

Impacto del tipo genético y el sexo sobre parámetros productivos y el contenido en grasa intramuscular, así como el consumo de antioxidantes sobre la oxidación de la carne en cerdo ibérico (50 %) de “Cebo de Campo”

Guillermo Usero-Alonso^{3,*}, Francisco Gil-Rueda³, Beatriz Isabel²,
Guillermo Ramis-Vidal¹ y Antonio Muñoz-Luna^{1,3}

¹ Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, Campus Espinardo s/n, 30100 Murcia, España.

² Departamento de Producción animal, Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España.

³ FARM Faes Nutrición y Salud Animal, Pol. El Carrascal Parc. 8-9, 01308 (España).

Resumen

El objetivo de este estudio, realizado durante la etapa de crecimiento de cerdos ibéricos (50 % Duroc) categoría “Cebo de Campo” hasta su sacrificio comercial, fue investigar por un lado, el efecto del tipo genético del verraco finalizador (Duroc Templario™ (DT) y Duroc Templario™ de alta infiltración grasa (DTGIM)) y el sexo sobre parámetros de crecimiento, rendimiento de canal y el contenido de grasa intramuscular; y por otro el efecto de la combinación de antioxidantes suplementados en el pienso de acabado (150 ppm de vitamina E sintética (VE) *versus* 150 ppm de vitamina E sintética + 500 ppm de IN-GASO QTMEAT® (VEQM)), en parámetros de oxidación de la carne y ácidos grasos del tejido graso subcutáneo. El experimento se diseñó en condiciones de campo con dos lotes de animales: lote A, formado por 91 machos castrados y 95 hembras, descendientes del verraco DT que recibieron el tratamiento antioxidante VE en el pienso de acabado, y lote B, formado por 56 machos castrados y 60 hembras, descendientes del verraco DTGIM que recibieron el tratamiento antioxidante VEQM en el pienso de acabado. Se les realizaron mediciones repetidas individuales: durante la fase de crecimiento, en una finca situada en el entorno de la dehesa extremeña en el término municipal de Olivenza, del peso vivo y espesor graso dorsal; y tras su sacrificio de parámetros de canal, contenido de grasa intramuscular y oxidación lipídica sobre muestras de carne de *longissimus thoracis et lumborum*, así como de la composición de ácidos grasos sobre muestras de grasa subcutánea. Se observó que, por efecto del tipo genético y el sexo, los animales descendientes de Duroc DT y los machos presentaron las tasas de crecimiento significativamente ($p < 0,05$) mayores. Los DT y las hembras obtuvieron un significativo ($p < 0,05$) menor contenido graso tanto de su espesor graso dorsal de la canal como de grasa intramuscular de la carne, así como un significativo ($p < 0,05$) mayor rendimiento de jamón y lomo. Sin embargo, los DTGIM y las hembras alcanzaron un significativo ($p < 0,05$) mayor rendimiento de canal. Mientras que por efecto

* Autor para correspondencia: gusero@farmfaes.com

Cita del artículo: Usero-Alonso G., Gil-Rueda F., Isabel B., Ramis-Vidal G., Muñoz-Luna A. (2023). Impacto del tipo genético y el sexo sobre parámetros productivos y el contenido en grasa intramuscular, así como el consumo de antioxidantes sobre la oxidación de la carne en cerdo ibérico (50 %) de “Cebo de Campo”. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 119(4): 370-386. <https://doi.org/10.12706/itea.2023.011>



Copyright: © 2023 de los autores. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY NC SA 4.0)

del consumo de antioxidantes se observó que, en los animales que consumieron el tratamiento antioxidante reforzado (VEQM), se oxidó menos la carne, obteniendo valores de oxidación lipídica significativamente ($p < 0,05$) menores y de ácidos grasos poliinsaturados mayores. En conclusión, la utilización de líneas de verraco Duroc finalizador más grasas, junto con la incorporación de una combinación adecuada de antioxidantes en el pienso de finalización en la producción de cerdo ibérico contribuyen a la obtención de carnes de mayor valor nutricional.

Palabras clave: Antioxidantes, ácidos grasos, calidad de carne, crecimiento lento, vitamina E.

Impact of genotype and sex on performance and intramuscular fat content, as well as the consumption of antioxidants on meat oxidation in Iberian (50 %) pig reared in outdoor system

Abstract

The aim of this study, carried out during the growth stage of Iberian pigs (50 % Duroc) “Cebo de Campo” category until commercial slaughter, was to investigate on the one hand, the effect of the genetic type of terminal boar (Duroc Templario™ (DT) and Duroc Templario™ high fat infiltration (DTGIM)) and sex on growth performance, carcass yield and intramuscular fat content; and the effect of the combination of antioxidants supplemented in the finishing feed (150 ppm synthetic vitamin E (VE) versus 150 ppm synthetic vitamin E + 500 ppm INGASO QTMEAT® (VEQM)) on oxidation parameters of the meat and subcutaneous fatty acids. The experiment was designed under field conditions with two batches of animals: batch A, consisted of 91 castrated males and 95 females, offspring of the DT boar that received the VE antioxidant treatment in the finishing feed, and batch B, consisted of 56 castrated males and 60 females, offspring of the DTGIM boar that received the VEQM antioxidant treatment in the finishing feed. Repeated individual measurements were carried out: during the growth phase, in a farm located in the environment of the *dehesa* of Extremadura in Olivenza village, of live weight and back fat thickness; and after slaughter of carcass parameters, intramuscular fat content and lipid oxidation were made on samples of *longissimus thoracis and lumborum*, as well as the composition of fatty acids on samples of subcutaneous fat. It was observed that, due to the effect of genotype and sex, the animals descended from Duroc DT and males presented significantly ($p < 0.05$) higher growth rates. The DT and females obtained a significantly ($p < 0.05$) lower fat content, both in terms of carcass backfat thickness and meat intramuscular fat, as well as a significantly ($p < 0.05$) higher ham and loin yield. However, DT-GIM and females achieved a significant ($p < 0.05$) higher carcass yield. Meanwhile, due to the effect of antioxidant intake, it was observed that, in the animals that consumed an extra of antioxidant treatment (VEQM), both the meat and the subcutaneous fat part more sensitive to oxidation were less oxidized, obtaining significantly ($p < 0.05$) lower values of lipid oxidation and significantly ($p < 0.05$) higher values of polyunsaturated fatty acids, respectively. In conclusion, the use of higher fat Duroc terminal boar lines, together with the incorporation of an adequate combination of antioxidants in the finishing feed in the production of Iberian pigs contributes to obtain meats of higher nutritional value.

Keywords: Antioxidants, fatty acids, quality meat, slow growth, vitamin E.

