

# Evolución de las clases lipídicas a lo largo del tracto gastrointestinal en pollos de carne en fase de inicio: efecto del aceite ácido de soja combinado con aceite de palma

B. JIMENEZ-MOYA<sup>1\*</sup>; A.C. BARROETA<sup>1</sup>; A. TRES<sup>2</sup>; D. SOLÀ-ORIOL<sup>1</sup>; C. GARCÉS-NARRO<sup>3</sup>; R. SALA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Veterinaria/Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos, Servicio de Nutrición y Bienestar Animal (SNiBA), Universidad Autónoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, España; <sup>2</sup>Facultad de Farmacia y Ciencias de la Alimentación/ Departamento de Nutrición, Ciencias de la Alimentación y Gastronomía, Grupo Libifood, Universidad de Barcelona, 08028 Barcelona, España. <sup>3</sup>Departamento de Producción y Salud Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad CEU Cardenal Herrera, Valencia.

\*Autor corresponsal: [bjimenezmoya@gmail.com](mailto:bjimenezmoya@gmail.com)

---

Los aceites ácidos son subproductos procedentes del proceso de refinación de los aceites crudos, para obtener los aceites refinados que se destinan a consumo humano. Éstos poseen un perfil de ácidos grasos (AG) similar al de sus correspondientes aceites crudos, pero tienen elevadas proporciones de AG libres (AGL: 40-90%). Su utilización en nutrición avícola podría contribuir en la mejora de la sostenibilidad de la cadena alimentaria. En estudios previos se observó que la absorción de la grasa de la dieta es un paso más limitante que su proceso de hidrólisis. Por ello, la hipótesis de partida fue que el estudio de la evolución de las clases de lípidos (TAG: triacilgliceroles; DAG: diacilgliceroles; MAG: Monoacilgliceroles, y AGL) durante el proceso de absorción permitiría una mejor comprensión de las diferencias observadas en los resultados de digestibilidad de los AG. El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de combinar el aceite ácido de soja (SA) con el aceite de palma (P) sobre la composición de clases lipídicas a lo largo del tracto gastrointestinal (TGI) y la excreta, en pollitos en fase de inicio. Se utilizaron un total de 480 pollitos (16 por jaula; 6 réplicas por tratamiento), distribuidos en 5 tratamientos (dietas) de 0 a 11d. Se suplementó una dieta basal con un 6% de: P (TAG: 78%; FFA: 9%), aceite de soja - S (TAG: 72%, FFA: 14%), SA (TAG: 28%, FFA: 56%), o la combinación de 33%SA-66%P y 66%SA-33%P. A 11d, se recogió contenido intestinal del yeyuno anterior y posterior y del íleon anterior y posterior y muestra de excretas, para determinar el contenido de clases lipídicas (mg/g) / Ti (mg/g). Los datos se analizaron estadísticamente mediante un ANOVA de una vía utilizando el programa estadístico SAS. En general, TAG, DAG y AGL disminuyeron a lo largo del TGI, pero se observó un incremento numérico de esas clases lipídicas en la excreta. La mayor desaparición de AGL, que es el principal producto lipolítico final, ocurre del yeyuno anterior al posterior, lo que está asociado con la mayor contribución de este segmento en la digestibilidad de los AG. La sustitución de P por SA causó una disminución del contenido de AGL en todo el TGI y en la excreta ( $P < 0,05$ ), lo que concuerda con los resultados obtenidos en la digestibilidad de los AG a lo largo de TGI. Los resultados sugieren que el estudio de las clases de lípidos puede ser útil para entender la dinámica de la absorción de los ácidos grasos. La incorporación del aceite de palma no es recomendable en dietas de inicio para pollos

de carne. En cambio, el aceite ácido de soja puede ser más adecuado en dietas de inicio de pollos de carne, obteniendo una absorción de los ácidos grasos similar a la obtenida utilizando aceite de soja.

