

Influencia de la alimentación líquida con suero de leche en el perfil de ácidos grasos del chorizo gallego

I. González-Torres, P. González, N. Cobas, J.C. Barrio, L. Vázquez, L. Purriños, D. Franco, R. Domínguez y J.M. Lorenzo*

Centro Tecnológico de la Carne, Av. de Galicia nº 4, Parque Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Viñas, Ourense (España)

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el perfil lipídico de muestras de chorizo gallego elaborado con magro y grasa de cerdos sometidos a una alimentación líquida basada en suero lácteo frente a cerdos que siguieron una alimentación convencional. Los ácidos grasos monoinsaturados fueron los mayoritarios. De modo individual, los ácidos grasos que mayores proporciones presentaron fueron el oleico (42 %), palmítico (24 %), esteárico (12-13 %), linoleico (8-11 %), vacénico (3 %), palmitoleico (2,5 %) y mirístico (1,4 %). El análisis estadístico mostró que 14 de los 22 ácidos grasos presentaron diferencias significativas entre ambas alimentaciones. La inclusión de suero lácteo en la dieta provocó un aumento significativo de los principales ácidos grasos saturados y monoinsaturados y una disminución de los poliinsaturados. Esto puede estar relacionado, por un lado con la particular composición en ácidos grasos del lactosuero y también con la disminución de la cantidad de proteína, hidratos de carbono y grasa aportada por la dieta a base de lactosuero, lo que favorece la síntesis *de novo*, por tanto, la síntesis endógena de ácidos grasos saturados y monoinsaturados. A pesar del aumento de ácidos grasos saturados y la disminución en poliinsaturados, la inclusión de suero incrementó la proporción de ácidos grasos monoinsaturados, especialmente el ácido oleico. Por tanto, teniendo en cuenta todos los resultados podemos afirmar que una dieta de acabado que incluya un porcentaje del 30 % de suero de leche permitiría aprovechar este subproducto de la industria alimentaria y reducir costes de producción siendo mínima la variación de la calidad nutricional del chorizo gallego.

Palabras clave: Suero leche, alimentación animal, producto cárnico, chorizo gallego, ácidos grasos.

Influence of liquid feeding with milk whey on "chorizo gallego" fatty acid profile

Abstract

The aim of this study was to evaluate the "chorizo gallego" fatty acid profile elaborated with lean and fat from pigs fed with a liquid diet including milk whey compared to pigs fed with a commercial solid feeding. The monounsaturated fatty acids were the major fatty acids. Individually, the fatty acids with the highest proportions were oleic (42 % of total fatty acids), palmitic (24 %), stearic (12-13 %), linoleic (8-11 %), vaccenic (3 %), palmitoleic (2.5 %) and myristic. The statistical analysis showed that 14 out of 22 fatty acids presented significant differences between both diets. The inclusion of whey in the diet

* Autor para correspondencia: jmlorenzo@ceteca.net

caused a significant increase in the main saturated and monounsaturated fatty acids and a decrease in the polyunsaturated fatty acids. This fact may be related, on the one hand, with the particular fatty acid composition of the whey and also with the decrease in the amount of protein, carbohydrates and fat provided by the diet, which favours *de novo* synthesis, therefore the endogenous synthesis of saturated and monounsaturated fatty acids. Despite the increase in saturated fatty acids and the decrease in polyunsaturated, the inclusion of milk whey increased the content of monounsaturated fatty acids, which had a positive impact on health. Therefore, taking into account all the results we can affirm that a finishing diet that 30 % of whey would allow to revalue this byproduct of the food industry and decrease production costs with minimal variation in nutritional quality of "chorizo gallego".

Keywords: Milk whey, animal feeding, meat product, chorizo gallego, fatty acids.

Introducción

Actualmente, España es el principal productor de piensos de Europa, con un valor medio de 36 millones de toneladas de alimento destinado a los animales de abasto (MAPA, 2019). Sin embargo, la elevada dependencia de este sector por los cereales junto con la necesidad de importar materias primas de elevado coste plantea dificultades de abastecimiento a largo plazo. Una de las alternativas sostenibles que más se ha estudiado en los últimos años consiste en el aprovechamiento de subproductos de la industria alimentaria (Parra et al., 2016). La alimentación del animal tiene un marcado efecto sobre la tasa de crecimiento y la composición química del músculo (Lebret, 2008; Domínguez et al., 2015; De Jesús et al., 2016a y 2017). La dieta de animales monogástricos como el cerdo condiciona también su metabolismo lipídico, afectando al grado de deposición de grasa corporal en la canal (Gondret y Lebret, 2002; Wood et al., 2008; Domínguez et al., 2015), así como a la estabilidad oxidativa, al proceso de maduración y a las características sensoriales de los derivados cárnicos (Ventanas et al., 2007; Gómez et al., 2017 y 2018).

