Efectos del uso de aceites ácidos esterificados con diferente contenido en monoglicéridos en la ración del pollo de carne

E. VILARRASA[1]*, V. FRAGUA1 Y A.C. BARROETA[1]

[1]Servei de Nutrició i Benestar Animal (SNiBA), Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Edifici V, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona, Spain.

*Autor corresponsal: ester.vilarrasa@campus.uab.cat

RESUMEN

Los aceites ácidos esterificados resultan de la unión de los ácidos grasos libres, procedentes de la refinación de los aceites, con glicerol. Estas materias grasas presentan nuevas características que pueden mejorar su utilización nutritiva, como son la presencia de monoacilglicéridos (MAG) y la diferente posición de los ácidos grasos en la molécula de triglicérido. El objetivo del presente estudio fue comparar el uso de estos aceites ácidos esterificados con diferente nivel de saturación y con diferente porcentaje de MAG, respecto a sus correspondientes aceites ácidos (control negativo) y aceites convencionales (control positivo), en la ración de pollos de carne. Para ello, 144 pollos hembra Ross 308 de 1 día de vida se distribuyeron al azar en 48 jaulas. Los 8 tratamientos resultaron de la formulación de un pienso base al que se incorporó un 6% de: aceite de palma (P+), aceite ácido de palma esterificado bajo en MAG (PLM), aceite ácido de palma esterificado alto en MAG (PHM), aceite ácido de palma (P-), aceite de soja (S+), aceite ácido de soja esterificado bajo en MAG (SLM), aceite ácido de soja esterificado alto en MAG (SHM) y aceite ácido de soja (S-). Los animales alimentados con las grasas insaturadas (soja), respecto a las saturadas (palma), presentaron mejores índices de transformación ($P < 0,0001$) y el menor estado de engrasamiento de la canal ($P = 0,0001$). En los parámetros productivos no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los aceites ácidos esterificados y su correspondiente control positivo ($P > 0,05$). Numéricamente, los mayores pesos vivos se obtuvieron con el tratamiento SHM (2.690 ± 43,2 g). Se realizó un balance de digestibilidad entre los 8 y 12 días de edad, en el que los resultados de energía metabolizable aparente (EMA) y de utilización de la grasa y de la materia orgánica fueron superiores para los piensos suplementados con los aceites más insaturados en comparación con los más saturados ($P < 0,05$), aunque los aceites ácidos esterificados de palma (PLM y PHM) dieron lugar a EMA similares a la del control positivo de soja ($P > 0,05$). Por todo ello, se concluye que los aceites ácidos esterificados pueden alcanzar resultados productivos parecidos o incluso superiores a los obtenidos con las grasas de uso convencional, pero con un menor coste.

Palabras clave: pollos de carne; aceites ácidos esterificados; monoglicéridos; digestibilidad.

ABSTRACT

Esterified acid oils are the result of the union of free fatty acids, deriving from oil refining, with glycerol. The esterification process results in a fat with new physicochemical properties, due to the different triacylglyceride structures and MAG proportion, which can improve its nutritive value. The aim of this study was to compare the use of esterified acid oils, with different saturation levels and MAG proportions, considering their acid oils (negative control) and their native oils (positive control) in broilers diet. 144 1-day old female broiler chickens of Ross 308 strain were randomly distributed in 48 cages. The animals were fed a basal diet supplemented with 6% of: palm oil (P+), low MAG palm esterified acid oil (PLM), high MAG palm esterified acid oil (PHM), palm acid oil (P-), soybean oil (S+), low MAG soybean esterified acid oil (SLM), high MAG soybean esterified acid oil (SHM) and soybean acid oil (S-). The animals fed unsaturated fats (soybean), compared to saturated fats (palm), presented the better feed conversion ratios ($P < 0.0001$) and the lowest carcass fatness ($P = 0.0001$). No differences in feed conversion ratios between esterified acid oils and their corresponding native oil were found ($P > 0.05$). The numerical highest final

weight was obtained with the SHM treatment (2,690 ± 43.2 g). The digestibility balance performed between 8 and 12 days of age, resulted in a higher apparent metabolizable energy (AME), and fat and organic matter utilization for animals fed unsaturated fats, in comparison with animals fed saturated fats (P < 0.05). Palm esterified acid oils (PLM and PHM) resulted in a similar AME to S+ (P > 0.05). Briefly, we can conclude that esterified acid oils can achieve similar or even higher performances than those obtained using conventional ones, but with a lower cost.

***Keywords**: broiler chickens; esterified acid oils; monoacylglycerides; digestibility.*

INTRODUCCIÓN

La inclusión de materias grasas es una práctica habitual en la formulación de piensos destinados a los animales monogástricos, debido a su alto aporte energético. Para las empresas del sector de la alimentación animal es prioritario disponer de fuentes de grasa de calidad a precio competitivo.

Algunos co-productos, como los aceites ácidos procedentes de la refinación química y física de grasas y aceites, son una alternativa económica interesante, cuando se comparan con otras fuentes de grasa utilizadas de forma rutinaria como el aceite de soja o de palma.

Sin embargo, está bien establecido que, conforme aumenta la cantidad de ácidos grasos libres presente en una materia grasa, disminuye su valor energético (Wiseman and Salvador, 1991; Blanch et al., 1996). Por ello, se ha trabajado en la posibilidad de dar valor añadido a los aceites ácidos mediante su esterificación con glicerol, transformándolos en productos de mayor calidad y valor nutritivo para alimentación animal.