Introducción

Las características más significativas de la producción de cerdo ibérico (50 % Duroc) en categoría de “Cebo de Campo” (BOE, 2014) son las propias de la cría del cerdo tradicional en el suroeste de la península ibérica, en la que se utiliza una raza de cerdo local cria-

do en condiciones de semilibertad en un ciclo largo para producir productos cárnicos de elevada calidad. Estos cerdos se distinguen por su contenido en grasa intramuscular (GIM) y perfil de ácidos grasos (AG), principales factores que influyen en la aceptación de un producto cárnico por parte del consumidor (Wood et al., 2008). La raza utilizada procede del

cruce al 50 % de un macho Duroc y una hembra ibérica. Respecto a otras razas comerciales, destaca por su bajo potencial de crecimiento, elevado perfil adipogénico (come más de lo que necesita, principalmente de la raza ibérica) y potencial contenido en GIM. El sistema de producción utilizado proporciona a los animales suficiente espacio y espacio al aire libre en tierra para caminar y desarrollar un ciclo largo, con una edad y peso vivo (PV) al sacrificio objetivos de 12 meses y 160 kg, respectivamente. Este sistema requiere de un programa de alimentación específico que evite el engrasamiento precoz y que tenga en cuenta, por un lado, las necesidades energéticas de mantenimiento extra por las condiciones particulares de alojamiento (ejercicio, ambiente, etc.), y por otro el ajuste de niveles de factores nutricionales y alimenticios que afectan a la composición de AG como son los de energía, proteína, fuentes grasas de los piensos (Essén-Gustavsson et al., 1994; Ninoles et al., 2007) y restricción alimentaria (Daza et al., 2007a). Para ello, se divide en fases a lo largo del crecimiento del animal que combinan piensos de diferente composición y sus diferentes niveles de aporte (racionada o *ad libitum*), que evitan el engrasamiento precoz, desarrollan un crecimiento compensatorio y dirigen la composición de AG de la grasa de la canal, mediante el control de su síntesis endógena y la acumulación directa (Morel et al., 2006), favoreciendo la deposición de niveles altos de AG omega-3 y oleico. Esta composición grasa de la canal es especialmente sensible a la oxidación y requiere de la incorporación de antioxidantes en el pienso para reducir su deterioro (López-Bote et al., 2003). Los antioxidantes son sustancias que se incluyen en el pienso de los cerdos a baja concentración que retrasan o previenen el deterioro y la aparición de radicales libres de la carne (Thomas et al., 1994), y un tratamiento extra no tiene ningún efecto ni sobre los parámetros zootécnicos ni de rendimiento de canal (Co-

rino et al., 1999; NRC 2012). Pueden actuar de forma individual, vitamina E (acetato de alfa-tocoferilo) o selenio (Corino et al., 1999; López-Bote et al., 2003) o de manera combinada de dos o más antioxidantes juntos con acción sinérgica, es decir, evitan la oxidación con mayor efecto que su suma por separado (Duthie et al., 2001). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue investigar, por un lado, el efecto del tipo genético del verraco finalizador y el sexo sobre los rendimientos de crecimiento, canal y contenido en grasa intramuscular, y por otro, el efecto de un suplemento de antioxidantes en el pienso de acabado sobre parámetros de oxidación de la carne y AG subcutáneos de una producción de cerdo ibérico (50 % Duroc) en categoría de "Cebo de Campo".

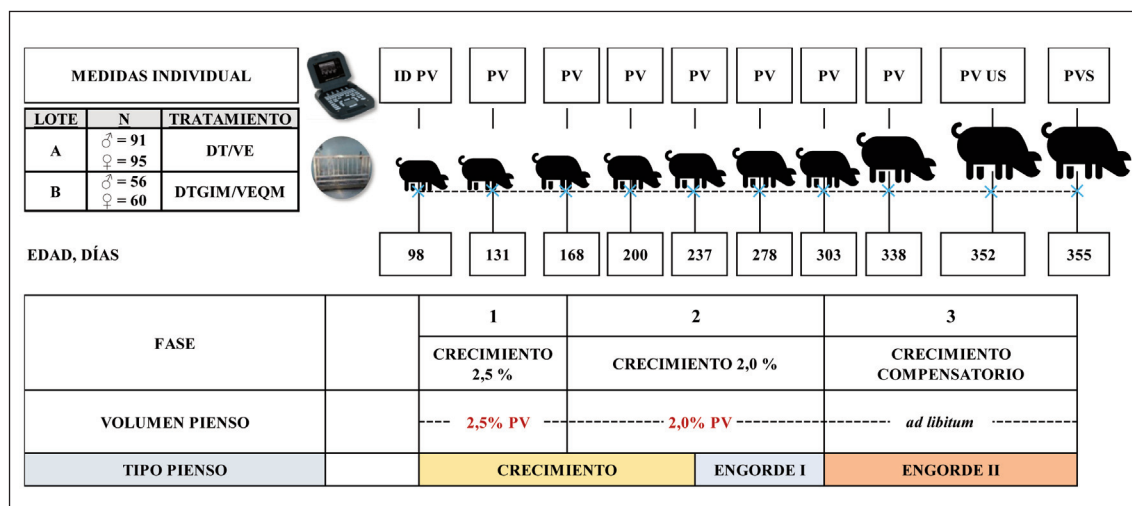
Material y métodos

El estudio se realizó en condiciones de campo, entre diciembre de 2017 y diciembre de 2019, en la unidad de crecimiento-cebo de una granja comercial situada a una Latitud de 38° 35' 20,3" Norte y 7° 01' 7,8" Oeste, en la región de Extremadura (España). Esta zona presenta un clima mediterráneo continentalizado (con cierta influencia atlántica), que se caracteriza generalmente por una importante amplitud térmica, siendo veranos cálidos y secos e inviernos parcialmente fríos y húmedos. Los métodos de manejo de los animales durante la investigación fueron desarrollados de acuerdo con los principios éticos en investigación y docencia con modelos animales aprobados en la Directiva Europea 2010/63/UE publicada en el DOUE (2010) y en las normas nacionales recogidas en el Real Decreto 53/2013 publicado en el BOE (2013), por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia.

Animales

Se utilizaron dos lotes de lechones ibéricos (50 % Duroc) seleccionados al azar a los 98 días de edad en el momento de salida de la transición, nacidos al final de año de dos años consecutivos en una granja de producción comercial. El lote A constaba de 91 machos castrados de 29,1 kg de PV y 95 hembras de 29,3 kg de PV, y el lote B de 56 machos castrados de 35,6 kg de PV y 60 hembras de 34,3 kg de PV. Para la fase de crecimiento, en la misma época del año, ambos lotes se trasladaron a la misma explotación en semi-extensivo donde se evaluaron sus parámetros de crecimiento (Figura 1). Se repartieron en dos corrales distintos por tamaños homogéneos (machos y hembras mezclados), con las mismas condiciones ambientales, de alimentación y manejo. Los corrales disponían de un

área al aire libre suficientemente amplia para caminar con toda libertad, más de 100 m² por cerdo y suelo de tierra. Estos corrales estaban cercados con valla metálica y pared de piedra con una zona cubierta con espacio disponible de 1 m² por cerdo de refugio y descanso. Todos los animales tuvieron libre acceso al agua y restringido al pienso hasta los 303 días de edad y posteriormente *ad libitum* hasta el sacrificio, 355 días de edad y 170 kg de PV. Al sacrificio se seleccionaron, por un lado, 55 hembras y 63 machos del lote A, y 44 hembras y 46 machos del lote B para evaluar parámetros de canal; y por otro, 23 hembras y 36 machos del lote A, y 29 hembras y 32 machos del lote B para analizar parámetros de calidad de carne. Al lote A se asignaron lechones de tipo genético descendientes de DT y fueron alimentados con el pienso de engorde II (VE); al lote B se asignaron lechones de tipo ge-



Fases: 1.- Crecimiento 2,5 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,5 % del PV (kg); 2.- Crecimiento 2,0 % PV, aporte de pienso calculado como el 2,0 % del PV (kg); 3.- Crecimiento compensatorio, acceso *ad libitum* al pienso. Mediciones individuales: ID: identificación de los animales; PV: peso vivo, US: EGD por ultrasonidos. PVS: peso vivo sacrificio; Parámetros post mortem: peso de canal caliente, pesos jamones y paletas sin perfilar y peso lomos en frío a 24 h post-mortem; parámetros de carne *post mortem*: humedad, grasas intramuscular, proteína, vitamina E alfa-tocoferol, el índice TBARs, *perfil* de AG.

