

## Capítulo 10

# Discusión Global

Es una verdad absoluta que  
la verdad es relativa.

*André Maurois*



En la presente memoria de Tesis hemos trabajado con dosis crecientes de  $\alpha$ -TA (0, 100, 200 y 400 mg/kg pienso) y diferentes niveles de poliinsaturación, conseguidos a través de dos estrategias diferentes: variaciones del tipo o del nivel de grasa añadida al pienso. Así, en el primer estudio los niveles crecientes de AGPI (de 15 a 61 g AGPI/kg pienso) se consiguieron mediante la incorporación de un 9% de diferentes grasas añadidas (sebo, aceite de linaza-pescado), mientras que en el segundo estudio el gradiente de poliinsaturación (de 27 a 59 g AGPI/kg pienso) se consiguió mediante la adición de niveles crecientes de una misma fuente de grasa poliinsaturada (aceite de linaza-pescado al 2, 4, 6 y 8 % de nivel de inclusión en el pienso). A continuación presentaremos la discusión global de ambos estudios en lo que respecta al depósito y composición de AG, contenido de  $\alpha$ -Toc y oxidación lipídica de la carne de pollo.

### **10.1. Depósito de AG en la carne de pollo.**

En los diferentes capítulos hemos valorado el engrasamiento de los animales en base al contenido en ácidos grasos totales (AGT) de diferentes tejidos, dado que dicho contenido ha demostrado ser un buen estimador del valor de su grasa bruta (Villaverde et al., 2003b). En el presente capítulo de Tesis llevaremos a cabo la comparación de ambos estudios experimentales, con el objetivo de conocer cómo afecta la forma en la que se modifica el grado de poliinsaturación de la dieta al depósito y composición lipídica de los tejidos del pollo. Para comparar ambas pruebas y dado que el contenido de AGT de los tejidos en ambos casos fue diferente, el contenido de los AG de los tejidos (cuantificado mediante un estándar interno) se expresa en porcentaje. Así mismo, las variaciones dietéticas se expresan en consumo y no en cantidad absoluta presente en el pienso.

#### **10.1.1. Efecto del tipo y nivel de grasa añadida.**

Tal y como hemos visto en los capítulos 4 y 8 de la presente memoria de Tesis, la cantidad total y la composición de los diferentes AG en los tejidos del pollo depende del balance entre el tipo y nivel de grasa añadida a la dieta, así como del tejido estudiado. A continuación detallaremos dicho balance sobre el depósito total de AG, y seguidamente sobre la composición de los mismos.

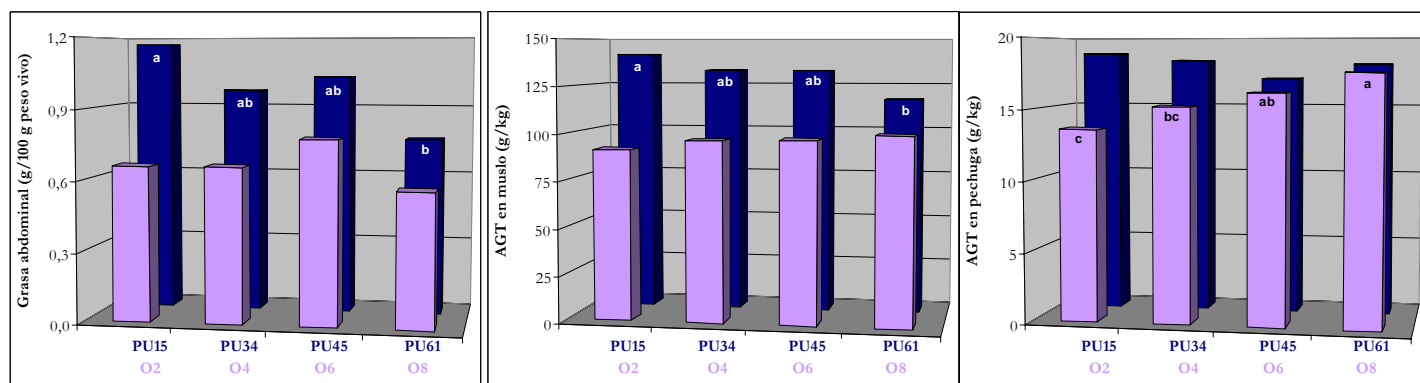
##### **10.1.1.1. Depósito total de ácidos grasos**

En relación al tipo de grasa añadida a la dieta, está bien establecido que para un mismo nivel de grasa añadida al pienso, el nivel de engrasamiento total, así como el de los diferentes tejidos de depósito de los pollos que consumen una fuente de grasa poliinsaturada, es menor que el de aquellos que consumen una fuente grasa saturada (Vilà y Esteve-García, 1996; Sanz et al., 1999a, 2000a,b; Crespo y Esteve-García, 2001, 2002a). Probablemente, esto es debido en parte a que los AGPI se consideran un sustrato energético menos eficiente que los AGS y los AGMI (Leyton et al., 1987).

De forma similar, el incremento del nivel de grasa poliinsaturada añadida a la dieta reduce el depósito total de grasa corporal de los pollos (Keren-Zvi et al., 1999; Ajuyah et al., 1991; Roth et al., 1993), mientras que un incremento del nivel de grasa saturada lo aumenta (Deaton et al., 1981). No obstante, este menor depósito del engrasamiento de las aves al consumir grasas poliinsaturadas, a veces no se observa (Griffith et al., 1977; Donaldson, 1985; Nitsan et al., 1997), debido quizás a que el efecto extracalórico de la grasa lo compensa.

En general, en la bibliografía existen pocos trabajos que hayan valorado el depósito lipídico en diferentes tejidos de los pollos. De los resultados de la presente tesis (capítulos 4 y 8) se deduce que el tejido intramuscular (representado mayoritariamente por la pechuga) se comporta de forma diferente a los tejidos con una mayor cantidad de grasa de depósito, como son la grasa abdominal o el tejido subcutáneo presente en las muestras de muslo del presente trabajo.

