

I. Garitano, C. Liébana, E. Feliz de Vargas, A. Daza y C.J. López Bote

**EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL PIENSO CONVENCIONAL
POR CEBADA GRANULADA, DURANTE EL PERIODO DE ACABADO, SOBRE
LOS RESULTADOS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL, DE LA CARNE
Y DE LA GRASA INTRAMUSCULAR DE CERDOS DESTINADOS
A LA PRODUCCIÓN DE JAMÓN DE TERUEL**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **108** N.º 3 (241-255), 2012

Efecto de la sustitución del pienso convencional por cebada granulada, durante el periodo de acabado, sobre los resultados productivos, calidad de la canal, de la carne y de la grasa intramuscular de cerdos destinados a la producción de jamón de Teruel

I. Garitano*, C. Liébana**, E. Feliz de Vargas*, A. Daza***,1 y C.J. López Bote****

* Diputación Provincial de Teruel

** Consejo Regulador de la Denominación de Origen Jamón de Teruel

*** Departamento de Producción Animal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

**** Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid

Resumen

Según un diseño experimental factorial que observó 2 sexos x 4 tratamientos alimenticios, se han utilizado 32 cerdos, 16 machos castrados y 16 hembras enteras, Duroc x (Landrace x Large White) destinados a la producción de Jamón de Teruel (España). El periodo de cebo transcurrió entre los 32,6 y 126,9 kg. Los tratamientos aplicados fueron: sustitución del pienso convencional (tratamiento control, 15,72% de proteína bruta y 0,91% de lisina) por cebada granulada (9,33% de proteína bruta y 0,34% de lisina) desde los 41 (tratamiento cebada 41), 63 (tratamiento cebada 63) o 81 días (tratamiento cebada 81) de cebo hasta el sacrificio. Los tratamientos cebada 41 y 63 empeoraron significativamente la ganancia media diaria y el índice de conversión. El tratamiento alimenticio no tuvo influencia significativa sobre la mayoría de las características de la canal. Los machos tuvieron un espesor de grasa, a nivel del *Gluteus medius*, significativamente superior ($P < 0,05$) que las hembras. En el músculo *Longissimus thoracis* la cebada granulada aumentó el porcentaje de grasa intramuscular y las proporciones de ácido oleico y de ácidos grasos monoinsaturados totales y redujo las proporciones de C18:2n-6 y del total de ácidos grasos n-6 y poliinsaturados. En la grasa intramuscular del *Longissimus thoracis* la proporción de ácido linoleico fue superior en las hembras que en los machos. Se concluye que la sustitución del pienso convencional por cebada granulada, mejora la calidad de la carne y de la grasa intramuscular pero empeora los resultados productivos de cerdos pesados destinados a la producción de Jamón de Teruel.

Palabras clave: Cebada granulada, sexo, resultados productivos, canal, grasa intramuscular, ácidos grasos.

Summary

Effect of substitution of conventional feed by granulated barley, during finishing period, on productive performance and carcass, meat and intramuscular fat quality of pigs intended to Teruel ham production

According to a factorial experimental design that observed 2 genders x 4 feeding treatments, 32 Duroc x (Landrace x Large White) pigs, 16 castrated males and 16 intact females, intended to Teruel (Spain) ham