---

**Palabras clave:** aceites ácidos; digestibilidad; clases lipídicas; grasas; avicultura

**Acid oils are by-products from the refining process of edible oils, which have a similar fatty acids (FA) profile than their corresponding crude oils, but higher proportions of free FA (FFA: 40-90%). Their use in poultry nutrition could contribute to improving the sustainability of the food chain. It has been suggested that the absorption of fats is more important as a limiting step comparing with their hydrolysis. Therefore, it has been hypothesized that the study of the evolution of lipid classes (TAG: triacylglycerols; DAG: monoacylglycerols; MAG: monoacylglycerols, and FFA) during the absorption process will allow for a better understanding the differences observed in the digestibility of FA. The objective of the present study is to evaluate the effect of the combination of soybean acid oil (SA) with palm oil (P) on the lipid-class composition along the gastrointestinal tract (GIT) and excreta in starter broiler chickens. A total of 480 birds (16 per cage; 6 replicas per treatment) were assigned to 5 dietary treatments from 0 to 11d. A basal diet was supplemented at 6% with: P (TAG: 78%; FFA: 9%), Soybean oil - S (TAG: 72%, FFA: 14%), SA (TAG: 28%, FFA: 56%), or the combination of 33%SA-66%P, and 66%SA-33%P. At 11d, content from upper and lower jejunum, upper and lower ileum, and excreta was collected for the determination of lipid-class content (mg/g) /Ti (mg/g). Data was statistically analyzed by one-way ANOVA using the SAS statistical package. In general, TAG, DAG and FFA decreased along the GIT studied, but a numerically increase of these lipid classes was observed in excreta. The highest disappearance of the main final lipolytic product (FFA) occurs from the upper to lower jejunum, which is associated with the highest FA digestibility values obtained in this segment. The replacement of P by SA caused lower content of FFA in all GIT and excreta samples studied ( $P<0.05$ ), in agreement, these fats followed similar pattern in the digestibility of FA along the GIT. The results suggest that the study of the lipid classes can be used to understand the dynamics of fatty acids absorption. The inclusion of palm oil is not recommended in young broiler diets. Instead, soybean acid oil could be adequate in starter broiler chickens, obtaining similar fatty acid absorption than soybean oil.**

---

**Keywords:** acid oils; digestibility; lipid classes; fats; poultry

## Introducción

La incorporación de materias grasas en la formulación de piensos para avicultura es una práctica habitual, dado que son ingredientes que poseen un alto valor energético y además aportan ácidos grasos (AG) esenciales. El aceite de soja (S) se utiliza comúnmente en dietas de pollos de carne, pero su alto coste es la razón por la que se investigan otras fuentes de lípidos alternativas más económicas (Schiavone et al., 2018; Viñado et al., 2020). Además, existe un interés en el sector de la alimentación animal de utilizar ingredientes no aptos para alimentación humana en la formulación de dietas, contribuyendo así en la mejora de la sostenibilidad de la cadena alimentaria. Durante el proceso de refinación del S, se generan diferentes subproductos, uno de ellos es el aceite ácido de soja (SA). Debido a su origen, tiene un perfil de AG similar al del S, elevada ratio de AG insaturados respecto AG saturados (AGI: AGS), pero posee un alto contenido de AG libres (AGL: 45-60%) (Varona et al., 2021). Pese a que un alto nivel de AGL en la dieta se ha relacionado negativamente con la utilización de la grasa por parte del

animal (Wiseman & Salvador, 1991), estudios posteriores sugieren que el grado de saturación de la dieta es más limitante que el nivel de AGL (Vilarrasa et al., 2015; Rodríguez-Sánchez et al., 2019, Jiménez-Moya et al., 2021a) y además se ha observado que las mezclas de aceites ácidos con crudos, con niveles moderados de AGL puede ser una opción para incorporar en dietas de pollos de carne, sin tener un efecto negativo sobre la digestibilidad de la grasa (Jiménez-Moya et al., 2021b; Rodríguez-Sánchez et al., 2021). El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de sustituir P por niveles crecientes de SA sobre la digestibilidad de los AG mediante el estudio de la dinámica del contenido de clases lipídicas (TAG: triacilgliceroles; DAG: diacilgliceroles; MAG: Monoacilgliceroles, y AGL) a lo largo del tracto gastrointestinal (TGI) y la excreta, en pollitos en fase de inicio. La hipótesis de partida fue que el estudio de la evolución de las clases lipídicas durante el proceso de absorción puede permitir una mayor comprensión de los resultados de digestibilidad de los AG, donde se espera que la combinación de SA con P mejore la utilización de la grasa de la dieta.

