una acción pro-oxidante.

**Cuadro 3.- Efecto de la suplementación con vitamina E y aceite de lino (LO) o de pescado (FO) sobre la concentración de TBA (mg malonaldehído/kg) en la yema de huevos a distintos tiempos de almacenamiento (Grobas et al., 2005).**

Tiempo almacenamiento (días)	Dosis vitamina E (UI/kg)	Control	LO	FO
7	20	0,253	0,527	0,557
7	100	0,320	0,384	0,387
30	20	0,343	0,543	0,509
30	100	0,294	0,438	0,441

**Cuadro 4.- Efecto de la suplementación con aceite de pescado (FO) y vitamina E (VITE) sobre la composición en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y el flavor en carne de pavo (Crawford et al., 1975).**

	Sebo (40 g/kg)	+ 20 g FO/kg	+ 20 g FO/kg + 100 mg VIT E/kg	+ 20 g FO/kg + 200 mg VIT E/kg
AGPI				
18:2 $\omega$ -6 (LNL)	23,7	16,1	15,8	17,1
20:4 $\omega$ -6 (ARA)	8,2	6,4	5,5	5,8
20:5 $\omega$ -3 (EPA)	0,6	4,3	4,4	4,4
22:5 $\omega$ -3 (DPA)	1,2	1,6	1,6	1,6
22:6 $\omega$ -3 (DHA)	1,4	15,2	15,0	14,4
FLAVOR <sup>1</sup>	2,0	3,7	3,2	2,0

<sup>1</sup>escala valoración panel catadores flavor a pescado: 1 (no presente) - 5 (fuerte)

Otros trabajos (Herber-McNeill y Van Elswyck; 1996, 1998) han estudiado la obtención de huevos enriquecidos en ácidos grasos  $\omega$ -3 a partir del uso de algas marinas ricas en DHA (20% de la grasa total y 100% de los ácidos grasos  $\omega$ -3). Sus trabajos indican que el uso de niveles de un 4,6% de esta fuente en el pienso permite obtener huevos con hasta 215 mg de ácidos grasos  $\omega$ -3 manteniendo un flavor aceptable. Este resultado podría explicarse por las propiedades antioxidantes de los carotenoides naturales presentes en las algas en concentraciones significativas, pero también por cambios en el tipo de ácidos grasos  $\omega$ -3 depositados en la yema, ya que la concentración de DHA resulta ser en este caso superior a los valores obtenidos a partir del uso de aceites de pescado.

Finalmente, otra hipótesis para explicar la peor calidad sensorial de los productos animales enriquecidos en AG  $\omega$ -3 sería la presencia de restos de compuestos volátiles. Sin embargo, el suministro de un aceite de pescado desodorizado, en el que se habían eliminado la mayoría de los compuestos volátiles, no mejoró la peor aceptación de huevos procedentes de gallinas que recibían piensos suplementados con un 2% de aceite (González-Esquerra y Leeson, 2000b; ver cuadro 5). El uso de niveles superiores al 2% (4 ó 6%) de aceite de pescado dio lugar en este trabajo a la obtención de huevos inaceptables para el consumo cualquiera que fuese el tipo de aceite utilizado.

**Cuadro 5.- Efecto de la desodorización del aceite de pescado (menhadden) sobre la calidad sensorial de huevos cocidos (González-Esquerra y Leeson, 2000b).**

% Ac. Pescado	Tipo aceite	Total AG $\omega$ -3 (mg/huevo-50 g)	Aroma <sup>1</sup>	Sabor <sup>1</sup>	Aceptabilidad <sup>1</sup>
0	-	53 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>
2	Normal	131 <sup>b</sup>	9,1 <sup>b</sup>	7,5 <sup>b</sup>	7,8 <sup>b</sup>
2	Desodorizado	134 <sup>b</sup>	8,9 <sup>b</sup>	7,5 <sup>b</sup>	7,4 <sup>b</sup>
4	Normal	207 <sup>c</sup>	-	-	-
4	Desodorizado	188 <sup>c</sup>	-	-	-
6	Normal	343 <sup>d</sup>	-	-	-
6	Desodorizado	246 <sup>d</sup>	-	-	-

<sup>1</sup>escala evaluación panel de catadores: 0 – 15

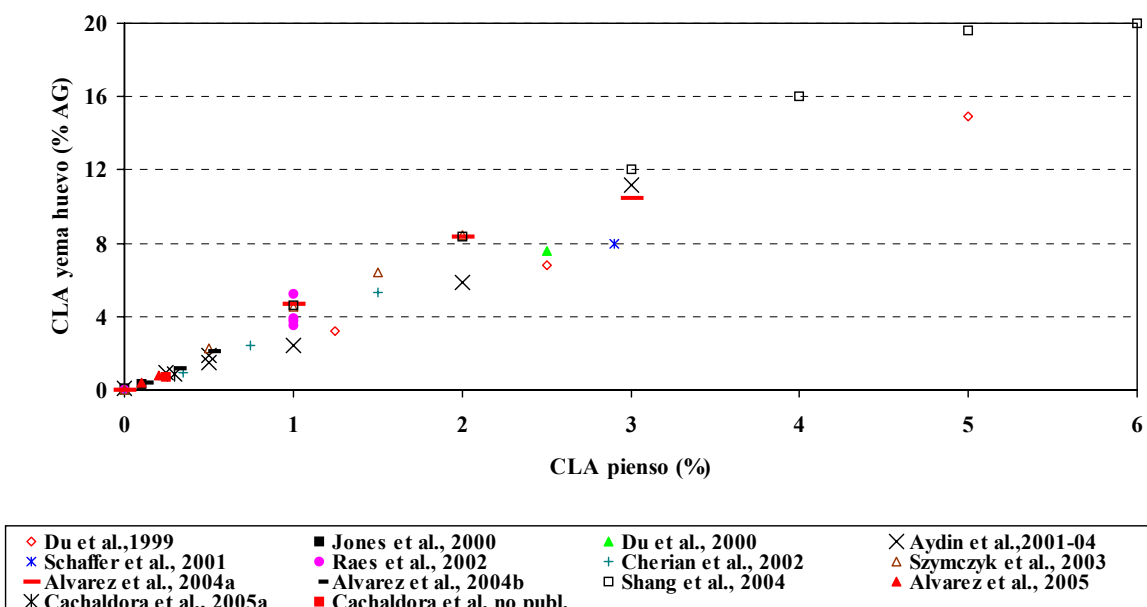
### 3.- EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DEL PIENSO CON ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO

