

PUNTOS CRÍTICOS EN LA UTILIZACIÓN DE GRASAS EN AVICULTURA

Dra. Ana Barroeta (U. Autónoma Barcelona)

A.C. BARROETA

Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Servicio de Nutrición, y Bienestar Animal
<http://serveis.uab.cat/sniba/es.>, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España.
ana.barroeta@uab.es
<http://orcid.org/0000-0002-4748-2604>

Resumen

Las materias grasas se incorporan de forma habitual en la formulación de piensos para avicultura, sobre todo, porque son ingredientes de **alto valor energético**. De hecho, los lípidos son los nutrientes que aportan más energía, ya que contienen más del doble de calorías que los carbohidratos y las proteínas. Por ello, su contribución a la concentración energética de la ración es muy relevante.

A lo largo de este trabajo, se señalan los puntos críticos más importantes a la hora de utilizar materias grasas en la alimentación de las aves, y se organizan en tres bloques: antes, durante y después de su administración.

El primero hace referencia a la información necesaria antes de su consumo por parte del animal. Es fundamental conocer la **composición** de las grasas y aceites que vamos a utilizar, **evaluar su calidad y controlar su estabilidad** durante el almacenamiento y fabricación.

La segunda parte de este trabajo, se centra en la utilización por parte del animal, se describen los aspectos más importantes del **proceso de digestión y absorción** de los lípidos en las aves. Esta información es esencial para comprender porque el grado de saturación y la longitud de cadena de los ácidos grasos (AG), la presencia de AG libres, la estructura molecular, el resto de ingredientes de la dieta y la edad de los animales, entre otros, son **factores que afectan a la utilización nutricional** por parte del animal.

La última parte de este artículo hace referencia a la **repercusión sobre la calidad del producto final (carne y huevos)**. Es bien conocido, que el perfil en AG de la carne y los huevos está directamente relacionado con el perfil en AG del pienso consumido. Además, es importante tener en cuenta, que la composición de los lípidos ingeridos por el animal (grado de insaturación y presencia de antioxidantes, entre otros) tiene un efecto directo sobre la calidad organoléptica y nutricional de los alimentos, lo que repercute en la aceptación por parte del consumidor.

Todos estos aspectos deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las materias grasas más adecuadas para incorporar en los diferentes piensos de los programas de formulación para pollos de carne y ponedoras.

Introducción

Una de las principales razones para la suplementación de grasa en los piensos es su **alta concentración energética**. Esto es especialmente importante a la hora de fabricar piensos muy concentrados, como es el caso de los piensos para pollos de carne de crecimiento rápido. Pero además, la inclusión de lípidos aporta otras ventajas, entre las que destacan las siguientes:

- ✓ Desde el punto de vista nutricional, es bien conocido que las grasas y aceites aportan ácidos grasos y vitaminas liposolubles esenciales. Además, se ha demostrado que su presencia enlentece el tránsito intestinal, lo que permite aumentar el tiempo de digestión y absorción de los nutrientes. Otros aspectos menos conocidos y en pleno desarrollo son el papel de algunos compuestos lipídicos específicos (fosfolípidos, ácidos grasos (AG) de cadena corta y media, mono- y diglicéridos) sobre aspectos de la digestión y, en algunos casos, de salud intestinal y respuesta inmunitaria.
- ✓ En el aspecto tecnológico, la incorporación de grasa en el pienso, mejora algunos aspectos de fabricación, reduciendo las mermas por producción de polvo y evitando el desgaste de la maquinaria. Sin embargo, hay que señalar, que niveles muy elevados de grasa pueden perjudicar el proceso de granulación. De hecho el límite de incorporación de grasas en los piensos para avicultura es de tipo tecnológico no por factores nutricionales. Dependiendo de la tecnología de fabricación, se puede llegar a 6-8 % de grasa añadida.
- ✓ Desde el punto de vista organoléptico, la presencia de grasa mejora la palatabilidad del pienso mejorando la textura de piensos en harina. Pero lo más importante, es su repercusión sobre la calidad del producto final, aspecto que desarrollaremos más adelante. Cabe señalar que además de su influencia sobre el perfil en AG del alimento producido, la grasa añadida es vehículo de carotenoides, responsables de la coloración amarillo-anaranjada del pollo y la yema de huevo, y algunos antioxidantes que mejoran la vida útil del alimento.

En este trabajo vamos a abordar tres aspectos importantes de la utilización de materias grasas en alimentación animal, el primero hace referencia a las características y calidad de las materias grasas disponibles, el segundo a los factores que afectan a la utilización por parte del animal y el tercero a la repercusión en la calidad del producto final (carne y huevos).

1. Composición y calidad de las materias grasas utilizadas en alimentación de las aves.

En este apartado vamos a describir la composición química de las materias grasas, con especial referencia a los compuestos de alto valor energético. A partir de aquí, se describen las materias grasas disponibles y más interesantes para su utilización en avicultura así como los controles de calidad básicos y de mayor relevancia para el control global de la calidad de las grasas suplementadas en los piensos. Una información más detallada sobre estos aspectos se puede encontrar en los trabajos de Mateos et al., 1996; Nuchi et al., 2009; Codony et al., 2000 y Codony et al., 2017.

1.1. Composición química de las materias grasas

Los lípidos, a diferencia de los carbohidratos y las proteínas, no tienen una estructura química común. Están constituidos por una amplia variedad de compuestos, que se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos.

Las principales materias grasas que se usan en alimentación animal son las grasas y los aceites crudos y sus derivados. Las grasas y aceites, suelen provenir de lípidos de reserva de animales y vegetales. Y en su composición aparecen como constituyentes principales los AG, que son una de las principales fuentes de energía para el organismo (9,4 kcal /g de media) y se almacenan en forma de triacilglicéridos o triglicéridos (TAG) formados por 3 AG unidos mediante enlace éster a una molécula de glicerol. Los TAG pueden tener diferentes tipos de AG y, por lo tanto, su valor energético varía en función de su estructura (longitud de la cadena, número de dobles enlaces, etc.). Por todo ello, es fácil comprender que **el mayor constituyente de las materias grasas convencionales que utilizamos en alimentación animal son los triglicéridos**.

Sin embargo, como se puede observar en el esquema 1, además de los TAG, hay otros compuestos que pueden estar presentes en una materia grasa y pueden modificar su potencial valor energético. Podemos encontrar:

- Monoglicéridos (MAG), diglicéridos (DAG), AG libres (AGL) y fosfolípidos (PL), cuyo aporte energético está directamente relacionado con el contenido en AG. En las grasas convencionales estos compuestos se encuentran en muy baja proporción.
- Fracción insaponificable, sin AG en su estructura, y con un aporte energético es despreciable. Aquí podemos encontrar más de 100 compuestos diferentes, entre los cuales destacan los esteroides. También se incluyen en esta fracción, compuestos de gran valor nutricional y capacidad antioxidante como son las vitaminas liposolubles y, en especial, los tocoferoles y tocotrienoles. El insaponificable junto con el agua y las impurezas, diluyen el valor energético del ingrediente, en grasas convencionales la suma de los tres suele situarse entre el 1 y 3 %.
- Productos de degradación que se pueden producir durante el procesado y almacenamiento de las grasas a través de procesos de hidrólisis, polimerización, isomerización y, especialmente, oxidación. Todos estos productos reducen el valor nutricional de la grasa y son, en su mayoría, compuestos indeseables para el animal y un riesgo para el consumidor. Aunque pueden tener AG en su estructura y aportar cierta cantidad de energía.
- Contaminantes. Es inusual, pero las grasas pueden ser vehículo de algunos contaminantes, algunos que crean especial alarma como las Dioxinas, PCBs y PAHs.