1. Autor para correspondencia: argimiro.daza@upm.es

production were used. The growing-finishing period lasted from the 32.6 to 126.9 kg. The feeding treatments applied were: substitution of conventional feed (control treatment with 15,72% crude protein and 0,91% lysine), by granulated barley (9,33% crude protein and 0,34% lysine) from 41 (barley 41 treatment), 63 (barley 63 treatment) or 83 (barley 83 treatment) days after the beginning of growing-finishing period to slaughter. The barley 41 and 63 treatments impaired significantly the average daily gain and feed conversion efficiency. The feeding treatment had not significant influence on most carcass characteristics. The castrated males had a significantly higher ($P < 0.05$) fat thickness at level of the *Gluteus medius* muscle than intact females. In the *Longissimus thoracis* muscle granulated barley increased the percentage of intramuscular fat and the proportions of oleic and total monounsaturated fatty acids, whereas those of linoleic, total n-6 and polyunsaturated fatty acids were reduced. In the intramuscular fat of *Longissimus thoracis* the linoleic acid proportion was higher in females than in males. It is concluded that the substitution of conventional feed by granulated barley improved meat and intramuscular fat quality, but impaired productive performance in heavy pigs destined to Teruel ham production.

Key words: Granulated barley, gender, productive performance, carcass, intramuscular fat, fatty acid.

Introducción

España es el primer país productor de jamón curado del mundo con una producción total, en el año 2009, próxima a 245.000 toneladas (AICE, 2010). A la Denominación de Origen Jamón de Teruel, en el año 2010, estaban adscritas 256 granjas, 100 de reproductores que incluían 31.354 cerdas y 156 de cebo, que generaron 580.000 cerdos pesados que se sacrificaron, generalmente, entre 120 y 130 kg, lo que permitió una producción de 465.065 perniles (Consejo Regulador Denominación de Origen Jamón de Teruel, 2011). La problemática actual de la producción de cerdos pesados destinados a la producción de jamón curado reside, por una parte, en los elevados costes de producción, derivados de la subida abusiva del precio de las materias primas para alimentación animal y, por otra, en la reducción del consumo nacional de carne porcina, lo que ha obligado a que de los 3,4 millones de toneladas de carne de cerdo producidos en nuestro país en 2009 el montante de las exportaciones supusiera, en el citado año, casi 1.300.000 toneladas (MARM, 2010). El desarrollo de la producción de cerdos pesados en España, en general, y en Teruel, en particular, con el fin de aumentar el consumo

interior y las exportaciones, depende de la producción de productos cárnicos de calidad uniforme, contrastada y diferenciada que muestren características que se adapten a las preferencias de los consumidores. Debido a ello, es interesante establecer estrategias nutricionales dirigidas a mejorar la calidad tecnológica y sensorial de los productos elaborados sin que los costes de producción del cerdo cebado aumenten ostensiblemente. En este sentido, el contenido de grasa intramuscular (GIM) y el perfil de ácidos grasos son dos aspectos que tienen especial incidencia sobre la calidad (López-Bote *et al.*, 2004).

Desde hace algunos años nos hemos planteado, como hipótesis de trabajo, que la sustitución de cebada por el pienso convencional al final del periodo de acabado (100-130 kg), al reducirse las relaciones proteína/energía y lisina/energía, podría aumentar el porcentaje de GIM y la calidad de la grasa. Así, D'Souza *et al.* (2003) observaron que una reducción de la relación lisina/energía durante el periodo de crecimiento aumentaba el porcentaje de GIM en el músculo *Longissimus thoracis*, y otros trabajos posteriores (Daza *et al.*, 2010, 2011a) han demostrado que la sustitución del pienso convencional por cebada durante el periodo de crecimiento o aca-

bado tenía efectos positivos sobre la calidad de la carne y de la grasa subcutánea e intramuscular de cerdos pesados destinados a la producción de Jamón de Teruel.

En el presente experimento, con un diseño experimental distinto al de los trabajos precitados, se estudia el efecto de la sustitución del pienso convencional por cebada, durante tres fases, de distinta duración, del periodo de acabado, sobre los resultados productivos, calidad de la canal, de la carne y de la GIM de cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel.