## Material y métodos

### Grasas experimentales y dietas

El aceite de soja (S) y el aceite ácido de soja (SA) se obtuvieron de Bunge (Wormerveer, North Holland) y el aceite de palma (P) de Lípidos Santiga S.A. (Santa Perpetua de Mogoda, Barcelona, España). Los aceites experimentales se analizaron por triplicado, previamente todos los métodos de análisis se adaptaron para los aceites ácidos (Varona et al. 2021). La composición de los aceites experimentales se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Composición química de los aceites experimentales**

	Aceite de palma (P)	Aceite ácido de soja (SA)	Aceite de soja (S)
<b>MIU (%)</b>	0,8	5,34	2,26
<b>AGI: AGS (%)</b>	0,98	4,02	5,29
<b>Composición clases lipídicas (%)</b>			
<b>TAG</b>	92,46	25,32	96,27
<b>DAG</b>	7,54	13,48	3,23
<b>MAG</b>	ND	ND	ND
<b>AGL</b>	ND	61,20	0,50

Abreviaciones: MIU, humedad, impurezas y material insaponificable; AGI: AGS, ratio de ácidos grasos insaturados respecto ácidos grasos saturados; TAG, triacilgliceroles; DAG, diacilgliceroles; MAG, monoacilgliceroles; AGL, ácidos grasos libres. ND, no detectado.

La dieta basal compuesta principalmente por harina de trigo y soja se formuló para satisfacer los requerimientos de FEDNA (FEDNA, 2008) y minimizar los niveles de grasa tal y como se muestra en la Tabla 2. Se formuló una dieta basal para la fase de inicio de 0 a 11d, administrada en forma de harina. Se añadió dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) a 5g/kg como marcado indigestible. La dieta basal se fabricó en Pinos Molinet S.A. (Prats de Lluçanès, Barcelona, España).

Las 5 dietas experimentales fueron el resultado de la dieta basal (94%) y la incorporación de un 6% del aceite experimental (P, SA o S) o mezclas (4%P + 2%SA o 2%P + 4%SA). La dieta con 6% S se utilizó como control positivo en el estudio. La mezcla de las grasas sobre la dieta basal se realizó en Lindo Pet Global S.A. (Castellar del Vallès, Barcelona, España). La composición de las dietas se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 2. Composición de la dieta basal experimental**

Ingredientes, %	Dieta inicio (de 0 a 11 días)
Trigo	54.49
Harina de soja	35.40
Cebada	-
Aceites experimentales <sup>1</sup>	6.00
Carbonato cálcico	1.44
Fosfato monocálcico	0.99
Dióxido de titanio	0.50
Premix Vitamínico-mineral	0.40
Cloruro sódico	0.40
DL-Metionina	0.23
L-Lisina	0.15
L-Treonina	-

<sup>1</sup> Aceite de palma, aceite ácido de soja y aceite de soja en diferentes proporciones.

**Tabla 3. Composición analítica de macronutrientes, ácidos grasos y clases lipídicas de las dietas experimentales<sup>1</sup>**

	Dietas experimentales				
	P6	P4-SA2	P2-SA4	SA6	S6
<b>Macronutrientes (g/100g)</b>					
Materia seca	90,93	91,19	90,70	91,00	91,00
Proteína bruta	23,15	23,49	23,95	23,81	23,61
Grasa bruta	7,70	7,62	7,43	7,38	7,51
Fibra bruta	3,20	3,27	3,06	2,84	3,29
Cenizas	7,09	6,84	6,69	6,91	5,54
Energía bruta, kcal/kg	4332	4345	4301	4325	4367
<b>Composición AG (%)</b>					
AG minoritarios	1,46	1,34	1,44	1,73	1,75
AG saturados	43,13	35,76	28,34	20,09	18,72
AG monoinsaturados	34,04	30,06	26,08	21,87	25,24
AG poliinsaturados	22,83	34,18	45,58	58,05	56,04
AGI: AGS	1,30	1,76	2,47	3,88	4,16
<b>Composición clases lipídicas (%)</b>					
TAG	78,67	59,94	44,07	28,20	71,88
DAG	10,54	12,14	12,39	12,98	11,73
MAG	1,84	2,57	2,71	3,08	2,19
AGL	8,96	25,35	40,84	55,74	14,20