Esquema 1. Composición de las materias grasas.



Es muy importante conocer el perfil en AG de las grasas a utilizar ya que tiene una gran influencia sobre su valor energético, la utilización por parte del ave y la repercusión sobre la calidad del producto final. Generalmente en la naturaleza los AG más comunes son: entre los AG saturados (AGS), el palmítico (C16:0) y el esteárico (C18:0), como AG monoinsaturado (AGMI) el oléico (C18:1) y dentro de los AG poliinsaturados (AGPI) destaca el linoléico (C18:2). Todo ellos son AG de cadena lineal, número par de átomos de carbono y, en el caso de los insaturados, con dobles enlaces en posición *cis*. Los microorganismos (presentes en el rumen) son capaces de sintetizar AG de cadena impar, ramificada y con dobles enlaces en posición *trans* y conjugados, por lo que, en el sebo estos AG podrían aparecer. La estructura del AG determina sus propiedades físicas (punto de fusión y propiedades cristalinas), que son muy importantes durante el proceso de digestión y absorción. A mayor longitud de cadena y menor número de dobles enlaces, mayor será el punto de fusión y menor la solubilidad.

1.2. Materias grasas utilizadas en alimentación animal

Ya se ha comentado que cuando hablamos de materias grasas solemos referirnos a grasas y aceites. En principio, las grasas son sólidas mientras que los aceites son líquidos a temperatura ambiente; esto se debe a que los aceites tienen un mayor grado de insaturación que las grasas. Aunque estos términos no están relacionados con el origen, las grasas de origen animal suelen tener más cantidad de AGS y los aceites de origen vegetal más cantidad de AGPI, sin embargo tenemos algunas excepciones como el aceite de palma y el aceite de coco.

Existen diferentes materias grasas disponibles para su incorporación en la formulación de piensos para aves; entre ellas destacan:

- Grasas y aceites convencionales, cuya composición se presenta en la tabla 1. Entre las grasas saturadas más utilizadas y disponibles están: aceite de palma, manteca de cerdo y, en menor medida, sebo de vacuno. Como fuentes de AG insaturados los más disponibles son el aceite de soja y el aceite de girasol. Más del 70% de la producción total de aceites vegetales corresponde al aceite de soja y

palma. No hay que olvidar que la soja extrusionada también es una fuente importante de aceite de soja.

Otras grasas menos frecuentes son el aceite de palmiste y el aceite de coco, que se caracterizan por tener alto contenido de láurico (C12:0) y mirístico (C14:0) y como fuentes de AGPI omega-3 tenemos los aceites de linaza y pescado. Como fuente de AGMI tenemos el aceite de oliva y de orujo de oliva, pero suelen dirigirse a la alimentación de cerdos, especialmente para producir jamón alto en oleico.

Tabla 1. Composición en ácidos grasos y punto de fusión de diferentes materias grasas.

	Punto de fusión °C	C4:0 a 10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2, n6	C18:3, n-3	>C20	C20:5, n-3	C22:6, n-3
Coco	25	14,7	46,0	18,5	9,2		2,8	,07	1,7				
Palmiste	28	7,8	47,7	16,1	8		2,4	15,7	2,4				
Palma	35		tr	1,0	43,0	0,3	4,8	40,0	10,0	tr	tr		
Sebo vacuno	40		0,1	3,2	25,5	3,2	21,1	38,3	2,2	tr	tr		
Manteca cerdo	36		0,1	1,5	23,7	3,0	13,0	44,0	10,0	0,8	1,3	tr	tr
Grasas de ave	32			1,0	21,6	5,4	7,4	44,0	19,0	1,2	1,0		7,8
Girasol	-17				6,4	tr	5,0	22,6	63,0	0,5	1,1		
Soja	-14				9,5	0,2	4,0	22,0	54,0	7,3	1,1		
Oliva	5				10,0	0,2	3,5	78	6,5	0,3	tr		
Colza	5			tr	5,0	0,3	2,2	57,0	20,5	9,0	4,4		
Linaza	-17			tr	6,0	tr	4,5	19,0	16,0	54	1,0		
Pescado Chile			0,1	7,0	19,0	9,0	4,9	16,0	2,0	0,9	19	10,0	11,0

Fuente: Table de composition des corps gras INRA y Tabla de composición de FEDNA

- Una alternativa interesante al uso de grasas y aceites convencionales es la reutilización de **co-productos**, que derivan de los procesos de refinación, a través de su utilización en la alimentación animal. Entre ellos destacan los aceites ácidos, los AG destilados y las lecitinas. El glicerol que deriva de la industria del biodiesel no ha demostrado ser un ingrediente interesante para la alimentación de las aves. El glicerol contiene menos de la mitad de la energía de los AG y, trabajos de nuestro equipo, demuestran que empeora la utilización de los AGL (Roll et al., 2017).
- Aceites ácidos (oleínas) y ácidos grasos destilados. Ambos provienen de los procesos de refinación de las grasas y aceites convencionales. El aceite de palma suele refinarse por la vía física y se obtienen los ácidos grasos destilados que contienen más de un 90 % de AGL, y en este caso saturados, especialmente ricos en palmítico (C16:0). En el caso de la refinación química, encontramos más aceites disponibles en el mercado, fundamentalmente de origen vegetal (girasol, soja, oliva y coco), además de combinaciones de diferente origen. Es importante señalar que el perfil en AG de estas oleínas es muy similar al aceite del que provienen y que la diferencia es que contienen una cantidad alta y variable de AGL (40-60%), con un alto potencial energético. Estos aceites ácidos de refinación química suelen contener un % de MAG, DAG y fracción insaponificable superior a las grasas convencionales.

- Lecitinas, separadas durante el desgomado de los aceites, mayoritariamente de soja. Se caracterizan por su alto contenido en PL. Su valor en energía bruta (EB) es inferior a las grasas convencionales, ya que presentan menor contenido en AG. Pero su carácter anfipático, que les confiere un potencial emulgente, su alto grado de insaturación y su coste competitivo, las convierte en opciones interesantes a tener en cuenta.
- También podemos encontrar algunas grasas elaboradas, modificadas para mejorar sus propiedades físico-químicas como: grasas re-esterificadas y jabones cálcicos; algunas basadas en fracciones lipídicas concretas como MAG, AGCM y AGCC, más enfocados a mejorar la salud intestinal.
- Una práctica habitual es la inclusión grasas previamente mezcladas o la **combinación de grasas** (generalmente mezcla de fuente insaturada con saturada) con un perfil en AG determinado y adaptado a cada fase fisiológica.