De otra parte, algunos estudios previos (Daza *et al.*, 2010; Daza *et al.* 2011b) han encontrado una relación positiva entre la calidad de la grasa y el porcentaje de GIM del músculo *Longissimus thoracis*. A nuestro juicio, este aspecto es importante para la mejora genética, ya que la selección del contenido de GIM, paralelamente, mejoraría la calidad de la grasa. Por ello, con el fin de corroborar tal resultado, adicionalmente, también se estudia, en este trabajo, la relación entre el porcentaje de GIM del músculo *Longissimus thoracis* y la proporción de los principales ácidos grasos, índices de insaturación y de calidad de la grasa.

Material y métodos

Se han utilizado 32 cerdos, 16 machos castrados y 16 hembras enteras, Duroc x (Landrace x Large White), procedentes de líneas genéticas comerciales grasas de las razas Duroc, Landrace y Large White explotadas en la provincia de Teruel. El peso medio inicial de los animales fue 32,6 kg (eem = 1,3 kg). El diseño experimental, de tipo factorial 2x4, observó dos sexos (machos castrados *versus* hembras enteras) y cuatro tratamientos alimenticios: pienso convencional administrado desde el comienzo del cebo hasta el sacrificio (tratamiento control) y sustitución del pienso

convencional por cebada granulada desde los 41 (tratamiento cebada 41), 63 (tratamiento cebada 63) o 81 (tratamiento cebada 81) días después del inicio del periodo de cebo hasta el sacrificio. Hubo 8 réplicas, 4 de machos y 4 de hembras, a razón de 4 animales por réplica y 2 réplicas por tratamiento alimenticio, una de machos y otra de hembras. El peso medio al sacrificio de los cerdos fue de 126,9 kg (eem = 2,9 kg). La composición en materias primas, nutrientes principales y ácidos grasos del pienso control y de la cebada granulada aparece reflejada en la Tabla 1. El consumo de pienso se controló por réplica, por lo que las variables consumo medio diario de pienso e índice de conversión se calcularon utilizando dicho control. En el matadero se recabaron los valores del peso canal, y los de longitud interna de la canal (distancia entre el borde anterior de la sínfisis isquiopubiana y el borde anterior de la primera costilla), longitud del jamón (distancia entre el borde anterior de la sínfisis isquiopubiana y el centro de la articulación tarso-metatarsiana), y perímetro del jamón (medido por su máximo diámetro) mediante cinta métrica. Así mismo, se obtuvieron los espesores de grasa dorsal a nivel de la última costilla y del músculo *Gluteus medius* utilizando un calibrador o pie de rey. Tres muestras por tratamiento alimenticio y sexo (3 muestras x 4 tratamientos x 2 sexos = 24 muestras) de la región caudal del músculo *Longissimus thoracis* fueron recogidas al azar, y posteriormente congeladas a -20 °C hasta que fueron analizadas, para estudiar la composición del tejido muscular y el perfil de ácidos grasos de la GIM. Los contenidos de humedad y de proteína bruta del tejido muscular se determinaron por el método de Wende. La GIM del músculo *Longissimus thoracis* se extrajo con una mezcla de cloroformo/metanol (2:1v/v) siguiendo el procedimiento descrito por Folch *et al.* (1956). Los extractos lipídicos fueron metilados en presencia de metóxido de sodio y se analizaron

Tabla 1. Composición en materias primas y nutrientes calculados (1) de los piensos experimentales
 Table 1. Ingredients and calculated (1) nutrients composition of experimental diets

Pienso control	g/kg	Cebada granulada	g/kg
Cebada	330	Cebada	972
Trigo	210	Sepiolita	10
Maíz	220	Carbonato de calcio	4
Soja -44	190	Fosfato bicálcico	7
Melaza	17	Sal	3
L-Lisina-50	5	Corrector vitamínico-mineral (2)	4
Carbonato de calcio	6		
Fosfato bicálcico	12		
Sal	5		
Corrector vitamínico-mineral (2)	5		
Nutrientes		Nutrientes	
Materia seca (g/kg)	880,3		893,6
EM (Mcal/kg)	3,07		3,07
Proteína bruta (g/kg)	157,2		93,3
Extracto etéreo (g/kg)	21,0		17,5
Almidón	439		515
Lisina	9,07		3,36
Cenizas (g/kg)	52,3		44,0
Ácidos grasos			
C16:0	2,50		2,50
C18:0	0,26		-
C18:1 n-9	3,35		1,60
C18:2 n-6	9,08		7,10
C18:3 n-3	0,65		0,78