Varios trabajos recientes han demostrado que la concentración de ácido linoleico conjugado (CLA) tanto en el huevo (figura 6) como en la carne de aves aumenta linealmente en función de los aportes de CLA en el pienso. De esta forma, es posible conseguir pechugas con hasta 70 mg CLA/100 g (Sirri et al., 2003) y huevos que aportan entre 130 y 350 mg de CLA, con hasta un 20% de CLA sobre su contenido en grasa total. La eficacia de deposición es elevada (alrededor de un 18%), pero puede disminuir hasta un 12% con niveles altos de suplementación del pienso con otras fuentes de grasa (Álvarez et al., 2005; Cachaldora et al., 2005a).

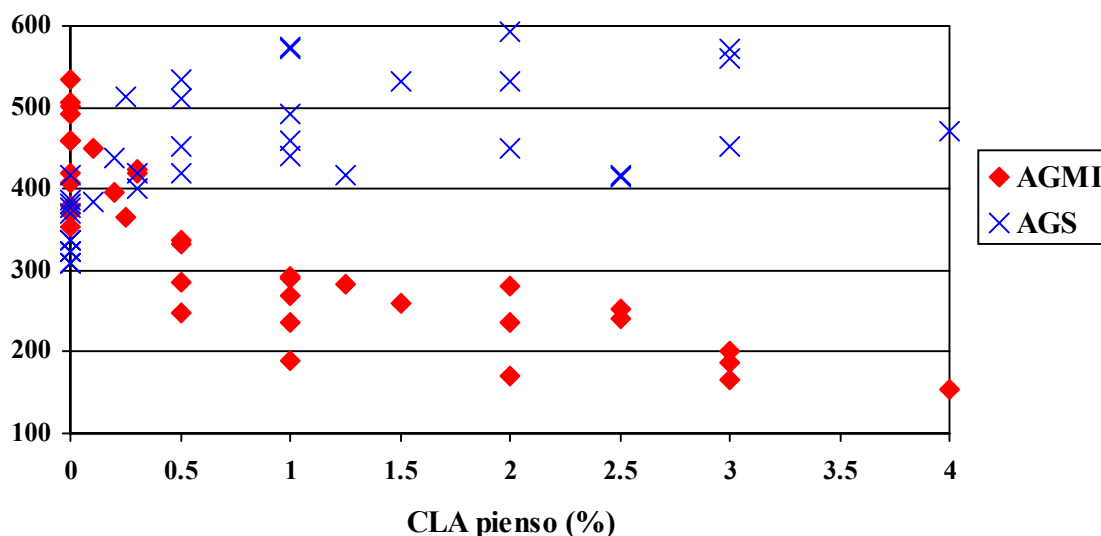
La incorporación de CLA también implica un cambio en la concentración en otros ácidos grasos. En general se observa un aumento de la proporción de ácidos grasos saturados y una disminución de la de monoinsaturados (hasta valores por debajo de 200 g/kg ácidos grasos totales de la yema, tanto en pollos (Sirri et al., 2003) como en huevos; figura 7), cambios que no resultan deseables desde un punto de vista del valor nutritivo de

estos productos para el consumo humano. Estos resultados pueden explicarse por una disminución de la actividad de la enzima  $\Delta$ -9 desaturasa, puesto que esta enzima es necesaria para la conversión de los ácidos palmítico y esteárico en los ácidos palmitoleico y oleico, respectivamente.

**Figura 6.- Efecto de la suplementación del pienso con ácido linoleico conjugado (CLA) sobre su retención en la yema de huevo.**