**Figura 10.1.** Contenido de grasa abdominal y de ácidos grasos totales (AGT) en muslo y pechuga en función del grado de poliinsaturación de la dieta, en base a variaciones del tipo (azul oscuro) o nivel de grasa añadida (fucsia).



PU15, PU34, PU45 y PU61: 15, 34, 45 y 61 g ácidos grasos poliinsaturados /kg pienso, respectivamente (primer estudio). O2, O4, O6 y O8: 2, 4, 6 y 8% de grasa poliinsaturada añadida al pienso, respectivamente (segundo estudio).

Tal y como se observa en la **Figura 10.1**, el depósito de AGT en el muslo de las aves se comportó de forma similar al depósito de grasa abdominal. El muslo en el presente trabajo al analizarse con piel, contenía una parte de tejido graso intra e intermuscular y otra parte importante de tejido graso subcutáneo, lo que hizo que siguiera un patrón similar al expuesto en la bibliografía para el depósito total de grasa de los pollos. En cambio, el depósito de grasa del tejido intramuscular de la pechuga al variar el grado de poliinsaturación, se comportó de forma diferente a los tejidos con una mayor función de depósito, como la grasa abdominal y el muslo con tejido subcutáneo (Figura 10.1). Así, por un lado, el depósito de AGT de la pechuga no se modificó al variar el tipo de grasa añadida a la dieta para un mismo nivel de grasa añadida al pienso; y por otro lado, se observó un incremento en el depósito total de AG de la pechuga a medida que aumentó el nivel

dietético de grasa añadida.

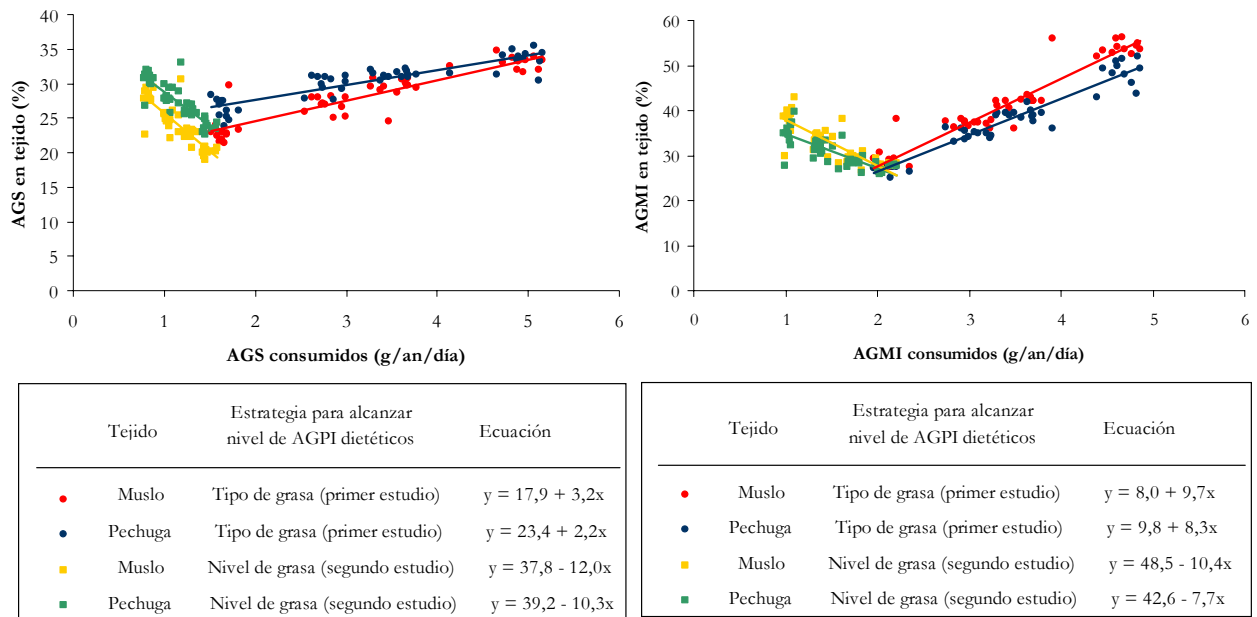
Parece que existe una priorización en el depósito de AG de los tejidos intramusculares. Esto parece obvio, dado que los AG en estos tejidos tienen una importante función estructural en las células. Quizás el depósito de los AG en el tejido intramuscular es prioritario e inmediato, y una vez destinados los AG a ese tejido el resto de AG permanecerían en el hígado a la espera de ser utilizados para diferentes fines metabólicos. Los AG que no se hubieran utilizado en las diferentes rutas metabólicas serían almacenados en los tejidos de depósito, poniendo en evidencia la diferente eficiencia energética de los AG según su grado de insaturación.

#### **10.1.1.2. Composición de ácidos grasos**

La composición de AG en los tejidos del pollo es una combinación de la síntesis endógena de AG a partir de hidratos de carbono y proteínas, y del depósito directo a partir del alimento. La concentración de AGS y AGMI en los tejidos de las aves depende de la aportación de la dieta y de la síntesis endógena de AG, mientras que la composición en AGPI depende exclusivamente de la aportación dietética, dado que el ave es incapaz de sintetizarlos.

