

## Papel de los ácidos grasos Omega 3 en la alimentación del cerdo



Quiles, A. y Hevia, M.L.\*

\* Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. quiles@um.es



### » Introducción

En la nutrición porcina, las grasas son tradicionalmente introducidas en las dietas como componentes de alta energía, contribuyendo los ácidos grasos con un 94-96% al peso total de las grasas y aceites. Por otra parte, la eficiencia de utilización de la energía metabolizable de los lípidos es muy alta (Noblet et al., 1994), con un incremento bajo del calor metabólico, por lo que su aporte es recomendado en dietas en épocas de temperaturas elevadas.

Además de la importancia general de la grasa como fuente de energía, la grasa aporta ácidos grasos esenciales (AGE), los cuales son vitales para mantener una correcta función del organismo. Los AGE son ácidos grasos que no se pueden sintetizar endógenamente por los seres humanos y animales, por lo tanto, éstos deberán obtenerse de fuentes alimenticias exógenas (Beare-Rogers et al., 2001).

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos de cadena larga que poseen generalmente hasta 24 átomos de carbono, tienen un solo grupo carboxilo y una cadena hidrocarbonada apolar, la cual les confiere su naturaleza de insolubles en agua. La cadena hidrocarbonada puede hallarse completamente saturada, es decir, contener únicamente enlaces simples (C-C) o poseer insaturaciones, dobles enlaces, en cantidad de uno o más. En la mayoría de los ácidos grasos insaturados, el doble enlace se encuentra entre los átomos 9 y 10. Si existen más dobles enlaces, aparecen normalmente entre el enlace doble en posición 9 y el grupo metilo terminal. Si el ácido graso contiene más de un doble enlace, éstos, salvo excepciones, no se hallan conjugados (-CH=CH-CH=CH-) sino que se encuentran separados por un grupo metileno (-CH=CH-CH<sub>2</sub>-CH=CH-). Cuando únicamente existe una insaturación en la cadena se habla de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI). En caso de haber más de una insaturación, serían ácidos grasos poliinsaturados (AGPI).

El sistema de nomenclatura consiste en una C, seguida de dos números, separados por dos puntos. El primer número indica el número total de C de la cadena hidrocarbonada, mientras que el segundo indica el número de dobles enlaces que contiene. La posición de los dobles enlaces se indica como un superíndice en el segundo número. Así, el linoleico (9,12-octadecadienoico) como C18:2<sup>9,12</sup> y el linolénico (9,12,15-octadecatrienoico) como C18:3<sup>9,12,15</sup>.

Se usa, además, en la literatura científica una nomenclatura adicional relacionada con la posición del último doble enlace al final de la cadena hidrocarbonada. Las cadenas de ácidos grasos se numeran a partir del grupo carboxílico, donde se considera que se encuentra el inicio de la cadena alifática. Al carbono 2 se le denomina  $\alpha$  porque es el primer carbono tras el grupo carboxilo. El carbono 3 se denomina  $\beta$ . Como el alfabeto griego comienza por la letra  $\alpha$  y termina por la letra  $\omega$ , el último carbono de la cadena es denominado carbono omega ( $\omega$ ).

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) se caracterizan por ser ácidos grasos de cadena larga que contienen en su estructura dos o más dobles enlaces. Entre estos ácidos destacan sobre todo los ácidos grasos  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3. Los términos  $\omega$ -3,  $\omega$ -6 hacen referencia a la distancia entre el último carbono de la cadena, el  $\omega$ , y el carbono más cercano a éste que forma parte de un doble enlace. Así, un ácido graso  $\omega$ -3 tendría el último doble enlace a tres átomos de carbono de distancia del carbono  $\omega$  y un  $\omega$ -6 lo tendría a seis carbonos de distancia.

Hay dos familias de AGE:  $\omega$ -3 (omega 3 o n-3) y  $\omega$ -6 (omega-6 o n-6). Los  $\omega$ -6 se encuentran representados principalmente por el ácido graso linoleico (C18:2  $\omega$ -6, LA) y el araquidónico (C20:3  $\omega$ -6, AA o ARA). Los  $\omega$ -3 están compuestos por  $\alpha$ -linolénico (C18:3  $\omega$ -3, ALA) y sus derivados, principalmente, el ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y el docosahexaenoico (C22:6, DHA) (Rooke et al., 2003).

Los animales no pueden sintetizar ácidos grasos de longitudes superiores a 18 carbonos. Por ello no son capaces de sintetizar de novo LA, ALA o AGPI de mayor longitud. Sin embargo, una vez obtenidos, sí son capaces de transformarlos en otros AGPI. La consecuencia es que estos ácidos grasos son esenciales para los animales superiores, incluidos los mamíferos, que se aprovisionan de ellos a través de la alimentación. En este sentido, en los humanos, el ALA de la dieta puede ser metabolizado a cadenas largas como el eicosapentaenoico (EPA) o el ácido docosahexaenoico (DHA) en el hígado (Holub, 2002). Esta conversión es limitada, y en los seres humanos, se estima que sólo el 8% de ALA se convierte en EPA e, incluso menos en DHA (menos de 4%) (Burdge et al., 2002). En los cerdos, se estima que sólo el 40% del ALA de la dieta se deposita en el organismo. De esta cantidad, el 63% se deposita en forma de ALA, el 28,5% se metaboliza en EPA y tan solo el 0,9% lo hace en forma de DHA, lo que sugiere que esta conversión es más eficiente en los cerdos que en los seres humanos (Kloareg et al., 2007). Ello es así, ya que en las rutas metabólicas



Figura 1. Ruta metabólica de desaturación y elongación del ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA).