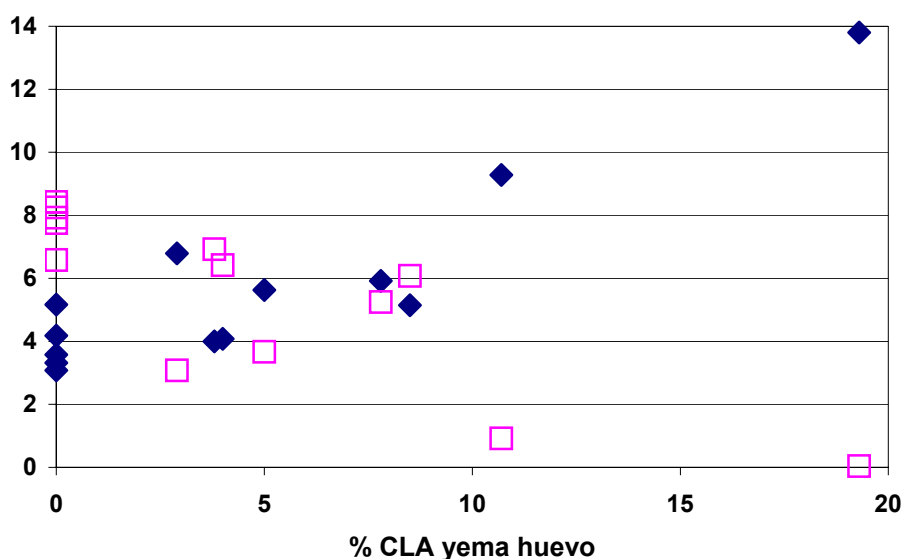


**Figura 7.- Efecto de la suplementación del pienso con ácido linoleico conjugado (CLA) sobre la concentración (g/kg AG totales) de AG saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) en la yema de huevo ( Du et al., 1999; Chamruspollert y Sell, 1999; Aydin et al., 2001; Raes et al., 2002; Szymczyk y Pisulewski, 2003; Alvarez et al., 2004a,b y 2005; Aydin y Cook, 2004; Shang et al., 2004; Cachaldora et al., 2005a).**



La adición de CLA al pienso tiene también efectos sobre algunos parámetros ligados a la calidad comercial del huevo. Así, la suplementación con CLA ha sido relacionada con una alteración de la textura de la yema (a gomosa y elástica) y con una mayor firmeza del huevo cocido (Ahn et al., 1999; Aydın et al., 2001). Resultados similares han sido obtenidos en nuestro laboratorio, donde también se observó una disminución simultánea de la aceptabilidad de los huevos por el panel de calidad sensorial (ver figura 8). Por otra parte, estos cambios fueron paralelos a un aumento en el contenido en agua y el pH de la yema, a una disminución del pH del albumen y estuvieron relacionados con el movimiento de iones a través de la membrana de la yema, especialmente después de tiempos largos de almacenamiento. Estos efectos han sido explicados por la incorporación del CLA a los fosfolípidos de la membrana, aumentando su permeabilidad (Du et al., 1999; 2000).

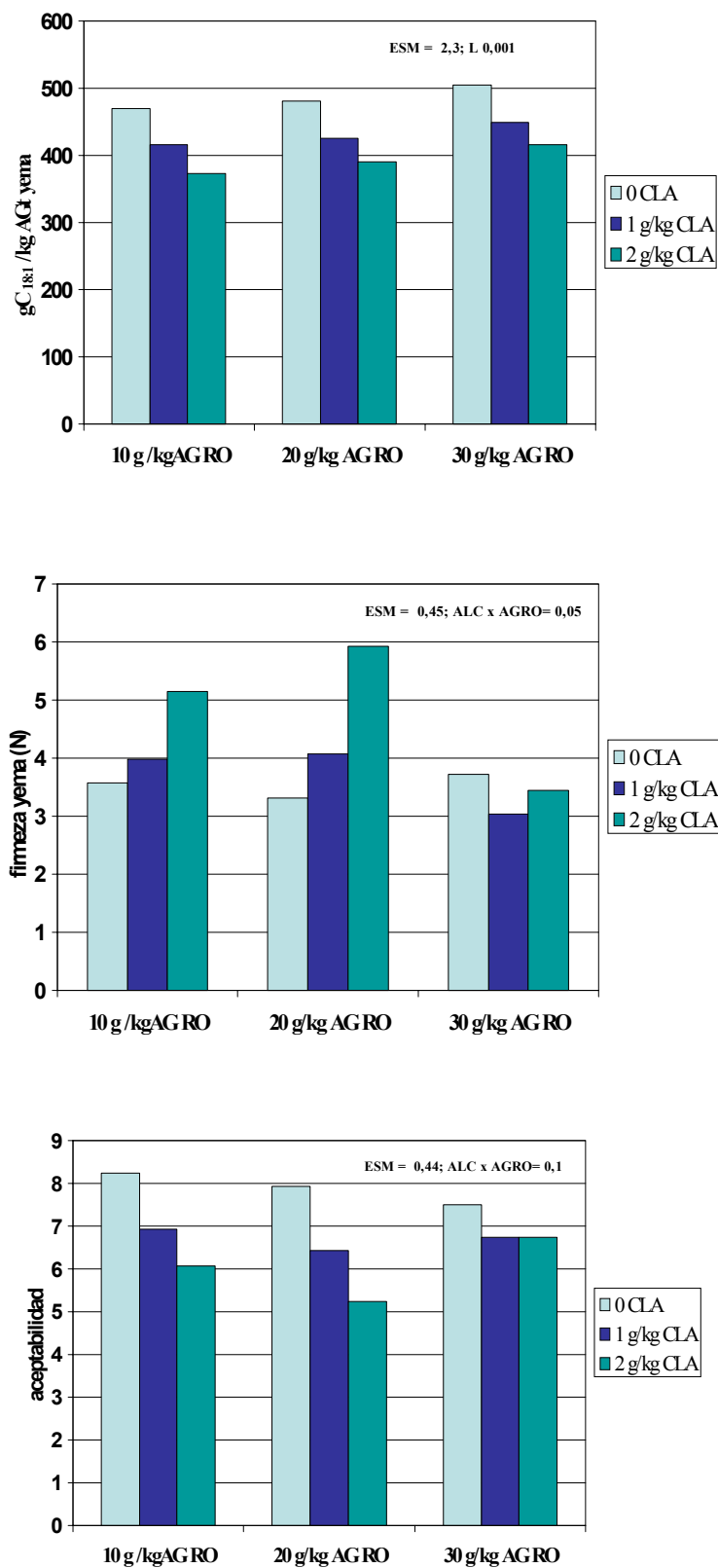
**Figura 8.- Efecto de la concentración en ácido linoleico conjugado (CLA) sobre la firmeza de la yema (♦) y la aceptabilidad (□) del huevo cocido (Álvarez et al., 2004b, 2005; Cachaldora et al., 2005a y datos no publicados).**