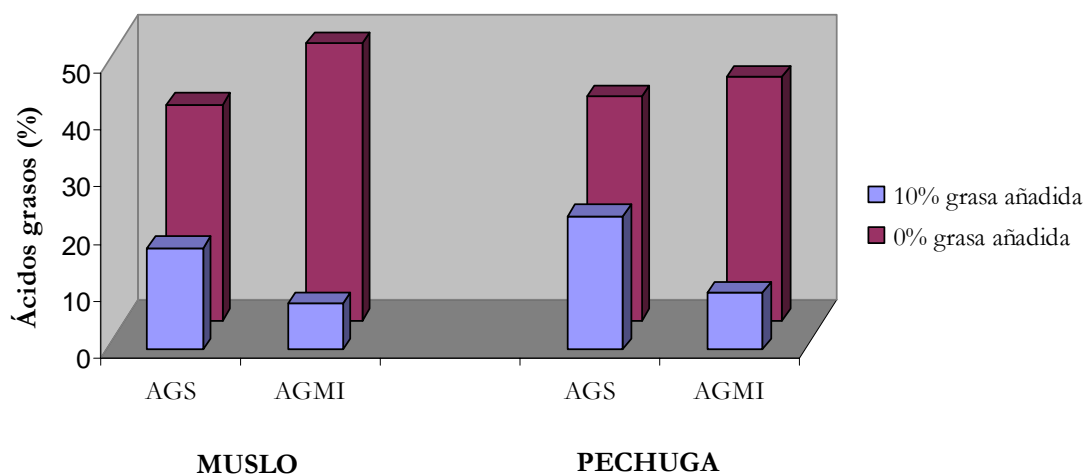
El principal AG resultante de la síntesis hepática es el ácido palmítico (C16:0) a partir del cual se obtienen AGS de cadena más larga como el esteárico (C18:0), y AGMI principalmente el oleico (C18:1 $\omega$ 9) y el palmitoleico (C16:1 $\omega$ 7). Cuando el animal consume una dieta pobre en grasa (segundo estudio), la síntesis endógena de AGS y AGMI juega un papel muy importante, y al aumentar el consumo de grasa la síntesis endógena se reduce por la presencia de la misma (Donaldson, 1985), incluso si la grasa es poliinsaturada y los animales no ingieren una elevada cantidad de AGS y AGMI. Por este motivo, en el segundo estudio la concentración de AGS y AGMI en los tejidos del pollo se reduce a medida que el consumo, o la presencia en la dieta, de AGS y AGMI aumenta (**Figura 10.2**).

**Figura 10.2.** Concentración de ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) en el muslo y la pechuga del pollo en función del consumo de los mismos y la estrategia dietética para conseguir un gradiente de poliinsaturación.



En vista de nuestras ecuaciones, en el caso de que un pollo recibiera una alimentación carente absolutamente de grasa, sintetizará aproximadamente un 37,8% y 39,2% de AGS en el muslo y la pechuga, respectivamente, y un 48,5% y 42,6% de AGMI en el muslo y la pechuga, respectivamente. Por otro lado, y tal y como se ha comentado, la síntesis endógena desciende con el aporte de grasa de la dieta, pero no se anula. En este sentido, cuando el animal recibiera una dieta carente de AGS, pero con presencia del resto de AG, sintetizará aproximadamente 17,9% y 23,3% de AGS para el muslo y la pechuga, respectivamente. De forma similar cuando reciba una dieta sin presencia de AGMI pero conteniendo aproximadamente 100 g/kg de AGS y AGPI, el ave sintetizará 8,0% y 9,8% de AGMI para el muslo y la pechuga, respectivamente. Así, el rango de modificación de la proporción de AGS sería de entre un 17,8 y un máximo de 37,8% para el muslo y de 23,3-39,2% para la pechuga, y el de la proporción de AGMI sería de 8,0-48,5% para el muslo y de 9,8-42,6% para la pechuga. En resumen, el valor superior de estos intervalos hace referencia a la máxima síntesis endógena de AGS y AGMI cuando administramos una dieta que no contiene grasa, mientras que el valor inferior de dichos intervalos representa la síntesis endógena de AGS y AGMI cuando las aves consumen una dieta que contiene un 10% de grasa dietética carente de AGS y AGMI, respectivamente (**Figura 10.3**). La diferencia entre ambos rangos sería la variación en la síntesis endógena en función del nivel de grasa dietética a la dieta, 0 ó 10%.

**Figura 10.3.** Porcentaje de ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) al administrar una dieta con 0% de grasa añadida ó 10% pero sin presencia de AGS y AGMI, respectivamente.