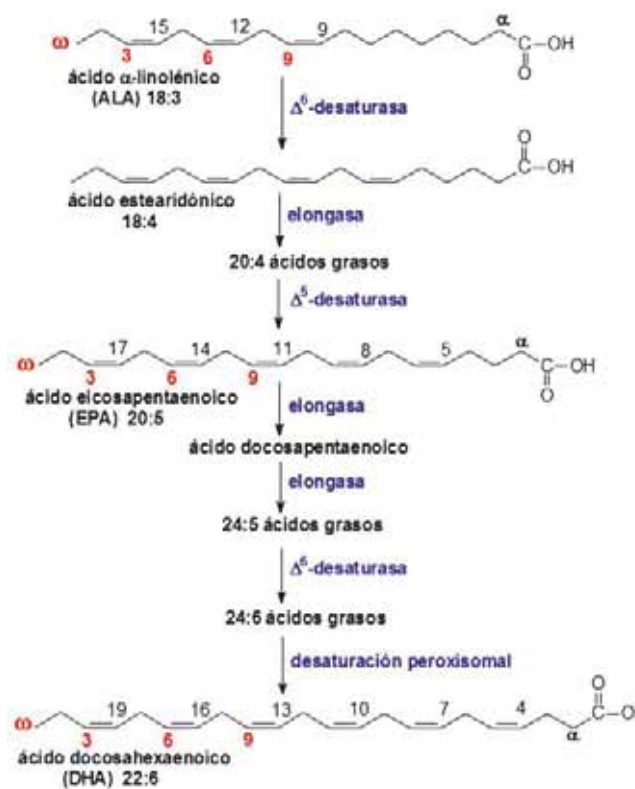
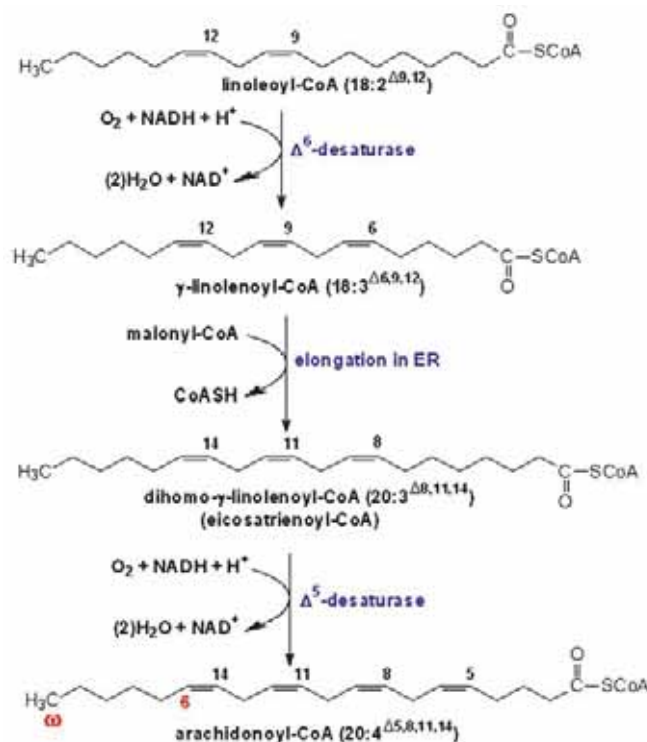


Figura 2. Ruta metabólica de desaturación y elongación del ácido linoleico.



de desaturación y elongación del ALA para convertirse en EPA y DHA, existe competencia por las propias enzimas (delta-6-desaturasa, delta-5-desaturasa y elongasa) que son compartidas con la ruta de conversión de los AG de la familia  $\omega$ -6 (Figuras 1 y 2).

Estudios recientes han demostrado que varios de estos AGE, como los ácidos  $\omega$ -3 mejoran la salud y función del organismo, teniendo un papel importante en algunos procesos fisiológicos. Por esta razón, muchos nutricionistas prestan su atención en los AGE a la hora de la fabricación de piensos, por su consiguiente beneficio tanto para la salud animal como humana, a través de

los denominados alimentos funcionales. En efecto, los ácidos  $\omega$ -3 desempeñan un papel importante en la salud humana en relación con sus propiedades anti-aterogénicas, anti-trombocíticas, anti-cancerígenas, y anti-inflamatorias, contribuyendo a la mejora de las funciones cardíacas y vasculares (Simopoulos, 2009). Sin embargo, la prevalencia de problemas de salud en animales de granja se relaciona más con enfermedades respiratorias o gastro-intestinales agudas que con problemas crónicos. El papel de los AGPI  $\omega$ -3 en la modulación de los mediadores de la inmunidad humoral y celular puede aportar grandes beneficios a los animales de granja.

### » Aporte de ácidos grasos Omega 3 ( $\omega$ -3) a través de las materias primas

Las fuentes de alimentación más ricas en EPA y DHA son ciertos tipos de algas, zooplancton, fitoplancton, aceites de pescado y mariscos. La capacidad de bioconversión del ácido linolénico es muy variable entre especies de peces, generalmente en peces de agua dulce es elevada y reducida en peces de agua salada. Mientras que fuentes vegetales como la linaza, tanto entera, molida, como en forma de aceite es la principal fuente de ALA. Los cuadros 1 y 2 muestran el contenido en AG  $\omega$ -3 de algunos vegetales y aceites de pescado.

**Cuadro 1.** Contenido de ácido linolénico de diferentes materias primas vegetales utilizadas en la fabricación de pienso.