Análogamente, la adición de un 2 ó un 3% de CLA al pienso de pollos supone un descenso del contenido en grasa de la canal (desde un 14,2% en el control hasta un 12,2%) y la obtención de una carne más dura y de color más oscuro (Du y Ahn, 2002).

Por otra parte, otros estudios han demostrado que la inclusión combinada en el pienso de ácido oleico junto con el ácido linoleico conjugado permite corregir la disminución de su concentración en la yema (Aydın et al., 2001; Du et al., 2001; Alvarez et al., 2005) y parte de los efectos negativos del CLA sobre la firmeza de la yema y las propiedades sensoriales del huevo (Álvarez et al., 2005; figura 9). De esta forma ha sido posible obtener huevos aceptables para los consumidores con una concentración apreciable de CLA (hasta 9 g/kg de grasa de la yema; Cachaldora et al., 2005a).

Figura 9.- Efecto de la suplementación conjunta con aceite de girasol rico en oleico (AG RO) y CLA sobre la concentración de ácido oleico, la firmeza de la yema y la aceptabilidad del huevo cocido (Álvarez et al., 2005) .



En base a la información obtenida hasta la actualidad (Du et al., 1999; Du et al., 2000; Jones et al., 2000; Schafer et al., 2001; Aydin et al., 2001; Raes et al., 2002; Cherian et al., 2002; Szymczyck and Pisulewski, 2003; Alvarez et al., 2004a,b; 2005), se ha desarrollado un modelo de predicción que permite estimar en un primer paso la concentración total de CLA en la grasa de la yema ( $y_{CLA}$ , g/kg) a partir de características del pienso tales como la suplementación con CLA y con otras fuentes de grasa de la dieta ( $d_{CLA}$  y SFAT, respectivamente, g/kg):

$$y_{CLA} = 3,67 (\pm 1,98) + 4,12 (\pm 0,25) d_{CLA} - 0,025 (\pm 0,0060) d_{CLA}^2 - 0,167 (\pm 0,045) SFAT; n = 36; R^2 = 0,97; RSD = 6,14; P < 0,001.$$

En un segundo paso puede estimarse con una precisión igualmente elevada la concentración en ácido oleico en la grasa de la yema ( $y_{C_{18:1}}$ , g/kg) a partir de la suplementación de la dieta con CLA y aceite de girasol rico en oleico (AGRO, g/kg):

$$y_{C_{18:1}} = 464 (\pm 2,75) + 0,0461 (\pm 0,0037) AGRO^2 - 65,1 d_{CLA} (\pm 5,49) + 9,60 (\pm 2,67) d_{CLA}^2; n = 14; R^2 = 0,964; RSD = 8,14; P < 0,001.$$

Por último se ha realizado un análisis de regresión paso a paso para predecir la firmeza (F, newtons) a partir del contenido de la grasa (g/kg) de la yema en CLA ( $y_{CLA}$ ) y ácido oleico ( $y_{C_{18:1}}$ ).

La ecuación obtenida fue:

$$F = 19,2 (\pm 2,52) + 0,020 (\pm 0,0031) y_{CLA}^2 - 0,032 (\pm 0,0054) y_{C_{18:1}} - 0,0000026 (\pm 0,00000063) y_{CLA} X y_{C_{18:1}}^2; n = 14; R^2 = 0,96; RSD = 0,69; P < 0,001.$$

De esta ecuación puede deducirse que la suplementación del pienso con CLA tiene un doble efecto negativo sobre la firmeza de los huevos al aumentar el contenido de  $y_{CLA}$  y disminuir simultáneamente el de  $y_{C_{18:1}}$ . También indica la existencia de una interacción entre ambas variables independientes, puesto que el aumento en la firmeza con el contenido en CLA de la yema fue menor cuando el contenido de la yema en ácido oleico fue superior.

Este modelo puede utilizarse para diseñar piensos con una combinación adecuada de fuentes de grasa que permita conseguir huevos enriquecidos en CLA con niveles adecuados de firmeza.

#### 4.- EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DEL PIENSO CON ÁCIDOS GRASOS $\omega$ -3 Y ÁCIDO LINOLEICO CONJUGADO

Diferentes trabajos (Du et al., 2000; Cherian et al., 2002; Raes et al., 2002; Álvarez et al., 2004b; Cachaldora et al., 2005a y datos no publicados) han observado que la adición de CLA a piensos suplementados con aceite de pescado o semilla de lino no reduce, o incluso incrementa, la retención de ácidos grasos  $\omega$ -3 en la grasa de la yema. Este efecto podría explicarse por un uso preferencial de desaturasas y elongasas para el metabolismo de los ácidos grasos de cadena larga de la serie  $\omega$ -3 con respecto a la serie  $\omega$ -6 cuando se aporta CLA en el pienso (Alvarez et al., 2004b; Cachaldora et al., 2005a).