La esterificación química al azar de los aceites ácidos con glicerol produce un tipo de grasa con nuevas propiedades físico-químicas, fisiológicas y nutricionales, de interés en nutrición animal. La esterificación puede mejorar la digestibilidad de los ácidos grasos saturados (AGS), sobre todo a primeras edades, debido a que una mayor proporción de estos se puede situar en la posición sn-2 de los triglicéridos (TAG) formados (Linderborg and Kallio, 2005; Karupaiah and Sundram, 2007; Berry, 2009). Además, su mayor proporción de mono-(MAG) y diacilglicéridos (DAG), debido a sus propiedades emulgentes, puede mejorar la digestibilidad de los ácidos grasos libres (AGL) procedentes de la digestión.

La digestión, absorción y metabolismo lipídico son procesos muy complejos, y el efecto final depende de factores complementarios como la estructura de los TAG, la longitud y grado de insaturación de los ácidos grasos, la presencia de MAG y otros emulgentes, y el pH del estómago, entre otros (Mu and Høy, 2004).

A partir de todas estas evidencias, los objetivos del presente estudio son comparar el uso de aceites ácidos esterificados con diferente nivel de saturación y con diferente porcentaje de MAG, respecto a sus correspondientes aceites ácidos (control negativo) y aceites convencionales (control positivo), en la ración de pollos de carne. En concreto, se estudiarán las diferencias en los resultados productivos, en el engrasamiento de la canal, así como en la utilización de la materia orgánica, la digestibilidad de la grasa y de los ácidos grasos, y la energía metabolizable aparente (EMA) de las raciones a primeras edades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Pienso y diseño experimental

Se administraron 2 tipos distintos de piensos según la fase: de iniciación (hasta los 14 días de edad, en forma de harina) y de crecimiento (de los 14 días hasta el final, en forma de granulado). Los piensos experimentales fueron formulados para satisfacer o exceder las necesidades señaladas en FEDNA (2008) a partir de una dieta base (Tabla 1) suplementada con un 6% de una de las 8 grasas

objeto de estudio (proporcionadas por SILO S.p.a., Florencia, Italia). La fabricación de los piensos experimentales se llevó a cabo en la estación experimental del IRTA "Mas de Bover" (Reus, España).

Tabla 1. Ingredientes y composición en nutrientes de los piensos experimentales

	Pienso iniciación (1-14 d de edad)	Pienso crecimiento (14-40 d de edad)
Ingredientes (%)		
Trigo	55,30	62,86
Harina de soja (48%)	31,44	26,05
Grasas experimentales[1]	6,00	6,00
Harina de girasol	3,31	-
Fosfato dicálcico	1,74	1,40
Carbonato cálcico	0,93	2,56
Cloruro de sodio	0,40	0,35
Corrector mineral-vitamínico[2]	0,30	0,30
DL-Metionina	0,23	0,19
L-Lisina	0,22	0,18
L-Treonina	0,05	0,04
Suplemento enzimático[3]	0,05	0,05
Etoxiquin 66%	0,02	0,02
Colina Cl	0,01	-
Composición en nutrientes analizada (% ± DE)[4]		
Materia seca	89,89 ± 0,167	88,22 ± 0,465
Cenizas	5,95 ± 0,106	5,19 ± 0,066
Proteína bruta	20,55 ± 0,411	19,32 ± 0,166
Extracto etéreo	8,26 ± 0,292	6,72 ± 0,488
Fibra bruta	4,18 ± 0,240	4,17 ± 0,160
Composición en nutrientes calculada (%)		
L-Lisina	1,30	1,10
DL-Metionina	0,56	0,47
Metionina+Cisteína	0,94	0,82
L-Treonina	0,85	0,73
Ca^{2+}	1,00	1,50
P disponible	0,45	0,38
Na^{+}	0,17	0,15
Energía bruta (kcal/kg de pienso ± DE)[1] †	4.260 ± 25,8	4.339 ± 71,5
EMA (kcal/kg de pienso) ‡	2,906	2,955

[1] Aceite de palma, aceite ácido de palma esterificado bajo en MAG, aceite ácido de palma esterificado alto en MAG, aceite ácido de palma, aceite de soja, aceite ácido de soja esterificado bajo en MAG, aceite ácido de soja esterificado alto en MAG y aceite ácido de soja, para los tratamientos P+, PLM, PHM, P-, S+, SLM, SHM y S-, respectivamente. [2] Proporciona por kg de pienso: vitamina A (E-672) 13500 UI; vitamina D3 (E-671) 4800 UI; vitamina E (alfa-tocoferol) 45 mg; vitamina B1 3 mg; vitamina B2 9 mg; vitamina B6 4.5 mg; vitamina B12 16,5 µg; vitamina K3 3 mg; pantotenato de calcio 16,5 mg; ácido nicotínico 51 mg; ácido fólico 1,8 mg; biotina 30 µg; Fe (E-1) (procedente de FeSO4·7H2O) 54 mg; I (E-2) (procedente de Ca(I2O3)2) 1,2 mg; Co (E-3) (procedente 2CoCO3·3Co(OH)2·H2O) 0,6 mg; Cu (E-4) (procedente CuSO4·5H2O) 12 mg; Mn (E-5) (procedente MnO) 90 mg; Zn (E-6) (procedente ZnO) 66 mg; Se (E-8) (procedente Na2SeO3) 0,18 mg; Mo (E-7) ((NH4)6Mo7O24) 1,2 mg. [3] Proporciona por kg de pienso: -glucanasa 350 UI; xilanasa 1125 UI . [4] Los valores son medias de 2 determinaciones para cada uno de los 8 piensos experimentales, de muestras tomadas después de la fabricación y al final de cada fase de producción (día 14 y 40). † Analizado ‡ Calculado