La industria quesera proporciona una gran cantidad de lactosuero, cuyo interés como subproducto radica en su composición. Dicho suero contiene 63-70 g/L de sólidos totales, entre los cuales destacan el contenido de lactosa (44-52 g/L) y el contenido de proteína (6-

10 g/L) (Panesar et al., 2007). En forma líquida el aporte proteico es relativamente bajo, pero hay que tener en cuenta que el agua representa más del 90 % de dicho suero, por lo que múltiples estrategias de deshidratación han sido empleadas para conseguir concentrados de proteína de leche con elevadas cantidades de proteína. Pal et al. (2010) concluyeron que sus proteínas tienen importantes efectos beneficiosos sobre la absorción de minerales y el metabolismo de la glucosa. Según el trabajo realizado por Tokach et al. (1989), la ingesta de estas proteínas también tiene un efecto positivo sobre la eficiencia alimenticia, la digestibilidad de los nutrientes y el rendimiento del crecimiento en lechones destetados. Por otra parte Brooks et al. (2003) han demostrado múltiples ventajas del uso de dietas líquidas, especialmente con fermentados lácteos, sobre el sistema inmunitario y parámetros productivos de los cerdos. Sin embargo, son pocos los datos relativos al efecto de sistemas de alimentación líquida con suero de leche sobre el valor nutritivo y organoléptico de la carne y sus productos cárnicos derivados. La mayor parte de los trabajos existentes sobre la alimentación con suero de leche son muy antiguos, la mayoría a mediados del siglo pasado (Schingoethe, 1976). Los pocos estudios recientes, como es el caso del realizado por Kafantaris et al. (2019), se ha realizado no con alimentación líquida a base del suero, sino que estos au-

tores emplearon proteína de suero concentrada (deshidratada), llegando a representar esta proteína un 76,4 % del concentrado. En otro estudio reciente, Ashour et al. (2019) también utilizaron proteínas de lactosuero concentradas, representando estas un 11,85 % así como altos contenidos de azúcar (58 %) y grasa (20 %). Por tanto, el empleo de lactosuero en la dieta de cerdos, administrado como alimentación líquida es una estrategia poco utilizada y con gran importancia para los ganaderos.

El chorizo gallego es un embutido tradicional del norte de España que se caracteriza por tener unos niveles de grasa en el rango 20-30 % (Lorenzo et al., 2011; Gómez y Lorenzo, 2013; Gómez et al., 2017). La grasa es un ingrediente fundamental de los productos cárnicos por su contribución al sabor, textura, flavor, jugosidad y terneza característicos y que permite la aceptación por parte del consumidor (Olivares et al., 2010; Gómez y Lorenzo, 2013). No obstante, el aumento de la prevalencia de enfermedades crónicas como la hipertensión, la hipercolesterolemia y la obesidad (MSCBS, 2018) ha despertado la preocupación de investigadores y productores en la búsqueda de la mejora nutricional del perfil lipídico de estos elaborados cárnicos crudo-curados.

Por tanto, teniendo en cuenta que la escasa información existente sobre el empleo de lactosuero en la dieta de cerdos se centra en un producto deshidratado y con alto contenido en proteínas, se planteó este estudio para evaluar la influencia que la inclusión de este subproducto en la dieta (administrado como dieta líquida) ejerce en la calidad nutricional de uno de los elaborados cárnicos de más arraigo de la comunidad gallega.

De este modo, el objetivo específico del presente estudio consistió en determinar el efecto sobre el perfil de ácidos grasos de chorizos gallegos elaborados a partir de magro y gra-

sa de cerdos criados con una alimentación líquida que incluía suero lácteo en sustitución parcial de piensos convencionales durante su fase de cebo.

Material y métodos

Animales y dietas

Los cerdos utilizados (15 hembras y 15 machos castrados) en este trabajo fueron de genotipo Hypor y alcanzaron la fase de cebo a los tres meses y medio, con un peso vivo medio de $80,4 \pm 6,23$ kg. Una vez alcanzada la fase de cebo, se dividieron los animales en 2 grupos (15 animales cada grupo). El primer grupo de animales, utilizado como lote control, se alimentó exclusivamente con pienso comercial *ad libitum*, mientras que al segundo grupo se le suministró una dieta líquida compuesta por pienso (28 %), suero de leche (30 %) y agua (42 %), de acuerdo a las recomendaciones nutricionales de la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2013). La composición química y perfil de ácidos grasos del pienso comercial y del suero de leche empleado en las dietas de los animales se muestra en la Tabla 1. Los animales fueron enviados al matadero con un peso vivo aproximado de 100 kg. Los cerdos del grupo control presentaron un peso de $98,8 \pm 11,9$ kg y el peso del grupo alimentados con lactosuero fue $101,4 \pm 10,8$ kg.

Elaboración de chorizos gallegos y toma de muestras

Se elaboraron dos lotes de chorizos gallegos a partir de la carne y la grasa obtenida de las canales de los cerdos alimentados con un pienso comercial y de los suplementados con suero de leche (un lote control y un lote "lactosuero". La formulación de los chorizos incluyó carne magra de cerdo (80 %) y grasa

Tabla 1. Composición química y perfil de ácidos grasos del pienso comercial y el lactosuero empleados en la dieta de los cerdos.

Table 1. Chemical composition and fatty acid profile of commercial feed and whey used in pig's diet.