Abreviaciones: AG, ácidos grasos; AGI: AGS, ratio de ácidos grasos insaturados respecto ácidos grasos saturados; TAG, triacilgliceroles; DAG, diacilgliceroles; MAG, monoacilgliceroles; AGL, ácidos grasos libres.<sup>1</sup>Todas las muestras se analizaron por duplicado. Las dietas se suplementaron con un 6% de aceite de palma (P), aceite ácido de soja (SA), aceite de soja (S), o mezclas de 4% aceite de palma y 2% de aceite ácido de soja (P4-SA2), o 2% de aceite de palma y 4% de aceite ácido de soja (P2-SA4).

### Animales e instalaciones

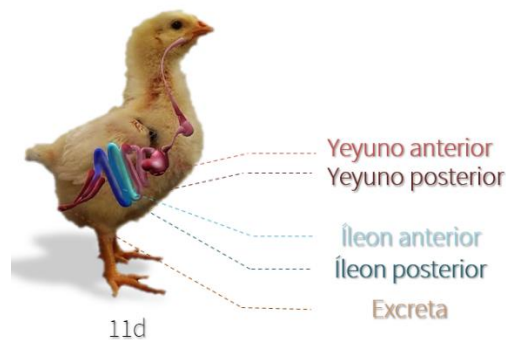
El estudio se llevó a cabo en la granja experimental del *Servei de Granges i Camps Experimentals (Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona, España)*. El estudio se realizó bajo la previa revisión y aprobación del comité ético de experimentación animal de la Universitat Autònoma de Barcelona (CEEAH: 3938).

Se utilizaron un total de 480 pollitos hembras de la estirpe Ross 308, obtenidas de la incubadora comercial Pondex (SAU, Lleida, España). Al llegar a la granja, los animales se identificaron individualmente, se pesaron y distribuyeron en jaulas de digestibilidad, a razón de 16 pollitos/ jaula. A

cada jaula se le asignó una dieta experimental (6 réplicas/dieta). A lo largo de todo el estudio, los animales tuvieron comida y agua ad libitum y las condiciones ambientales de la sala estaban controladas automáticamente, según las especificaciones de la guía Ross 308 (Aviagen, 2014). Los animales y las instalaciones se revisaban al menos dos veces al día.

### *Controles y muestreos*

Se pesaron individualmente todos los animales al inicio del estudio y a día 11, así como el pienso entrado el primer día y posteriormente se pesó las sobras de pienso a los 11d, para poder calcular la ganancia media diaria (GMD), consumo medio diario (CMD) e índice de conversión (IC). Para el balance de digestibilidad, de los 9 a los 11d se recogió una muestra representativa de excreta de cada jaula. A los 11d, se sacrificaron 12 pollitos de cada jaula para proceder a la recogida de muestras de contenido intestinal. Para ello, se dividió el intestino en 4 porciones: yeyuno anterior, yeyuno posterior (hasta divertículo de Meckel), íleon anterior e íleon posterior (hasta la unión ileocecal) tal y como se muestra en la imagen 1. Las muestras de los 12 animales por jaula se homogeneizaron en forma de pool y se congelaron inmediatamente a -20°C. Posteriormente, se liofilizaron, molturaron y almacenaron a 4°C hasta su posterior análisis.