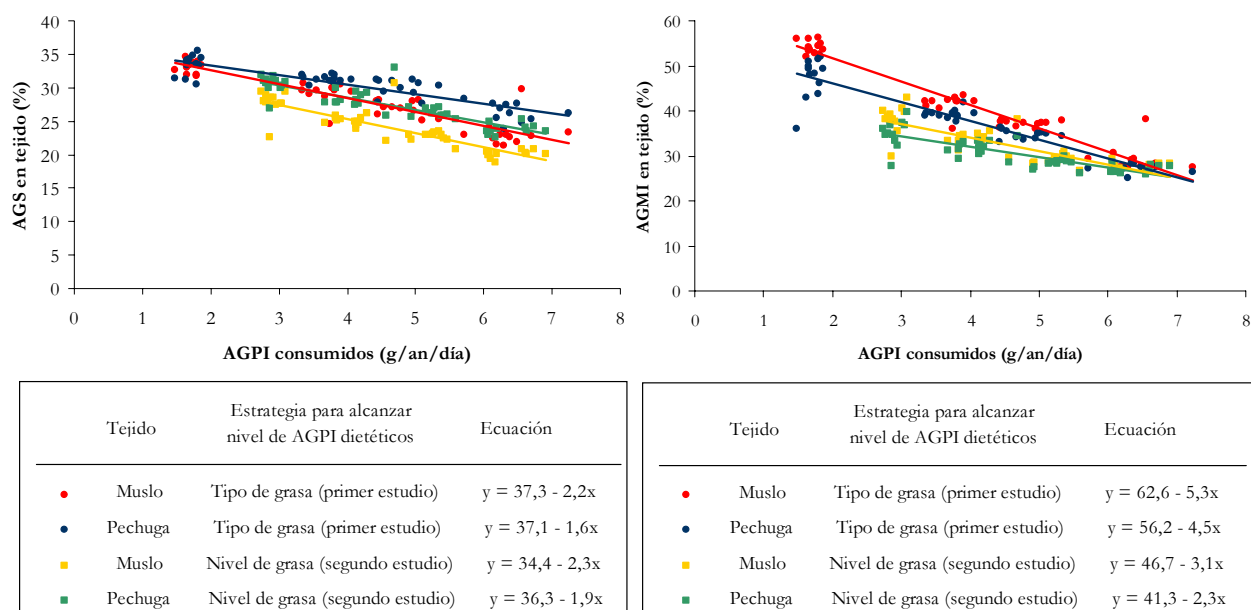


Se puede observar como el rango de variación de la proporción de AGS es menor que el de AGMI. Esto apoya la hipótesis de que existe un mecanismo homeostático en la fracción lipídica de la membrana celular, el cual mantiene una proporción AGS/AG insaturados relativamente constante para asegurar la fluidez de la membrana (Asghar et al., 1990; Bou et al., 2004). Además, la pechuga tiene menor capacidad de modificación a través de la dieta que el muslo. Esto es obvio, ya que tal y como se ha comentado antes, la pechuga contiene principalmente grasa intramuscular y los AG en este tejido se encuentran formando parte de los fosfolípidos de las membranas celulares. Estos AG mantienen las características físicas de estas membranas, permitiendo que se puedan llevar a cabo diferentes actividades metabólicas (Gurr, 1984), confiriéndoles, así, limitada manipulación a través de la dieta (López-Bote et al., 1997).

Además, la concentración de AGS y AGMI en el muslo y la pechuga desciende a medida que el consumo de AGPI aumenta, independientemente del tipo y nivel de grasa añadido al pienso (**Figura 10.4**). Esto es así, debido a la relación inversa entre el depósito de AGPI y de AGS y AGMI, ya descrita en la bibliografía (Ajuyah et al., 1991; Olomu y Baracos, 1991; López-Ferrer et al., 1999b, 2001).

En el caso de los AGPI, el animal es incapaz de sintetizarlos y por lo tanto, su procedencia es exclusiva de la dieta (Capítulo 4 y 8). Así a la hora de establecer relaciones entre el consumo de AGPI y su depósito en los tejidos se forzó a que la ecuación pasara por el origen de ordenadas y abscisas, y dicha relación siguió un modelo exponencial. Los estudios realizados en el contexto de esta memoria han puesto de manifiesto lo fácilmente manipulable que es el depósito de AGPI de los pollos a través de incrementos de su

**Figura 10.4.** Concentración de ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) en el muslo y la pechuga del pollo en función del consumo de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y la estrategia dietética para conseguir un gradiente de poliinsaturación.



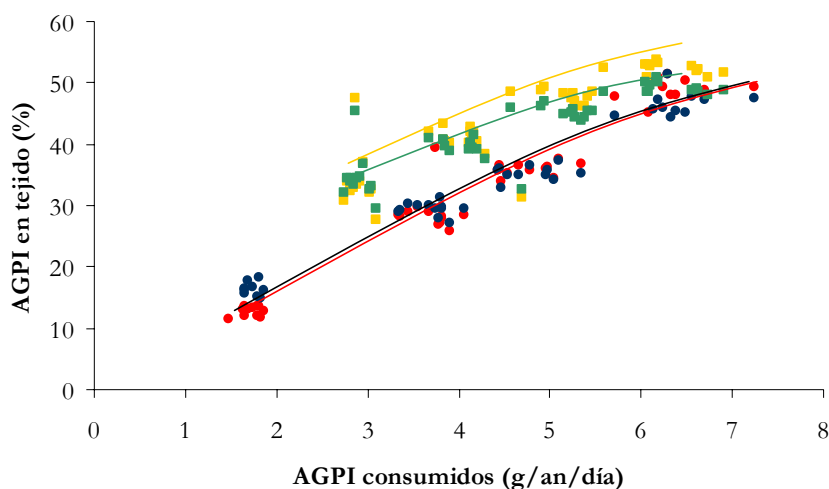
contenido en la dieta. No obstante, cabe destacar que el patrón de depósito depende del tipo y nivel de grasa añadida al pienso, y en menor medida del tejido estudiado. De esta forma, a un mismo consumo de AGPI, aquellos animales que consumieron, además, AG de otras familias (primer estudio) depositaron menor proporción de AGPI que aquellos que tuvieron un escaso acceso a otros AG (segundo estudio) (**Figura 10.5**). Es decir, la tasa fraccional de depósito en el segundo estudio fue el triple de la observada en el primer estudio (0,3 vs. 0,1,  $P \leq 0,001$ ).

Cuando el animal recibe todas las familias de AG en la dieta, el depósito de AGPI de la dieta al tejido es muy directo tal y como se puede observar en la relación exponencial presentada en la Figura 10.5, la cual a los niveles de poliinsaturación estudiados es muy similar a una lineal. En cambio, cuando el animal consume escasa cantidad de AGS y AGMI, requiere un esfuerzo para sintetizar estos AG, y prioriza la incorporación de AGPI. Al incrementar el nivel de grasa añadida en el pienso se inactivan los enzimas lipogénicos (Donaldson, 1985), y el animal tiene que limitar la incorporación de AGPI a los tejidos para mantener una relación AGS/AG insaturados que asegure la fluidez de las membranas celulares.



A diferencia del depósito de AGMI y AGS no hubo diferencia en la proporción de AGPI depositados en el muslo y la pechuga para cada una de las pruebas. No obstante, en el segundo estudio, la proporción de AGPI depositados en el muslo mostró una tendencia a ser superior al de la pechuga ( $P = 0,0544$ ). En este último caso y de igual forma que ocurre en el depósito de AGS y AGMI, la proporción de AGPI del muslo con piel parece ser más fácil de modificar que la de la pechuga.

**Figura 10.5.** Concentración de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en el muslo y la pechuga del pollo en función del consumo de los mismos y la estrategia dietética para conseguir un gradiente de poliinsaturación.