El diseño experimental del ensayo se basó en un diseño factorial de 2 x 4, constituido por el factor saturación [fuente de grasa saturada (P: palma) y fuente de grasa insaturada (S: soja)] y el factor tipo [aceite convencional (+: control positivo), aceite ácido esterificado bajo en MAG (LM), aceite ácido esterificado alto en MAG (HM) y aceite ácido (-: control negativo)], obteniendo un total de 8 tratamientos:

- **P+**: ración con 6% de aceite de palma.
- **PLM**: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado bajo en MAG (10% MAG, 40% TAG y 50% DAG).
- **PHM**: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado alto en MAG (30% MAG, 20% TAG y 50% DAG).
- **P-**: ración con 6% de aceite ácido de palma (60% AGL).
- **S+**: ración con 6% de aceite de soja.
- **SLM**: ración con 6% de aceite ácido de soja esterificado bajo en MAG (10% MAG, 40% TAG y 50% DAG).
- **SHM**: ración con 6% de aceite ácido de soja esterificado alto en MAG (30% MAG, 20% TAG y 50% DAG).
- **S-**: ración con 6% de aceite ácido de soja (60% AGL).

Animales e instalaciones

Un total de 114 pollos hembra de la estirpe Ross 308 (Terra-Avant, S.A. Anglès, España) de un día de edad, se identificaron individualmente, se agruparon según peso vivo y se distribuyeron al azar en los 8 tratamientos experimentales. El ensayo se llevó a cabo en la granja experimental del Servei de Granges i Camps Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona y fue aprobado por el Comité de Ética de la misma institución.

Durante la primera semana de vida, los pollitos se alojaron en un espacio acondicionado en el suelo, a razón de 9 pollitos por corral y 2 réplicas por tratamiento; y a partir del día 7 de vida se distribuyeron en 48 jaulas, a razón de 3 aves por jaula y 6 réplicas por tratamiento, hasta los 40 días de edad. A lo largo de todo el experimento se realizaron controles de las condiciones ambientales y la administración de agua y pienso fue ad libitum.

Controles de producción y recogida de muestras

A lo largo de todo el periodo experimental, se realizaron controles de ingestión de pienso y peso de los animales para determinar el consumo medio diario (CMD), la ganancia media diaria (GMD) y el índice de transformación del alimento (IT).

Se recogieron muestras de los piensos experimentales al inicio y al final de la prueba. Éstas fueron homogenizadas, molidas y conservadas a 5 ºC hasta su posterior análisis proximal, siguiendo los procedimientos propuestos por la AOAC (2005). También se determinó la energía bruta (EB) mediante calorímetro adiabático (IKA C-4000, Janke-Kunkel, Staufen, Alemania) y se cuantificaron los ácidos grasos aplicando la técnica de transesterificación directa (Sukhija and Palmquist, 1988). La composición nutritiva de las dietas experimentales se muestra en la Tabla 1, y su composición en ácidos grasos en la Tabla 2.

Entre los 8 y 12 días de vida se llevó a cabo un balance de digestibilidad con recogida total de excretas. Se pesaron las excretas al final de la prueba, se homogeneizaron y se recogió una muestra representativa de las mismas, para ser congelada a -20 ºC y posteriormente liofilizada (Kinetic Thermal System: condenser Dura-Dry. Model FD2055D0T000. US), molida y conservada a 5 ºC a la espera de la realización de las determinaciones analíticas de humedad, cenizas, extracto etéreo, EB y cuantificación de los ácidos grasos siguiendo los mismos métodos descritos para los piensos. Los valores de metabolicidad aparente se calcularon a partir de la diferencia entre la cantidad ingerida y la cantidad excretada, expresada como porcentaje de la cantidad ingerida. En el caso de la EMA, el porcentaje de metabolicidad de la energía se multiplicó por la EB del pienso correspondiente.

Al final del experimento, los 18 animales de cada tratamiento fueron sacrificados, desangrados y desplumados en un matadero comercial (Gimave, S.A., Ripollet, España). Al cabo de 12 h del sacrificio se procedió al pesaje de la canal y a la extracción y pesaje del paquete de grasa abdominal (grasa que rodea el proventrículo hasta la cloaca).