Figura 1. Diseño experimental. Donde: PV, medición individual del peso vivo en kg manualmente.
 Figure 1. Experimental design. Where: BW, individually measure of body weight in kg by manually.

nético descendientes de DTGIM y fueron alimentados con pienso de engorde II (VEQM). La característica diferencial del tipo de verraco Duroc utilizado fue su contenido de GIM medida por ultrasonidos (% GIM_US) en vivo: DT con un 4,26 % (población fundacional Duroc Templario™) y DTGIM con un 4,49 % GIM_US (primera generación de verracos Duroc Templario™). INGASO QTMEAT®, es un suplemento nutricional que combina de forma sinérgica diferentes antioxidantes naturales (ácido ascórbico, vitamina E natural, polifenoles naturales y selenio orgánico).

Programa de alimentación

Para la fase experimental de ambos lotes se diseñó un mismo programa de alimentación con el objetivo de obtener una tasa de crecimiento lento global de menos de 550 g/d entre los 100 y los 355 días de edad (Figura 1). Los piensos se formularon siguiendo los requerimientos recomendados por FEDNA (2013) y su composición en materias primas y los principales contenidos de nutrientes estimados se muestran en la Tabla 1. Brevemente, los animales siguieron 3 fases de alimentación, crecimiento (98-237 días de edad), engorde I (237-303 días de edad) y engorde II (303-352 días de edad). Siguiendo una práctica habitual en el ecosistema de la dehesa, la cantidad de pienso suministrado se realizó en función de la edad y PV y definiré las 3 fases de crecimiento. Se programó de la siguiente forma: de los 98 a 168 días y de 168 a 237 días de edad "Pienso de Crecimiento" racionado al 2,5 y 2,0 % del PV, respectivamente; de los 237 a 303 días de edad el "Pienso de Engorde I" racionado al 2,0 % del PV; y, por último, de los 303 a 352 días de edad "Pienso de Engorde II" *ad libitum* (Figura 1).

Parámetros crecimiento y canal

En la Figura 1 aparece el esquema del protocolo de medición de parámetros de crecimiento y canal de los cerdos. Se monitorizaron a lo largo del tiempo mediciones repetidas individuales de PV (kg) para el cálculo la ganancia media diaria (GMD; kg/d). Al sacrificio se midió de forma individual el PV y el espesor graso dorsal (EGD; mm) mediante una sonda lineal de ultrasonidos (IMV Imaging, Francia) en la posición P2 (última costilla, a 4-6 cm de la línea media dorsal) (McCann y Magowan, 2004); en *post mortem*, el peso de canal en caliente (kg) y en el despiece en frío (24 h post-mortem), los pesos de piezas nobles: jamones sin perfilar (kg), paletas sin perfilar (kg) y lomos (kg). El rendimiento de canal se calculó en caliente y el de las partes nobles frente a la canal en frío que fue un 2 % menos del peso de canal caliente por las pérdidas por oreo durante las primeras 24 h de enfriamiento.

Parámetros de calidad de carne

Los parámetros de calidad de carne se midieron en muestras de 20 cm de carne recogidas de la zona craneal del músculo *longissimus thoracis et lumborum* y de 100 g de grasa subcutánea recogidas a la altura de la cadera. En la muestra de carne se midió el contenido de: humedad, mediante secado en estufa a 105 °C durante 24 h o hasta obtener peso constante (Norma ISO 1442:1997); de grasa, usando éter de petróleo (40-60 °C) como solvente en una unidad extractora Soxhlet (Soxhlet System HT2 1045 Tecator, Suecia); y proteína, N Dumas × 6,25 (midiendo el N con un equipo LECO Serie 828) de acuerdo con los AOAC (2006). La deter-

Tabla 1. Ingredientes y composición de los piensos de crecimiento-engorde.
 Table 1. Ingredients and composition of the diet during growth and fattening.

	Pienso crecimiento	Pienso engorde I	Pienso engorde II (VE)	Pienso engorde II (VEQM)
Ingredientes, g/kg				
Cebada	163,0	128,0	229,5	229,5
Trigo	299,9	290,1	289,9	289,9
Soja-44	167,5	117,0	93,0	93,0
Maíz	240,0	240,0	240,0	240,0
Salvado-cuartas	12,0	50,5	16,5	16,5
Manteca	20,0	–	–	–
Semilla girasol	–	58,0	58,0	58,0
Aceite girasol alto oleico	–	41,0	44,0	44,0
Harina colza	70,0	40,0	–	–
Sepiolita	–	8,0	–	–
Carbonato Cálcico	9,5	10,1	10,3	10,3
Fosfato Cálcico	7,7	8,0	9,2	9,2
Sal	4,5	4,5	4,5	4,5
Premix	4,0	4,0	4,0	4,0
Lisina suplemento	1,8	0,9	1,0	1,0
Vitamina E sintética, g/tn	–	–	150	150
INGASO QTMEAT®, g/tn	–	–	–	500
Composición				
EM, kcal/kg	3155	3298	3370	3370
EN, kcal /kg	2350	2520	2615	2615
Lisina DIS, g/kg	7,60	5,80	4,80	4,80
Lisina DIS/EM, g/MJ	0,58	0,42	0,34	0,34
Materia seca, g/kg	883,2	887,8	887,1	887,1
Proteína bruta, g/kg	160,0	139,9	120,0	120,0
Grasa bruta, g/kg	40,8	85,1	87,4	87,4
C 16:0, g/kg	7,75	6,21	6,38	6,38
C 18:0, g/kg	2,86	0,24	0,26	0,26
C 18:1 n-9, g/kg	14,69	60,51	62,14	62,14
C 18:2 n-6, g/kg	13,06	13,85	14,22	14,22
C 18:3n-3, g/kg	0,70	2,21	2,27	2,27
Coste				
Precio ¹ , €/kg	0,239	0,260	0,257	0,257

¹Precio de mercado de materias primas (Mercolleida, Spain), diciembre de 2019. EM = Energía metabolizable; EN = Energía neta; Lisina DIS = Lisina digestible ileal estandarizada; VE = tratamiento antioxidante en el pienso de acabado de 150 ppm de vitamina E sintética; VEQM = tratamiento antioxidante en el pienso de acabado de 150 ppm de vitamina E sintética + 500 ppm INGASO QTMEAT®.

minación del contenido en Vitamina E de las muestras se llevó a cabo según el método descrito por Rey *et al.* (1996) e Isabel *et al.* (1999a). La solución tampón utilizada para la extracción estuvo formada por 13,4 g de fosfato sódico y 1,86 g de EDTA disueltos en 1 L de agua y ajustado a pH 7 con HCl 5 N. El etanol, metanol y hexano grado HPLC se obtuvieron de PANREAC. Para el análisis cromatográfico se inyectaron 25 µl de muestra en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Hewlett-Packard, Serie 1050, equipado con una bomba isocrática y una columna Lichrcart PR 18 (250 mm × 4 mm y 5 µm de tamaño de partícula). La fase móvil empleada fue metanol: agua (97:3) a un flujo de 2 ml/min. La detección del alfa-tocoferol se realizó mediante un detector ultravioleta fijado a 292 nm. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con el correspondiente patrón. La cuantificación se realizó a partir de una cantidad conocida de los distintos patrones y se expresó en forma de µg/g de alimento de vitamina E alfa-tocoferol, en ppm sobre materia seca (MS) con el equipo de cromatografía líquida HPLC Agilent 1100. La reacción de ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS) de las muestras se cuantificó mediante espectrofotometría a una absorbancia de 532 nm en una dilución descrita por Botsoglou *et al.* (1994) a través de una recta de calibrado construida frente a un blanco preparado con la dilución de trabajo de malondialdehído (MDA) (2,39 µl/ml) diluida con 2,5 ml de una dilución acuosa de ácido tricloroacético (TCA) (5 %) + 1,5 ml de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) (0,8 %). Los análisis de AG se llevaron a cabo siguiendo la metodología expuesta por Isabel *et al.* (2014), basada en la extracción y metilación de los ésteres metílicos y su posterior inyección y determinación por cromatografía de gases. Los AG fueron fraccionados e identificados utilizando un cromatógrafo Hewlett Packard 6890 con un columna 30 mm × 0,32 mm × 0,25 µm cross-linked polyethylene

glycol capillary column. El programa de temperaturas presentó un rango de 170 a 245 °C. El inyector y el detector mantuvieron una temperatura de 250 °C. El flujo del gas (helio-portador) fue de 2 ml/min. Los AG determinados en el tejido subcutáneo están expresados en porcentaje. En el caso de las dietas están expresados en g/kg a partir de la matriz de formulación. Todos los patrones de AG utilizados fueron suministrados por SIGMA (Madrid) (López-Bote *et al.*, 2003).