Tejido	Estrategia para alcanzar nivel de AGPI dietéticos	Ecuación
● Muslo	Tipo de grasa (primer estudio)	$y = 100 - 100e^{(-0,09x)}$
● Pechuga	Tipo de grasa (primer estudio)	$y = 88 - 88e^{(-0,11x)}$
■ Muslo	Nivel de grasa (segundo estudio)	$y = 62 - 62e^{(-0,28x)}$
■ Pechuga	Nivel de grasa (segundo estudio)	$y = 58 - 58e^{(-0,30x)}$

### 10.1.2. Efecto del nivel de suplementación con acetato de $\alpha$ -tocoferol.

Los trabajos en la bibliografía que han estudiado el efecto de la suplementación con  $\alpha$ -TA sobre la composición de AG de la carne de pollo son controvertidos. La variabilidad de resultados obtenidos entre los diferentes trabajos respecto al efecto de la suplementación con  $\alpha$ -TA sobre la composición de AG se ha atribuido a que, por un lado el  $\alpha$ -Toc actuaría como protector frente a procesos de oxidación y como inductor indirecto de la síntesis de algunos AG, como el ácido araquidónico (Infante, 1999). Por otro lado se ha indicado que el  $\alpha$ -Toc podría interferir en la absorción a nivel intestinal de los AGPI (Gallo-Torres et al., 1971). Sin embargo, un estudio realizado paralelamente al presentado en esta tesis doctoral demostró que el  $\alpha$ -Toc no interfiere en la absorción

aparente de los AGPI (Villaverde et al., 2004).

Dado que la expresión de los resultados en porcentaje quizás dificulta la interpretación de los mismos, en la presente tesis doctoral se ha procedido a la cuantificación de los AG mediante la utilización de un estándar interno, con el objetivo de poder establecer con mayor precisión el efecto real sobre las variaciones de AG. Usando esta metodología y estudiando muestras de carne de pollo cruda con un grado de poliinsaturación muy elevado, se puede afirmar que la suplementación con  $\alpha$ -TA a dosis iguales o inferiores a 400 mg/kg, independientemente del tipo y nivel de grasa añadido al pienso, no afecta de manera significativa al depósito de AG en la carne cruda de pollo.

Hasta ahora hemos valorado el efecto del tipo y nivel de grasa añadida en el pienso, así como el nivel de suplementación con  $\alpha$ -TA sobre el depósito de AG de la carne cruda de pollo. No obstante, cabe remarcar que desde el punto de vista nutricional, es necesario valorar estos efectos en la carne cocida dado que es así como se consumirá. El cocinado de la carne promueve la oxidación lipídica y podría afectar de forma más marcada a los AGPI.

Al someter la carne de pollo a elevadas temperaturas, los AG en distinta medida pasan de un estado sólido a uno líquido, lo que permite en muchas ocasiones una pérdida de AG en forma de exudado. La mayoría de las veces este exudado presenta un contenido homogéneo de AG (Myer y Harris, 1975, Capítulo 4), que no se valora si la composición de AG se expresa en porcentaje. Dado que los AGPI presentan una mayor susceptibilidad a la oxidación y un menor punto de fusión, cabría esperar que las pérdidas de estos AG, bien sea por oxidación bien por exudado, fueran superiores a las del resto de AG. Esto es cierto cuando la carne de pollo se somete a elevadas temperaturas (200°C) (López-Ferrer et al., 1999c), o en aquella carne con una elevada proporción de AGPI aunque ésta se someta a tratamientos con temperaturas más suaves (80°C) (Capítulo 8).

Contrariamente a lo que se observa en la carne cruda de pollo, el efecto de la suplementación con  $\alpha$ -TA se pone de evidencia al cocinar carne de pollo con una elevada concentración de AGPI (segundo estudio). Esto demuestra que cuando la carne de pollo presenta un elevado estado oxidativo, el  $\alpha$ -Toc es capaz de proteger los AG (Capítulo 8).

## 10.2. Depósito de $\alpha$ -Toc en la carne de pollo

En los últimos años, gran parte de la investigación dentro del área de Producción Animal, ha sido focalizada en el enriquecimiento en vitamina E de los alimentos destinados a consumo humano, entre los que destaca la carne de pollo. Nuestros propios resultados obtenidos en muestras de muslo y pechuga de pollos broiler alimentados con diferentes niveles dietéticos de  $\alpha$ -Toc y AGPI, permitieron establecer relaciones entre dichos componentes de la dieta y el depósito de  $\alpha$ -Toc. En este sentido, la composición tisular del  $\alpha$ -Toc en muslo y pechuga fue directamente proporcional al consumo del mismo, e inversamente proporcional al consumo de AGPI (Capítulos 5 y 9).

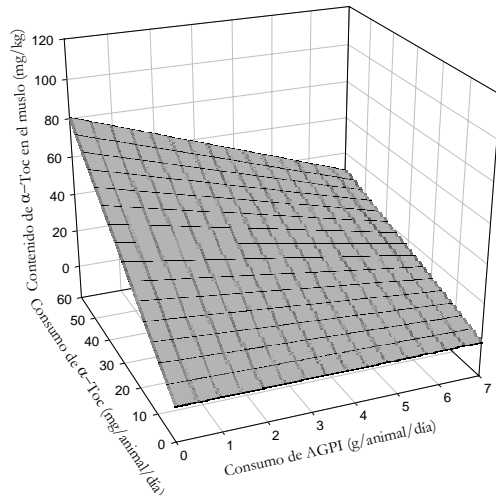
La reducción del depósito de  $\alpha$ -Toc en los tejidos de las aves por un aumento del grado de poliinsaturación, ha sido parcialmente explicada por la posibilidad de que el  $\alpha$ -Toc se degrade protegiendo los lípidos de la oxidación (Saito et al., 1996; Kubo et al., 1997). Esta protección frente a la oxidación se extiende desde el pienso al depósito en los tejidos, tal y como sugiere el hecho de que contenido de  $\alpha$ -Toc del muslo y la pechuga está principalmente explicado por el contenido de AGPI de la dieta y en menor medida por la composición del tejido (Capítulo 9). Así, la reducción en el depósito de  $\alpha$ -Toc quizás es debida a la suma de las pérdidas producidas en la protección de los AG frente a la oxidación durante su absorción, transporte en lipoproteínas y depósito.