(1) FEDNA (2010). (2) el corrector vitamínico mineral contenía 7000 UI de vitamina A/kg, 1500 UI de vitamina D₃/kg, 20 mg de vitamina E(α -tocoferol)/kg y 15 mg/kg de sulfato cúprico pentahidratado.

mediante cromatografía gaseosa utilizando un aparato Hewlett-Packard HP-6890 (Avondale, PA, EEUU) equipado con un detector de ionización de llama y una columna capilar HP-Innowax (100 x 0,32 x 0,25 de polietilenglicol) (López Bote *et al.*, 2003). Los datos ob-

tenidos de crecimiento, características de la canal, calidad de la carne y proporción de ácidos grasos en la GIM del *Longissimus thoracis* se estudiaron, considerando al cerdo como unidad experimental, mediante análisis de varianza que incluía, como efectos fijos, al

sexo y tratamiento alimenticio, la interacción entre ambos factores y como covariables el peso inicial, para los resultados de crecimiento, o el peso canal para las características de la canal y de la carne. El consumo medio diario de pienso e índice de transformación del alimento se estudiaron, considerando a la réplica como unidad experimental, mediante análisis de varianza que incluyó como efectos fijos al sexo y tratamiento alimenticio y como covariable al peso inicial de los cerdos. Cuando alguna covariable no era significativa ($P > 0,05$) era retirada del modelo estadístico. Las medias se cotejaron por el test de Duncan y se realizaron contrastes ortogonales para comparar las medias obtenidas con el pienso control y las medias globales de la cebada granulada. Además, se realizaron análisis de regresión simple para relacionar el porcentaje de GIM y el porcentaje de días, respecto al total de la duración del cebo, que los cerdos consumieron cebada, estudiando el efecto del sexo comparando las pendientes de las rectas de regresión mediante la prueba "t" de Student. También, mediante regresión simple, se estudiaron las relaciones entre las proporciones de los ácidos grasos principales, los valores de los índices de insaturación y de calidad de la grasa y el porcentaje de GIM en el músculo *Longissimus thoracis*. Todos los análisis fueron realizados mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS. (1999). Los procedimientos experimentales usados en el presente experimento estuvieron de acuerdo con la normativa reflejada en el Boletín Oficial del Estado (2005) sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos.

Resultados

Según los resultados expuestos en la Tabla 2 la sustitución del pienso convencional por cebada granulada desde los 41 o 61 días de

cebo (65 o 82 kg de peso respectivamente) empeoró significativamente la ganancia media diaria y el índice de conversión del pienso. Sin embargo, cuando se sustituyó el pienso convencional por cebada desde los 81 días de cebo (95 kg de peso), el crecimiento medio diario y el índice de conversión no variaron significativamente respecto a los logrados por los cerdos que recibieron el pienso convencional. Cuando, mediante contrastes ortogonales, se comparó el crecimiento diario y el índice de conversión, entre el tratamiento control y la cebada se observó un aumento significativo ($P < 0,026$) de la ganancia media diaria y una marcada tendencia ($P < 0,060$) a disminuir el índice de conversión en los cerdos del tratamiento control. El sexo no tuvo influencia significativa sobre los resultados productivos, y la interacción tratamiento alimenticio por sexo no fue significativa ($P < 0,05$) para las variables ganancia media diaria y peso al sacrificio de los cerdos.