Análisis estadísticos

Se realizó un ANCOVA donde los parámetros de crecimiento y de canal observados fueron las variables respuesta (Y), y el sexo (S) y el tipo de verraco terminal (V), las variables explicativas. La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + (S)_i + (V)_j + P_0 + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

donde, Y = datos observados para el cerdo k del factor i j; μ = media general; S = macho castrado y hembra; V = DT y DTGIM; P_0 = covariable peso inicial: PV1, PV a los 98 días de edad para parámetros de crecimiento (PV_i y GMD_i); PVS, PV al sacrificio para parámetros de rendimiento de canal y piezas nobles (jamón, paleta, lomo y EGD_s); ε = error residual.

Además, por un lado, se realizó un ANOVA donde el contenido de grasa intramuscular fue la variable dependientes (Y), y el sexo (S) y el tipo de verraco terminal (V), las variables explicativas. La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + (S)_i + (V)_j + \varepsilon_{ijk} \quad [2]$$

donde, Y = datos observados para el cerdo k del factor i j; μ = media general; S = macho castrado y hembra; V = DT y DTGIM.

Y por otro, un ANOVA donde el índice de oxidación lipídica y contenido de AG fueron las variables dependientes (Y), y el sexo (S) y el

suplemento antioxidante en el pienso de engorde II (OX), las variables explicativas. La estructura del modelo fue la siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + (S)_i + (OX)_j + \varepsilon_{ijk} \quad [3]$$

donde, Y = datos observados para el cerdo k del factor i j; μ = media general; S = macho castrado y hembra; OX = VE y VEQM; ε = error residual.

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software de estadística para Excel (Microsoft, Estados Unidos), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, Estados Unidos). Los resultados se presentan como medias y error estándar de la media (SEM) del conjunto de datos en cada caso. El nivel de significación estadística para todos los análisis fue predefinido ($p < 0,05$).

Resultados

Parámetros crecimiento y canal

La Tabla 2 presenta los resultados del promedio de PV y GMD observados a lo largo del crecimiento y el efecto que tuvo el tipo de verracos terminal y el sexo sobre estas dos variables. Cabe destacar que el PV inicial (PV1) utilizado como factor covariable en el análisis afectó de manera significativa ($p < 0,05$) en el resultado de PV de cada control y en la tasa de crecimiento global de todo el ciclo. Se observaron diferencias significativas en los PV de cada control ($p < 0,05$) por efecto del tipo de verracos terminal excepto a los 168 días de edad. Sin embargo, no por el sexo hasta los 237 días de edad, momento en el que los machos fueron significativamente ($p < 0,05$) más pesados que las hembras hasta el final del ciclo.

Para la GMD se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto por efecto del tipo de verraco como por el sexo en la fase global del ciclo (Fase 1+2+3), la fase de restricción

alimentaria (Fase 1+2) de crecimiento lento y la de consumo *ad libitum* (Fase 3) donde se expresó el crecimiento compensatorio en todos los casos. Los animales descendientes del verraco terminal DT y los machos obtuvieron mayores tasas de GMD que los descendientes del verraco terminal DTGIM y las hembras, respectivamente.

La Tabla 3 recoge los resultados medios de los parámetros de canal medidos, observados para cada factor en estudio (verraco terminal y sexo), observándose que los machos y los animales descendientes del verraco DTGIM obtuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores para el EGD, medido por ultrasonidos, y menores para rendimiento de jamón y lomo que las hembras y los animales descendientes del verraco DT, respectivamente. No se observó interacción significativa ($p < 0,05$) entre el tipo de verraco terminal y el sexo y si que el PV_{sacrificio} utilizado como covariable en el ANCOVA, afectó de manera significativa ($p < 0,05$) sobre los resultados de los cuatro parámetros (EGD, jamón, paleta, y lomo) de canal medidos.

Parámetros de calidad de carne

Los resultados y diferencias estadísticamente significativas que se observaron por efecto del verraco terminal y el sexo sobre el contenido de GIM y la combinación de antioxidantes en el pienso sobre el índice TBARS de la carne y la composición de AG de la grasa subcutánea aparecen en la Tabla 4. No se observó interacción entre el tipo de verraco terminal y el sexo para el contenido de GIM. El % Humedad está correlacionado positivamente con el contenido de grasa intramuscular de la carne, de esta manera, las muestras de nuestro estudio presentaron un elevado valor tanto de % Humedad como grasa. El efecto del verraco terminal afectó significativamente ($p < 0,05$) sobre el % Humedad, y no el del sexo; se observaron valores mayores

Tabla 2. Efecto del sexo (S) y el verraco terminal (DT y DTGIM) sobre parámetros de crecimiento.
 Table 2. Effect of sex (S) and terminal sire (DT and DTGIM) on growth traits.

Parámetro ^D	Verraco Terminal		Sexo		SEM ^B	COV PV1 ^C	Significancia ^A	
	DT (186)	DTGIM (116)	Hembra (155)	Macho (147)			V	S
PV, kg								
Edad, días								
98	28,29 ^b	33,77 ^a	30,67 ^c	31,29 ^c	0,406	–	***	ns
131	39,77 ^b	50,01 ^a	43,28 ^c	44,15 ^c	0,729	***	***	ns
168	51,05 ^b	58,79 ^a	53,15 ^c	54,93 ^c	0,783	***	†	ns
200	64,90 ^b	68,51 ^a	65,39 ^d	67,21 ^c	0,820	***	***	†
237	82,27 ^a	76,14 ^b	78,36 ^d	81,46 ^c	0,996	***	***	*
278	104,11 ^a	91,03 ^b	97,29 ^d	100,85 ^c	1,107	***	***	*
303	117,81 ^b	119,33 ^a	116,13 ^d	120,78 ^c	1,196	***	**	*
338	157,47 ^a	152,94 ^a	151,85 ^d	159,43 ^c	1,574	***	***	**
352	165,55 ^b	168,42 ^a	162,84 ^d	170,77 ^c	1,610	***	*	**
GMD, kg/d								
Fase								
1	0,324 ^a	0,349 ^a	0,324 ^c	0,344 ^c	0,009	***	ns	ns
2	0,491 ^a	0,450 ^b	0,465 ^d	0,487 ^c	0,007	ns	*	*
3	1,031 ^a	0,950 ^b	0,958 ^d	1,037 ^c	0,019	†	***	**
1+2	0,433 ^a	0,416 ^b	0,416 ^d	0,438 ^c	0,005	ns	*	*
1+2+3	0,541 ^a	0,524 ^b	0,518 ^d	0,549 ^c	0,006	*	**	**

^{a-d} Medias con superíndice distinto, son diferentes. ^A Significancia estadística: † $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns, no significativo. V = factor verraco terminal; S = factor sexo. La interacción V x S fue no significativa ($p < 0,10$). ^B SEM = Error estándar de la media (n = 221 para PV98; 183 para PV131; 147 para PV168; 150 para PV200 y PV303; 115 para PV237 y PV278; 110 para PV338; 127 para PV352; 114 para GMD Fase 1; 140 para GMD Fase 2; 150 para GMD Fase 3; 179 para GMD Fases 1+2; y 130 para GMD Fases 1+2+3). ^C Probabilidad de la co-variable del PV1. ^D PV: Peso vivo; GMD: Ganancia media diaria.

en las muestras de animales que descendían del verraco terminal DT (68,64 %) que en las de DTGIM (67,80 %). Para el contenido de GIM_MS observamos diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto por efecto del verraco terminal como por el sexo, los animales que

descendían de DTGIM (29,62 %) y los machos (28,56 %) alcanzaron valores mayores que los DT (25,80 %) y las hembras (26,68 %), respectivamente. Mientras que para el contenido de proteína bruta de la materia seca (PB MS; %) no hubo diferencias significativas

Tabla 3. Efecto del sexo (S) y el verraco terminal (DT y DTGIM) sobre el rendimiento de canal.
 Table 3. Effect of sex (S) and terminal sire (DT y DTGIM) on carcass yield.