Además, las pérdidas de  $\alpha$ -Toc en función del nivel de poliinsaturación dietético son más elevadas en los tejidos de los pollos broiler alimentados con elevadas dosis de  $\alpha$ -TA. Estos resultados sugieren que el sistema de reciclaje "in vivo" del  $\alpha$ -Toc quizás no es suficientemente eficiente en tejidos con un elevado estado oxidativo.

Es interesante considerar que la estrategia para conseguir el gradiente de AGPI en la dieta, variando el tipo o nivel de grasa añadida, tiene un efecto sobre el depósito de  $\alpha$ -Toc. En las **Figuras 10.6** y **10.7** se presenta el contenido de  $\alpha$ -Toc del muslo y la pechuga de pollos en función del consumo de  $\alpha$ -Toc y AGPI en ambos experimentos. Se puede observar como a consumos de AGPI similares, el depósito de  $\alpha$ -Toc en el muslo y la pechuga de los pollos broiler que consumieron diferentes niveles de grasa añadida (segundo estudio) presentaron niveles de  $\alpha$ -Toc superiores ( $P \leq 0,001$ ) a los obtenidos en animales cuya dieta difería en el tipo de grasa añadida (primer estudio). Así, para conseguir un cierto enriquecimiento con  $\alpha$ -Toc en el muslo y la pechuga de pollo a consumos bajos de AGPI (1,5 g/animal/día; aproximadamente 15 g AGPI/kg pienso), el consumo de  $\alpha$ -Toc debe ser entre un 40 y 50% superior en las dietas que contienen aceites poliinsaturados y grasas saturadas (primer estudio) respecto a aquellas que tan sólo contienen aceites poliinsaturados (segundo estudio). Esto puede ser debido, en parte, a que

**Figura 10.6.** Superficie de respuesta estimada para el contenido de  $\alpha$ -tocoferol ( $\alpha$ -Toc) de el muslo de pollos en función del consumo de  $\alpha$ -Toc, (mg/animal/día) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI, g/animal/día) conseguidos variando el tipo (A) y el nivel (B) de grasa añadida.

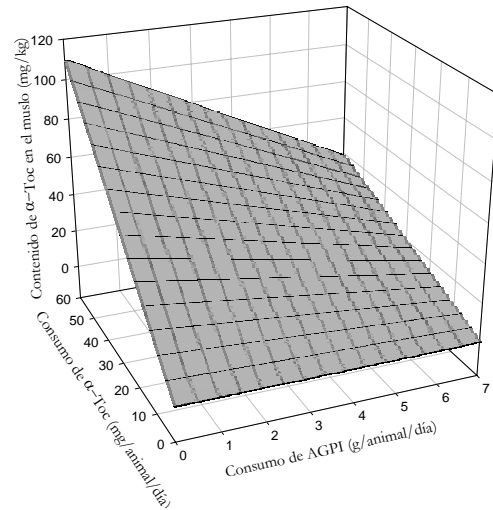
**A**



$$y = x_1(1,34 - 0,12x_2) \quad (P \leq 0,001)^1$$

<sup>1</sup>y: Contenido de  $\alpha$ -Toc en el muslo de pollo (mg/kg);  $x_1$ : Consumo de  $\alpha$ -Toc (mg/animal/día);  $x_2$ : Consumo de AGPI (g/animal/día).

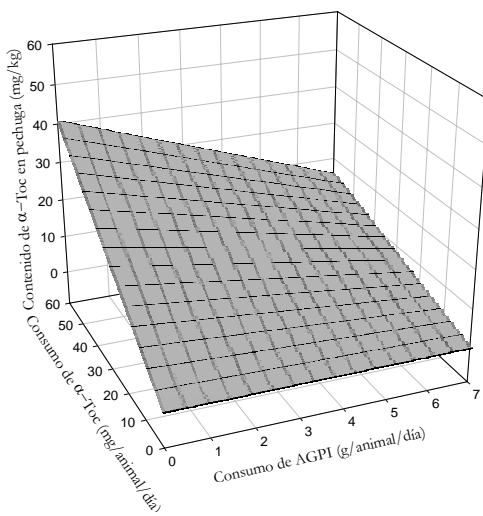
**B**



$$y = x_1(1,83 - 0,17x_2) \quad (P \leq 0,001)^1$$

**Figura 10.7.** Superficie de respuesta estimada para el contenido de  $\alpha$ -tocoferol ( $\alpha$ -Toc) de la pechuga de pollos en función del consumo de  $\alpha$ -Toc, (mg/animal/día) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI, g/animal/día) conseguidos variando el tipo (A) y el nivel (B) de grasa añadida.

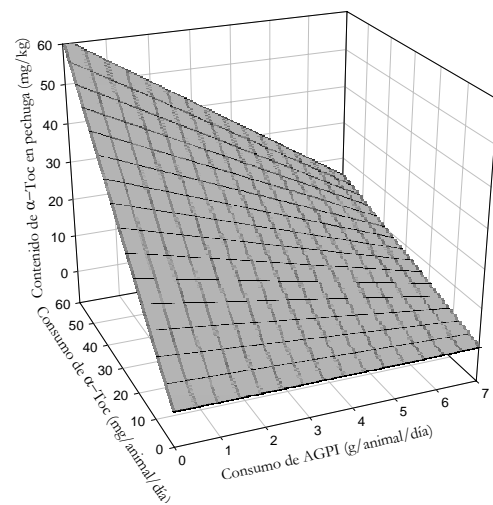
**A**



$$y = x_1(0,68 - 0,06x_2) \quad (P \leq 0,001)^1$$

<sup>1</sup>y: Contenido de  $\alpha$ -Toc en la pechuga de pollo (mg/kg);  $x_1$ : Consumo de  $\alpha$ -Toc (mg/animal/día);  $x_2$ : Consumo de AGPI (g/animal/día).

**B**



$$y = x_1(1,02 - 0,11x_2) \quad (P \leq 0,001)^1$$

la presencia de grasas saturadas en el tratamiento con 9% de sebo (PU15) reduce la digestibilidad del  $\alpha$ -Toc, es decir, a un mismo nivel de incorporación de  $\alpha$ -Toc en la dieta, el animal aprovecha un 49% menos que en ausencia de grasas saturadas añadidas (**Tabla 10.1**).