	Pienso	Suero Leche
<i>Composición química (g/100 g)</i>		
Humedad	10,7	92,3
Proteína bruta	17,0	0,87
Grasa bruta	5,3	0,86
Cenizas	5,0	0,73
Hidratos de carbono	58,4	5,28
Fibra bruta	3,60	–
<i>Ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos totales)</i>		
C10:0	0,01	2,63
C12:0	0,05	3,20
C14:0	0,67	11,3
C14:1n-5	0,09	1,12
C15:0	0,11	1,25
C16:0	17,6	32,6
C16:1n-7	1,74	1,64
C18:0	5,83	10,8
11t-C18:1	0,57	2,53
C18:1n-9	29,9	22,3
C18:1n-7	1,65	0,42
C18:2n-6	37,6	3,27
C18:3n-3	2,12	0,58
C20:4n-6	0,11	0,21
AGS	24,9	66,3
AGMI	34,7	28,5
AGPI	40,4	5,2

AGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; AGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados. Los ácidos grasos de cadena corta (inferior a 10 carbonos) no se han determinado. En la tabla solo se muestran los ácidos grasos que representaron más del 0,2 % del total de ácidos grasos, aunque todos se han tenido en cuenta para el cálculo de los sumatorios.

(20 %), sal (13 g/kg), pimentón dulce y picante (22 g/kg), ajo (2 g/kg) y agua (10 %). Para la preparación de la masa, el magro se picó en una picadora industrial (Mod. TOP 114, Ramon, Barcelona, España) con una placa de 12 mm, mientras que la grasa congelada se picó con una placa de 8 mm. A la mezcla de ambos se adicionaron el resto de ingredientes que se mezclaron en una amasadora a vacío (Mod. AO-85, Industria Fuera, Valencia, España) y se dejó en reposo durante 24 h a 5 °C. Transcurrido este tiempo se embutió en tripa natural (32-34 mm) y se colgaron y se fermentaron en un secadero durante 24 h a 20-22 °C y una humedad relativa (HR) de 80-85 %. El secado de los chorizos se efectuó en los mismos secaderos en dos etapas diferenciadas según las condiciones de temperatura y humedad. En la primera se mantuvieron entre 8 °C y 10 °C y a una HR de 75-80 % entre los días 2 y 15. La segunda se extendió hasta el día 30, con temperaturas comprendidas entre los 10-12 °C, mientras que la HR se redujo al 65-70 %. Todo el proceso de elaboración de los chorizos fue replicado en 2 semanas diferentes, estando cada lote compuesto por un total de 10 muestras. Por tanto, se analizaron un total de 40 chorizos (10 chorizos por tratamiento × 2 tratamientos (control y lactosuero) × 2 réplicas del proceso de elaboración).

Análisis del perfil de ácidos grasos

Para el análisis de los ácidos grasos es necesario realizar una extracción previa de la grasa. Por tanto, esta fue extraída usando una combinación de cloroformo y metanol, siguiendo el procedimiento descrito por Barros et al. (2020). Una vez obtenida la grasa, 20 mg fueron utilizados para la obtención de los ésteres metílicos y su cuantificación mediante cromatografía gaseosa siguiendo el procedimiento de Barros et al. (2020). El proceso de transesterificación se realizó mediante la adición

de 2 mL de metóxido sódico (0,5 N) a la muestra de grasa. Transcurridos 15 min la metilación se completó con 4 mL de una disolución de ácido sulfúrico-metanol (10 % H₂SO₄ en metanol), tras la cual se añadieron 2 mL de una disolución saturada de bicarbonato sódico. Los ésteres metílicos fueron extraídos con 1 mL de hexano el cual fue transferido a un vial para su posterior análisis.

La separación, identificación y cuantificación de los ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo de gases (GC-Agilent 7890B, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA), equipado con un detector de ionización de llama y un automuestreador PAL RTC-120 auto sampler (CTC Analytics AG, Zwingen, Switzerland). Para la separación se usó una columna capilar DB-23 (60 m, 0,25 mm i.d., 0,25 m; Agilent Technologies). Las condiciones cromatográficas fueron las descritas por Barros et al. (2020). Los ácidos grasos analizados fueron los incluidos en los patrones FAME MIX 37 (Supelco), los ácidos *cis* 11-vacénico (C18:1n-7), *trans* 11-vacénico (11*t*-C18:1) y docosapentaenoico (C22:5n-3) (Supelco) y ácido linoleico conjugado (CLA; 9*c*,11*t*-C18:2; Matreya). Los resultados se expresaron como g/100 g de ácidos grasos totales identificados.

Análisis estadístico

Se analizaron un total de 40 chorizos (10 chorizos por lote × 2 tratamientos × 2 réplicas). La distribución normal de los datos y la homogeneidad de la varianza fue previamente comprobada (Shapiro-Wilk). Los datos obtenidos se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), donde la proporción de los ácidos grasos fue considerada como la variable dependiente, los diferentes lotes como factor fijo y la réplica de la elaboración como factor aleatorio. El análisis estadístico fue realizado mediante el programa SPSS (SPSS 23.0, Chicago, IL, EE.UU.).