El coste de producción de estas grasas elaboradas debe ser compensado por la ventaja nutricional asociada.

1.3. Control de calidad de las materias grasas

Las especificaciones nutricionales de las materias grasas son importantes de cara a su selección e incorporación en los piensos. Además, el control de calidad es esencial para conocer el valor energético y asegurarnos de la estabilidad e integridad del ingrediente.

Desafortunadamente, existen muchas determinaciones analíticas que intentan aproximarse a una evaluación de la calidad de las grasas, sin conseguirlo de forma sencilla y eficaz. Algunas determinaciones carecen de valor y otras son complejas en su desarrollo.

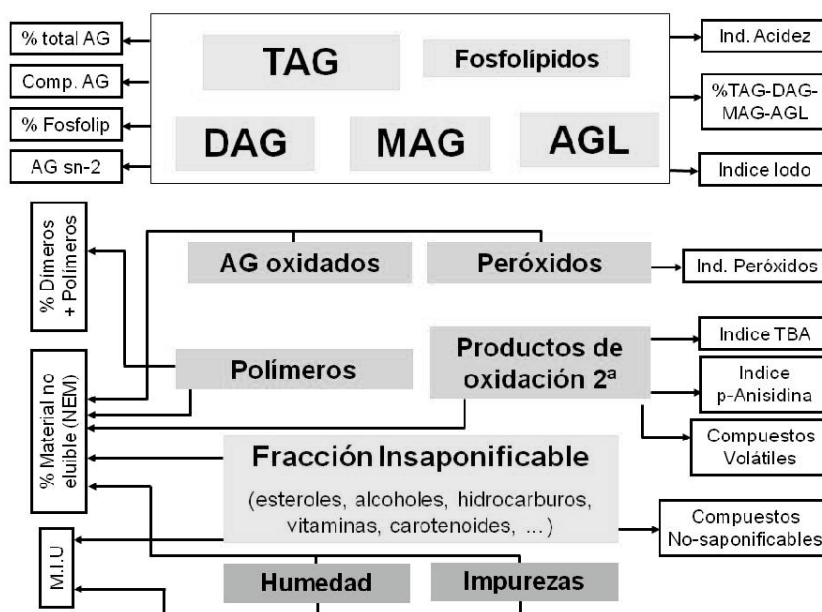
En el esquema 2 aparecen los parámetros analíticos y su relación con los componentes de las grasas. Una mayor información sobre el control de calidad y la relevancia de los distintos parámetros se puede encontrar en Codony et al. (2017). **Como herramientas clave en la evaluación global de calidad de las grasas**, por su importante papel en la utilización por parte del animal, destacamos las siguientes:

- ✓ Perfil en AG. Esta información es esencial para determinar la utilización por parte del animal y la repercusión sobre la calidad. El punto de fusión de la grasa consumida está directamente relacionado con su solubilidad y con el punto de fusión de la grasa depositada por el animal.
- ✓ Nivel de oxidación. La clásica y habitual determinación de peróxidos (productos de oxidación primaria) debería complementarse con el análisis de productos de oxidación secundaria. Hay que recordar que la oxidación es un proceso dinámico que los productos van apareciendo y desapareciendo de forma continua para transformarse en derivados. Otra posibilidad, es medir la estabilidad a la oxidación.
- ✓ Humedad, impurezas e insaponificable (conocido como M.I.U. *moisture, impurities and unsaponifiable*). Su contenido es muy importante ya que está correlacionado negativamente con el valor energético. Otra opción para acercarnos al valor energético es la determinación del material no eluible.

- ✓ % de AGL (acidez) es un parámetro muy utilizado, en parte porque es un indicador de la degradación de los TAG (componente mayoritario de las grasas convencionales). Hay que recordar, que la presencia de AGL es normal en ácidos grasos destilados y oleínas y que tiene un alto valor energético. Es importante conocer su nivel ya que también está correlacionado negativamente con la digestibilidad, especialmente en grasas saturadas.

Por supuesto, hay otros parámetros que pueden resultar interesantes dependiendo del origen de la materia grasas y el objetivo de utilización, como son la presencia de tocoferoles y tocotrienoles, las fracciones lipídicas, la presencia de contaminantes, polímeros, fosfolípidos, ente otros.

Esquema 2. Relación entre componentes de una materia grasa y los parámetros analíticos que permiten su evaluación (Codony et al.,2017)



Es importante destacar que recientemente a través de la aplicación de la metodología NIR ya es posible determinar parámetros relevantes en la evaluación de las grasas (índice de peróxidos, composición en AG, acidez entre otros; Gertz et al., 2013), lo que resulta de gran utilidad para el control de calidad a pie de fábrica. No podemos olvidar que la grasa es transportada, almacenada, pre-calentada (en el caso de grasas sólidas) hasta su dosificación en el pienso; pienso que será sometido a distintas condiciones de temperatura, presión y humedad dependiendo del proceso tecnológico aplicado. Posteriormente, este pienso será transportado y almacenado hasta su consumo por parte del animal. Todos estos procesos pueden desencadenar degradaciones, especialmente procesos de oxidación de los lípidos integrantes del pienso. Es muy importante prevenir la oxidación de las materias grasas y, en este contexto, los antioxidantes de acción *in vitro* juegan un papel esencial. Lo más adecuado sería un control final de la calidad de la fracción lipídica del pienso.

2. Utilización de los lípidos por parte del ave.

Una información detallada sobre los procesos de digestión y absorción de los lípidos en las aves se pueden encontrar en las revisiones de Kroghdal (1985), Vilarrasa (2015) y, recientemente, en el artículo publicado por Ravindran et al. (2016).

2.1. Digestión y absorción

Hay dos aspectos que determinan los procesos de digestión y absorción lipídica, uno que los lípidos se caracterizan por ser insolubles en agua y otro, que el contenido gastrointestinal es un medio esencialmente acuoso. Así, en la digestión lipídica podemos diferenciar 3 pasos consecutivos y esenciales (figura 1):