**Tabla 10.1.** Digestibilidad del  $\alpha$ -tocoferol ( $\alpha$ -Toc) en función del gradiente de poliinsaturación conseguido variando el tipo (primer estudio) y el nivel (segundo estudio) de grasa añadida al pienso (Villaverde et al., datos no publicados).

Primer Estudio	Digestibilidad del $\alpha$ -Toc (%)		Segundo Estudio
PU15	22,1 <sup>b</sup>	43,7	O2
PU34	40,7 <sup>a</sup>	48,1	O4
PU45	42,1 <sup>a</sup>	44,5	O6
PU61	42,3 <sup>a</sup>	49,1	O8

PU15, PU34, PU45 y PU61: 15, 34, 45 y 61 g ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)/kg pienso, respectivamente (primer estudio).

O2, O4, O6 y O8: 2% (27 g AGPI/kg), 4% (38 g AGPI/kg), 6% (48 g AGPI/kg) y 8% (49 g AGPI/kg) de grasa poliinsaturada añadida al pienso, respectivamente (segundo estudio).

<sup>a,b</sup> Diferencias estadísticamente significativas para cada estudio.

Además, tal y como se observa en las ecuaciones presentadas en las Figuras 10.6 y 10.7 el efecto negativo de la presencia de AGPI fue más marcado en los tejidos de los pollos broiler alimentados con diferentes niveles de grasa añadida (ritmo de reducción asociado al consumo de AGPI: 0,17 vs. 0,12 en el muslo, 0,11 vs. 0,06 en la pechuga). Esto quizás es debido a que estos animales consumieron una dieta con una mayor concentración de AGPI respecto a los AGS (AGPI:AGS de la dieta: 0,35-3,87 en el primer estudio y 3,50-4,30 en el segundo estudio), y la proporción AGPI/AGS depositada fue también más elevada.

Al relacionar el  $\alpha$ -Toc depositado en el muslo y la pechuga de pollo ( $y$ : mg/kg) con el contenido de  $\alpha$ -Toc ( $x_1$ : mg/kg) y AGPI ( $x_2$ : g/kg) del pienso, las ecuaciones resultantes (Muslo:  $y = x_1(0,147 - 0,0014x_2)$  y Pechuga:  $y = x_1(0,075 - 0,0007x_2)$  en el primer estudio; Muslo:  $y = x_1(0,202 - 0,0021x_2)$  y Pechuga:  $y = x_1(0,112 - 0,0013x_2)$  en el segundo estudio) nos permitieron establecer la cantidad de  $\alpha$ -Toc que se debería añadir al pienso de las aves por cada incremento de 1 g AGPI/kg. Nuestros resultados para niveles bajos de poliinsaturación (15-20 g AGPI/kg) coincidieron con datos aportados por empresas como BASF y ROCHE, en que la relación  $\alpha$ -Toc/AGPI (mg/g) de la dieta era 3-4. No obstante, esta relación para niveles elevados de poliinsaturación en la dieta (55-60 g AGPI/kg) fue de 12-23.

### 10.3. Oxidación lipídica en la carne de pollo.

La oxidación lipídica de la carne provoca una reducción de su valor nutritivo, y a la vez la formación de compuestos, los cuales una vez ingeridos pueden depositarse en los tejidos y ser los responsables de la aparición de diversas patologías (Addis et al., 1989; Emanuel et al., 1991). Además, los procesos de cocción y almacenamiento de la carne a los cuales el consumidor somete la carne antes de su consumo, pueden favorecer los procesos de oxidación de la fracción lipídica.

Nuestros propios resultados obtenidos en muestras de muslo de pollo, presentados en el capítulo 7, permitieron confirmar este hecho. En estas muestras se observó como la oxidación lipídica en la carne de pollo (en términos de valores de TBA), aumenta cuando ésta se somete a un proceso de cocción y a una conservación posterior en refrigeración durante un largo periodo de tiempo (2 meses), no siendo significativo su aumento al refrigerar la carne cruda.

**Tabla 10.2.** Efecto del grado de poliinsaturación en función del tipo y nivel de grasa añadida y de la suplementación con acetato de  $\alpha$ -tocoferol ( $\alpha$ -TA) sobre el valor de TBA en el muslo de pollo cocido.

Efecto poliinsaturación		Valor de TBA ( $\mu\text{g MDA/kg}$ )	
Primer Estudio	Segundo Estudio	Primer Estudio	Segundo Estudio
PU15	O2	432	390
PU34	O4	1167	745
PU45	O6	1641	1055
PU61	O8	2279	1505
P Poliinsaturación		0,001	0,001
<b>Efecto nivel de <math>\alpha</math>-TA</b>			
E0		2765	1859
E1		1391	877
E2		799	651
E4		563	309
P Nivel $\alpha$ -TA		0,001	0,001
P Poliinsaturación $\times$ Nivel $\alpha$ -TA		0,010	0,338