Tabla 2. Composición en ácidos grasos de los piensos experimentales

Ácidos grasos	*Piensos de iniciación[1] (1-14 d de edad)*								*Piensos de crecimiento[1] (14-40 d de edad)*							
	P+	PLM	PHM	P-	S+	SLM	SHM	S-	P+	PLM	PHM	P-	S+	SLM	SHM	S-
C8:0	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-	0,08	-	-	-	-
C10:0	-	0,10	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,08	0,08	-	-	-	-
C12:0	0,66	1,15	0,47	1,07	0,60	0,54	0,58	0,67	0,65	1,04	1,01	1,12	0,69	0,58	0,59	0,76
C14:0	0,78	0,82	0,73	0,83	0,09	0,10	0,08	0,15	0,73	0,78	0,72	0,75	0,08	-	0,08	0,12
C15:0	0,08	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-
C16:0	25,66	24,48	22,23	30,30	10,80	11,12	9,48	11,17	23,91	23,99	22,38	23,76	9,66	9,89	9,21	9,79
C16:1	0,34	0,18	0,21	0,17	0,11	0,12	0,11	0,12	0,37	0,15	0,15	0,15	0,09	0,09	0,08	0,09
C17:0	0,14	0,13	-	0,12	0,11	0,11	0,10	0,12	0,13	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
C18:0	3,43	5,50	5,30	4,46	3,54	3,47	2,80	3,95	2,89	4,89	4,56	4,48	2,95	2,80	2,60	3,05
C18:1n9t	-	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C18:1n9c	25,67	26,29	24,03	27,99	18,44	18,50	15,46	20,08	22,64	24,28	22,47	23,39	15,77	15,95	14,37	16,81
C18:1n11c	0,88	0,75	0,77	0,80	1,16	1,17	0,97	1,26	0,74	0,60	0,57	0,59	0,99	1,00	0,90	1,05
C18:2n6c	21,55	19,68	18,50	20,64	45,75	45,19	37,61	47,29	16,74	15,48	15,04	15,21	40,67	40,55	36,14	40,59
C18:3n3	1,88	1,67	1,62	1,75	5,90	6,10	4,62	5,84	1,19	1,05	1,07	1,03	5,18	5,38	4,41	4,88
C20:0	0,31	0,37	0,33	0,33	0,30	0,30	0,25	0,33	0,25	0,33	0,31	0,30	0,25	0,25	0,22	0,26
C20:1n9	0,27	0,18	0,19	0,18	0,22	0,21	0,19	0,23	0,27	0,17	0,16	0,16	0,20	0,19	0,17	0,20
C20:5n3	0,32	-	-	-	-	-	-	-	0,38	-	-	-	-	-	-	-
C22:0	0,19	0,19	0,14	0,19	0,34	0,34	0,28	0,36	0,14	0,15	0,14	0,14	0,30	0,29	0,27	0,30
C22:6n3	0,71	-	-	-	-	-	-	-	0,87	-	-	-	-	-	-	-
C24:0	0,12	0,14	-	0,12	0,15	0,14	0,13	0,14	0,10	0,10	-	0,11	0,13	0,12	0,12	0,12
AGS	31,39	32,96	29,21	37,44	15,94	16,12	13,69	16,88	28,89	31,59	29,31	30,93	14,15	14,03	13,18	14,51
AGMI	27,15	27,49	25,20	29,14	19,93	20,00	16,73	21,70	24,02	25,20	23,35	24,28	17,05	17,23	15,53	18,15
AGPI	24,45	21,35	20,12	22,39	51,65	51,29	42,23	53,12	19,18	16,53	16,12	16,24	45,85	45,94	40,55	45,48
Total AG	82,99	81,79	74,53	88,97	87,53	87,40	72,65	91,70	72,09	73,32	68,78	71,44	77,05	77,19	69,26	78,13

[1] P+: ración con 6% de aceite de palma; PLM: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado bajo en MAG; PHM: dieta con 6% de aceite ácido de palma esterificado alto en MAG; P-: dieta con 6% de aceite ácido de palma; S+: dieta con 6% de aceite de soja; SLM: dieta con 6% de aceite ácido de soja esterificado bajo en MAG; SHM: dieta con 6% de aceite ácido de soja esterificado alto en MAG; S-: dieta con 6% de aceite ácido de soja. AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados Nota: El símbolo "-" indica valor no detectado.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los distintos parámetros estudiados se utilizó el procedimiento GLM del SAS® (SAS Institute, 2008). El análisis de varianza (ANOVA) se utilizó para determinar si existían diferencias significativas entre los distintos niveles de los factores principales, saturación (P, S) y tipo (+, LM, HM, -), y entre las interacciones sobre los parámetros estudiados. La unidad experimental en la mayoría de los casos fue la jaula, aunque para el peso vivo final y el peso de la grasa abdominal, la unidad experimental fue el individuo. De todas formas, en estos dos últimos casos se incorporó la réplica como factor aleatorio del modelo. Cuando el test F para los factores principales o para la interacción fue significativo a $P \leq 0,05$, las medias se compararon mediante el test de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros productivos

En la Tabla 3 se muestran los resultados correspondientes a los parámetros productivos para las fases de iniciación (1-14 d), crecimiento (14-40 d) y el global del experimento.

Independientemente del periodo estudiado, el índice de transformación (IT) fue mejor en los animales alimentados con grasas insaturadas (S), en comparación con los alimentados con grasas saturadas (P) ($P < 0,05$), en concordancia con otros estudios (Zollitsch et al., 1997; Ferrini et al., 2008). Esta mejora se debió, durante los primeros 14 días, a una mayor ganancia media diaria (GMD) por parte de los pollos alimentados con aceites de soja (S: 24,34 ± 0,404 g/d vs. P: 22,90 ± 0,411

g/d; P = 0,0188). Sin embargo, en la fase de acabado y en el global del experimento, los animales que consumieron los piensos más saturados, independientemente de su contenido en MAG y AGL, ingirieron una mayor cantidad de pienso para conseguir el mismo crecimiento que los pollos que consumieron los piensos con distintas materias grasas provenientes de soja (P < 0,05).