En función de los resultados presentados en apartados anteriores, la adición conjunta al pienso de CLA y ácidos grasos  $\omega$ -3 podría además tener efectos sinérgicos, dado que el CLA posee actividad antioxidante (Ha et al., 1990) y contribuye a reducir el grado de oxidación de los lípidos durante el almacenamiento de la carne de pollo (Du et al., 2000b y 2002). Por la misma razón, la incorporación de CLA podría ayudar a disminuir los problemas sensoriales derivados de la menor estabilidad oxidativa de los huevos enriquecidos en ácidos grasos  $\omega$ -3. Por otra parte, la suplementación del pienso con ácidos grasos poliinsaturados podría reducir los problemas de excesiva firmeza de la yema de huevos cocidos enriquecidos con CLA.

Sin embargo, los resultados que se presentan en el cuadro 6 indican que la adición de aceite de pescado (rico en DHA) a piensos ya suplementados con CLA y 30 g/kg de aceite de girasol rico en oleico implica un empeoramiento aditivo de diferentes parámetros relacionados con la calidad sensorial del huevo. La adición al pienso de ácidos grasos  $\omega$ -3 tampoco ayudó a mejorar la mayor firmeza de la yema, puesto que el incremento en la concentración de ácidos grasos  $\omega$ -3 en el huevo resultó ser paralela a una disminución de la de ácidos grasos  $\omega$ -6 de cadena larga. Este efecto se explica por la competencia de ambas series de ácidos grasos por las enzimas que comparten para su metabolismo, especialmente la desaturasa  $\Delta$ -6 que es necesaria para la síntesis de  $C_{20:4 \omega-6}$  y  $C_{22:4 \omega-6}$ , pero también para la de  $C_{20:5 \omega-3}$  y  $C_{22:5 \omega-3}$  (Chamrupollert y Sell, 1999; Du et al., 1999, 2000; Raes et al., 2002; Szymczyk y Pisulewski, 2003; Alvarez et al., 2004a,b y 2005; Aydin y Cook, 2004; Shang et al., 2004; Cachaldora et al., 2005a).

A partir de los resultados obtenidos en varios trabajos se ha realizado (Cachaldora et al., 2005a) un análisis de regresión paso a paso para predecir la aceptabilidad (A) de huevos doblemente enriquecidos en CLA y ácidos grasos  $\omega$ -3 por un panel sensorial (escala de 1= baja a 10 = alta) a partir del contenido de la grasa de la yema en ácidos grasos. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando las concentraciones de CLA (yCLA) y DPA (y $C_{22:5 \omega-3}$ ) como variables predictoras.



La ecuación obtenida fue:

$$A = 7,49 (\pm 1,02) - 0,127 (\pm 0,022) \text{ yCLA} - 0,993 (\pm 0,15) \text{ yC}_{22:5 \omega-3} \text{ (g/kg);}$$

$$n = 22; R^2 = 0,926; \text{RSD} = 0,654; P < 0,001.$$

El mayor efecto del DPA que el de otros ácidos grasos  $\omega$ -3 sobre la aceptabilidad podría contribuir también a explicar el menor efecto sobre la calidad sensorial de la suplementación con algas con respecto a la de los aceites de pescado, ya que sólo implica un aumento de la concentración en DHA sin modificar apenas la de DPA (Herber-McNeill y Van Elswyck, 1996).

**Cuadro 6.- Efecto de la suplementación con CLA y aceite de pescado sobre la composición en ácidos grasos y la calidad sensorial de huevos cocidos (Cachaldora et al., 2005a).**

<b>COMPOSICIÓN DEL PIENSO (g/kg)</b>			
<b>Ac. girasol rico oleico</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Ac. linoleico conjugado</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Ac. pescado</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17</b>
<b>COMPOSICIÓN GRASA YEMA (g/kg AGt)</b>			
C18:1	503	403	397
CLA	0	9	8,7
Total AG $\omega$ -3	7,6	7,2	46,5
AG $\omega$ -6 <sup>1</sup>	19,9	15,6	9,7
<b>CALIDAD SENSORIAL</b>			
Firmeza, N	5,17	5,33	4,67
Aroma <sup>2</sup>	7,67	6,25	4,67
Sabor <sup>2</sup>	8,25	6,42	2,25
Flavor <sup>2</sup>	8,02	6,17	2,42
Aceptabilidad <sup>2</sup>	7,75	5,75	2,50