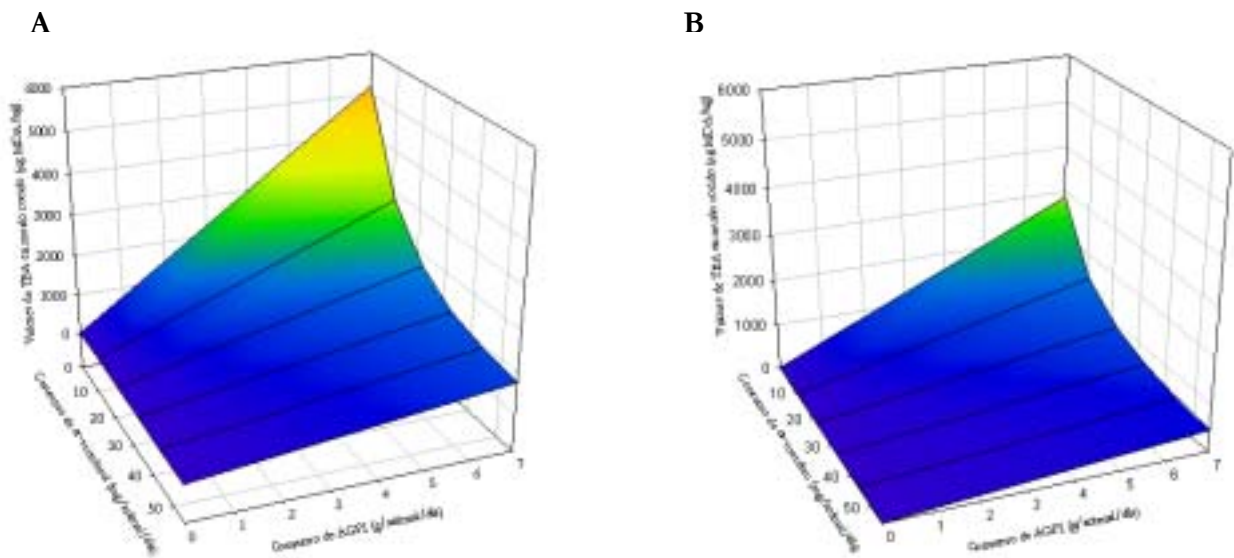
PU15, PU34, PU45 y PU61: 15, 34, 45 y 61 g ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)/kg pienso, respectivamente (primer estudio).

O2, O4, O6 y O8: 2% (27 g AGPI/kg), 4% (38 g AGPI/kg), 6% (48 g AGPI/kg) y 8% (49 g AGPI/kg) de grasa poliinsaturada añadida al pienso, respectivamente (segundo estudio).

Algunos autores han apuntado que no existe un método ideal para la determinación de la oxidación de la fracción lipídica (Halliwell and Gutteridge, 1990). El TBA es una de las formas de valorar la oxidación lipídica más frecuentemente utilizada. No obstante, en la presente memoria de tesis se ha puesto de manifiesto que la valoración del TBA, en la carne cocida de pollo con un elevado estado oxidativo, no es un buen método para valorar la oxidación lipídica en la carne refrigerada durante un periodo prologando (capítulo 7).

Los valores de TBA en la carne cocida de pollo aumentan significativamente a medida que el contenido dietético de AGPI aumenta, bien sea por variación del tipo (primer estudio) o del nivel (segundo estudio) de grasa añadida (**Tabla 10.2**). Este aumento de la susceptibilidad de la oxidación lipídica es consecuencia del depósito de AGPI en el muslo de pollo (Capítulo 7 y 9). Además, la suplementación con  $\alpha$ -TA da lugar a una notable protección de la carne cocida frente a la oxidación, lo cual es atribuido tal y como se ha comentado en los capítulos 7 y 9 a la acumulación de  $\alpha$ -Toc en el muslo de pollo. No obstante, el efecto antioxidante del  $\alpha$ -Toc presenta una saturación, dado que llega un punto en el que por más que aumenta la concentración de  $\alpha$ -Toc en la carne, no se consigue evitar la aparición de la oxidación lipídica.

**Figura 10.8.** Superficie de respuesta estimada para los valores de TBA ( $\mu\text{g MDA/kg}$ ) del muslo cocido en función del consumo de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y de  $\alpha$ -tocoferol, en el primer (A) y segundo (B) estudio.



$$y = x_1(97,7 + 639,8e^{(-0,068x_2)}) \quad (P \leq 0,001)^1$$

$$y = x_1(61,6 + 394,4e^{(-0,076x_2)}) \quad (P \leq 0,001)^1$$

<sup>1</sup>y: Valores de TBA en muslo de pollo cocido ( $\mu\text{g MDA/kg}$ );  $x_1$ : Contenido dietético de AGPI (g/kg);  $x_2$ : Contenido dietético de  $\alpha$ -tocoferol (mg/kg).

Tal y como se observa en la **Figura 10.8**, el comportamiento de la oxidación lipídica en la carne de pollo es similar para las aves que consumieron diferentes tipos y niveles de grasa añadida. En ambos casos el consumo de antioxidante reduce la susceptibilidad a la oxidación lipídica a una tasa fraccional alrededor de 7%.

En general, los valores de TBA de diferentes estudios no son comparables, pero dado que en ambas pruebas experimentales presentadas en esta memoria se ha utilizado la misma técnica analítica y se ha trabajado en las mismas condiciones, nos tomamos la licencia de discutir ambos estudios conjuntamente. En este sentido, la cantidad de  $\alpha$ -Toc que deben consumir los pollos para garantizar la ausencia de olores y sabores rancios en la carne cocida ( $TBA \leq 800 \mu\text{g MDA/kg}$  (O'Neill et al., 1998a; Bou et al., 2001)), depende del tipo y nivel de grasa añadida, siendo superior al variar el tipo de grasa de la dieta (**Tabla 10.3**). Tal y como se ha comentado anteriormente, esto puede ser debido, en parte, a la menor digestibilidad del  $\alpha$ -Toc cuando hay presencia de grasa saturada. Además, en el primer estudio a consumos de AGPI superiores a 8 g/animal/día es imposible alcanzar valores de TBA en la carne de pollo cocida por debajo de 800  $\mu\text{g MDA/kg}$ , mientras que en el segundo estudio este nivel de saturación se observa a consumos impracticables de 12 g AGPI/animal y día.

**Tabla 10.3.** Consumo de  $\alpha$ -tocoferol ( $\alpha$ -Toc) necesario en función del consumo de AGPI, conseguido variando el tipo (primer estudio) y nivel (segundo estudio) de grasa añadida, para garantizar valores de TBA en la carne cocida de pollo inferiores a 800  $\mu\text{g MDA/kg}$ .

Consumo de AGPI (g/animal/día)	Consumo de $\alpha$ -Toc (mg/animal/día) para valores de TBA $\leq 800 \mu\text{g MDA/kg}$	
	Primer Estudio	Segundo Estudio
2	11,0	2,0
3	19,6	8,6
4	27,0	13,8
5	34,3	18,3
6	42,5	22,4