**Imagen 1. Pollito de carne de 11 d de vida. Puntos de recogida de muestras de contenidos intestinales y excreta**

### *Análisis laboratorial y estadístico*

Las determinaciones analíticas del pienso, así como el contenido de Ti y AG del pienso, los contenidos intestinales y las excretas se realizaron por espectrofotometría ICP- OES y cromatografía de gases, respectivamente, tal y como está descrito en Jimenez-Moya et al. (2021b). La composición de clases lipídicas (TAG, DAG, MAG, AGL) de la grasa extraída del pienso, contenido digestivo y excretas se determinó mediante cromatografía de exclusión molecular HPLC-RID tal y como se describe en Jimenez-Moya et al. (2021b). Para estimar el contenido de cada clase lipídica presente en el tracto intestinal y la excreta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido de clase lipídica} = (\text{CL}) / (\text{TiO}_2)$$

siendo (CL) la concentración de la clase lipídica en el contenido intestinal o la excreta (mg/g MS) y (TiO<sub>2</sub>) la concentración de TiO<sub>2</sub> en el contenido intestinal o la excreta (mg/g MS).

Para el análisis estadístico, la normalidad de los datos y la homogeneidad de las variancias se verificó mediante el procedimiento CAPABILITY del software estadístico SAS (versión 9.4, SAS Inst. Inc.; Cary, NC, EUA). Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS, considerando la dieta como factor principal, y la jaula como unidad experimental. Las diferencias entre medias fueron testadas mediante el test de Tukey. Se consideraron diferencias significativas los valores de  $P < 0,05$ .

## Resultados y discusión

### *Evolución de las clases lipídicas a lo largo de tracto gastrointestinal*

El contenido de clases lipídicas (TAG, DAG, MAG, AGL) en cada uno de los segmentos intestinales y la excreta se muestra en la Tabla 4. Los resultados muestran que los AGL son el mayor producto lipolítico presente en el contenido intestinal y la excreta. El contenido de TAG, DAG y AGL disminuyó significativamente del yeyuno anterior al yeyuno posterior ( $P < 0,001$ ) y posteriormente siguió disminuyendo numéricamente a lo largo de tracto intestinal. No obstante, se observó que el contenido de TAG, DAG y AGL aumentó numéricamente del íleon posterior a la excreta. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en la digestibilidad de los ácidos grasos, donde se observó un aumento de la digestibilidad a lo largo del intestino, alcanzando el máximo de absorción a nivel del íleon posterior y siendo el yeyuno el segmento con mayor implicación ( $>77\%$ ) en la absorción de los AG totales (AGT) (Jimenez-Moya et al., 2021c).

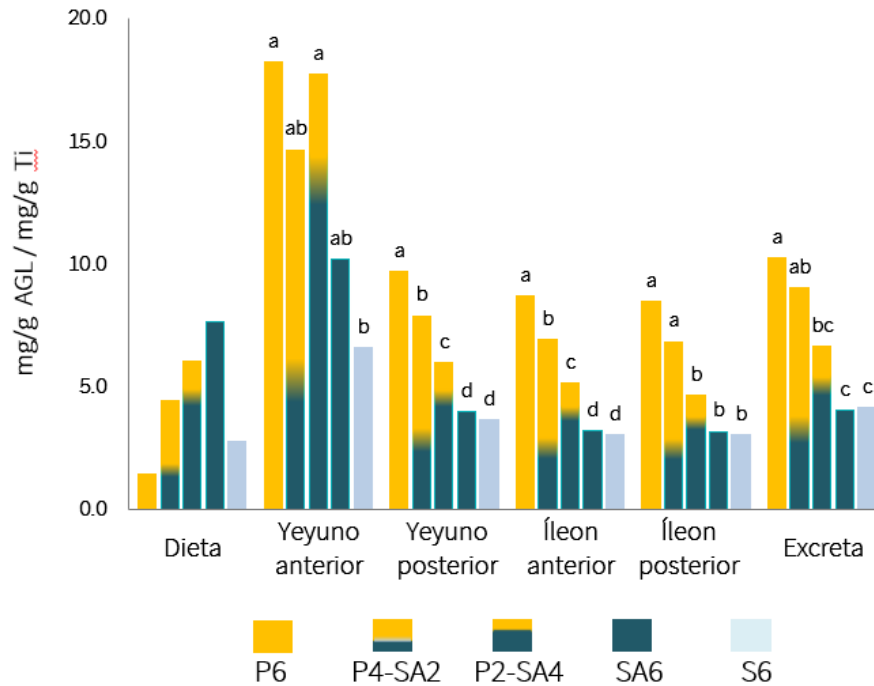
**Tabla 4.** Contenido de clases lipídicas en los diferentes segmentos intestinales y en la excreta en pollitos de 11 días de vida.