Materia prima	A. linolénico (% grasa)
Trigo	5,9
Maíz	1,0
Guisantes	10,2
Pulpa de remolacha	10,5
Alfalfa deshidratada	37,0
Aceite de soja	7,4
Aceite de lino	54,2
Aceite de colza	9,8
Aceite de girasol	0,3
Manteca	0,9

**Cuadro 2.** Contenido en ácidos grasos  $\omega$ -3 de varios aceites de pescado (valores expresados en %).

Aceite	ALA (C18:3)	EPA (C22:5)	DHA (C22:6)
Boquerón	0,8	18,3	8,5
Capelán	0,3	3,7	2,0
Hígado de bacalo	0,5	11,0	10,8
Arenque	0,7	6,8	5,8
Menhaden	0,8	12,2	7,9
Sardina	0,9	16,9	21,9
Salmón	0,6	12,0	13,8
Dorada sébaste	0,5	8,0	8,9

En dietas para cerdos, la proporción de  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 puede fluctuar 4:1 a 11:1, dependiendo de la composición del pienso. Esta proporción tiende a ser alta en los piensos compuestos a base de cereales y materias primas proteicas, que son naturalmente ricos en ácidos  $\omega$ -6 grasos (Wilfart et al., 2004). Haak et al. (2008) reportaron relaciones  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 de 8:1, 2,5:1 y 1,5:1 en dietas para cerdos a base de cebada, trigo y harina de soja en función de la inclusión de grasas animales, aceite de pescado o triturados de linaza, respectivamente. Kouba et al. (2003) reportaron tasas  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 de 7:1 y 1:1, en una dieta de control (compuesta de trigo, harina de soja, cebada y mezclas de grasas) y en una dieta rica en semillas de lino, que contenía un 6% de semillas de lino tritura-



das, respectivamente. La inclusión en la dieta de aceites vegetales, como aceite de colza, es capaz de disminuir la proporción a 4,7:1  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 (Htoo et al., 2008).

### » Efecto de los AGPI Omega-3 en la modulación de la respuesta inflamatoria

La respuesta inmune de los animales se puede ver modificada por el aporte en la dieta de AG  $\omega$ -3. Tanto los ácidos  $\omega$ -6 como  $\omega$ -3 se almacenan en las membranas celulares, desempeñando dos funciones principales: componentes estructurales y sustratos para la producción de eicosanoides, como las prostaglandinas (PGE), tromboxanos (TX) y leucotrienos (LT) (Calder, 2007). Las rutas metabólicas de los AGPI  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3 están vinculadas al ser metabolizados por las mismas enzimas ( $\omega$ -6 y  $\omega$ -5 desaturasa y elongasa) y, por lo tanto, compiten por el mismo conjunto de enzimas.

El AL se convierte en ácido araquidónico (AA, 20:4,  $\omega$ -6), que es el precursor de PGE de la serie 2 y TX, así como de LT de la serie 4. El ALA se convierte en ácido eicosapentanoico (EPA, 20:5,  $\omega$ -3), que es el precursor de PGE de la serie 3 y TX, así como de LT de la serie 5. Los ácidos grasos AA y EPA también se convierten en sus respectivos eicosanoides, que juegan un papel importante en la aterosclerosis, enfermedad coronaria, el asma bronquial y otras enfermedades inflamatorias (Das, 2006).

Las PGE de la serie 2 regulan la producción de citoquinas pro-inflamatorias, mientras que las PGE de la serie 3 se transforman en eicosanoides anti-inflamatorios (Bagga et al., 2003). Para fomentar la producción de PGE antiinflamatorias y para desalentar la producción de PGE inflamatorias, el ácido AA se debe reducir en la dieta, y una cantidad adecuada de ácidos  $\omega$ -3 deben ser consumidos (Boyce, 2007). Por lo tanto, la dieta tiene que favorecer un equilibrio entre los distintos tipos de prostaglandinas para que no exista un efecto demasiado pronunciado de un determinado tipo.

La sustitución de manteca de cerdo por aceite de pescado (70 g/kg de pienso) en las dietas de cerdas al final de gestación y durante la lactancia reduce la liberación de eicosanoides por las células inmunes de lechones lactantes (Fritsche et al., 1993). Además, Lauridsen et al., (2007) reportaron una menor producción de

la serie 2 de PGE y TX en los macrófagos alveolares de lechones de cerdas alimentadas con 80 g/kg de aceite de pescado.

Además, los AGPI  $\omega$ -3 y sus metabolitos son ligandos naturales de los receptores gamma activadores de la proliferación de peroxisomas (PPAR $\gamma$ ). Los PPAR $\gamma$  se sabe que juegan un papel fundamental en la respuesta inmune a través de su capacidad de inhibir la expresión de citoquinas inflamatorias y dirigir la diferenciación de las células inmunes hacia fenotipos anti-inflamatorios (Martin, 2009). Marion-Letellier et al. (2008) informaron de que los AGPI  $\omega$ -3 no sólo reducen la secreción de las citoquinas pro-inflamatorias interleuquinas 6 y 8, sino que además aumentan la expresión de los PPAR. Los datos de un ensayo con cerdos alimentados con 100 g/kg de semillas de lino, ponen de manifiesto una disminución de la expresión génica del factor de necrosis tumoral  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) mediante un mecanismo dependiente de los PPAR $\gamma$  (Huang et al., 2008). Además, Zhan et al. (2009) informaron que la suplementación de la dieta de cerdos con 100 g/kg de semillas de lino provoca un aumento en la expresión de PPAR $\gamma$  y una disminución de la expresión de TNF- $\alpha$  en el músculo (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Efecto de la suplementación con 10% de linaza sobre la expresión de los genes relacionados con la inflamación (Zhan et al., 2009).

Gen <sup>1</sup>	Fuente	Suplementación con linaza al 10% antes del sacrificio, <sup>2</sup> días					SEM <sup>3</sup>	Significación <sup>4</sup>
		0 (T1)	30 (T2)	60 (T3)	90 (T4)			
PPAR $\gamma$	Músculo	0.87 <sup>5</sup>	1.31	1.54	1.49	0.023	L**	
	Tej. Adiposo	1.57	1.77	2.07	1.97	0.054	NS	
	Bazo	1.45	1.75	1.99	2.10	0.021	L**	
IL-1b	Músculo	1.89	1.74	0.99	1.12	0.013	L**	
	Tej. Adiposo	2.79	1.65	0.72	0.79	0.029	L**	
	Bazo	2.74	1.05	0.83	0.62	0.026	Q**	
IL-6	Músculo	1.83	1.61	1.48	1.33	0.018	L**	
	Tej. Adiposo	1.85	1.70	1.30	1.18	0.017	L**	
	Bazo	2.05	1.80	1.30	1.21	0.022	L**	
TNF- $\alpha$	Músculo	1.27	1.17	0.91	0.79	0.013	L**	
	Tej. Adiposo	1.92	1.73	1.35	1.33	0.044	L**	
	Bazo	1.95	1.63	1.46	1.31	0.032	L**	

<sup>1</sup> PPAR $\gamma$  = Proliferador de peroxisoma activados por receptores  $\gamma$ ; TNF- $\alpha$  = Factor de necrosis tumoral  $\alpha$ .