Parámetro ^D	Verraco Terminal		Sexo		SEM ^B	COV PVS ^C	Significancia ^A	
	DT (118)	DTGIM (90)	Hembra (99)	Macho (109)			V	S
Edad, días	354,3 ^a	355,0 ^a	354,9 ^c	354,3 ^c	0,209		ns	ns
PVs, kg	174,5 ^a	166,5 ^b	167,1 ^d	173,9 ^c	0,982		***	***
EGD _s , mm	51,05 ^b	57,02 ^a	52,75 ^c	54,90 ^c	0,820	0,00	***	ns
Peso canal, kg	133,63 ^b	138,16 ^a	136,50 ^c	135,33 ^d	0,790	<0,0001	***	***
Peso jamón, kg	28,56 ^a	28,74 ^a	29,06 ^c	28,23 ^d	0,174	<0,0001	ns	***
Peso paleta, kg	19,83 ^b	20,40 ^a	20,20 ^c	20,04 ^c	0,114	<0,0001	***	ns
Peso lomo, kg	5,01 ^a	4,70 ^b	4,97 ^c	4,73 ^d	0,046	<0,0001	***	***
Rendimiento ^E , %								
Canal caliente	78,08 ^b	80,72 ^a	79,57 ^c	78,90 ^d	0,243	0,242	***	*
Jamón frío	21,75 ^a	21,34 ^b	21,87 ^c	21,30 ^d	0,137	0,000	**	*
Paleta fría	15,11 ^a	15,17 ^a	15,07 ^d	15,19 ^c	0,085	<0,0001	ns	*
Lomo frío	3,82 ^a	3,47 ^b	3,75 ^c	3,59 ^d	0,043	0,043	***	*

^{a-d} Medias con superíndice distinto, son diferentes. ^A Significancia estadística † $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns, no significativo. V = factor verraco terminal; S = factor sexo. La interacción V x S fue no significativa ($p < 0,10$). ^B SEM = Error estándar de la media (n = 99 para rdt. canal y EGD_s, y 109 para rto. jamón, rto. paleta y rto. lomo). ^C Probabilidad de la co-variable del PV_{sacrificio} PVS. ^D PVs: Peso vivo al sacrificio; EGDs: Espesor grasa dorsal medido por ultrasonidos al sacrificio; Peso de canal: en caliente; Peso de jamón: en frío (24 horas *post-mortem*) y sin perfilar; Peso paleta: en frío (24 horas *post-mortem*) y sin perfilar; Peso de lomo: en frío (24 horas *post-mortem*) y perfilado. ^E Rendimiento de piezas nobles, jamones, paletas y lomos, como la suma del peso en frío de las dos piezas nobles de cada cerdo con respecto al peso de su canal en frío, que es un 2 % menos del peso de canal caliente por las pérdidas por oreo durante las primeras 24 h de enfriamiento; EGD_s: espesor grasa dorsal al sacrificio de la canal medida por ultrasonidos *in vivo*.

($p > 0,05$) por efecto del verraco terminal, si las hubo ($p < 0,05$) por efecto del sexo; las hembras presentaron valores mayores de proteína que los machos, 69,74 % y 67,09 %, respectivamente. En los resultados de índice de oxidación de las grasas (TBARS) se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto de los antioxidantes en los piensos

de engorde II, los VE obtuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores que los de VEQM (0,20 y 0,17; respectivamente). En cuanto a los valores de vitamina E alfa-tocoferol determinada en músculo *longissimus thoracis et lumborum* sobre la MS, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) por efecto de ningún factor estudiado. Para

Tabla 4. Efecto del sexo (S), el verraco terminal (DT y DTGIM), y la combinación de antioxidantes en el pienso (VE y VEQM) sobre parámetros de calidad de carne.

Table 4. Effect of sex, terminal sire, and antioxidant supplementation on meat traits.

Parámetros fisicoquímicos	Verraco Terminal		Sexo		SEM ^B	Significancia ^A	
	DT (59)	DTGIM (61)	Hembra (52)	Macho (68)		V	S
Humedad, %	68,64 ^a	67,80 ^b	68,46 ^c	68,02 ^c	0,305	*	ns
PB MS, %	69,00 ^a	67,51 ^a	69,74 ^c	67,09 ^d	0,925	ns	*
GIM MS, %	25,80 ^b	29,62 ^a	26,68 ^d	28,56 ^c	0,884	***	*
Parámetros fisicoquímicos	VE (59)	VEQM (61)	Hembra (52)	Macho (68)	SEM ^B	OX	S
VIT E MS, ppm	16,16 ^a	16,17 ^a	16,15 ^c	16,17 ^c	0,380	ns	ns
TBARS	0,20 ^a	0,17 ^b	0,18 ^c	0,19 ^c	0,030	*	ns
Ácidos grasos, % ^C							
C 12:0	0,08 ^a	0,07 ^b	0,07 ^c	0,08 ^c	0,001	***	ns
C 14:0	1,46 ^a	1,29 ^b	1,37 ^c	1,37 ^c	0,019	***	ns
C 16:0	22,40 ^a	21,61 ^b	22,06 ^c	21,95 ^c	0,136	***	ns
C 16:1	2,16 ^a	1,89 ^b	2,04 ^c	2,00 ^c	0,039	***	ns
C 17:0	0,25 ^b	0,28 ^a	0,25 ^d	0,27 ^c	0,007	**	*
C 17:1	0,26 ^a	0,25 ^a	0,24 ^c	0,27 ^c	0,007	ns	*
C 18:0	9,89 ^b	10,62 ^a	10,28 ^c	10,25 ^c	0,138	***	ns
C 18:1n-9	53,66 ^a	53,48 ^a	53,55 ^c	53,58 ^c	0,179	ns	ns
C 18:2n-6	7,51 ^b	7,94 ^a	7,73 ^c	7,73 ^c	0,054	***	ns
C 18:3n-3	0,57 ^b	0,74 ^a	0,66 ^c	0,65 ^c	0,012	***	ns
C 20:0	0,18 ^a	0,20 ^a	0,18 ^c	0,20 ^c	0,017	ns	ns
C 20:1n-9	1,58 ^b	1,64 ^a	1,56 ^d	1,65 ^c	0,022	*	**
omega 6/omega 3	13,17 ^a	10,73 ^b	11,81 ^c	12,02 ^c	0,186	***	ns
AGS ^D	34,26 ^a	34,07 ^a	34,21 ^c	34,13 ^c	0,213	ns	ns
AGMI ^E	57,66 ^a	57,26 ^a	57,40 ^c	57,51 ^c	0,192	ns	ns
AGPI ^F	8,08 ^b	8,69 ^a	8,39 ^c	8,38 ^c	0,063	***	ns