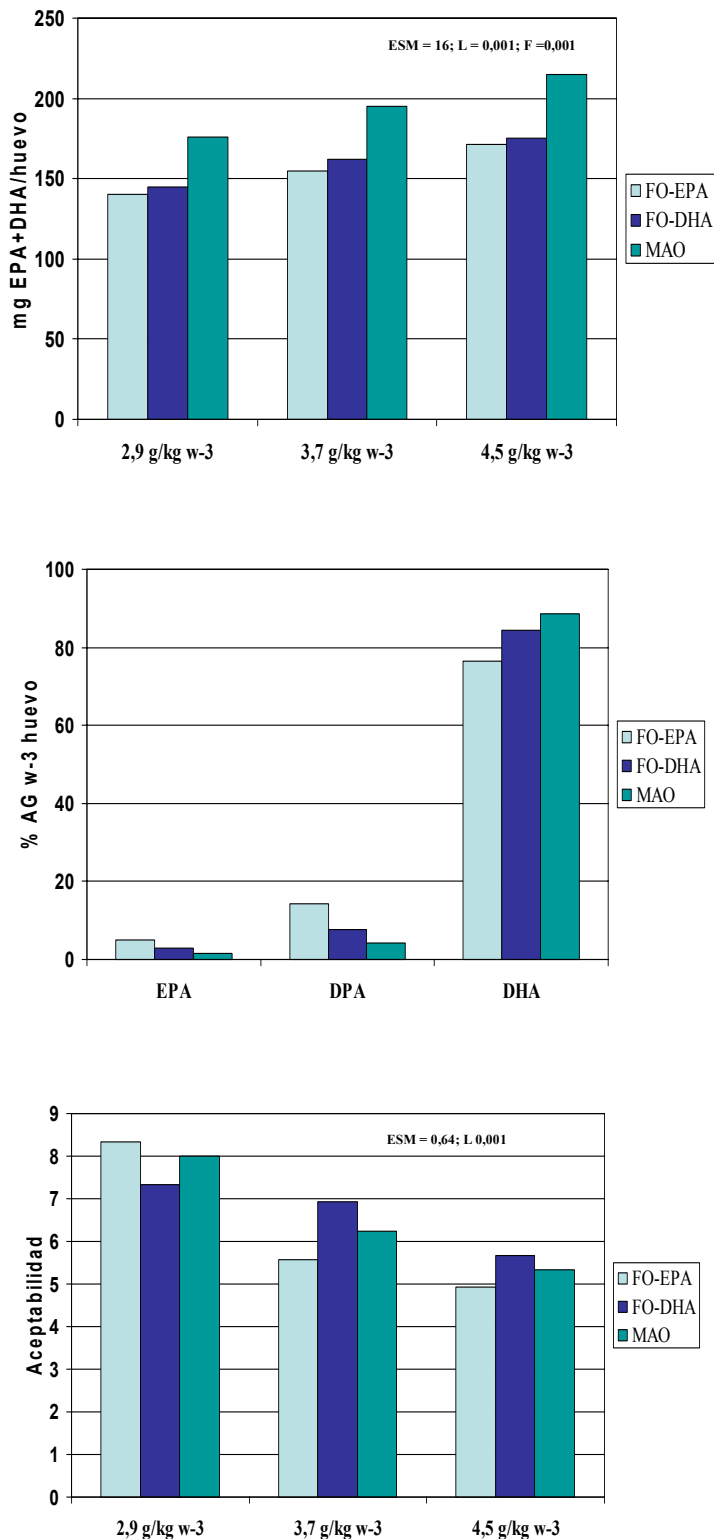
<sup>1</sup>C<sub>20:4  $\omega$ -6</sub> + C<sub>22:4  $\omega$ -6</sub>

<sup>2</sup>escala evaluación panel de catadores: 0 - 10

En un ensayo posterior (Cachaldora et al., datos no publicados; figura 10) una reducción de la suplementación con CLA (hasta 2,5 g/kg), junto con el aporte de hasta 4,5 g/kg de ácidos grasos  $\omega$ -3 con fuentes altamente concentradas en DHA (aceite de algas) y la incorporación de 30 g/kg de aceite de girasol rico en oleico permitió la obtención de huevos enriquecidos en CLA (6,5 g/kg grasa) y EPA+DHA (217 mg) con una calidad sensorial aceptable (5,3). De los valores de la figura también puede deducirse que, en esas condiciones, una disminución del aporte de aceite de algas hasta 2,9 g de ácidos grasos  $\omega$ -3/kg pienso supuso un aumento de la aceptabilidad hasta niveles similares a la de los huevos control sin suplementar (8,0 vs 8,4) sin afectar el contenido en CLA.

**Figura 10.- Efecto de la adición conjunta de 30 g/kg de AGRO y 2,5 g/kg de CLA y de distintos niveles de varias fuentes de AG  $\omega$ -3 sobre la composición de la yema y la aceptabilidad del huevo cocido ( Cachaldora et al., no publ.)**

(FO-EPA y FO-DHA: aceites de pescado ricos en EPA y DHA; MAO: aceite de algas)



La concentración de EPA+DHA en la yema también disminuyó linealmente, pero hasta niveles que se pueden considerar aceptables (175 mg por huevo).

De los resultados presentados en la figura 10 se concluye igualmente que la sustitución de aceite de algas por aceite de pescado, a igual aporte en el pienso de ácidos grasos  $\omega$ -3, disminuye notablemente el contenido en EPA+DHA en la yema (y aumenta el de DPA), especialmente en el caso de suplementación con aceite de pescado rico en EPA. Por otra parte, el uso de cantidades moderadas de aceite de pescado (2,9 g ácidos grasos  $\omega$ -3/kg pienso) permitió producir huevos enriquecidos en CLA con un contenido de ácidos grasos  $\omega$ -3 próximo a 150 mg EPA+DHA y una aceptabilidad elevada (>7).