Resultados y discusión

Del total de 41 ácidos grasos estudiados en el presente trabajo, en las muestras de chorizo se detectaron 22 ácidos grasos cuyas proporciones se muestran en la Tabla 2, expresados como g/100 g del total de ácidos grasos. El ácido graso mayoritario en todas las muestras analizadas fue el C18:1n-9 (≈ 42 %), seguido por el C16:0 (≈ 24 %), el C18:0 (12-13 %), el C18:2n-6 (8-12 %) y el C18:1n-7 (3,3 %). Esto determina que la proporción de ácidos grasos monoinsaturados sea el que presentó mayor proporción (en torno al 50 % del total de ácidos grasos), seguido de los saturados (38-40 %) y finalmente los poliinsaturados con los niveles más bajos (9-13 %). Los valores, del perfil de ácidos grasos así como de la proporción tanto a nivel individual como de los sumatorios coincide con los obtenidos en otros trabajos previos realizados con "chorizo gallego" (Franco et al., 2004; Díaz et al., 2009; Gómez et al., 2017) o sobre otros productos cárnicos similares como en el "chorizo de León" (Domínguez y Zumalacárregui, 1991) y el chorizo argentino (Romero et al., 2013).

Por otro lado, se observa que la dieta afectó de modo significativo a las proporciones de los distintos ácidos grasos, tanto a nivel individual como a los sumatorios. Los sumatorios de los ácidos grasos saturados (40,1 % vs. 37,8 %) y monoinsaturados (50,4 % vs. 48,9 %) aumentaron significativamente ($P < 0,001$) con la administración de lactosuero en la dieta, mientras que los ácidos grasos poliinsaturados (9,53 % vs. 13,4 %) disminuyó ($P < 0,001$). Con respecto a esto, la disminución de los AGPI se observa tanto en los ácidos grasos omega 3 (n-3) como en los omega 6 (n-6).

A su vez, el índice nutricional n-6/n-3 también se vio afectado por la dieta. No solo el contenido total de ácidos grasos poliinsaturados es importante debido a que los n-3 y los n-6 afectan de modo diferente al desarrollo o prevención de ciertas enfermedades. Se sabe que los ácidos grasos n-6 promueven el

desarrollo de varias patologías, entre las que destacan cardiovasculares, inflamatorias, autoinmunes y cáncer, mientras que los ácidos grasos n-3 ejercen un efecto supresivo sobre dichas enfermedades (Simopoulos, 2004). Además de esto, la ingesta de dietas ricas en ácidos grasos n-6 incrementa el riesgo de sufrir sobrepeso, ejerciendo un efecto contrario las dietas ricas en ácidos grasos n-3 o las que tienen una relación n-6/n-3 baja (Simopoulos, 2016). Con lo anteriormente mencionado, múltiples estudios concluyen que la reducción de los ácidos grasos n-6 y la disminución de la relación n-6/n-3 es una de las mayores preocupaciones de la industria alimentaria, y más concretamente de la industria cárnica (Heck et al., 2017; Vargas-Ramella et al., 2020). Esto se debe principalmente a que de modo general, la grasa animal, incluyendo la de cerdo presentan normalmente valores de la relación n-6/n-3 muy superiores a los valores recomendados internacionalmente. Por tanto, el impacto fisiológico que cada ácido graso ejerce sobre el ser humano suele expresarse con la relación n-6/n-3 (Barros et al., 2020). En los últimos años, los cambios introducidos en las dietas en la industria porcina perseguían una mejora del perfil lipídico de la carne, reduciendo los valores de ácidos grasos saturados, incrementando las proporciones de ácidos grasos omega 3 y tratando de aproximar la relación n-6/n-3 al valor de referencia recomendado menor de 4 (Legrand y Mourot, 2002; Wood et al., 2004; Simopoulos, 2004; Lebret, 2008). Teniendo en cuenta todo lo comentado, los chorizos elaborados a partir de cerdos alimentados con dieta de lactosuero mostraron valores significativamente ($P < 0,001$) menores del índice n-6/n-3 (14,7 vs. 17,3) que los del lote control. Aunque la relación n-6/n-3 mejoró en las muestras de lactosuero, sigue siendo superior a los valores obtenidos en otros productos similares, como en el chorizo ahumado (10,55) (Romero et al., 2013) y en el salchichón (12,4) (Rubio et al., 2007).

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos (expresados como g/100 g de ácidos grasos) de chorizo gallego de cerdos sometidos a alimentación control y dieta con suero de leche.

Table 2. Fatty acid profile (expressed as g/100 g of fatty acids) of "chorizo gallego" fed under control and diet with milk whey.