<sup>2</sup> Cuatro tratamientos, el T1 = tratamiento control y tres tratamientos con 10% de linaza (T2, T3 y T4 con diferentes días de duración). En cada tratamiento 6 cerdos.

<sup>3</sup> La n usada para calcular el SEM fue de 6.

<sup>4</sup> NS = no significativo; L y Q indica un efecto lineal y cuadrático significativo, respectivamente para los días con la dieta suplementada.

<sup>5</sup> Valores de PCR.

\*\*  $p \leq 0.01$ .

## » Efecto de los ÁCIDOS Omega-3 sobre los parámetros reproductivos

La mayoría de los artículos de la literatura especializada hacen referencia al efecto de los AGPI  $\omega$ -3 sobre aspectos tales como: tamaño de camada, peso del lechón, mortalidad pre-destete de los lechones y fertilidad del verraco. Mateo et al. (2009) reportaron que los lechones nacidos y criados con cerdas primíparas alimentadas con una dieta suplementada con AGPI  $\omega$ -3 (20 g/kg de una fuente marina de  $\omega$ -3 a partir del día 60 de gestación hasta el día 21 de lactancia) tienen un mayor peso al destete en comparación con los controles (Cuadro 4) Así mismo, se observó una mayor concentración de inmunoglobulinas calostrales (Ig G) en cerdas alimenta-

das con dietas suplementadas con AGPI  $\omega$ -3 en relación al control (24.4 19.9 mg/ml de IgG). Sus resultados mostraron que la inclusión de AG  $\omega$ -3 mejora el crecimiento de los lechones durante la lactación independientemente del número del parto de las cerdas y del nivel de proteína de la dieta.

Por otra parte, Rooke et al. (2001a) ponen de manifiesto una disminución en la mortalidad pre-destete en lechones nacidos de cerdas alimentadas 16,5 g/kg de aceite de salmón desde la cubrición hasta el destete. En efecto, el enriquecimiento en DHA del tejido cerebral de los lechones puede conducir a un mayor vigor del mismo y a una menor mortalidad predestete, principalmente por reducir el número de aplastamientos (Córdoba et al., 2000).

Su efecto positivo también se aprecia sobre la supervivencia fetal. En este sentido, Weibel et al. (2004) encontraron mejoras en el número total de lechones nacidos (12 11,3) y en el número de lechones nacidos vivos (10,9 10,2) cuando suplementaron la dieta

**Cuadro 4.** Efecto del enriquecimiento de la dieta con AGPI  $\omega$ -3 sobre los parámetros productivos en cerdas primíparas durante la gestación y a lo largo de la lactación (Mateo et al., 2009).

Parámetro	Tratamiento <sup>1</sup>			
	Control	Dieta con AGPI $\omega$ -3	SEM	Significación
Nº de cerdas	12	14		
Pérdida de peso (kg)	14.2	13.5	1.9	0.861
Pérdida de ETD (mm)	2.8	3.2	0.3	0.969
Consumo (kg)	5.7	5.5	0.1	0.560
Intervalo destete-celo (d)	4.8	4.6	0.1	0.863
Tamaño de la camada después de las adopciones	11.3	11.1	0.4	0.181
Mortalidad de la camada (%)	8.4	10.9	2.6	0.751
Peso de los lechones (kg)				
Nacimiento	1.45	1.51	0.03	0.241
10 días	3.04 <sup>a</sup>	3.50 <sup>b</sup>	0.07	0.046
21 días	5.20 <sup>a</sup>	6.09 <sup>b</sup>	0.11	0.011
Ganancia de peso del lechón (kg)				
0-10 días	1.60	1.96	0.05	0.111
10-21 días	2.17	2.58	0.07	0.083
Total	3.76 <sup>a</sup>	4.54 <sup>b</sup>	0.10	0.026
Peso de la camada (kg)				
Nacimiento	16.67	18.40	0.32	0.125
10 días	32.90 <sup>a</sup>	38.12 <sup>b</sup>	0.73	0.018
21 días	54.04 <sup>a</sup>	64.46 <sup>b</sup>	1.23	0.004
Ganancia de peso de la camada (kg)				
0-10 días	16.3	19.7	0.59	0.089
10-21 días	21.3	26.3	0.75	0.063
Total	37.4 <sup>a</sup>	46.0 <sup>b</sup>	1.12	0.017

<sup>a,b</sup> Letras distintas dentro de una misma fila nivel de significación ( $p \leq 0.05$ ).

<sup>1</sup> Las dietas en lactación fueron administradas ad libitum. Control = dieta a base de maíz y soja. Dieta con AGPI  $\omega$ -3 (dieta suplementada con 20g/kg de una fuente marina).

Cuadro 5. Efecto de la suplementación con aceite de atún sobre las características seminales porcinas (Rooke et al., 2001b).