^{a-d} Medias con superíndice distinto, son diferentes. ^A Significancia estadística † $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns, no significativo. OX = factor antioxidantes; S = factor sexo. La interacción OX x S fue no significativa ($p < 0,10$). ^B SEM = Error estándar de la media (n = 61 para Humedad y PB MS; n = 52 para GIM MS y VIT E; n = 59 para TBARS; n = 52 para C120, C140, C160, C161, C180, C181, C182, C183, C201, omega 6/omega 3, AGS, AGMI, AGPI, n = 68 para C170 y C171; n = 61 para C200). Parámetros: PB MS, %: porcentaje de proteína bruta; GIM MS, %: porcentaje de grasa intramuscular expresado en MS; VIT E MS, ppm: partes por millón de vitamina E expresada en MS; TBARS: sustancias reactivas con el ácido tiobarbitúrico (mg MDA/kg carne). ^C AG Expresados como g/100 g del total de ácidos grasos. ^D AGS = \sum Ácidos grasos saturados. ^E AGMI = \sum Ácidos grasos monoinsaturados. ^F AGPI = \sum Ácidos grasos poliinsaturados.

la composición de AG de la grasa subcutánea, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el contenido de AG saturados (AGS) y AG monoinsaturados (AGMI) para ningún factor estudiado. Y en el contenido de los AG polinsaturados (AGPI) y ratio AG omega-6:omega-3 sí hubo diferencias significativas ($p < 0,05$), los animales VEQM presentaron mayores valores de AGPI que los VE (8,69 % versus 8,08 %) y menores de ratio omega-6:omega-3 (10,73 % versus 13,17 %, respectivamente).

Discusión

Parámetros de crecimiento y canal

En el actual estudio, el ritmo de crecimiento de la fase de restricción alimentaria (Fase 1+2) desde los 98 hasta los 303 días de edad dependió de la cantidad de pienso aportada y el sexo a partir de los 168 días, momento en el que se reduce el aporte de pienso y aumenta la competencia por el mismo, en estas circunstancias los machos fueron favorecidos sobre las hembras. A su vez, en la fase de realimentación *ad libitum* (Fase 3) la GMD fue afectada significativamente por el tipo de verraco terminal y el sexo, no por el peso de inicial. En esta última fase del ciclo, los animales descendientes de verraco DT mostraron un significativo ($p < 0,05$) mayor potencial de crecimiento (1,031 vs. 0,950 kg/día) que los de DTGIM. Y los machos alcanzaron tasas de crecimiento (1,037 vs. 0,958 kg/día) significativamente mayores que las hembras, a diferencia con los resultados obtenidos por otros autores como Usero et al. (2016) y Serrano et al. (2008), que no encontraron diferencias significativas ni por efecto del genotipo del verraco finalizador ni por el sexo en la fase de crecimiento entre los 19-145 kg de PV del cerdo ibérico (50 % Duroc) de "Cebo" criado en condiciones de intensivo. Por un lado, los resultados de ritmo de crecimiento

lento medios obtenidos en la fase de restricción alimentaria coinciden con Daza et al. (2008), que indica que la cantidad de la reducción del crecimiento provocada por la restricción alimentaria es proporcional al nivel de restricción excepto cuando los animales están expuestos a temperaturas medias por debajo la termoneutra, como de hecho sucedió en la Fase 2, que transcurrió durante el invierno, donde la velocidad de crecimiento se redujo; por otro, los resultados de GMD obtenidos en la fase de realimentación *ad libitum* de crecimiento compensatorio coinciden con Campbell y Dunkin (1983), que encontraron que los cerdos con restricciones tienen un mayor rendimiento digestivo que los alimentados *ad libitum* como consecuencia de una reducción de los gastos de mantenimiento, lo que explica en parte el efecto de su mayor eficiencia en el uso del pienso. Este efecto se prolonga durante 2-3 semanas si el periodo de restricción va seguido de una alimentación *ad libitum*, provocando un mayor consumo y ritmo de crecimiento, que se prolonga durante 6 semanas, momento que alcanzan los 160 kg de PV de sacrificio. En estudios previos, se observó que el efecto del crecimiento compensatorio puede aparecer de forma más marcada por efecto del "fenotipo ahorrador", característico de la raza ibérica y se describe como una estrategia diseñada para aumentar de peso y la deposición de grasa tras una restricción energética (Daza et al., 2008). Los animales descendientes del verraco terminal DTGIM, significativamente más grasos que los DT (57,02 vs. 51,05 mm EGD), tuvieron un significativo mayor rendimiento de canal (80,72 vs. 78,08 %) y paletas (15,17 vs. 15,11 %), de acuerdo con los resultados encontrados por Serrano et al. (2008), y menores de rendimiento de jamón (21,34 vs. 21,75 %) y lomo (3,47 vs. 3,82 %), esta vez en desacuerdo con este trabajo de Serrano. En cuanto al sexo, los machos obtuvieron valores de EGD de la canal significativamente ($p < 0,05$) mayores que las hembras

(54,90 vs. 52,75 mm EGD) y menores de rendimiento de jamón (21,30 vs. 21,87 %) y lomo (3,59 vs. 3,75 %), de acuerdo con Serrano et al. (2008).

En general, las canales menos grasas obtuvieron mejores rendimientos de jamón y lomo, y peores de paleta, discrepancias que podrían estar relacionadas con la diferente metodología utilizada por otros autores para el despiece llevado a cabo de las canales.

Contenido de grasa intramuscular

Los resultados medios de contenido de GIM_MS (%) obtenidos en este trabajo están de acuerdo con los obtenidos por Vázquez-Gómez et al. (2020) y son mayores que los publicados por Barbero et al. (2013) en cerdo ibérico (50 % Duroc) de "Cebo", y están de acuerdo con Serrano et al. (2008) en su estudio en cerdo ibérico (50% Duroc) de "Cebo" en intensivo, donde se observó que hubo efecto del tipo de verraco y el sexo sobre su contenido. En nuestro estudio, los machos obtuvieron mayores valores que las hembras, de acuerdo con Egea et al. (2016) y Serrano et al. (2008), y en discrepancia con los resultados obtenidos por Usero et al. (2016) en cerdo ibérico (50 % Duroc) de "Cebo".

Oxidación lipídica y composición de los ácidos grasos

La oxidación lipídica es la principal causa del deterioro de la carne. Sobre los resultados del índice de oxidación de las grasas (TBARS) se observó el efecto del nivel de antioxidantes en el pienso. De cualquier modo, para ambos lotes experimentales, estaban lejos de valores de 0,5 considerado valor crítico para la estabilidad oxidativa de la carne (Wood et al., 2008). Los valores obtenidos de vitamina E resultaron de acuerdo con los obtenidos por Isabel et al. (1999a), de 16,87 ppm en MS, en músculo *biceps femoris* de cerdo blanco

suplementado con 200 ppm de vitamina E sintética en el pienso durante los últimos 42 días de vida. Aumentar la vitamina E en la dieta es una estrategia para aumentar la estabilidad oxidativa y mejorar las características sensoriales de los jamones curados (Isabel et al., 1999b), pero aunque la vitamina E tiene muy poca toxicidad, por mucho que se aumente su nivel de inclusión en el pienso, esta alcanza un punto que no responde a una mayor acumulación en el músculo (Bonnette et al., 1990). Así, en este estudio se observó que no había diferencias significativas en el contenido de vitamina E muscular *post-mortem* en animales VEQM (150 ppm vitamina E sintética + 18,2 ppm de vitamina E natural extra) con respecto a los VE (150 ppm vitamina E sintética). Por eso, más allá de aumentar la vitamina E para mejorar la protección antioxidante de la carne, el programa de alimentación experimental siguió la estrategia de estudiar combinaciones sinérgicas de otras moléculas naturales con características antioxidantes junto con la vitamina E. Además, se diseñó para dirigir el perfil de AG a controlar la síntesis endógena de AGS y estimular la acumulación de AGMI y AGPI, más sensibles a la oxidación. Para ello, se formularon los piensos de crecimiento y engorde con niveles relativamente bajos de proteína y lisina, y altos de energía, grasa, AGMI y AGPI, en comparación con piensos convencionales (Estévez et al., 2006). Y se llevó a cabo un racionamiento dirigido por fases explicado anteriormente en la Figura 1 (Daza et al., 2007a). En este sentido, se obtuvieron valores bajos de C16:0 y C18:0 por debajo del 22,5 % y 11 %, respectivamente, y altos de C18:1, por encima del 53 %, similares a los estudiados (Ninols et al., 2007; Daza et al., 2007b) en cerdo ibérico (100 %) de "montañera" y diferentes de los observados por Serrano et al. (2008) en su estudio realizado en cerdo ibérico (50 % Duroc) "Cebo". En este caso, eran cerdos alimentados con piensos con una composición diferente para el creci-