Ácidos grasos	Lote		EEM	P
	Control	Suero de leche		
C10:0	0,08	0,08	0,01	ns
C12:0	0,09	0,09	0,01	ns
C14:0	1,36	1,39	0,01	***
C16:0	23,8	24,4	0,07	***
C16:1n-7	2,59	2,43	0,02	***
C17:0	0,25	0,40	0,02	***
C17:1n-7	0,21	0,40	0,02	***
C18:0	12,0	13,4	0,17	***
11 <i>t</i> -C18:1 + 9 <i>t</i> -C18:1	0,24	0,38	0,02	***
C18:1n-9	41,7	42,9	0,14	***
C18:1n-7	3,26	3,27	0,01	ns
C18:2n-6	11,6	7,98	0,42	***
C20:0	0,20	0,20	0,01	ns
C18:3n-6	0,05	0,04	0,01	ns
C20:1n-9	0,88	0,99	0,01	***
C18:3n-3	0,58	0,46	0,01	***
9 <i>c</i> , 11 <i>t</i> -C18:2 (CLA)	0,07	0,15	0,01	***
C20:2n-6	0,50	0,36	0,02	***
C20:3n-6	0,09	0,08	0,01	ns
C20:3n-3	0,09	0,08	0,01	ns
C20:4n-6	0,32	0,28	0,01	***
C22:5n-3	0,06	0,06	0,01	ns
AGS	37,7	40,1	0,27	***
AGMI	48,9	50,4	0,18	***
AGPI	13,4	9,5	0,44	***
n-3	0,73	0,60	0,02	***
n-6	12,6	8,78	0,43	***
n-6/n-3	17,3	14,7	0,29	***

EEM: Error estándar de la media (n = 40); P: Probabilidad; *** P < 0,001; ns: no significativo. AGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; AGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.

Estudiando los ácidos grasos individuales se observa la misma tendencia que la observada en los sumatorios. Los valores de los ácidos grasos saturados C14:0, C16:0, C17:0 y C18:0 así como los de los ácidos grasos monoinsaturados C17:1n-7, C18:1n-9 y C20:1n-9 aumentaron de modo significativo y las proporciones de los ácidos grasos poliinsaturados C18:2n-6, C18:3n-3, C20:2n-6 y C20:4n-6 disminuyeron con la dieta compuesta por pienso, lactosuero y agua.

Este mismo comportamiento fue observado por Kim *et al.* (2018) al comparar los perfiles lipídicos en lomos frescos de cerdos alimentados con pienso frente a cerdos alimentados con una suplementación del 4 % de suero de leche en polvo. En el estudio realizado por estos autores la administración de suero de leche también produjo una disminución de los ácidos grasos poliinsaturados, principalmente C18:2n-6 y C20:4n-6 y un aumento de los saturados (principalmente C16:0 C18:0) y de C18:1n-9 y C20:1n-9. Sin embargo, otros autores han encontrado resultados diferentes. Kafantaris *et al.* (2019), quienes administraron una dieta control y una dieta conteniendo un 10 % de concentrado de proteína de suero lácteo (deshidratado) han descrito que los ácidos grasos saturados y monoinsaturados no mostraron diferencias significativas, mientras que los poliinsaturados fueron superiores en la carne de los cerdos alimentados con la dieta de concentrado de proteína. Sin embargo, a nivel individual, las pocas diferencias significativas fueron descritas para ácidos grasos minoritarios, que en cualquier caso representaron menos del 1 %, excepto para los contenidos del C18:1n-7 (3,9 % vs. 4,4 %), C20:5n-3 (0,2 % vs. 1,3 %) y C22:6n-3 (0,8 % vs. 1,1 %) que fueron significativamente superiores en los cerdos alimentados con dieta modificada con proteína de lactosuero. También se observaron diferencias significativas en las proporciones de C18:3n-3, siendo superiores en los cerdos alimentados con dieta que contiene proteína

de lactosuero (0,7 %) que los cerdos alimentados con dieta control (0,5 %). Sin embargo, como comentamos, y a diferencia de nuestros resultados, ninguno de los ácidos grasos mayoritarios mostró diferencias significativas. Cabe mencionar, que en este trabajo los autores, al igual que sucede con nuestros valores, observaron una disminución significativa y pronunciada de la relación n-6/n-3. Es difícil comparar nuestro trabajo, en el cual la dieta con base de lactosuero fue una dieta líquida con una alta proporción de agua (42 %) y lactosuero sin deshidratar (30 %) con los resultados obtenidos por los otros trabajos, donde las dietas fueron dietas "tradicionales" en el cual el pienso se reformuló con concentrados de proteínas de lactosuero a bajas concentraciones (4 % o 10 %), en ambos casos deshidratados, y con contenidos de proteína muy superiores a los del presente estudio, que se situó en 0,87 % del total del lactosuero.

Cabe destacar también que con la dieta de lactosuero provocó una disminución del C16:1n-7. Así mismo, la carne de cerdos alimentados con alimentación líquida mostraron valores superiores de los ácidos grasos *trans* (11*t*-C18:1 y 9*t*-C18:1). Este hecho tiene relevancia para la salud, siendo las recomendaciones internacionales las de disminuir al máximo la ingesta de ácidos grasos *trans*. Sin embargo, también hay que resaltar el hecho de que el aumento de los valores de estos ácidos grasos entre los animales del grupo control y los de lactosuero es solo de 0,14 %. Al observar la composición de ácidos grasos del lactosuero se aprecia que la proporción de *trans* 11-vacénico (11*t*-C18:1) es muy superior (2,53 %) a la del pienso (0,57 %). Por tanto, esta diferencia entre los animales de los dos grupos podría estar relacionada con el mayor aporte de dicho ácido graso con la dieta de lactosuero. A mayores, las proporciones del CLA (9*c*, 11*t*-C18:2) también fueron superiores en los cerdos alimentados con dieta líquida. Este hecho se debe a que el principal precur-

El precursor de este ácido graso es precisamente el 11*t*-C18:1, que como acabamos de comentar es superior en la composición del lactosuero.