Dieta	Sin suplementación				Con aceite de atún			Significación			
	Semana	0 <sup>1</sup>	3	5	6	3	5	6	Dieta	Semana	Dieta x semana
Volumen seminal (ml)		291	273	281	346	238	284	293	NS	L*	NS
<b>Espermatozoides</b>											
Concentración (10 <sup>8</sup> células/ml)		2.81	2.13	2.78	1.97	4.02	3.78	4.12	NS	NS	NS
Viabilidad (%)		70.9	75.3	71.0	71.3	76.4	77.7	80.4	**	NS	NS
Motilidad progresiva (%)		62.9	65.4	70.1	72.0	77.8	78.0	76.6	**	NS	NS
Acrosomas anormales (%)		44.9	44.2	44.2	44.6	45.9	50.0	53.7	***	L*	L*
Morfología anormal (%)		12.8	17.5	11.1	7.7	7.3	5.6	3.3	*	L**	NS

<sup>1</sup> Valores pre-experimentales. L: efecto lineal del tiempo o de la interacción tiempo x dieta.

de cerdas gestantes con 85 g de un suplemento de ácidos grasos  $\omega$ -3 durante los 35 días anteriores a la cubrición.

La mayor robustez de los lechones al nacimiento se traduce en una mejora del comportamiento de amamantamiento. A este respecto, Rooke et al., (2001c) reportaron que los lechones nacidos de cerdas que habían sido alimentadas con dietas con 1,65% de aceite de atún desde el día 92 de gestación tendían a contactar antes con las mamas y tardaban menos en mamar que los procedentes de cerdas alimentadas con una dieta control. Este aspecto está en consonancia con los resultados de Ng e Innis (2003) quienes encontraron que los lechones recién nacidos alimentados con una dieta rica en DHA tenían mayor actividad y menor sensación de miedo o ansiedad, en pruebas efectuadas en laberintos, que los lechones nacidos con una dieta control.

En otro orden de cosas, los espermatozoides porcinos contienen una cantidad significativa de DHA, y es probable que el DHA desempeñe un papel protagonista en la fertilidad óptima del verraco. En este sentido, la suplementación de la dieta de verracos con 30 g/kg de aceite de atún, con un 25% de DHA, mejora las características de los espermatozoides, incluida la concentración, la vitalidad y la proporción de espermatozoides con motilidad progresiva y la valoración normal de acrosoma (Cuadro 5) (Rooke et al., 2001b). Sin embargo, otros autores (Paulenz et al., 1999) no detectaron mejoras en la motilidad del esperma tras el aporte del aceite de

pescado. La razón podría estar en que la calidad media del esperma de este estudio era superior a la reportada por Rooke et al., (2001b).

### » Efecto de los ácidos Omega-3 sobre las características nutricionales de la carne y los productos cárnicos (alimentos funcionales)

En las dietas occidentales, con predominio de altas concentraciones de aceites de maíz, girasol y soja, los AGPI predominantes pertenecen a la familia  $\omega$ -6, con una proporción  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 elevada, lo que contribuye a la alta incidencia de enfermedades cardiovasculares, así como trastornos inflamatorios (Simopoulos, 2009). En opinión de la EFSA (Agencia Europea para la Seguridad Alimentaria) los AGPI  $\omega$ -3 desempeñan un papel importante en la dieta, debiéndose alcanzar una relación de  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 más fisiológica (cerca del 5:1) en lugar de la relación más elevada proporcionada por la dieta occidental actual.

El consumidor, por razones de salud, demanda cada vez más productos con un mayor contenido en AGPI (especialmente los ácidos grasos  $\omega$ -3) debido a sus efectos beneficiosos en la prevención de enfermedades cardiovasculares (efecto antiaterogénico y



antitrombótico), procesos inflamatorios y en el desarrollo cerebral y de las funciones mentales. Ello ha motivado el interés por manipular la composición de ácidos grasos de la carne con el fin de producir alimentos funcionales (Coates et al., 2009). Hoy en día es posible aumentar la concentración de AGPI  $\omega$ -3 en los tejidos del cerdo mediante el uso de diferentes fuentes de grasa en la alimentación debido a que los lípidos en la carne de los animales monogástricos reflejan la naturaleza lipídica de la dieta (Wood et al., 2003; Vorin et al., 2003). Los periodos de suministro necesarios son de 30 a 90 días, requiriéndose niveles superiores de suplementación al ser menor el periodo de suministro.

Sin embargo, las características tecnológicas y sensoriales de la carne de cerdo se pueden ver afectadas por su perfil de ácidos grasos. La suplementación dietética de AGPI  $\omega$ -3 (50 g/kg de semilla de lino extrusionada) conduce a una carne apta para el consumo en fresco, pero no por mucho tiempo en los productos curados, debido a los fenómenos oxidativos (Cannata et al., 2010). En los cerdos, la linaza y sus derivados se han elegido como una fuente de ácidos grasos  $\omega$ -3, ya que el ALA, que está fácilmente disponible en las semillas de lino, es menos susceptible a la oxidación, por lo que produce menos problemas de almacenamiento y de calidad que los ácidos grasos de aceites de pescado (Van Oeckel et al, 1996). En efecto, la suplementación de dietas con más de 0,6% de DHA (1188 mg/día) comienza a dar problemas de olores y sabores a pescado, medido tanto a nivel doméstico como en encuestas a panelistas y que se correlacionaron con la cantidad de oxidación, medida pro la cantidad de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) (Meadus et al., 2009).

Por ello, la suplementación con AGPI  $\omega$ -3 requiere una cantidad adecuada de antioxidantes que se pueden incorporar en las dietas de cerdos para evitar el fenómeno oxidativo. En este sentido, se recomienda incrementar los aportes de vitamina E en las dietas porcinas (Hasty et al., 2002; Guo et al., 2006).

La alimentación a largo plazo de los cerdos con 25 g/kg de aceite de colza aumentó el contenido de AAL en el músculo, así como en el jamón (Corino et al., 2002 y Pastorelli et al., 2003). Corino et al. (2008) y Musella et al. (2009) también reportaron un aumento en el contenido de ALA y EPA y una reducción en la proporción  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 en la carne para consumo en fresco; así como, en productos curados (jamón de Parma) de cerdos alimentados con 50 g/kg de semilla de lino extrusionada. Estos autores concluyeron que la inclusión de semillas de lino extrusionadas en la dieta es una vía aceptable para mejorar el valor nutricional de los productos del cerdo con largo proceso de curado pero su inclusión puede verse limitada por los efectos negativos sobre las características sensoriales del jamón curado (Cuadro 6).