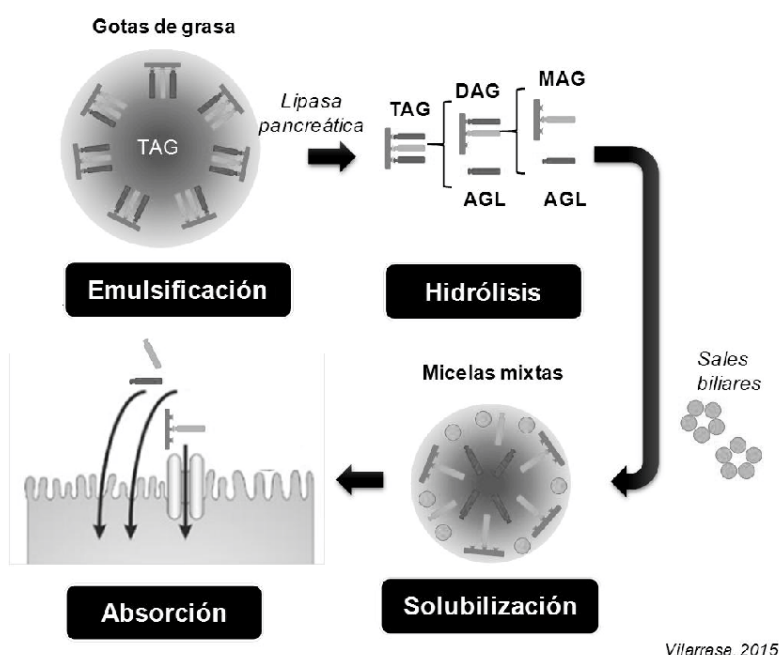
- El primer paso necesario es la emulsión de los lípidos presentes en el alimento, que será importante para los posteriores pasos de los procesos de digestión y absorción. La emulsión se ve facilitada por una reducción del tamaño de partícula del alimento, lo que permite una **reducción del tamaño de las gotas lipídicas** que, además, aumentará la superficie de contacto disponible para la posterior acción de las enzimas. Esta reducción del tamaño de partícula se produce, sobre todo, gracias a la intensa acción mecánica de triturado que tiene lugar en la molleja. Cuando el contenido digestivo entra en el duodeno se mezcla con las secreciones que se liberan en este tramo, como la bilis, que debido a su capacidad surfactante, permite la división en finas partículas y da lugar a la **emulsión**. Es importante destacar que en las aves existen movimientos antiperistálticos en diferentes puntos del tracto gastrointestinal (TGI), entre ellos el reflujo de duodeno a molleja, lo cual permite la entrada de sales biliares en la molleja y permite que el proceso de emulsificación se inicie en este tramo.
- El segundo paso esencial es la hidrólisis, que se produce principalmente en el duodeno. Cuando entran en el duodeno, gracias a la acción de la **lipasa pancreática** (en presencia de colipasa), los TAG se hidrolizan a MAG y AGL. Es muy importante tener en cuenta que la lipasa pancreática tiene preferencia por los AG esterificados en las posiciones *sn-1* y *sn-3* (exteriores) de la molécula de glicerol, por lo que los productos de la lipólisis son **un MAG cuyo AG se sitúa en la posición *sn-2*, es decir central del glicerol, y 2 AGL que son los que se encuentran en las posiciones *sn-1* y *sn-3***. El tipo de AG que está en cada posición de la molécula de glicerol tiene una gran repercusión en la utilización por parte del ave. Además, se ha descrito que la lipasa tiene una mayor afinidad por unirse a los AG insaturados (AGI) y que los AGS de cadena larga inhiben su acción. Debido al reflujo, comentado anteriormente, podemos encontrar productos de la hidrólisis ya en la molleja.
- El tercer paso indispensable es la solubilización micelar. Los productos de la hidrólisis junto con las sales biliares forman las micelas mixtas que al ser solubles en el medio acuoso permiten el transporte hasta el punto de absorción. Las sales biliares se caracterizan por ser anfipáticas con una parte hidrofílica exterior que puede contactar con el medio acuoso intestinal y una parte hidrófoba en el interior. Algunos compuestos lipídicos, ***sn-2* MAG, AGI, AGCM y PL, se incorporan de forma espontánea a las micelas favoreciendo la formación de las micelas mixtas**. Al situarse en la parte más exterior expanden la micela facilitando la entrada de los productos más apolares de la digestión, como los **AGS de cadena larga, que tiene menor capacidad de solubilización y se sitúan en la parte central de la micela**. Se ha descrito que los *sn-2* MAG y los AGCC no necesitan emulsificación al resultar compuestos más polares. Las sales biliares se reciclan a través de la circulación enterohepática, la eficiencia de este proceso es crucial para una adecuada digestión y absorción lipídica.

Las micelas transportan los productos de la lipólisis hasta la membrana del enterocito donde se disociarán y penetrarán bien por **difusión pasiva (*sn-2* MAG, glicerol, AG de cadena AGCC y AGCM) o por transporte facilitado (AG de cadena larga)** a través de proteínas ligadoras de AG (FABP). Estas FABP tienen más afinidad por los AGPI que por los AGS.

Una vez en el interior del enterocito los MAG y AGL son re-esterificados y posteriormente pasarán a formar parte de los portomicrones, que también contienen colesterol libre y esterificado, fosfolípidos y apolipoproteínas. Estos **portomicrones**, salen de los enterocitos y entran a la circulación portal, ya que el sistema linfático está muy poco desarrollado en las aves.

El principal **lugar de absorción** de los lípidos en las aves es el **yeyuno**. Resultados recientes de nuestro grupo corroboran que alrededor de un 70% de los AG utilizados se absorben en el yeyuno y que un 30% de media se absorben en el íleon. La absorción en el intestino grueso es despreciable. También se ha demostrado que el ritmo de absorción varía entre los AG, los AGPI se absorben antes y de forma más eficiente que los AGS (Rodríguez.Sánchez et al., 2017).

Figura 1. Procesos de digestión y absorción de las materias grasas convencionales.



2.2. Factores que afectan a la utilización

En cuanto a los factores que afectan a la utilización de los lípidos por parte del ave, podemos agruparlos en dos bloques: los dependientes del propio animal y los relativos al alimento (principalmente: composición lipídica de la dieta, calidad de la materia grasas añadida y composición de la dieta base).

Dependientes del animal

Está bien descrito que la digestión y absorción de los lípidos mejora conforme avanza la **edad del ave**. Durante los primeros días de vida, la solubilización micelar es el paso más limitante debido a una insuficiente secreción biliar y una ineficiencia en su recirculación enterohepática. De hecho, algunos experimentos han demostrado que la suplementación de bilis mejoraba los coeficientes de utilización lipídica en pollos, especialmente en las primeras semanas de vida. Como siguientes puntos limitantes tenemos la secreción de lipasa y la síntesis de FABP. Sin embargo, todavía quedan muchas incógnitas sobre los mecanismos involucrados en la disponibilidad de los lípidos a primeras edades. Pero como consecuencia de estas

limitaciones, durante los primeros días de vida, todos los lípidos que son más dependientes de la solubilización micelar, tienen comprometida su utilización. Por lo tanto, es fácil comprender que **a primera edad:**

- Los AGI tienen una absorción aparente mucho mayor que los AGS de cadena larga. Conforme avanza la edad del ave, su capacidad de utilización de los AGS aumenta de forma muy evidente, acercándose a la de los AGI.
- La utilización de AGL se ve más comprometida en animales jóvenes, sobre todo con AGS de cadena larga.
- Es aconsejable no incluir altos niveles de incorporación de grasa en dietas preinicio.

A efectos prácticos es importante tener en cuenta que **conforme avanzamos en el programa de alimentación de los pollos de carne se puede ir incrementando paulatinamente el nivel de inclusión, el grado de saturación y la acidez de las grasas añadidas en el pienso**. Siguiendo este mismo criterio, en las dietas de ponedoras estos factores ya no resultan tan limitantes.