miento: (19 a 80 kg PV), concentración energética de 9,15 MJ/kg, lisina total del 0,72 % y grasa mezcla animal del 0,8 %; el cebo (80 a 110 kg PV): concentración energética de 9,74 MJ/kg, lisina total del 0,64 %, jabón cálcico en base a oleínas del 1,00 % y grasa mezcla animal del 2,10 %; y el acabado (110 a 145 kg PV): concentración energética de 10,38 MJ/kg, lisina total del 0,51 %, jabón cálcico en base a oleínas del 3,00 % y grasa mezcla animal del 3,00 %. Sin embargo, los valores de C 18:2 obtenidos en el presente experimento alcanzan el mismo nivel que en las investigaciones de Ninoles et al. (2007) y Serrano et al. (2008), y menores que los obtenidos por Daza et al. (2007b); este suceso se explica por la diferencia de consumo de este AG en cada caso, ya que la concentración de C18:2 en la grasa del cerdo es directamente proporcional a la cantidad consumida (Wood et al., 2008; Isabel et al., 2014). Este AG juega un papel esencial en la consistencia de la grasa y su menor acumulación en cerdo ibérico está relacionada tanto por su consumo como por su capacidad de utilizarlo a través de la beta-oxidación (Isabel et al., 2014). Por otro lado, por el factor de los antioxidantes no se encontraron diferencias significativas en el pienso sobre el contenido de los AG de síntesis endógena y de resultado de la desaturación, AGS y AGMI, respectivamente (Óvilo et al., 2014), y sí sobre el contenido de AGPI absorbidos por la dieta. Los animales VEQM con respecto a los VE obtuvieron un contenido significativamente mayor de todos los AGPI analizados AG C 18:2, C 18:3 y una relación omega-6:omega-3 significativamente menor por el destacable efecto antioxidante sobre estos AG especialmente sensibles a la oxidación (Cholewski et al. 2018), destacando el contenido de omega-3 de un 0,74 % en VEQM respecto al 0,57 % en los VE, por lo que la suplementación en la dieta con antioxidantes adicionales son necesarios para su

mayor absorción (Heras-Molina et al., 2020). En este sentido, la estrategia de la administración de polifenoles de la uva junto a la vitamina E pudo mejorar la disponibilidad de estos AG de la dieta, del mismo modo que el hidroxitirosol disminuye la peroxidación de los lípidos e incrementa la disponibilidad fetal de AG omega-3 y omega-6 poliinsaturados (García-Contreras et al., 2019). Por lo tanto, la estrategia de alimentación seguida en este estudio fue de especial interés, encontrando rutas para manipular la composición de AG de la carne en virtud de producir alimentos funcionales (Coates et al., 2009). Dietas ricas en ácido oleico y una baja proporción omega-6:omega-3 muestran propiedades antiinflamatorias (Fernández et al., 2018), reducen los niveles de colesterol y se asocian con una menor incidencia en enfermedades cardiovasculares (Mattson y Grundy, 1985). En general, bajar la relación omega-6:omega-3 en la dieta a 5:1 puede ser beneficioso para los perfiles lipídicos en la sangre, mejorando el valor nutricional de la carne de cerdo, sin efecto adverso sobre el rendimiento del crecimiento y los parámetros de calidad de la carne (Liu y Kim, 2018).

Conclusiones

El presente estudio sugirió que el tipo genético obtenido aplicando selección genética mejoró la cantidad y calidad de la grasa. Además, que la utilización de una combinación de antioxidantes en el pienso pareció efectiva para incrementar el valor nutricional de la carne y protegerla frente a la oxidación. Estos hallazgos sirven para aumentar el valor añadido a la carne de cerdo ibérico en su faceta "Cebo de Campo", otorgándole propiedades nutricionales y sensoriales de gran interés para el consumidor.

Agradecimientos

Los autores agradecen al equipo humano de la empresa Campojerez, S.L. el apoyo técnico y la disponibilidad de sus instalaciones para la realización de este estudio. Este trabajo se desarrolló como parte del proyecto apoyado por el plan de financiación de Proyectos de Investigación y Desarrollo (PID) promovido por el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español a través del Centro para el Desarrollo Industrial (CDTI) llevado a cabo por la empresa Campojerez, S.L.: "Desarrollo de un nuevo programa de alimentación ajustado a los requerimientos nutricionales de la nueva línea genética de cerdo Ibérico Templario™" (IDI-20170887).

Referencias bibliográficas

- AOAC (2006). Official Methods of Analysis of the Association Official Analytical Chemist, 18th ed. Scientific Research. Atlanta, GA, USA.
- Barbero A., Astiz S., López-Bote C.J., Pérez-Solana M.L., Ayuso M., Garcia-Real I., González-Bulnes A. (2013). Maternal malnutrition and offspring sex determine juvenile obesity and metabolic disorders in a swine model of leptin resistance. *PLoS One* 8(10): e78424. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078424>.
- Bonnette E.D., Kornegay E.T., Lindemann M.D., Hammerberg C. (1990). Humoral and cell-mediated immune response and performance of weaned pigs fed four supplemental vitamin E levels and housed at two nursery temperatures. *Journal of Animal Science* 68: 1337-1345. <https://doi.org/10.2527/1990.6851337x>.
- BOE (2013). Real Decreto 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 34, de 8 de febrero de 2013, pp. 11370-11421.
- BOE (2014). Real Decreto 4/2014, de 10 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 10, de 11 de enero de 2014, pp. 1569-1589.
- Botsoglou N.A., Fletouris D.J., Papageorgiou G.E., Vassilopoulos V.N., Mantis A.J., Trakatellis AG (1994). Rapid, sensitive and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42: 1931-1937. <https://doi.org/10.1021/JF00045A019>.
- Campbell R.G., Dunkin A.C. (1983). The effects of energy intake and dietary protein on nitrogen retention, growth performance, body composition and some aspects of energy metabolism of baby pigs. *British Journal of Nutrition* 49: 221-230. <https://doi.org/10.1079/bjn19830029>.
- Cholewski M., Tomczykowa M., Tomczyk M. (2018). A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients* 10: 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>.
- Coates A.M., Sioutis S., Buckley J.D., Howe P.R. (2009). Regular consumption of n-3 fatty acid-enriched pork modifies cardiovascular risk factors. *British Journal of Nutrition* 101: 592-597. <https://doi.org/10.1017/s0007114508025063>.
- Corino C., Oriani G., Pantaleo L., Pastorelli G., Salvatori G. (1999). Influence of dietary vitamin E supplementation on "heavy" pig carcass characteristics, meat quality, and vitamin E status. *Journal of Animal Science* 77: 1755-1761. <https://doi.org/10.2527/1999.7771755x>.
- Daza A., Rey A.I., Menoyo D., Bautista J.M., Olivares A., López-Bote C.J. (2007a). Effect of level of feed restriction during growth and/or fattening on fatty acid composition and lipogenic enzyme activity in heavy pigs. *Animal Feed Science and Technology* 138(1): 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2006.11.013>.
- Daza A., López-Bote C.J., Olivares A., Menoyo D., Ruiz J. (2007b). Age at the beginning of the fattening period of Iberian pigs under free-range conditions affects growth, carcass characteristics and the fatty acid profile of lipids. *Animal Feed Science and Technology* 139: 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2007.01.003>.