Teniendo en cuenta el hecho de que en la UE, el consumo per cápita de carne de cerdo al año es aproximadamente de 43,4 kg, la presencia de AGPI  $\omega$ -3 en productos enriquecidos del cerdo, podría ayudar a los consumidores a cumplir con las recomendaciones de salud sin tener que cambiar sus hábitos alimenticios. Si bien se necesitan estudios adicionales para clarificar el origen y la cantidad óptima de la dieta de AGPI  $\omega$ -3 para mejorar el perfil de ácidos grasos de carne de cerdo sin afectar las características tecnológicas y sensoriales de la carne y productos cárnicos.

## » Conclusiones

En el ganado porcino es interesante suplementar el pienso con AG de la familia  $\omega$ -3, no solo por los efectos beneficiosos sobre la salud de los propios cerdos (desarrollo del feto y del lechón, calidad del semen, efecto inmunomodulador), sino por su contribución a la mejora del perfil de los AG de la carne porcina y sus derivados y su repercusión en la salud humana.

Para enriquecer los piensos se pueden utilizar aceites de pescado y concentrados de plancton marino, ricos en EPA y DHA, así como aceite de linaza, rico en ALA. El porcentaje de suplementación varía entre 2 y 5% de aceite, dependiendo del objetivo a alcanzar y del tiempo de suplementación.

Cuadro 6. Efecto de la inclusión en la dieta de semillas de linaza extrusionadas (50 g/kg) sobre la composición de AGPI (g/100 g de AG) en la carne fresca y en el jamón curado (Corino et al., 2008; Musilla et al., 2009).

Parámetro	Musilla et al. (2009)				Corino et al. (2008)			
	M. semimembranoso		Tejido adiposo subcutáneo en jamón curado		L. Dorsi en cerdos sacrificados con 110 kg		L. Dorsi en cerdos sacrificados con 160 kg	
	Control	Linaza 5%	Control	Linaza 5%	Control	Linaza 5%	Control	Linaza 5%
ALA	0.55	2.02	0,81	3.07	0.48	1.48	0.35	1.49
EPA	0.12	0.22	0.03	0.07	0.12	0.37	0.07	0.39
DHA	0.14	0.33	0.06	0.15	0.07	0.14	0.06	0.09
AGPI-w6	11.72	10.16	13.56	10.72	16.07	15.10	12.31	11.73
AGPI-w3	1.02	2.79	1.06	3.45	1.32	2.87	0.98	2.81
w6/w3	11.46	3.64	12.79	3.11	12.17	5.26	12.56	4.17