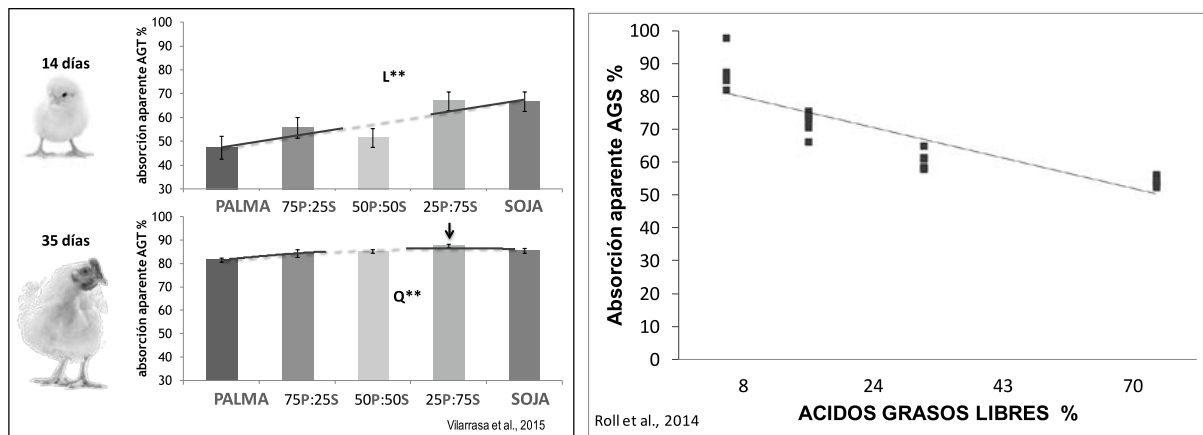
Otro aspecto importante y menos estudiado es el efecto de la estirpe y del sexo de las aves. Hay que señalar que, por la evolución de resultados obtenidos en nuestros estudios a lo largo de las últimas décadas, podemos hipotetizar que en los pollos de crecimiento rápido, la mejora en la utilización de nutrientes se produce cada vez antes, prácticamente la limitación más importante queda restringida a los 7-14 primeros días de vida.

Composición de los lípidos del alimento

Basándonos en lo explicado durante el proceso de digestión y absorción, se derivan las siguientes consecuencias:

- La digestibilidad de los AG, en especial los AGS, disminuye con la **longitud de la cadena**.
- La digestibilidad aumenta con el **grado de insaturación** de la grasa. Este es un punto clave para valorar la energía disponible para el animal (figura 2).
- Se ha descrito cómo se produce un **efecto sinérgico** entre **AGI y AGS**; cabe recordar que en la solubilización micelar los más polares expanden la micela (*sn*-2 MAG, AGI, AGCM y PL) y facilitan la incorporación de los más insolubles (AGS cadena larga) en las micelas mixtas. Por esta misma razón, la presencia de **MAG** mejora la utilización del resto de componentes lipídicos, como demuestran resultados de nuestro equipo al investigar con grasas re-esterificadas (Vilarrasa et al., 2015a y 2015b). La composición lipídica de la dieta base suele representar alrededor de un 2 % del total de grasa del pienso y generalmente es de naturaleza insaturada. Por ello, el efecto sinérgico con los **lípidos de la dieta base** puede ser relevante.

Efecto de la edad, grado de saturación, sinergismo (figura 2) y % de AG libres (figura 3) de la dieta sobre la absorción aparente de los Ácidos grasos (AG totales AGT y AG saturados AGS)



- La digestibilidad de los AGS de cadena larga mejora cuando están situados en la **posición sn-2 del TAG** ya que, durante la hidrólisis quedarán incorporados en el MAG, favoreciendo su utilización.
- Diferentes trabajos señalan que conforme aumenta el **contenido de AGL**, especialmente AGS de cadena larga, a expensas de disminuir el % de TAG, disminuye la digestibilidad de los lípidos de la ración especialmente la utilización de los AGS (figura 3). Sin embargo, los resultados de diferentes trabajos que incorporan oleínas es muy variable, dependiendo de la calidad de la grasa utilizada. Es más importante el grado de saturación que el % de AGL. Además, debe existir una **combinación adecuada de TAG (es decir de presencia de MAG en el intestino) y AGL, especialmente insaturados**, para tener un efecto sinérgico y favorecer su digestión. Recientes trabajos de nuestro grupo demuestran que un nivel moderado de acidez, especialmente con grados de insaturación adecuados es una estrategia económica y viable para su incorporación en el pienso (Rodríguez-Sánchez et al., 2017).

Otros factores relacionados con el alimento

Además hay interferencia de los lípidos con otros componentes del pienso. Se describen efectos **negativos** de la presencia de altos niveles de polisacáridos no amiláceos y calcio (especialmente con AGS) en la digestibilidad de los lípidos. Por otro lado, la presencia de grasa da lugar a un **aumento de la utilización energética del alimento**, entre otras razones por la disminución del incremento térmico, el sinergismo con lípidos de la dieta base y la mejora en la utilización de otros nutrientes debido a una disminución del tiempo de tránsito intestinal.

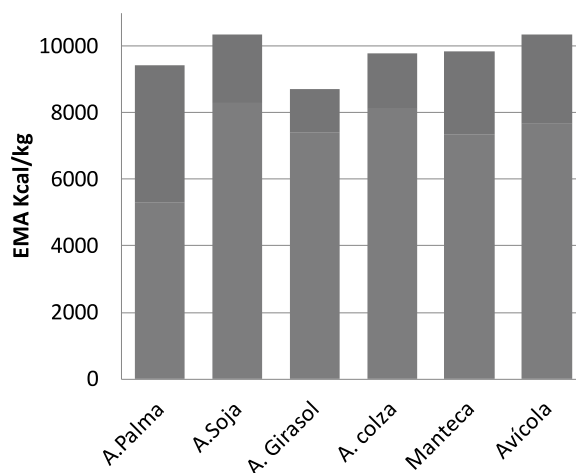
2.3. Disponibilidad de la energía de las materias grasas

Para la formulación es necesario tener datos, lo más precisos posible, no solo sobre el contenido en energía del ingrediente (Energía bruta EB) si no de la disponibilidad de esa energía, es decir, la utilización que podrá hacer el animal y que suele estimarse cómo la **energía metabolizable aparente (EMA)**. Esto es especialmente importante en las materias grasas, ya que su concentración energética es muy elevada. En la bibliografía encontramos una **alta variabilidad** en los valores de EMA de las distintas materias grasas utilizadas en alimentación animal (figura 4).

LIV

Symposium Científico de Avicultura

Figura 4. Variación en la EMA de materias grasas (diferentes organismos oficiales).