Es bien conocido que en los animales monogástricos, como el cerdo, el perfil de ácidos grasos de la carne depende en gran medida de la alimentación (De Jesús et al., 2016a, 2016b y 2017), puesto que estos animales carecen de parte de los equipos enzimáticos necesarios para las reacciones de elongación y desaturación que si están presentes en los ruminantes. Es por este motivo por el cual ácidos grasos como el C18:2n-6 o el C18:3n-3 son considerados como esenciales, puesto que al no poder sintetizarlos endógenamente deben ser aportados en la dieta. Así, por norma general, el perfil de ácidos grasos presentes en la carne y la grasa de estos animales son fiel reflejo de los ácidos grasos suministrados en la dieta (Domínguez et al., 2015). De hecho, múltiples estudios han comprobado que el contenido de ciertos ácidos grasos tanto en carne fresca (Domínguez et al., 2015; De Jesús et al., 2016a y 2017) como en diferentes productos cárnicos (De Jesús et al., 2016b; Gómez et al., 2017 y 2018) aumenta a medida que también aumenta su contenido en la dieta, lo que indica el alto grado de deposición de estos ácidos grasos directamente sobre el tejido animal, sin sufrir ningún tipo de modificación. Este hecho podría explicar en parte las diferencias observadas entre los chorizos elaborados con animales control y los de los alimentados con dieta conteniendo suero lácteo. Como se aprecia en la Tabla 1, el perfil de ácidos grasos del suero de leche se caracterizó por tener una alta proporción de ácidos grasos saturados (66 %) y muy bajos de ácidos grasos poliinsaturados (5,2 %). Por el contrario, el pienso presentó unos valores de ácidos grasos poliinsaturados elevados (40 %), mientras que el de saturados es del 25 %. Esto explica en parte la variación en los ácidos grasos que presentan ambos tratamientos, y refleja la incorporación de los

ácidos grasos de la dieta directamente en los tejidos (muscular y subcutáneo) de los cerdos.

Además, la síntesis endógena en el cerdo se caracteriza por procesos de desaturación y elongación a partir de los ácidos grasos esenciales (C18:2n-6 y C18:3n-3) que deben ser suministrados en la dieta y por la síntesis de ácidos grasos saturados y monoinsaturados, también llamada síntesis *de novo*, principalmente a partir de hidratos de carbono (Domínguez et al., 2015). Esta síntesis *de novo* se ve favorecida por las dietas pobres en proteína, ya que estimulan la actividad de las enzimas lipogénicas (Doran et al., 2006), lo que resulta en un aumento de los ácidos grasos saturados y monoinsaturados y por consecuencia, una disminución de los ácidos grasos poliinsaturados por efecto dilución (Domínguez et al., 2015). Por tanto, otra posible explicación para el aumento de los ácidos grasos saturados y monoinsaturados y la disminución de los poliinsaturados de los chorizos procedentes de carne y grasa de cerdos alimentados con lactosuero es que el bajo contenido de proteína del suero (0,87 g/100 g) y la dilución de la proteína del pienso en la formulación de la dieta (28 % pienso + 30 % lactosuero + 42 % agua) en este grupo de animales resulta en una dieta muy pobre en proteína, lo que favorece la síntesis *de novo* y por tanto los cambios mencionados sobre los ácidos grasos. A mayores hay que incluir que el aporte total tanto de grasa como de hidratos de carbono fue significativamente inferior en la dieta líquida reformulada con lactosuero debido al mismo efecto de dilución. Por tanto, las diferencias en los aportes proteicos, de hidratos de carbono y de grasa pudieron afectar al metabolismo de los ácidos grasos y, por tanto, al contenido de dichos ácidos grasos en la carne.

Por otro lado, la sustitución parcial en la dieta del cerdo por algún subproducto de la industria alimentaria es de elevado interés para el sector porcino por el ahorro que supone en

costes de alimentación de los animales, siempre y cuando no suponga detrimento de su bienestar, su crecimiento y el valor nutritivo de la carne obtenida. Por tanto, sería conveniente realizar estudios de crecimiento y características de la canal, para completar la información sobre la influencia que la dieta líquida con lactosuero ejerce sobre los cerdos. Además el uso de proteínas de suero lácteo nos permite substituir parcialmente la soja como fuente de proteína (Simitzis et al., 2014).