En cambio, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en estos parámetros debido al tipo de aceite utilizado: convencional, aceite ácido y aceites ácidos esterificados con diferente porcentaje de MAG (P > 0,05). Estos resultados indican que la utilización de estos aceites ácidos esterificados permite alcanzar resultados productivos similares a los de sus grasas convencionales de origen.

Tampoco se obtuvieron diferencias para el peso vivo final de los animales (P > 0,05), aunque cabe señalar que el valor más elevado correspondió al tratamiento SHM (2.690 ± 43,2 g), y el valor más bajo al tratamiento SLM (2.490 ± 44,6 g). En cambio, sí se obtuvo una diferencia significativa para el peso de la canal entre estos dos tratamientos (P = 0,0324), corroborando lo dicho anteriormente. Por otro lado, se observaron cambios en el depósito de grasa de la canal. Así, los pollos alimentados con grasas saturadas (P) presentaron un mayor porcentaje de grasa abdominal respecto al peso de la canal (P: 2,83 ± 0,079 % vs. S: 2,46 ± 0,068 %; P = 0,0005), lo que, en valor absoluto, supone un incremento del 14%. De hecho, es bien sabido que la ingestión de AGPI, en comparación con la de AGS, da lugar a un menor depósito de grasa abdominal en el pollo de carne (Sanz et al., 1999; Crespo and Esteve-García, 2002; Ferrini et al., 2008).

Balance

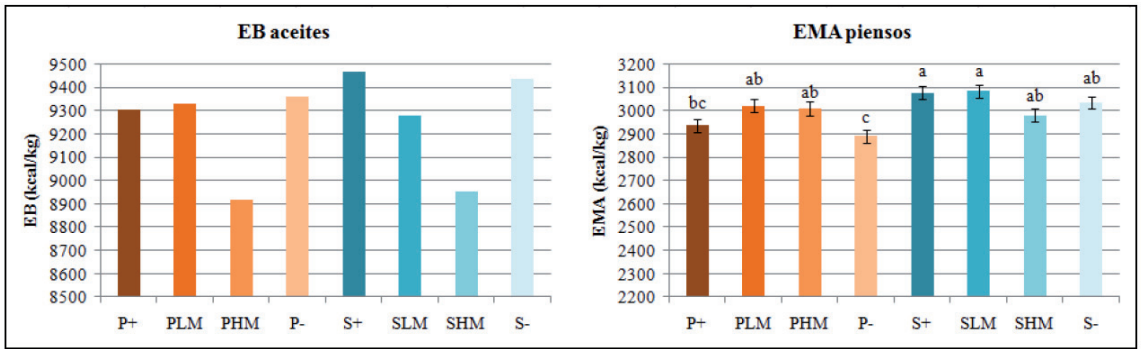
En la Tabla 5 se muestran los valores de metabolicidad obtenidos en el balance realizado entre los 8-12 días de edad, periodo en que la capacidad para digerir los lípidos por parte de los pollos aún sigue comprometida.

Como era de esperar, y en términos generales, la utilización de la materia orgánica, de la grasa, así como de la energía del alimento a primeras edades fue superior para los piensos con grasas insaturadas frente a los suplementados con materias grasas saturadas, tal y como también se ha demostrado en otros estudios (Fuller and Rendon, 1977; Allen et al., 1997). En concreto, la metabolicidad de la materia orgánica sólo se vio afectada por este factor de variación, siendo mayor en los animales alimentados con grasas insaturadas (P = 0,0004). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tipos de aceites (P > 0,05), aunque el valor más bajo de metabolicidad de la materia orgánica lo presentó el tratamiento P-. De hecho, es conocido que al aumentar el contenido en AGL de una grasa, sobre todo saturada, disminuye su valor nutritivo, en concreto a primeras edades (Wiseman and Salvador, 1991; Vila and Esteve-García, 1996).

Para el resto de parámetros estudiados (EMA del alimento y utilización de la grasa y del total de los ácidos grasos) la interacción entre los factores tipo y saturación fue significativa.

El control negativo de palma (P-) presentó el valor más bajo de EMA de la ración, aunque estadísticamente no fue distinto al de su control positivo (P+) ni al del tratamiento PHM, pero sí para el del tratamiento PLM. Además, un aspecto interesante a destacar es que los aceites ácidos esterificados de palma dieron lugar a EMA similares a la del control positivo de soja (PLM: 3.021 ± 27,1 Kcal EMA/kg, PHM: 3.010 ± 29,7 Kcal EMA/kg y S+: 3.076 ± 27,1 Kcal EMA/kg; P > 0,05). Este hecho es aún más sorprendente cuando se contrasta la EMA obtenida de los piensos experimentales con la EB de las grasas de partida (Figura 1). En un TAG, la relación glicerol:AG es de 1:3; en cambio en un MAG es de 1:1. Comprobamos entonces como, a medida que aumenta la proporción de MAG disminuye su contenido en EB. Este aspecto negativo parece ser compensado por el aumento del porcentaje de metabolicidad de los AG, sobre todo de los AGS, los cuales son los que tienen una digestibilidad más comprometida. Sin embargo, para las fuentes insaturadas parece como si el efecto beneficioso de los MAG manifestase un efecto de saturación y no llegase a compensar la menor EB de estas grasas.