## Bibliografía

- BAGGA, D.; L. WANG, R. FARIAS-EISNER, J.A. GLASPY Y S.T. REDDY. 2003. DIFFERENTIAL EFFECTS OF PROSTAGLANDIN DERIVED FROM OMEGA-6 AND OMEGA-3 POLYUNSATURATED FATTY ACIDS ON COX-2 EXPRESSION AND IL-6 SECRETION, PROC. NATL. ACAD. SCI. U.S.A., 100: 1751-1756.
- BEARE-ROGERS, J.; A. DIEFFENBACHER Y J.V. HOLM. 2001. LEXICON OF LIPID NUTRITION (IUPAC TECHNICAL REPORT), PURE APPL. CHEM., 73: 685-744. BOYCE, J.A. 2007. MAST CELLS AND ECOSANOID MEDIATORS: A SYSTEM OF RECIPROCAL PARACRINE AND AUTOCRINE REGULATION, IMMUNOL. REV., 217: 168-185.
- BURDGE, G.C.; A.E. JONES Y S.A. WOOTTON. 2002. ECOSAPENTAENOIC AND DOCOSAPENTAENOIC ACIDS ARE THE PRINCIPAL PRODUCTS OF ALPHA-LINOLENIC ACID METABOLISM IN YOUNG MEN, BR. J. NUTR., 88: 355-363.
- CALDER, P.C. 2007. IMMUNOMODULATION BY OMEGA-3 FATTY ACIDS, PROSTAGL. LEUK. ESSENT. FATTY ACIDS, 77: 327-335.
- CANNATA, S.; S. RATTI, K. METEAU, J. MOUROT, P. BALDINI Y C. CORINO. 2010. EVALUATION OF DIFFERENT TYPES OF DRY-CURED HAM BY ITALIAN AND FRENCH CONSUMERS, MEAT SCI., 84: 601-606.
- COATES, A.M.; S. SIOUITIS, J.D. BUCKLEY Y P.R.C. HOWE. 2009. REGULAR CONSUMPTION OF N-3 FATTY ACID-ENRICHED PORK MODIFIES CARDIOVASCULAR RISK FACTORS, BRIT. J. NUTR., 101: 592-597.
- CORDOBA, R.; PKIYACH, S.; ROOKE, J.A.; EDWARDS, S.A.; PENNY, P.C. Y PIKE, I. 2000. THE EFFECT OF FEEDING SALMON OIL DURING PREGNANCY ON CAUSES OF PIGLET DEATHS PRIOR TO WEANING. IN PROCEEDINGS OF THE BRITISH SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE 2000, P. 105, PENICUIK, MIDLOTHIAN: BRITISH SOCIETY OF ANIMAL SCIENCE.
- CORINO, C.; S. MAGNI, E. PAGLIARINI, R. ROSSI, G. PASTORELLI Y L.M. CHIESA. 2002. EFFECTS OF DIETARY FATS ON MEAT QUALITY AND SENSORY CHARACTERISTICS OF HEAVY PIG LOINS, MEAT SCI., 60: 1-8.
- CORINO, C. M. MUSELLA Y J. MOUROT. 2008. INFLUENCE OF EXTRUDED LINSEED ON GROWTH, CARCASS COMPOSITION AND MEAT QUALITY OF SLAUGHTERED PIGS AT 110 AND 160 KILOGRAMS OF LIVEWEIGHT, J. ANIM. SCI., 86: 1850-1860.
- DAS, U.N. 2006. ESSENTIAL FATTY ACIDS: BIOCHEMISTRY, PHYSIOLOGY AND PATHOLOGY, BIOTECHNOL. J., 1: 420-439.
- FRITSCHKE, K.L.; D.W. ALEXANDER, N.A. CASSITY AND S. HUANG. 1993. MATERNALLY SUPPLIED FISH OIL ALTERS PIGLET IMMUNE CELL FATTY ACID PROFILE AND ECOSANOID PRODUCTION, LIPIDS, 28: 677-682.
- GUO, Q.; RICHERT, B.T.; BURGESS, J.R.; WEBEL, D.M.; ORR, D.E.; BLAIR, M.; FITZNER, G.E.; HALL, D.D.; GRANT, A.L. Y GERRARD, D.E. 2006. EFFECTS OF DIETARY VITAMIN E AND FAT SUPPLEMENTATION ON PORK QUALITY. J. ANIM. SCI., 84: 3089-3099.
- HAAK, L.; S. DE SMET, D. FREMAUT, K. VAN WALLEGHEM Y K. RAES. 2008. FATTY ACID PROFILE AND OXIDATIVE STABILITY OF PORK AS INFLUENCED BY DURATION AND TIME OF DIETARY LINSEED OR FISH OIL SUPPLEMENTATION, J. ANIM. SCI., 86: 1418-1425.
- HOLUB, B.J. 2002. CLINICAL NUTRITION. 4. OMEGA-3 FATTY ACIDS IN CARDIOVASCULAR CARE. C.M.A.J., 166: 608-615.
- HASTY, L.; VAN HEUGTEN, E.; SEE, M.T. Y LARICK, D.K. 2002. EFFECT OF VITAMIN E ON IMPROVING FRESH PORK QUALITY IN BERKSHIRE- AND HAMPSHIRE-SIRED PIGS. J. ANIM SCI., 80: 3230-3237.
- HTOO, J.K.; X. MENG, J.F. PATIENCE, M.E.R. DUGAN Y R.T. ZIJLSTRA. 2008. EFFECTS OF COEXTRUSION OF FLAXSEED AND FIELD PEA ON THE DIGESTIBILITY OF ENERGY, ETHER EXTRACT, FATTY ACIDS, PROTEIN, AND AMINO ACIDS IN GROWER-FINISHER PIGS, J. ANIM. SCI., 86: 2942-2951.
- HUANG, F.R. Z.P. ZHAN, J. LUO, S.W. JIANG Y J. PENG. 2008. DURATION OF FEEDING LINSEED DIET INFLUENCES PEROXISOME PROLIFERATOR-ACTIVATED RECEPTOR GAMMA AND TUMOR NECROSIS FACTOR GENE EXPRESSION, AND MUSCLE MASS OF GROWING-FINISHING BARROWS, LIVEST. SCI., 119: 194-201.
- KLOAREG, M.; J. NOBLET Y J. VAN MILGEN. 2007. DEPOSITION OF DIETARY FATTY ACIDS, DE NOVO SYNTHESIS AND ANATOMICAL PARTITIONING OF FATTY ACIDS IN FINISHING PIGS, BR. J. NUTR., 97: 35-44.
- KOUBA, M.; M. ENSER, F.M. WHITTINGTON, G.R. NUTE Y J.D. WOOD. 2003. EFFECT OF A HIGH-LINOLENIC ACID DIET ON LIPOGENIC ENZYME ACTIVITIES, FATTY ACID COMPOSITION, AND MEAT QUALITY IN THE GROWING PIG, J. ANIM. SCI., 81: 1967-1979.
- LAURIDSEN, C.; J. STAGSTED Y S.K. JENSEN. 2007. N-6 AND N-3 FATTY ACIDS RATIO AND VITAMIN E IN PORCINE MATERNAL DIET INFLUENCE THE ANTIOXIDANT STATUS AND IMMUNE CELL ECOSANOID RESPONSE IN THE PROGENY, PROSTAG. LIPID MEDIAT., 84: 66-78.