- Daza A., López-Bote C.J., Olivares A., Menoyo D., Ruiz J. (2008). Influence of a severe reduction of the feeding level during the period immediately prior to free-range fattening on performance and fat quality in Iberian pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88: 449-454.
- DOUE (2010). Directiva 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2010 relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 276, de 20 de octubre de 2010, pp. 33-79.
- Duthie G.G. (1999). Determination of activity of antioxidants in human subjects. *Proceedings of the Nutrition Society* 58(4): 1015-1024. <https://doi.org/10.1017/s0029665199001330>.
- Egea M., Linares M.B., Garrido M.D., Madrid J., Hernández F. (2016). Feeding IberianxDuroc cross pigs with crude glycerine: Effects of diet and gender on carcass and meat quality. *Meat Science* 111: 78-84. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.008>.
- Essén-Gustavsson B., Karlsson A., Lundström K., Enfält A.C. (1994). Intramuscular fat and muscle fibre lipid contents in halothane-gene-free pigs fed high or low protein diets and its relation to meat quality. *Meat Science* 38(2): 269-277. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90116-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90116-3).
- Estévez M., Morcuende D., Cava R. (2003). Oxidative and colour changes in meat from three lines of free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90 kg live weight and from industrial pig during refrigerated storage. *Meat Science* 65(3): 1139-1146. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00343-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00343-1).
- Estévez M., Morcuende D., Cava R. (2006). Extensively reared Iberian pigs versus intensively reared white pigs for the manufacture of frankfurters. *Meat Science* 72(2): 356-364. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.003>.
- FEDNA (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino; Normas FEDNA. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. Madrid, España. 110 pp.
- Fernández J. (2018). Modulación de procesos inflamatorios y neoplásicos en colon mediante alimentos funcionales en modelos animales murinos. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo (España). Disponible en: https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/49019/TD_JavierFernandezFernandez.pdf;jsessionid=67BC0095EAAEE2ABC68124A2C0FE6BD9?sequence=1 (Consultado: 25 febrero de 2021).
- García-Contreras C., Vázquez-Gómez M., Pardo Z., Heras-Molina A., Pesantez J.L., Encinas T., Torres-Rovira L., Astiz S., Nieto R., Ovilo C., González-Bulnes A., Isabel B. (2019). Polyphenols and IUGR pregnancies: effects of maternal hydroxytyrosol supplementation on hepatic fat accretion and energy and fatty acids profile of fetal tissues. *Nutrients* 11(7): 1534. <https://doi.org/10.3390/nu11071534>.
- Heras-Molina A., Pesantez-Pacheco J.L., Astiz S., García-Contreras C., Vázquez-Gómez M., Encinas T., Óvilo C., Isabel B., González-Bulnes A. (2020). Maternal supplementation with polyphenols and omega-3 fatty acids during pregnancy: effects on growth, metabolism, and body composition of the offspring. *Animals* 10: 1946. <https://doi.org/10.3390/ani10111946>.
- Isabel B., López-Bote C.J., Rey A.I., Sanz-Arias R. (1999a). Influence of dietary alpha-tocopherol acetate supplementation of pigs on oxidative deterioration and weight loss in sliced dry-cured ham. *Meat Science* 51(3): 227-232. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00115-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00115-6).
- Isabel B., Timón M., Cava R., García C., Ruiz J., Carmona J.M., Soares M., López Bote C.J. (1999b). Dietary α -tocopherol acetate supplementation modifies volatile aldehyde and sensory properties of dry-cured hams. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 38: 137-142.
- Isabel B., Cordero G., Olivares A., Daza A., López-Bote C.J. (2014). Differential response of Iberian and lean pig crossbreeds to dietary linoleic acid administration. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12(2): 419-426. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4361>.
- ISO 1442:1997. Meat and meat products. Determination of moisture content. International Organization for Standardization Publications.
- Liu W.C., Kim I.H. (2018). Effects of different dietary n-6:n-3 PUFA ratios on growth performance, blood lipid profiles, fatty acid composition of pork, carcass traits and meat quality in finis-

- hing pigs. *Annals of Animal Science* 18: 143-154. <https://doi.org/10.1515/aoas-2017-0026>.
- López-Bote C.J., Isabel B., Ruiz J., Daza A. (2003). Effect of Vitamin E supplementation and partial substitution of poly- with mono-unsaturated fatty acids in pig diets on muscle, and microsome extract α -tocopherol concentration and lipid oxidation. *Archives of animal nutrition* 57(1): 11-25. <https://doi.org/10.1080/0003942031000086653>
- McCann M.E.E., Magowan E. (2004). The evaluation of ultrasonic instruments used to measure the depth of back fat at P2 in live pigs. UFU and PPDC Committees, AFBINI. Disponible en: www.afbini.gov.uk (Consultado: 25 febrero de 2017).
- Mattson F.H., Grundy S.M. (1985). Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *Journal of Lipid Research* 26(2): 194-202. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)34389-3](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)34389-3).
- Morel P.C.H., McIntosh J.C., Janz J.A.M. (2006). Alteration of the fatty acid profile of pork by dietary manipulation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 19: 431-437. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.431>.
- Niñoles L., Clemente G., Ventanas S., Benedito J. (2007). Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Science* 76(1): 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.10.018>.
- NRC (2012). *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Ed. The National Academies Press, Washington, DC.
- Óvilo C., Benítez R., Fernández A., Núñez Y., Ayuso M., Fernández A.I., Rodríguez C., Isabel B., Rey A.I., López-Bote C.J., Silió L. (2014). Longissimus dorsi transcriptome analysis of purebred and crossbred Iberian pigs differing in muscle characteristics. *BMC Genomics* 15: 413. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-413>.
- Rey A., López-Bote C., Soares M., Isabel B. (1996). Determination of α -tocopherol in pork with high intramuscular fat content. *Grasas y Aceites* 47: 331-334. <https://doi.org/10.3989/gya.1996.v47.i5.877>.
- Serrano M.P., Valencia D.G., Nieto M., Lázaro R., Mateos G.G. (2008). Influence of sex and terminal sire line on performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared under intensive production systems. *Meat Science* 78(4): 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.006>.
- Thomas A.G., Miller V., Shenkin A., Fell G.S., Taylor F. (1994). Selenium and glutathione peroxidase status in paediatric health and gastrointestinal disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology And Nutrition* 19: 213-219. <https://doi.org/10.1097/00005176-199408000-00012>.
- Usero G., Gil F., Galván M., Ferreres M., Muñoz A. (2016). Modelización nutricional y parametrización zootécnica del Ibérico de cebo en un cruce al 50% (Duroc IMF Topigs Norsvin x Ibérica Retinto Vallehermoso). *Solo Cerdo Ibérico* 36: 16-37.
- Vázquez-Gómez M., García-Contreras C., Astiz S., Torres-Rovira L., Fernández-Moya E., Olivares A., Daza A., Óvilo C., González-Bulnes A., Isabel B. (2020). Piglet birthweight and sex affect growth performance and fatty acid composition in fatty pigs. *Animal Production Science* 60(4): 573-583. <https://doi.org/10.1071/AN18254>.
- Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Sheard P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., Whittington F.M. (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 29 de agosto de 2023)