Figura 1. Relación entre la EB de los aceites experimentales y la EMA de los piensos



De forma similar al comportamiento de la EMA, el tratamiento PLM alcanzó una digestibilidad del EE parecida a la de las fuentes insaturadas (PLM: 75,84 ± 1,851 % y S+: 82,59 ± 1,851 %; P > 0,05) y superior a la de su respectivo control negativo (P-) (P = 0,0007). Probablemente esto sea debido a la mayor proporción de MAG, los cuales favorecen la emulsión de la grasa; y al mayor contenido de AGS en la posición sn-2, derivados del proceso de randomización, lo que favorece la absorción de estos. Los tratamientos P+ y PHM también presentaron valores de digestibilidad de la grasa superiores al obtenido con el P-(P = 0,0385 y P = 0,0421, respectivamente).

En cambio, para los distintos tipos de aceites de soja no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para estos parámetros (P > 0,05). Aunque, cuantitativamente, el tratamiento SHM fue el que presentó los valores más bajos de metabolicidad.

Aunque no se encuentren diferencias estadísticas entre los aceites ácidos esterificados y sus respectivos controles positivos, numéricamente podemos observar que su comportamiento es distinto en función del grado de saturación de las grasas. Así, en la palma, estos aceites suelen presentar valores superiores a los de su control positivo (P+); en cambio, en la soja, incluso inferiores a los de su control negativo (S-). Entre ellos, los valores de metabolicidad obtenidos para los aceites ácidos esterificados HM fueron cuantitativamente inferiores a los de sus respectivos aceites ácidos esterificados LM, lo que corroboraría una vez más, la saturación del efecto beneficiosos de los MAG en la emulsión de la grasa.

Como era de esperar, en la digestibilidad de los ácidos grasos se observa como los valores de digestibilidad de los AGS son numéricamente inferiores a los de los ácidos grasos insaturados, tanto en los tratamientos con aceites de palma como con los de soja. Estos resultados se deben a que, de acuerdo con Zhang et al. (2011), la absorción de AGS de cadena larga se ve limitada por su tasa de incorporación dentro de las micelas, ya que, debido a su apolaridad, estos se incorporan más lentamente que los ácidos grasos insaturados.

Además, se observa como los valores de digestibilidad de los AGS en los tratamientos con aceites de soja son mayores que en los de palma (S: 74,67 ± 1,060 vs. P: 61,88 ± 1,111 %; P < 0,0001), ya que la presencia de AGPI favorece la digestibilidad de los AGS. Diversos estudios corroboran que la presencia de AGPI ayuda a la absorción de AGS, debido a que se incrementa la capacidad de incorporación de los AGS en el centro de las micelas, favoreciendo así su formación (Renner and Hill, 1961; Sibbald and Kramer, 1980).

Por otro lado, se observa como los aceites ácidos esterificados de palma alcanzan tasas de digestibilidad de los AGS superiores, tanto para el PLM como para el PHM, a la de su aceite ácido (P; P = 0,0216 y P = 0,0347, respectivamente) y similares a la de su aceite convencional (P+; P > 0,05), debido a las características de estos aceites ya comentadas anteriormente. Este comportamiento es causa de la digestibilidad observada para los AGS mayoritarios, palmítico y esteárico, en los cuales observamos un resultado muy similar.

Referente a los AGMI, son los únicos que no presentaron diferencias de digestibilidad entre las fuentes de palma y las fuentes de soja (P > 0,05). Las diferencias se centraron en los distintos tipos de

aceites (P = 0,0148), indicando una mayor digestibilidad de los AGMI en los aceites convencionales en comparación con la de sus aceites ácidos. En este caso, la digestibilidad de los AGMI de los aceites ácidos esterificados tuvo un comportamiento intermedio entre el control positivo y negativo. Estos son reflejo del comportamiento del ácido oleico, el AGMI mayoritario.

En cuanto a la utilización de los AGPI totales, linoleico y linolénico, los tratamientos con aceites de soja presentaron digestibilidades superiores a los de palma, lo que implica que los AGS penalizan la digestibilidad de los AGPI, pero no la de los AGMI. Referente al factor tipo, las digestibilidades de los AGPI en los aceites ácidos esterificados LM alcanzaron valores iguales a los de los controles positivos. En cambio, los aceites ácidos esterificados HM fueron los que presentaron los valores más bajos de digestibilidad para los AGPI.

En conclusión, el uso de aceites ácidos esterificados de palma podría servir para mejorar las digestibilidades de los aceites ácidos, e incluso alcanzar digestibilidades similares a las de una fuente de grasa insaturada, pero a un menor precio. Sin embargo, para los aceites de soja, debido a su mayor contenido en AGPI y a la mayor digestibilidad de estos, no se observó ninguna mejora en la utilización de las raciones por parte de los aceites ácidos esterificados. Al contrario, en algunos casos incluso se obtuvieron peores resultados.

De todas formas, más investigación es necesaria para evaluar las posibles repercusiones del uso de este tipo de grasas sobre la calidad del producto final y sobre la salud humana.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, (proyecto AGL2010-22008-C02), perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de España.