Se han desarrollado **ecuaciones de predicción** de la EMA de las grasas, siendo la más conocida la ecuación propuesta por Wiseman en 1998, y que tiene en cuenta la ratio AGI/AGS, el % de AGL y la edad del ave. Sin embargo, la problemática continúa ya que las predicciones no suelen ajustarse a los resultados reales (Aardsma, 2015). Si dejamos a parte las variaciones que pueden ser debidas a la metodología de evaluación, podemos decir que los factores más importantes que afectan al valor de EMA de las grasas son;

- ✓ La calidad de la grasa. Tal y como se ha señalado, es importante conocer la fracción de la grasa que aporta poca o nula energía y que puede resultar perjudicial. Para ello, es especialmente importante determinar el **M.I.U. o material no eluible**. Otro aspecto importante es la **estabilidad** de la grasa hasta su consumo por parte del animal. Almacenamiento, transporte, precalentamiento, procesado tecnológico, incorporación de antioxidantes afectan su estabilidad. Algunos estudios preliminares de nuestro equipo demuestran que algunos procesos tecnológicos pueden hidrolizar los lípidos del pienso produciendo un aumento en la % de MAG, DAG y AGL con una paralela disminución de TAG en el alimento que consumirá el animal.
- ✓ Efecto sinérgico. Se ha señalado que la **combinación de grasas** ejerce efecto sinérgico que puede ser positivo o negativo. De momento se conoce el efecto positivo de mezclar grasas saturadas con insaturadas, pero también funciona la combinación de grasas convencionales con oleínas (TAG con AGL). También la incorporación de grasas ricas en MAG o en AGCC y AGCM mejora la solubilización de los lípidos de la dieta.
- ✓ El nivel de inclusión. La interrelación con la dieta base cambia según el nivel de inclusión de grasa afectando al resultado final.

3. Repercusión sobre la calidad del producto final.

Uno de los aspectos más importantes de la utilización de materias grasas en la alimentación de las aves es el efecto sobre la calidad del alimento producido. Tenemos efectos que van desde el aspecto nutricional hasta implicaciones en temas organolépticos y tecnológicos. Pero en este apartado solo nos vamos a referir a las repercusiones sobre el perfil en AG y la estabilidad oxidativa.

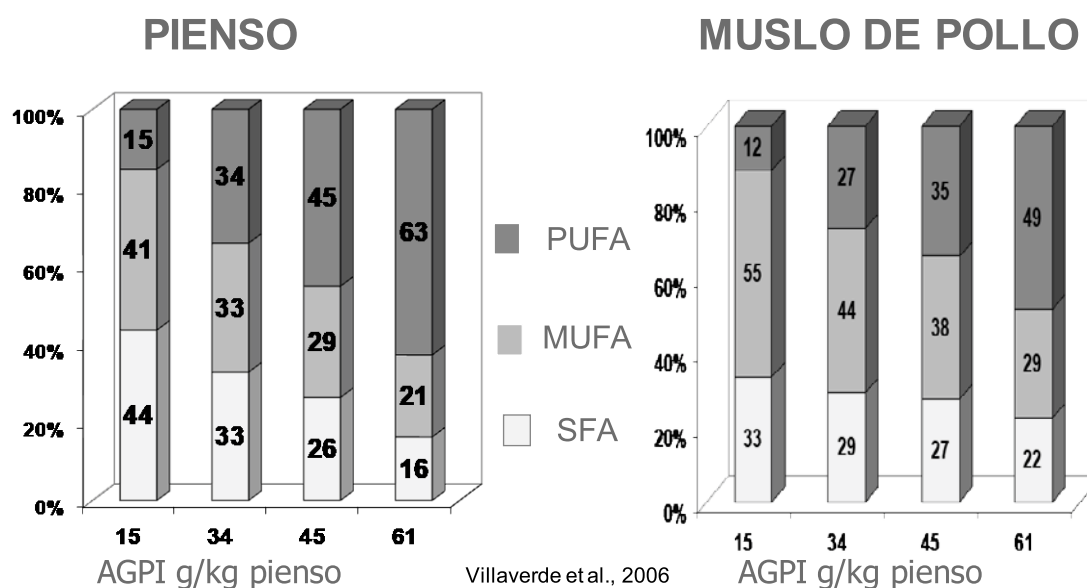
3.1. Perfil en AG y punto de fusión

No podemos olvidar que la composición lipídica del alimento consumido tiene una gran repercusión sobre la composición de los lípidos depositados en el animal monogástrico. En concreto, **el perfil en AG de la carne y los huevos refleja la composición en AG del pienso** consumido. Se ha observado que las variaciones más importantes se producen en el contenido en AGI; los AGPI varían de forma inversa a los AGMI, mientras que los AGS son menos modificables. Esto es especialmente evidente en **grasas de depósito**, es decir en la yema del huevo, en la grasa abdominal, grasa subcutánea y grasa intermuscular del pollo. Sin embargo, el efecto de la grasa de la dieta es menos evidente en la grasa intramuscular y por ello las variaciones del perfil de AG son menores en la pechuga del pollo. Otro aspecto a tener en cuenta es el tiempo que tardan en depositarse los lípidos de la dieta, es decir, el tiempo que se tarda en conseguir cambios en la composición lipídica del animal a través de modificaciones del pienso. Nuestros trabajos han demostrado que el cambio en el perfil de AG de carne y huevos se observa tras **7-10 días después de su consumo**.

Pero una de las repercusiones más importantes la encontramos en la canal y la carne del pollo. En la figura 5 podemos observar que conforme aumenta la proporción de AGPI del pienso el contenido en AGPI de la carne de pollo (muslo) aumenta (Lopez-Ferrer et al., 1999; Cortinas et al., 2004; Villaverde et al., 2006). Es decir, que **si el pollo consume altos niveles de AGI se producirá un aumento en el depósito de estos AGI y una disminución del punto de fusión**, o lo que es lo mismo, la aparición de canales con grasas blandas u oleosas que son rechazadas desde el punto de vista comercial. Para evitar este problema es esencial controlar el tipo de grasa añadida al pienso, sobre todo antes del sacrificio. Es importante recordar que el punto de fusión de la grasa disminuye conforme aumenta el número de dobles enlaces y disminuye el nº de átomos de C. Los piensos que se administran los últimos 7-10 días antes del sacrificio tienen un límite máximo de incorporación de AGPI (p.e. linoleico < 2% FEDNA 2008; sobre todo en verano), generalmente a base de incorporar grasa saturada y disminuir la suplementación de aceites insaturados.