## 6.- REFERENCIAS

- AHN, D.U., SUNWOO, H.H., WOLFE, F.H. y SIM, J.S. (1995) *Poultry Sci.* 74: 1540-1547.
- AHN, D.U., SELL, J.L., JO, C., CHAMRUSPOLLERT, M. y JEFFREY, M. (1999) *Poultry Sci.* 78: 922-928.
- ÁLVAREZ, C., CACHALDORA, P., MÉNDEZ, J. y GARCIA-REBOLLAR, P. (2004a) *Span. J. Agric. Res.* 2: 203-209.
- ÁLVAREZ, C., CACHALDORA, P., MÉNDEZ, J., GARCIA-REBOLLAR, P. y DE BLAS, J.C. (2004b) *Br. J. Nutr.* 45: 524-529.
- ÁLVAREZ, C., GARCIA-REBOLLAR, P., CACHALDORA, P., MÉNDEZ, J. y DE BLAS, J.C. (2005) *Br. J. Nutr.* 46: 80-86.
- AYDIN, R., PARIZA, M.W. y COOK, M.E. (2001) *J. Nutr.* 131: 800-806.
- AYDIN, R. y COOK, M.E. (2004) *Poultry Sci.* 83: 2016-2022.
- AZAIN, M.J. (2003) *Proc. Nutr. Soc.* 62: 319-328.
- BELCH, J.J.F., y MUIR, A. (1998) *Proc. Nutr. Soc.* 57: 563-569.
- BELURY, M.A. (2002) *Annual Rev. Nutr.* 22: 505-531.
- BOU, R., GUARDIOLA, F., GRAU, A., GRIMPA, S., MANICH, A., BARROETA, A.C. y CODONY, R. (2001) *Poultry Sci.* 80: 800-807.
- BOU, R., GUARDIOLA, F., TRES, A., BARROETA, A.C. y CODONY, R. (2004) *Poultry Sci.* 83: 282-292.
- BRITISH NUTRITION FOUNDATION (1992) *Unsaturated fatty acids: Nutritional and physiological significance*. Ed. Chapman and Hall, Londres.
- BROADHURST, C.L., CUNNANE, S.C. y CRAWFORD, M.A. (1998) *Br. J. Nutr.* 79: 3-21.
- CACHALDORA, P., GARCIA-REBOLLAR, P., ÁLVAREZ, C., MÉNDEZ, J. y DE BLAS, J.C. (2005a) *Span. J. Agric. Res.* 3: 74-82.
- CACHALDORA, P., DE BLAS, J.C., GARCIA-REBOLLAR, P., ÁLVAREZ, C. y MÉNDEZ, J. (2005b) *Span. J. Agric. Res.* 3: 209-212.

- CACHALDORA, P., GARCIA-REBOLLAR, P., ÁLVAREZ, C., DE BLAS, J.C. y MÉNDEZ, J. (2005c) *Br. J. Nutr.* (en prensa)
- CALDER, P.C. (1998) *Proc. Nutr. Soc.* 57: 487-502.
- CALDER, P.C. (2004) *Nutr. Res.* 24: 761-722.
- CHAMRUSPOLLERT, M. y SELL, J.L. (1999) *Poultry Sci.* 78: 1138-1150.
- CHERIAN, G., WOLFE, F.W. y SIM, J.S. (1996) *Poultry Sci.* 75: 423-431.
- CHERIAN, G., GOEGER, M.P. y AHN, D.U. (2002) *Poultry Sci.* 81: 1571-1577.
- CRAWFORD, L., KRETSCH, M.J., PETERSON, D.W. y LILYBLADE (1975) *J. Food Sci.* 40: 751-755.
- DE BLAS, J.C. (2004) En: *XX Curso de Especialización FEDNA*, Barcelona, pp 79-102.
- DE WINNE, A. y DIRINCK, P. (1996) *J. Agric. Food Chem.* 75: 423-431.
- DU, M., AHN, D.U. y SELL, J.L. (1999) *Poultry Sci.* 78: 1639-1645.
- DU, M., AHN, D.U. y SELL, J.L. (2000a) *Poultry Sci.* 79: 1749-1756.
- DU, M., AHN, D.U., NAM, K.C. y SELL, J.L. (2000b) *Meat Sci.* 79: 387-395.
- DU, M. y AHN, D.U. (2002) *Poultry Sci.* 81: 428-433.
- DU, M., AHN, D.U., MENDONCA, A.F. y WESLEY, I.V. (2002) *Poultry Sci.* 81: 1378-1384.
- FARRELL, D.J. (2000) Not all  $\omega$ -3-enriched eggs are the same. En: *Egg Nutrition and Biotechnology*. Sim J.S., Nakai, S., Guenter, W. (Eds), pp 151-161 (Wallingford, CAB International).
- FEDNA (2003) *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (2ª Ed.)*. De Blas C., G.G. Mateos y P.G. Rebollar (Eds.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid.
- GALOBART, J., BARROETA, A.C., BAUCCELLS, M.D. y GUARDIOLA, F. (2001a) *Poultry Sci.* 80: 327-337.
- GALOBART, J., BARROETA, A.C., BAUCCELLS, M.D. CODONY, R. y GUARDIOLA, F. (2001b) *Poultry Sci.* 80: 460-467.
- GONZALEZ-ESQUERRA, R. y LEESON, S. (2000a) *Br. Poultry Sci.* 41: 481-488.
- GONZALEZ-ESQUERRA, R. y LEESON, S. (2000b) *Poultry Sci.* 79: 1597-1602.
- GONZALEZ-ESQUERRA, R. y LEESON, S. (2001) *Can. J. Anim. Sci.* 81: 295-305.
- GRIFFIN, B.A. y ZAMPELAS, A. (1995) *Nutr. Res. Rev.* 8: 1-26.
- GROBAS, S., MÉNDEZ, J., LÁZARO, R., DE BLAS, J.C. y MATEOS, G.G. (2001) *Poultry Sci.* 80: 1171-1179.
- GROBAS, S., MÉNDEZ, J., LÓPEZ-BOTE, C., DE BLAS, J.C. y MATEOS, G.G. (2002) *Poultry Sci.* 81: 376-381.
- GROBAS, S., DE BLAS, J.C., LÁZARO, R., MÉNDEZ, J., y MATEOS, G.G. (2005) *Br. Poultry Sci.* (submitted).
- HA, Y.L., STORKSON, J. y PARIZA, M.W. (1990) *Cancer Res.* 50: 1097-1101.
- HERBER-MCNEILL, S.M. y VAN ELSWYCK, M.E. (1996) *Poultry Sci.* 75: 1501-1507.
- HERBER-MCNEILL, S.M. y VAN ELSWYCK, M.E. (1998) *Poultry Sci.* 77: 493-496.