Tabla 4. Parámetros productivos[1] y parámetros de rendimiento de la canal[2] de pollos de carne según diferentes fuentes de grasa en la dieta.

	Tratamientos[3]								Estadísticos			
Saturación	P				S					*P*-valores		
Tipo	+	LM	HM	-	+	LM	HM	-	*Root MSE*	Saturación	Tipo	Interacción
Parámetros productivos[4] de 1-14 d de edad												
CMD (g/d)	33,76	31,87	31,27	29,31	31,33	32,71	31,63	31,75	2,344	NS	NS	NS
GMD (g/d)	24,16	22,24	23,22	21,97	23,97	24,61	24,72	24,06	1,658	0,0188	NS	NS
IT (consumo:ganancia)	1,40	1,43	1,35	1,33	1,31	1,33	1,28	1,32	0,075	0,0143	NS	NS
Parámetros productivos[4] de 14-40 d de edad												
CMD (g/d)	159,3	151,0	154,6	154,3	145,8	144,7	157,2	149,8	7,40	0,0436	NS	NS
GMD (g/d)	84,92	83,65	84,04	82,81	84,86	83,27	88,18	84,17	0,020	NS	NS	NS
IT(consumo:ganancia)	1,88	1,81	1,84	1,86	1,72	1,74	1,78	1,78	0,051	<0,0001	NS	NS
Parámetros productivos[4] de 1-40 d de edad												
CMD (g/d)	115,4	109,3	111,4	110,5	105,7	105,5	113,2	108,5	4,82	0,0503	NS	NS
GMD (g/d)	63,65	62,16	62,75	61,54	63,54	62,74	65,97	63,12	0,019	NS	NS	NS
IT (consumo:ganancia)	1,81	1,76	1,77	1,80	1,66	1,68	1,71	1,72	0,043	<0,0001	NS	NS
Parámetros de rendimiento de la canal												
Peso vivo final (g)	2.584	2.515	2.540	2.513	2.546	2.490	2.690	2.543	166,0	NS	NS	NS
Peso de la canal (g)	2.335[ab]	2.269[ab]	2.282[ab]	2.289[ab]	2.291[ab]	2.251[b]	2.434[a]	2.299[ab]	149,7	NS	NS	0,1035
Grasa abdominal (g)	62,63	66,74	64,85	67,24	56,86	54,65	58,30	54,31	11,827	0,0001	NS	NS
Grasa abdominal (%)[5]	2,73	2,87	2,81	2,91	2,44	2,33	2,69	2,36	0,531	0,0005	NS	NS

[1] Valores son *LSMeans* de 6 observaciones por tratamiento (la unidad experimental es la jaula).
[2] Valores son *LSMeans* de 18 observaciones por tratamiento (la unidad experimental es el pollo, pero se incluyó la jaula como factor aleatorio en el modelo).
[3] P+: ración con 6% de aceite de palma; PLM: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado bajo en MAG; PHM: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado alto en MAG; P-: ración con 6% de aceite ácido de palma; S+: ración con 6% de aceite de soja; SLM: ración con 6% de aceite ácido de soja esterificado bajo en MAG; SHM: ración con 6% de aceite ácido de soja esterificado alto en MAG; S-: ración con 6% de aceite ácido de soja.
[4] CMD: Consumo medio diario; GMD: Ganancia media diaria; IT: Índice de transformación.
[5] Como porcentaje del peso de la canal
[a, b] Valores dentro de la misma fila con superíndice distinto indican diferencias estadísticamente significativas, $P < 0,05$.

Tabla 5: Balance entre los 8 y 12 días de edad[1]

	Tratamientos[2]								Estadísticos			
Saturación	P				S				*Root MSE*	*P*-valores		
Tipo	+	LM	HM	-	+	LM	HM	-		Saturación	Tipo	Interacción
	(% metabolicidad)[3]											
EMA (kcal/kg)	2.935[bc]	3.021[ab]	3.010[abc]	2.889[c]	3.076[a]	3.083[a]	2.980[abc]	3.034[ab]	66,4	0,0003	0,0209	0,0138
Materia orgánica	71,76	73,15	72,65	70,80	73,31	73,66	73,52	73,63	1,184	0,0004	NS	NS
Extracto etéreo	71,84[c]	75,84[abc]	72,14[bc]	62,75[d]	82,59[a]	80,64[ab]	76,56[abc]	77,60[abc]	4,534	<0,0001	0,0006	0,0264
Ácidos grasos												
Total AG	72,53[de]	75,57[cd]	71,81[de]	67,79[e]	84,75[a]	82,49[ab]	77,50[bcd]	81,26[ab]	3,448	<0,0001	0,0023	0,0246
AGS	60,72[cd]	68,17[bc]	63,72[cd]	54,91[d]	78,68[a]	75,52[ab]	70,06[abc]	74,42[ab]	5,192	<0,0001	0,0117	0,0050
AGMI	80,90	81,80	80,03	78,16	83,62	81,03	78,08	79,68	2,748	NS	0,0148	NS
AGPI	78,32	79,00	75,37	75,83	87,06	85,25	80,78	84,08	2,564	<0,0001	0,0004	NS
C16:0	62,26[de]	69,51[bcd]	66,12[cd]	55,50[e]	80,52[a]	77,97[ab]	73,43[abc]	76,69[ab]	4,896	<0,0001	0,0057	0,0026
C18:0	46,45[c]	58,82[b]	56,67[bc]	44,55[c]	77,05[a]	72,26[a]	63,31[ab]	71,08[a]	6,593	<0,0001	0,0513	0,0003
C18:1n9c	81,35	82,31	80,58	78,63	84,16	81,53	78,63	80,15	2,677	NS	0,0119	NS
C18:2n6c	78,00	79,02	75,40	75,80	86,78	84,89	80,46	83,82	2,578	<0,0001	0,0006	NS
C18:3n3	78,16[c]	78,85[c]	76,91[c]	76,16[c]	89,22[a]	88,02[a]	83,51[b]	86,30[ab]	2,181	<0,0001	0,0012	0,1280