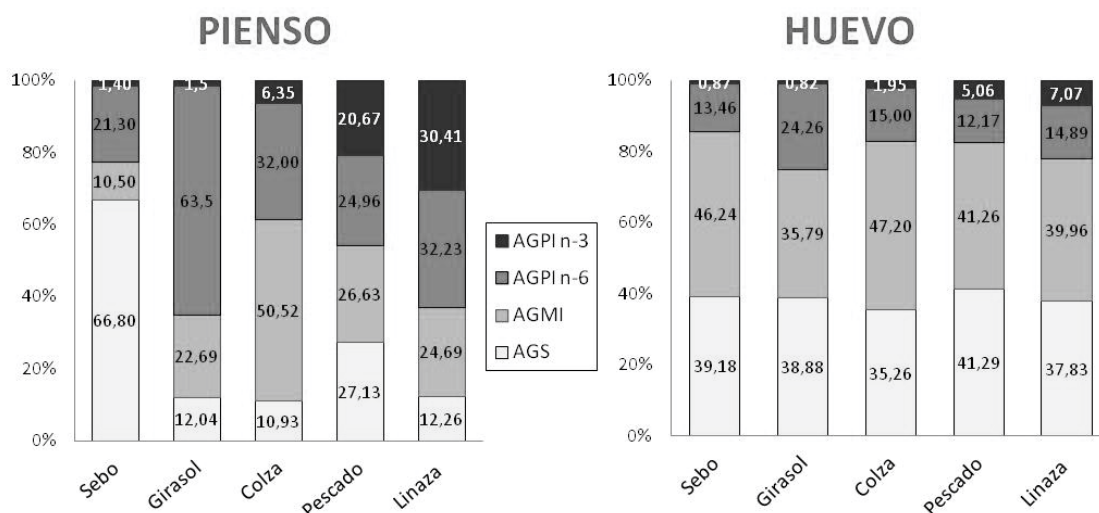
Otra consecuencia del consumo de pienso con altas cantidades de AGPI es una **disminución en la cantidad de grasa depositada** por el animal, en particular en la grasa abdominal. Este efecto puede ser importante en animales de crecimiento lento que depositan más grasa mientras que tiene menor implicación en los pollos de crecimiento rápido, ya que su % de grasa ha disminuido mucho en las últimas décadas.

Figura 5. Modificación del perfil en AG del muslo de pollo en función del perfil en AG del pienso.



En cuanto a los huevos, tal y como hemos señalado, su composición se ve afectada por la grasa suplementada al pienso. En la figura 6 vemos los cambios en el perfil en AG del huevo al suplementar al 4% distintas fuentes de grasas. Además, se han realizado numerosos estudios enfocados a **enriquecer los huevos en AG omega 3**. Como se puede observar, conforme incrementamos la cantidad de AG omega 3 del pienso (a base de suplementar con productos de linaza, colza o pescado) se incrementa el contenido de omega-3 del huevo. Más información sobre estos estudios y las estrategias para incrementar EPA y DHA así como minimizar problemas organolépticos, se pueden encontrar en Baucells et al. (2000).

Figura 6. Modificación del perfil en AG del huevo en función del tipo de grasa añadida al 4% en el pienso (Baucells et al., 2000).

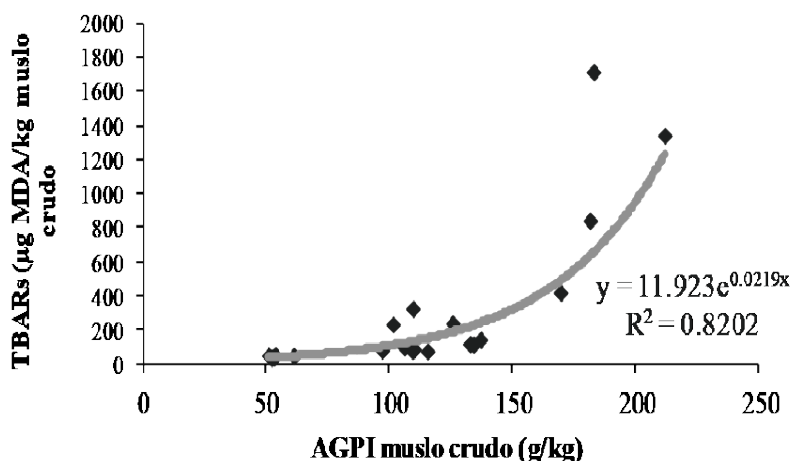


En el caso de las gallinas ponedoras que tienen salida al exterior y acceso a pastos, estos huevos de código 0 y 1, lógicamente, tienen cambios y variabilidad en el color y perfil en AG de la yema según el contenido y consumo de compuestos lipídicos “extras” por parte de la gallina.

3.2. Estabilidad oxidativa de la carne y los huevos

Pero el problema más importante de aumentar el grado de insaturación de la carne y los huevos, es que provoca una mayor susceptibilidad a la oxidación lipídica (figura 7), factor que determina el deterioro de la calidad global del alimento.

Figura 7. Incremento del nivel de oxidación secundaria (TBARs) del muslo de pollo conforme aumenta su contenido en AGPI.



Cortinas et al., 2005

Esta degradación de la fracción lipídica se ve **favorecida por los procesos de cocinado y almacenamiento**. Esto es especialmente relevante en la carne de pollo con más contenido de grasa como el muslo y contramuslo con piel. En cuanto a los huevos, cabe señalar que mientras permanece intacta la cáscara, los lípidos se mantienen estables ya que contiene muchos antioxidantes que previenen su oxidación. Sin embargo, en el momento en que se procede a su manipulación para el consumo, se inician y desarrollan los procesos oxidativos (Cortinas et al., 2006; Grau et al., 2001). Por una parte, la oxidación provoca **la aparición de olores y sabores extraños, así como alteraciones en el color, reduciendo de esta manera la calidad organoléptica y la vida útil del producto** (Bou et al., 2001). Por otra parte, el proceso oxidativo produce una **reducción del valor nutritivo de la carne y los huevos** por la destrucción de ácidos grasos, vitaminas y aminoácidos. Además, supone un peligro para la salud ya que el consumo de productos derivados de la oxidación lipídica se ha relacionado con el desarrollo de diversas patologías de tipo cardiovascular, envejecimiento, cáncer, etc. Todo ello contribuye a reducir la aceptación del producto por parte del consumidor.

Por todo ello, es importante prevenir la oxidación de los alimentos de origen animal y una de las estrategias utilizadas es a través de la **suplementación dietética con antioxidantes**. Se han realizado diversos estudios con el objetivo de determinar la eficacia de diferentes compuestos. Uno de los más estudiados y eficaces es el acetato de alfa-tocoferol (vitamina E). Se ha demostrado como su suplementación reduce el nivel de oxidación de la carne y los huevos y además permite enriquecer en vitamina E (Cortinas et al., 2005). En la actualidad se trabaja en la búsqueda de nuevos compuestos que tengan acción antioxidante *in vivo*. A este respecto es importante conocer el principio activo y su concentración, a partir de aquí determinar la dosis y tiempo de administración adecuados (relación coste-efecto) en base a estudios que determinen su biodisponibilidad y poder antioxidante *in vivo*.