Segmento intestinal y Excreta							
Clase lipídica	Yeyuno anterior	Yeyuno posterior	Íleon anterior	Íleon posterior	Excreta	ESM	P-valor
TAG	0,57 <sup>a</sup>	0,41 <sup>b</sup>	0,29 <sup>b</sup>	0,31 <sup>b</sup>	0,38 <sup>b</sup>	0.039	<0,001
DAG	2,12 <sup>a</sup>	0,89 <sup>b</sup>	0,65 <sup>b</sup>	0,61 <sup>b</sup>	0,96 <sup>b</sup>	0.103	<0,001
MAG	0,25	0,30	0,26	0,34	0,30	0.025	0,104
FFA	13,46 <sup>a</sup>	6,23 <sup>b</sup>	5,40 <sup>b</sup>	5,22 <sup>b</sup>	6,82 <sup>b</sup>	0.677	<0,001

Los valores son las medias de 30 réplicas de pollitos de 11 días de vida alimentados con diferentes dietas experimentales. TAG = triacilglicérols, DAG = diacilglicérols; MAG = monoacilglicérols; AGL = ácidos grasos libres. ESM = error estándar de la media. a-b: las medias de una misma fila que no comparten una misma letra son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

### *Efecto de la dieta sobre el contenido de clases lipídicas*

Los resultados del efecto de la dieta sobre el contenido de AGL en los diferentes segmentos intestinales y la excreta se muestran en la Figura 1. Pese a que el nivel de AGL de la dieta es menor en P6 que en SA6, la sustitución de P por niveles crecientes de SA en la dieta resultó en una disminución significativa del contenido de AGL a partir del yeyuno posterior y en la excreta ( $P < 0,001$ ). Los animales alimentados con P6 mostraron el mayor contenido de AGL en el yeyuno posterior e íleon anterior, en comparación con los animales alimentados con el resto de las dietas. Respecto a la comparación de las dietas con la dieta control positivo (S6), no se observaron diferencias en la cantidad de AGL entre los animales alimentados con SA6 y los alimentados con S6 en ningún segmento intestinal ni en las excretas, alcanzando ambos grupos niveles similares de desaparición de AGL. A nivel del íleon posterior (último punto de absorción), no se obtuvieron diferencias significativas entre la dieta de mezcla P2SA4 y las dietas SA6 y S6. Los resultados obtenidos coinciden con los resultados de absorción de los AGT (Jimenez-Moya et al., 2021c) donde se observó que a partir del yeyuno posterior la sustitución de P por SA aumenta la absorción de AGT y que en el íleon posterior no había diferencias entre la digestibilidad de los AGT de los animales alimentados con P2SA4, SA6 y S6.



**Figura 1. Contenido de AGL en la dieta, yeyuno anterior, yeyuno posterior, íleon anterior, íleon posterior y excreta de pollitos de 11 días alimentados con 5 dietas experimentales:** 6% de aceite de palma (P6), mezcla de 4% de aceite de palma y 2% de aceite ácido de soja (P4-SA2), mezcla de 2% de aceite de palma y 4% de aceite ácido de soja (P2-SA4), 6% de aceite ácido de soja (SA6) y 6% de aceite de soja (S6). Los valores son las medias de 6 réplicas por cada dieta con 12 animales/réplica. a-d: las columnas que no comparten una misma letra dentro de cada segmento intestinal/excreta son significativamente diferentes ( $p < 0,01$ ).