- MARION-LETELLIER, R.; M. BUTLER, P. DECHELOTTE, R.J. PLAYFORD Y S. GHOSH. 2008. COMPARISON OF CYTOKINE MODULATION BY NATURAL PEROXISOME PROLIFERATOR-ACTIVATED RECEPTOR GAMMA LIGANDS WITH SYNTHETIC LIGANDS IN INTESTINAL-LIKE CACO-2 CELLS AND HUMAN DENDRITIC CELLS—POTENTIAL FOR DIETARY MODULATION OF PEROXISOME PROLIFERATOR-ACTIVATED RECEPTOR GAMMA IN INTESTINAL INFLAMMATION, AM. J. CLIN. NUTR., 87: 939-948.
- MARTIN, H. 2009. ROLE OF PPAR-GAMMA IN INFLAMMATION. PROSPECTS FOR THERAPEUTIC INTERVENTION BY FOOD COMPONENTS, MUTAT. RES. FUND MOL. MECH. MUTAGEN, 669:1-7.
- MATEO, R.D.; J.A. CARROLL, Y. HYUN, S. SMITH Y S.W. KIM. 2009. EFFECT OF DIETARY SUPPLEMENTATION OF OMEGA-3 FATTY ACIDS AND HIGH LEVELS OF DIETARY PROTEIN ON PERFORMANCE OF SOWS, J. ANIM. SCI., 87: 948-959.
- MEADUS, W.J.; UTTARO, B.; AALHUS, J.L.; DUFF, P. Y GIBSON, L. 2009. ENRICHMENT OF PORK PRODUCTS WITH OMEGA-3 LIPIPS. ADVANCES IN PORK PRODUCTION, 2009. ABSTRACT 6.
- MUSELLA, M.; S. CANNATA, R. ROSSI, J. MOUROT, P. BALDINI Y C. CORINO. 2009. OMEGA-3 PUFA FROM EXTRUDED LINSEED INFLUENCES FATTY ACID COMPOSITION AND SENSORY CHARACTERISTICS OF DRY-CURED HAM FROM HEAVY PIGS, J. ANIM. SCI., 87: 3578-3588.
- NG, K.F. Y INNIS, S.M. 2003. BEHAVIORAL RESPONSES ARE ALTERED IN PIGLETS WITH DECREASED FRONTAL CORTEX DOCOSAHEXAENOIC ACID. J. NUTR., 133: 3222-3227.
- NOBLET, J.; H. FORTUNE, X.S. SHI Y S. DUBOIS. 1994. PREDICTION OF NET ENERGY VALUE OF FEEDS FOR GROWING PIGS, J. ANIM. SCI., 72: 344-354.
- PASTORELLI, G.; S. MAGNI, R. ROSSI, E. PAGLIARINI, P. BALDINI, P. DIRINCK, F. VAN OPSTAELE Y C. CORINO. 2003. INFLUENCE OF DIETARY FAT ON FATTY ACID COMPOSITION AND SENSORY PROPERTIES OF DRY-CURED PARMA HAM. MEAT SCI., 65: 571-580.
- PAULENZ, H.; TAUGBOL, O., KOMMISRUDE, E. Y GREVLE, I.S. 1999. EFFECT OF DIETARY SUPPLEMENTATION WITH COD LIVER OIL ON COLD SHOCK AND FREEZABILITY OF BOAR SEMEN. REPROD. DOM. ANIM., 34: 431-435.
- ROOKE, J.A.; A.G. SINCLAIR, S.A. EDWARDS, R. CORDOBA, S. PKIYACH, P.C. PENNY, P. PENNY, A.M. FINCH Y G.W. HORGAN. 2001A. THE EFFECT OF FEEDING SALMON OIL THROUGHOUT PREGNANCY ON PRE-WEANING MORTALITY OF PIGLET, ANIM. SCI., 73: 489-500.
- ROOKE, J.A.; C.C. SHAO Y B.K. SPEAKE. 2001B. EFFECTS OF FEEDING TUNA OIL ON THE LIPID COMPOSITION OF PIG SPERMATOZOEA AND IN VITRO CHARACTERISTICS OF SEMEN, REPRODUCTION, 121: 315-322.
- ROOKE, J.A.; SINCLAIR, A.G. Y EDWARDS, S.A. 2001C. FEEDING TUNA OIL TO THE SOW AT DIFFERENT TIMES DURING PREGNANCY HAS DIFFERENT EFFECTS ON PIGLET LONG CHAIN POLYUNSATURATED FATTY ACID COMPOSITION AT BIRTH AND SUBSEQUENT GROWTH. BRITISH JOURNAL OF NUTRITION, 86: 21-30.
- ROOKE, J.A.; E.M. FERGUSON, A.G. SINCLAIR Y B.K. SPEAKE. 2003. FATTY ACIDS AND REPRODUCTION IN THE PIG. EN: P.C. GARNSWORTHY Y J. WISEMAN, EDITORS, RECENT ADVANCES IN ANIMAL NUTRITION, NOTTINGHAM UNIVERSITY PRESS, NOTTINGHAM, UK.
- SIMOPOULOS, A.P. 2009. OMEGA-6/OMEGA-3 ESSENTIAL FATTY ACIDS: BIOLOGICAL EFFECTS, WORLD REV. NUTR. DIET., 99: 1-16.
- VAN OECKEL, M.J.; M. CASTEELS, N. WARNANTS, L. VAN DAMME Y V.C. BOUCQUE. 1996. OMEGA-3 FATTY ACIDS IN PIG NUTRITION: IMPLICATIONS FOR THE INTRINSIC AND SENSORY QUALITY OF THE MEAT, MEAT SCI., 44: 55-63.
- VORIN, V.; MOUROT, J.; WEILL, P.; ROBIN, G.; PEINEAU, P. Y MOUNIER, A. 2003. EFFET DE L'APPORT D'ACIDES GRAS OMEGA 3 DANS L'ALIMENTATION DU PORC SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITÉ DE LA VIANDE. JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE EN FRANCE, 35.
- WEBEL, S. K.; OTTO-TICE, E.R.; MOSTER, R.L. Y ORR, D.E. 2004. EFFECT OF FEEDING DURATION OF PROTECTED N-3 POLYUNSATURATED FATTY ACID (FERTILUM™) ON LITTER SIZE AND EMBRYO SURVIVAL IN SOWS. JANIM.SCI. 82 (SUPPL. 1):212 (ABSTR.).
- WILFART, A.; J.M. FERREIRA, A. MOUNIER, G. ROBIN Y J. MOUROT. 2004. EFFET DE DIFFÉRENTS TENEURS EN ACIDES GRAS N-3 SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA QUALITÉ NUTRITIONNELLE DE LA VIANDE DE PORC. J. RECH. PORCINE, 36 : 195-202.
- WOOD, J.D.; R.I. RICHARDSON, G.R. NUTE, A.V. FISHER, M.M. CAMPO, E. KASAPIDOU, P.R. SHEARD Y M. ENSER. 2003. EFFECTS OF FATTY ACIDS ON MEAT QUALITY: A REVIEW, MEAT SCI., 66: 21-32.
- ZHAN, Z.P., F.R. HUANG, J. LUO, J.J. DAI, X.H. YAN Y J. PENG. 2009. DURATION OF FEEDING LINSEED DIET INFLUENCES EXPRESSION OF INFLAMMATION-RELATED GENES AND GROWTH PERFORMANCE OF GROWING-FINISHING BARROWS, J. ANIM. SCI., 87: 603-611.