Nuevas líneas de trabajo

En la literatura encontramos una amplia información sobre las materias grasas y sus implicaciones en el animal, pero también quedan muchas lagunas por cubrir y, en la actualidad, existen nuevas inquietudes que abren nuevos campos de trabajo. Destacamos las siguientes:

- Caracterización de materias grasas alternativas (económicas y sostenibles) y estudio de su utilización por el animal. Aquí destacan como más interesantes y disponibles los aceites ácidos (oleínas), ácidos grasos destilados y lecitinas.
- Comprender los mecanismos que alteran (mejoran o reducen) la EMA de las grasas.
- Determinar los cambios que se producen en los TAG del pienso por los procesos de fabricación y almacenamiento.
- Desarrollo de materias grasas con nuevas propiedades físico-químicas que faciliten su dosificación y manipulación en la fabricación de los piensos
- Estudio de la transferencia de compuestos lipídicos de la yema al pollito. Aquí se incluye alimentación *in ovo* pero también alimentación de las reproductoras. Determinar si la incorporación y/o aumento de algunos compuestos lipídicos en el huevo puede mejorar el desarrollo del pollito.
- Alimentación precoz. Búsqueda de compuestos lipídicos que consumidos las primeras horas permitan un mejor desarrollo del sistema digestivo e inmunitario del pollito recién eclosionado.
- Desarrollo y estudio de productos que ayuden a la solubilización micelar a primeras edades (p.e. en base a PL, MAG etc.). Fase más crítica desde el punto de vista de utilización digestiva.

- Desarrollo y estudio de las combinaciones óptimas de compuestos lipídicos para cada pienso del programa de formulación.
- Desarrollo y estudio de suplementos lipídicos específicos que mejoren salud intestinal en base a regulación del microbioma (p.e. ricos en AGCM y AGCC).
- Desarrollo de compuestos antioxidantes eficaces *in vivo*, especialmente de tipo natural, que mejoren la estabilidad oxidativa y la calidad organoléptica del alimento producido.
- Estudios sobre utilización de materias grasas en otras especies avícolas, especialmente pavos y codornices.

Bibliografía y webgrafía

- Aardsma M P. 2015. Determination of relative metabolizable energy values for fats and oils via the slope-ratio precision-fed rooster assay. *PhD thesis. University of Illinois*
- Baucells MD, Crespo, N, Barroeta, AC, Lopez-Ferrer, S and Grashorn, MA. 2000. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science* 79: 51-59
- Bou R.; Guardiola F.; Grau A.; Grimpa S.; Manich A.; Barroeta A. y Codony R. 2001. Influence of dietary fat source, alfa-tocoferol, and ascorbic acid supplementation on sensory quality of dark chicken meat. *Poultry Science* 80: 1-8.
- Codony R, Guardiola F, Bou R. y Tres A. 2010. Valoración analítica y nutricional de las grasas XXVI Curso de Especialización FEDNA, Madrid-Chapter 7. (http://fundacionfedna.org/sites/default/files/10CAP_VII.pdf).
- Codony R. Guardiola, Tres A. y Barroeta A. Quality control and nutritional value of fats. *21st European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN)*. <http://www.espn2017.es/>
- Cortinas, L.; Villaverde, C.; Galobart, J.; Baucells, MD.; Codony, R. and Barroeta, AC. 2004. Fatty Acid Content in Poultry Thigh and Breast as Affected by Dietary Polyunsaturation Level. *Poultry Science* 83: 1155-1164.
- Cortinas, L.; Barroeta, AC; Villaverde, C.; Galobart, J.; Guardiola, F and Baucells, MD. 2005. Influence of Dietary Polyunsaturation Level on Chicken Meat Quality: Lipid Oxidation. *Poultry Science* 84: 48- 55.
- Cortinas, L.; Baucells, MD; Villaverde, C.; Guardiola, F; Jensen, SK and Barroeta, AC. 2006. Influence of Dietary Polyunsaturation Level on alpha-tocoferol content in chicken meat. *Archive für Geflügelkunde* 70 (3): 98-105.
- FEDNA. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para fabricación de piensos compuestos*. (<http://www.fundacionfedna.org/ingredientes-para-piensos>).
- FEDNA. 2008. *Necesidades nutricionales para avicultura: pollos de carne y aves de puesta*. (<http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/NORMAS AVES 2008.pdf>).
- Grau A.; Codony R.; Grimpa S.; Baucells M.D. y Guardiola F. 2001. Cholesterol oxidation in frozen dark chicken meat: influence of dietary fat source and alfa-tocopherol and ascorbic acid supplementation. *Meat Sci.* 57: 197-208.
- INRA. 2004. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons* - Sauvant D., Perez J.-M., Tran G. coord.,

- Gertz Ch, Fiebig H-J and Hancock J.N.S.2013. FT-near infrared (NIR) spectroscopy – Screening analysis of used frying fats and oils for rapid determination of polar compounds, polymerized triacylglycerols, acid value and anisidine value. *European Journal Lipid Science & Technology* 115: 1193-1197.
- Krogdahl, A., 1985. Digestion and absorption of lipid in poultry. *J. Nutr.* 115, 675–685
- Mateos GG, Rebollar PG et al. 1996. *XII Curso de especialización FEDNA, Madrid-Chapter 1.* (http://fundacionfedna.org/sites/default/files/96CAP_1.pdf).
- López-Ferrer S.; Baucells M.D.; Barroeta A.C. y Grashorn M.A. Influence of vegetable oil sources on quality of broiler meat. *Arch. Geflügelk.* 1999. 63 (1): 29-35.
- Nuchi C, Guardiola F, Bou R., Bondioli P., Della bella L. and Codony R. 2009. Assessment of the Levels of Degradation in Fat Co-and Byproducts for Feed Uses and Their Relationships with Some Lipid Composition Parameters *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 1952-1959.
- Ravindran V, Tancharoenrat P, Zaefarian F and Ravindran G. 2016. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilization. *Animal Feed Science and Technology* 213: 1-21.
- Rodriguez R, Tres A and Barroeta AC. 2017Dietary free fatty acids and saturation degree modify lipid absorption dynamics in broiler chickens. *21st European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN).* <http://www.espn2017.es/>
- Roll, A., Vilarrasa and Barroeta AC.2017. The different molecular structure and glycerol-to-fatty acid ratio of palm oils affect their nutritive value in broiler chicken diets (*en revisión*).
- Vilarrasa, E. 2011. Effects of the use of esterified acid oils with different saturation degree and different monoacylglyceride content in broiler chicken diets *Màster de Recerca en Ciència Animal i dels Aliments. UAB.*
- Vilarrasa E, Codony R, Esteve-Garcia E and Barroeta AC. 2015a. Use of re-esterified oils, differing in their degree of saturation and molecular structure, in broiler chicken diets. *Poultry Science* 94 (7): 1527-1538.
- Vilarrasa E, Guardiola F, Codony R, Esteve-Garcia E and Barroeta AC. et al. 2015b. Use of combinations of re-esterified oils, differing in their degree of saturation, in broiler chicken diets. *Poultry Science* 94 (7): 1539–1548.
- Villaverde, C; Baucells, MD; Cortinas, L; Barroeta, AC. 2006. Effects of dietary concentration and degree of polyunsaturation of dietary fat on endogenous synthesis and deposition of fatty acids in chickens. *Br. Poult. Sci.* 47 N° 2: 173-179.
- Wiseman J, Powles J and Salvador F. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of the dietary energy value of fats. *Animal Feed Science Technology* 71: 1-9.