[1] Los valores son *LSMeans* de 6 observaciones por tratamiento.
[2] P+: ración con 6% de aceite de palma; PLM: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado bajo en MAG; PHM: ración con 6% de aceite ácido de palma esterificado alto en MAG; P-: ración con 6% de aceite ácido de palma; S+: ración con 6% de aceite de soja; SLM: ración con 6% de aceite ácido de soja esterificado bajo en MAG; SHM: ración con 6% de aceite ácido de soja esterificado alto en MAG; S-: ración con 6% de aceite ácido de soja.
[3] % metabolicilidad = [(cantidad ingerida – cantidad excretada)/cantidad ingerida] x 100
[a, b, c, d, e] Valores dentro de la misma fila con superíndice distinto indican diferencias estadísticamente significativas, $P < 0,05$.
AGS: ácidos grasos saturados; AGMI: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados; EMA: Energía metabolizable aparente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS

ALLEN, C.M., McCRACKEN, K.J. and BEDFORD, M.R. (1997) Effect of fat type, rate of wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. *British Poultry Science (United Kingdom)* 38: S25-S45.

AOAC (2005) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 18th Ed. AOAC, Arlington, VA.

BERRY, S.E.E. (2009) Triacylglycerol structure and interesterification of palmitic and stearic acidrich fats: an overview and implications for cardiovascular disease. *Nutrition Research Reviews* 22: 317.

BLANCH, A., BARROETA, A.C., BAUCELLS, M.D., SERRANO, X. and PUCHAL, F. (1996) Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy, lipid and fatty acids. *Animal Feed Science and Technology* 61: 335-342.

CRESPO, N. and ESTEVE-GARCIA, E. (2002) Nutrient and fatty acid deposition in broilers fed different dietary fatty acid profiles. *Poultry Science* 81: 1533-1542.

FEDNA (2008) *Necesidades nutricionales para avicultura*. Eds: R. Lázaro y G.G. Mateos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España.

FERRINI, G., BAUCELLS, M.D., ESTEVE-GARCIA, E. and BARROETA, A.C. (2008) Dietary polyunsaturated fat reduces skin fat as well as abdominal fat in broiler chickens. *Poultry Science* 87: 528-535.

FULLER, H.L. and RENDON, M. (1977) Energetic efficiency of different dietary fats for growth of young chicks. *Poultry Science* 56: 549-557.

KARUPAIAH, T. and SUNDRAM, K. (2007) Effects of stereospecific positioning of fatty acids in triacylglycerol structures in native and randomized fats: a review of their nutritional implications. *Nutrition & Metabolism* 4: 16-33.

LINDERBORG, K.M. and KALLIO, H.P.T. (2005) Triacylglycerol fatty acid positional distribution and postprandial lipid metabolism. *Food Reviews International* 21: 331-355.

MU, H. and HØY, C.E. (2004) The digestion of dietary triacylglycerols. *Progress in Lipid Research* 43: 105-133.

RENNER, R. and HILL, F.W. (1961) Factors affecting the absorbability of saturated fatty acids in the chick. *The Journal of Nutrition* 74: 254-258.

SANZ, M., FLORES, A., DE AYALA, P.P. and LOPEZ-BOTE, C.J. (1999) Higher lipid accumulation in broilers fed on saturated fats than in those fed on unsaturated fats. *British Poultry Science* 40: 95-101.

SAS (2008) Version 9.2, Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC. USA.

SIBBALD, I.R. and KRAMER, J.K.G. (1980) The effect of the basal diet on the utilization of fat as a source of true metabolizable energy, lipid, and fatty acids. *Poultry Science* 59: 316-324.

SUKHIJA, P.S. and PALMQUIST, D.L. (1988) Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 36: 1202-1206.

VILA, B. and ESTEVE-GARCÍA, E. (1996) Studies on acid oils and fatty acids for chickens. II. Effect of free fatty acid content and degree of saturation of free fatty acids and neutral fat on fatty acid digestibility. *British Poultry Science* 37: 119-130.

WISEMAN, J. and SALVADOR, F. (1991) The influence of free fatty acid content and degree of saturation on the apparent metabolizable energy value of fats fed to broilers. *Poultry Science* **70**: 573-582.

ZHANG, B., HAITAO, L., ZHAO, D., GUO, Y. and BARRI, A. (2011) Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Animal Feed Science and Technology* 163: 177-184.

ZOLLITSCH, W., KNAUS, W., AICHINGER, F. and LETTNER, F. (1997) Effects of different dietary fat sources on performance and carcass characteristics of broilers. *Animal Feed Science and Technology* 66: 63-73.