Conclusiones

Desde el punto de vista nutricional se han observado diferencias entre los chorizos control y los procedentes de cerdos alimentados con suero de leche, mejorándose el índice n-6/n-3 en los últimos, principalmente a consecuencia de la disminución del ácido linoleico. Por el contrario, la administración de lactosuero resultó en chorizos con una proporción superior de ácidos grasos saturados y menor de ácidos grasos poliinsaturados. Cabe también destacar que la inclusión de suero incrementó el contenido de ácidos grasos monoinsaturados, especialmente el contenido de ácido oleico. Por tanto, en base a estos resultados, se puede decir que la inclusión de suero lácteo en la dieta de los cerdos en su fase de cebo permite el aprovechamiento de este subproducto de la industria quesera, reduciendo así los costes de alimentación en el sector porcino y afectando mínimamente al perfil nutricional de la carne. Sin embargo, con la limitación de los datos obtenidos (solo sobre calidad de carne) sería conveniente realizar estudios de crecimiento y características de la canal, para completar la información sobre la influencia que la dieta líquida con lactosuero ejerce sobre los cerdos, y por tanto determinar la viabilidad del reemplazo de la dieta con pienso por una dieta líquida con lactosuero.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por la Axencia Galega de Innovación (GAIN) por medio del proyecto ALIMOPTIMA en el marco del Convenio de Colaboración con el Centro Tecnológico de la Carne (CETECA) para el desarrollo del sector cárnico, a través de la Unidad Mixta de Investigación entre CETECA y la empresa de producción animal Cooperativas Ourensanas, S.L (COREN), que puso a disposición del proyecto su granja experimental de Poldras. José Manuel Lorenzo y Rubén Domínguez son miembros de la Red Healthy Meat financiada por el programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED) (ref. 119RT0568).

Referencias bibliográficas

- Ashour EA, Abd El-Hack ME, Alagawany M, Swelum AA, Osman AO, Saadeldin IM, Abdel-Hamid M, Hussein ESO (2019). Use of whey protein concentrates in broiler diets. *The Journal of Applied Poultry Research*, 28(4): 1078-1088. <http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfz070>
- Barros JC, Munekata PES, de Carvalho FAL, Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Trindade MA, Lorenzo JM (2020). Use of Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L.) Oil emulsion as animal fat replacement in beef burgers. *Foods* 9: 44. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9010044>
- Brooks PH, Beal J, Niven S, Deme ková V. (2003). Liquid feeding of pigs 2. Potential for improving pig health and food safety. *Animal Science Papers and Reports* 21(1): 23-39.
- De Jesús C, Domínguez R, Cantalapedra J, Iglesias A, Lorenzo JM (2016a). Effect of chestnuts level in the formulation of the commercial feed on carcass characteristics and meat quality of Celta pig breed. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14(2): e0603. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016142-8728>

- De Jesús C, Domínguez R, Cantalapiedra J, Iglesias A, Lorenzo JM (2016b). Effect of the amount of chestnuts in the diet of Celta pigs on the fatty acid profile of dry-cured lacon. *Grasas y Aceites* 67(1): e119. <http://dx.doi.org/10.3989/gya.0492151>
- De Jesús C, Domínguez R, Cantalapiedra J, Iglesias A, Lorenzo JM (2017). Efecto de la inclusión de castaña en la formulación de piensos sobre calidad de la canal y la carne de cerdo industrial. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria* 113(1): 36-51. <https://doi.org/10.12706/itea.2017.003>
- Díaz O, Ros C, Veiga A, Cobos A (2009). Including chestnuts and sugar beet pulp in diets for pigs: the effects on the quality of pork meat and the sensory properties of dry cured sausage (chorizo gallego). *Journal of Muscle Foods* 20(4): 449-464. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2009.00160.x>
- Domínguez MC, Zumalacárregui JM (1991). Lipolytic and oxidative changes in "chorizo" during ripening. *Meat Science* 29: 99-107. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(91\)90057-W](https://doi.org/10.1016/0309-1740(91)90057-W).
- Domínguez R, Martínez S, Gómez M, Carballo J, Franco I (2015). Fatty acids, retinol and cholesterol composition in various fatty tissues of Celta pig breed: Effect of the use of chestnuts in the finishing diet. *Journal of Food Composition and Analysis* 37: 104-111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2014.08.003>.
- Doran O, Moule SK, Teye GA, Whittington FM, Hallett KG, Wood JD (2006). A reduced protein diet induces stearoyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formation. *British Journal of Nutrition* 95: 609-617. <http://dx.doi.org/10.1079/BJN20051526>.
- Franco I, Iglesias S, Prieto B, Carballo J (2004). Perfiles de ácidos grasos totales y libres en embutidos crudo-curados tradicionales de Galicia. *Grasas y Aceites* 55: 273-281.
- FEDNA (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino. Normas FEDNA.
- Gómez M, Lorenzo JM (2013). Effect of fat level on physicochemical, volatile compounds and sensory characteristics of dry-ripened "chorizo" from Celta pig breed. *Meat Science* 95: 658-666. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.06.005>.
- Gómez M, Fonseca S, Cachaldora A, Carballo J, Franco I (2017). Effect of chestnuts intake by Celta pigs on lipolytic, oxidative and fatty acid profile changes during ripening and vacuum-packed storage of Galician "chorizo". *Journal of Food Composition and Analysis* 56: 73-83. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.017>
- Gómez M, Cachaldora A, Fonseca S, Domínguez R, Carballo J, Franco I (2018). Biochemical, oxidative, and lipolytic changes during vacuum-packed storage of dry-cured loin: effect of chestnuts intake by Celta Pigs. *Journal of Food Quality*: 7690501. <https://doi.org/10.1155/2018/7690501>
- Gondret F, Lebret B (2002). Feeding intensity and dietary protein level affect adipocyte cellularity and lipogenic capacity of muscle homogenates in growing pigs, without modification of the expression of sterol regulatory element binding protein. *Journal of Animal Science* 80: 3184-3193. <https://doi.org/10.2527/2002.80123184x>
- Heck RT, Vendruscolo RG, de Araújo Etchepare M, Cichoski AJ, de Menezes CR, Barin JS, Lorenzo JM, Wagner R, Campagnol PCB (2017). Is it possible to produce a low-fat burger with a healthy n-6/n-3 PUFA ratio without affecting the technological and sensory properties?. *Meat science* 130: 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.03.010>
- Kafantaris I, Stagos D, Kotsampasi B, Kantas D, Koukoumis V, Moschonas ND, Skaperda Z, Geraspoulos K, Makri S, Goutzourelas N, Mitsagga C, Giavasis I, Petrotos K, Kokkas S, Kourtas D (2019). Whey protein concentrate improves antioxidant capacity, faecal microbiota and fatty acid profile of growing piglets. *The Journal of Agricultural Science* 157(1): 72-82. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000224>
- Kim JH, Ju MG, Yeon SJ, Hong GE, Lee CH (2018). Effect of *Allium hookeri* and whey powder in diet of pigs on physicochemical characteristics and