## Conclusión

Los resultados obtenidos de este estudio confirman que la evaluación del contenido de las clases lipídicas puede ayudar a comprender mejor los resultados obtenidos de la digestibilidad de los ácidos grasos. A partir de los resultados, se concluye que la sustitución del aceite de palma por el aceite ácido de soja, aumentando al mismo tiempo la ratio AGI: AGS y el nivel de AGL, mejora la utilización de la grasa de la dieta, ya que comporta una disminución del nivel de AGL en el contenido intestinal, lo que sugiere un aumento de la absorción de los AG. Además, los resultados muestran que los animales en fase de iniciación utilizan mejor las dietas que contienen aceite ácido de soja que las dietas con aceite de palma, obteniendo resultados similares a los de los animales alimentados con aceite de soja.

## Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado, en parte, por una beca predoctoral de Formación de Personal Investigador (FPI) concedida por el *Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España* y por el proyecto (CICYT AGL2015-64431-C2-1-R) concedido por la *Comisión Interministerial de Ciencias y Tecnología de España del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España*.

## Bibliografía

- AVIAGEN.** (2014). Ross Broiler Management Handbook, Aviagen. Newbridge, Scotland, UK.
- FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA EL DESARROLLO DE LA NUTRICIÓN ANIMAL.** (2008). Necesidades nutricionales para avicultura: pollos de carne y aves de puesta; FEDNA: Madrid, España; ISBN 9788409065295.
- JIMENEZ-MOYA, B., MARTIN, D., SOLER-RIVAS, C., BARROETA, A.C., TRES, A., SALA, R.** (2021a). Acid versus crude oils for broiler chicken diets: in vitro lipid digestion and bioaccessibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 276, 114926.
- JIMENEZ-MOYA, B., BARROETA, A.C., TRES, A., SOLER, M.D., SALA, R.** (2021b). Soybean oil replacement by palm fatty acid distillate in broiler chicken diets: fat digestibility and lipid-class content along the intestinal tract. *Animals* 11(4), 1035.
- JIMENEZ-MOYA, B., BARROETA, A.C., GUARDIOLA, F., SOLER, M.D., RODRIGUEZ-SANCHEZ, R., SALA, R.** (2021c). Replacement of palm oil with soybean acid oil in broiler chicken diet: Fat digestibility and lipid class content along the intestinal tract. *Animals*, 11(9), 2586.
- RODRIGUEZ-SANCHEZ, R., TRES, A., SALA, R., GARCÉS-NARRO, C., GUARDIOLA, F., GASA, J., BARROETA, A.C.** (2019). Effects of dietary free fatty acid content and saturation degree on lipid-class composition and fatty-acid digestibility along the gastrointestinal tract in broiler starter chickens. *Poult. Sci.* 98, 4929-4941.
- RODRIGUEZ-SANCHEZ, R., TRES, A., SALA, R., SOLER, M.D., GUARDIOLA, F., BARROETA, A.C.** (2021). Effects of free-fatty-acid content and saturation degree of the dietary oil sources on lipid-class content and fatty-acid digestibility along the gastrointestinal tract in broilers from 22 to 37 days of age *Poult.Sci.* 100(9), 101261
- SCHIAVONE, A., DABBOU, S., DE MARCO, M., CULLERE, M., BIASATO, I., BIASIBETTI, E., CAPUCCHIO, M.T., BERGAGNA, S., DEZZUTTO, D., MENEGUZ, M., GAI, F., DALLE ZOTTE, A., GASCO, L.** (2018). Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal* 12, 2032-2039.
- VIÑADO, A., CASTILLEJOS, L., BARROETA, A.C.** (2020). Soybean lecithin as an alternative energy source for grower and finisher broiler chickens: impact on performance, fatty acid digestibility, gut health, and abdominal fat saturation degree. *Poult. Sci.* 99, 5653-5662.
- VARONA, E., TRES, A., RAFECAS, M., VICHI, S., BARROETA, A.C., GUARDIOLA, F.** (2021). Composition and nutritional value of acid oils and fatty acid distillates used in animal feeding. *Animals* 11, 1-20.
- VILARRASA, E., CODONY, R., ESTEVE-GARCIA, E., BARROETA, A.C.** (2015). Use of re-esterified oils, differing in their degree of saturation and molecular structure, in broiler chicken diets. *Poult. Sci.* 94, 1527-1538.
- WISEMAN, J., 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. *Poult. Sci.* 70, 573-582.