- HERNÁNDEZ, J.M. (2005) Sensory perception of quality of products across Europe: a case study on poultry quality. En: 'Sensory evaluation-More than just food'. ESN Conference, AINIA, Madrid.
- INRA (2002) *Tablas de composición y valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero*. Ed. Mundiprensa, Madrid.
- JONES, S., MA, D.W.L., ROBINSON, F.E., FUELD, C.J. y CLANDININ, M.T. (2000) *J. Nutr.* 130: 2002-2005.
- LEESON, S., CASTON, L., y MCLAURIN, T. (1998) *Poultry Sci.* 77: 1436-1440.
- LOPEZ-BOTE, C., REY, A.I., ORTIZ, L. y MENOYO, D. (2004) En: XX Curso de Especialización FEDNA, Barcelona, pp 103-124.
- MORRISEY, P.A., BRANDON, S., BUCKLEY, D.J., SHEEHY, P.J.A. y FRIGG, M. (1997) *Br. Poultry Sci.* 38: 84-88.
- NOBLE, R.C. (1998) Manipulation of the nutritional value of eggs. En: 'Recent Advances in Animal Nutrition'. Ed. Nottingham Univ. Press, pp 49-66.
- O'NEILL, L.M., GALVIN, K., MORRISEY, P.A. y BUCKLEY, D.J. (1998) *Br. Poultry Sci.* 39: 365-371.
- OPSTVEDT, J. (1985) *IAFMM Tech. Bull* 22: 6-26.
- PARIZA, M.W., PARK, Y., y COOK, M.E. (2001) *Progress in Lipid Research* 40: 283-298.
- PARODI, P.W. (1999) *J. Dairy Sci.* 82: 1339-1349.
- RAES, K., HUYGHEBAERT, G., DE SMET, S., NOLLET, L., ARNOUITS, S. y DEMEYER, D. (2002) *J. Nutr.* 132: 182-189.
- ROCHE, H.M. (1999) *Proc. Nutr. Soc.* 58: 397-401.
- SCHAFER, K., MANNER, K., SAGREDOS, A., EDER, K. y SIMON, O. (2001) *Lipids* 36: 1217-1222.
- SCHREINER, M., HULAN, H.W., RAZZAZI-FAZELI, E., BÖHM, J. y IBEN, C. (2004) *Poultry Sci.* 83 : 462-473.
- SHANG, X.G., WANG, F.L., LI, D.F., YIN, J.D. y LI, J.Y. (2004) *Poultry Sci.* 83 : 1688-1695.
- SHELDON, B.W., CURTIS, P.A., DAWSON, P.L. y FERKET, P.R. (1997) *Poultry Sci.* 76: 634-641.
- SANDERS, T.A.B. (1993) *Proc. Nutr. Soc.* 52: 457-472.
- SIMOPOULOS, A.P., LEAF, A. y SALEM, N.J.R. (1999) Workshop on the essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *ISSFAL Newsletter* 6: 14-16.
- SIMOPOULOS, A.P. (2000) *Poultry Sci.* 79: 961-970.
- SIRRI, F., TALLARICO, N., MELUZZI, A. y FRANCHINI, A. (2003) *Poultry Sci.* 82, 1356-1361.
- SURAI, P.F. y SPARKS, N.H.C. (2001) *Trends Food Sci. Tecnol.* 12: 7-16.
- SZYMCZYK, B. y PISULEWSKI, P.M. (2003) *Br. J. Nutr.* 90: 93-99.
- VAN ELSWYCK, M.E., DAWSON, P.L. y SAMS, A.R. (1995) *J. Food Sci.* 60: 85-89.

VAN ELSWYCK, M.E. (1997) *Br. J. Nutr.* 78 (supl. 1): S61-S69.

WAINWRIGHT, P.E. (2002) *Proc. Nutr. Soc.* 61: 61-69.

WATKINS, B.A., DEVITT, A.A., YU, L. y LATOUR, M.A. (2000) Biological activities of conjugated linoleic acids and designer eggs. En: *Egg Nutrition and Biotechnology*. Ed. CABI Publ. pp: 181-195.

WILLIAMS, C.M. (2000) *Ann. Zootech.* 49: 165-180.

WOOD, J.D. y ENSER, M. (1997) *Br. J. Nutr.* 78 (supl. 1): S49-S60.