- oxidative stability of pork. *Italian Journal of Animal Science* 17(1): 9-17. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1326856>
- Lebret B (2008). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal* 2(10): 1548-1558. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002796>
- Legrand P, Mourot J (2002). Le point sur les apports nutritionnels conseillés en acides gras, implication sur les lipides de la viande. Proc. 9èmes Journées des Sciences du Muscle et Technologie des Viandes, 15 y 16 de octubre, Clermont-Ferrand, Francia, pp. 49-57.
- Lorenzo JM, Purriños L, Bermudez R, Cobas N, Figueiredo M, Fontán García MC (2011). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two Spanish traditional smoked sausage varieties: "Chorizo gallego" and "Chorizo de cebolla". *Meat Science* 89(1): 105-109. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.017>
- MAPA (2019). Datos de producción de piensos 2018. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Subdirección General de Medios de Producción Ganaderos, 43 pp.
- MSCBS (2018). Nota Técnica: Encuesta Nacional de Salud. España 2017. Principales resultados. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social, 12 pp.
- Olivares A, Navarro JL, Salvador A, Flores M (2010). Sensory acceptability of slow fermented sausages based on fat content and ripening time. *Meat Science* 86(2): 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.005>
- Panesar P, Kennedy J, Gandhi D, Bunko K (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry* 105: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.035>
- Parra AS, Acosta CH, Andrade JJ, Guerra MC (2016). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos de las vísceras del cuy (*Cavia porcellus*) y su uso potencial en alimentación animal. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 63(2): 124-134. <http://dx.doi.org/10.15446/rfmvz.v63n2.59360>
- Romero MC, Romero AM, Doval MM, Judis MA (2013). Nutritional value and fatty acid composition of some traditional Argentinean meat sausages. *Food Science and Technology* 33(1): 161-166. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612013005000007>
- Rubio B, Martínez B, Sánchez MJ, García-Cachán MD, Rovira J, Jaime I (2007). Study of the self-life of dry fermented sausage "salchichon" made from raw material enriched in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids and stored under modified atmospheres. *Meat Science* 76: 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.021>
- Schingoethe (1976). Whey utilization in animal feeding: A summary and evaluation. *Journal of Dairy Science* 59(3): 566-570. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84240-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84240-3)
- Simitzis PE, Papadomichelakis G, Tsiplakou E, Theodorou G, Zervas G, Politis I (2014). Effect of dietary protein source on piglet meat quality characteristics. *International Journal of Health, Animal Science and Food Safety* 1(1): 15-26. <https://doi.org/10.13130/2283-3927/3379>
- Simopoulos AP (2004). Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. *Food Reviews International* 20: 77-90. <https://doi.org/10.1081/FRI-120028831>
- Simopoulos AP (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients* 8(3): 128. <https://doi.org/10.3390/nu8030128>
- Tokach MD, Nelssen JL, Allee GL (1989). Effect of protein and (or) carbohydrate fractions of dried whey on performance and nutrient digestibility of early weaned pigs. *Journal of Animal Science* 67(5): 1307-1312. <https://doi.org/10.2527/jas1989.6751307x>
- Vargas-Ramella M, Pateiro M, Barba FJ, Franco D, Campagnol PCB, Munekata PE, Tomasevic I, Dominguez R, Lorenzo, JM (2020). Microencapsulation of healthier oils to enhance the physicochemical and nutritional properties of deer pâté. *LWT*: 109223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109223>

Ventanas S, Ventanas J, Tovar J, García C, Estévez M (2007). Extensive feeding versus oleic acid and tocopherol enriched mixed diets for the production of Iberian dry-cured hams: Effect on chemical composition, oxidative status and sensory traits. *Meat Science* 77(2): 246-256. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.010>

Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M (2004). Effects of fatty acids on meat quality: a review.

Meat Science 66(1): 21-32. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6)

Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington, FM (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78(4): 343-358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>

(Aceptado para publicación el 19 de mayo de 2020)