De acuerdo con los resultados reflejados en la Tabla 3, el tratamiento alimenticio no tuvo efecto significativo ($P < 0,05$) sobre la mayoría de las características de la canal estudiadas. Sólo el perímetro del jamón fue significativamente superior ($P < 0,05$) en los cerdos control que en los pertenecientes a los tratamientos cebada 41, 63 y 81. El sexo tampoco tuvo influencia significativa sobre las características de la canal, con la excepción de que los machos castrados exhibieron un mayor espesor de grasa a nivel del *Gluteus medius* que las hembras enteras. La interacción tratamiento alimenticio por sexo no fue significativa ($P < 0,05$) para ninguna de las características de la canal consideradas.

Ni el tratamiento alimenticio ni el sexo afectaron significativamente al porcentaje de proteína del músculo *Longissimus thoracis* (Tabla 4). Sin embargo, los cerdos del tratamiento control tuvieron menor porcentaje de GIM que los de los tratamientos cebada 41 y 81, y los contrastes ortogonales pusieron de

Tabla 2. Efecto del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre los resultados de crecimiento
 Table 2. Effect of feeding treatment (TA) and gender (S) on growth performance

Factor de variación	n	P _i (kg)	P _s (kg)	GMD (g)	Días de cebo	CMDP (kg) (1)	IC (kg/kg) (1) g
TA							
Control	8	32,7	125,8	700 ^a	133	2,07	2,96 ^a
Cebada 41	8	32,2	128,8	575 ^b	168	2,14	3,72 ^b
Cebada 63	8	33,8	128,8	590 ^b	161	2,17	3,68 ^b
Cebada 81	8	31,7	124,1	660 ^{ab}	140	2,13	3,23 ^{ab}
eem		1,31	2,90	30,21		0,09	0,22
S							
Macho	16	33,2	128,1	633	150	2,15	3,42
Hembra	16	32,0	125,6	624	150	2,11	3,38
eem		0,92	2,01	21,13		0,063	0,17
PTA <		0,30	0,42	0,041		0,70	0,039
PS<		0,47	0,68	0,80		0,72	0,84
PTA x S <		0,43	0,56	0,78		–	–
P contraste control vs cebada		0,66	0,67	0,026		0,32	0,060
P covariable P _i			0,47	0,48		0,70	0,73

n = número de cerdos, (1) el número de réplicas para las variables CMDP e IC fueron dos por tratamiento alimenticio y cuatro por sexo, P_i = peso inicial, P_s = peso al sacrificio, GMD = ganancia media diaria, CMDP = consumo medio diario de pienso calculado por réplica, IC = índice de conversión calculado por réplica, eem = error estándar de la media. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren P<0,05.

manifiesto menor porcentaje de GIM y mayor porcentaje de humedad en los cerdos control que en los correspondientes al tratamiento cebada global. El sexo no afectó significativamente (P<0,05) al porcentaje de GIM, aunque en los machos castrados se detectó un valor numérico superior que en las hembras. En la Tabla 4 también puede observarse como los machos castrados tendieron (P<0,078) a tener menos humedad que las hembras en el *Longissimus thoracis*. La interacción trata-

miento alimenticio por sexo no fue significativa para los porcentajes de humedad (P<0,66), proteína bruta (P<0,88) y GIM (P<0,47) del músculo *Longissimus thoracis*.

La relación global obtenida entre porcentaje de GIM y el porcentaje de días (%D), respecto a la duración total del cebo, que los cerdos consumieron cebada respondió a la ecuación: GIM (%) = 3,651 + 0,341 x %D (n = 24, R² = 0,28, P<0,013), y las relaciones encontradas según sexo fueron:

Tabla 3. Efecto del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre las características de la canal
 Table 3. Carcass traits according to feeding treatment (TA) and gender (S)

Factor de variación	n	PC (kg)	RC (%)	LIC (cm)	LJ (cm)	PJ (cm)	JR	EG (mm)	GM (mm)
TA									
Control	8	98,0	77,9	88,0	49,4	78,1 ^a	0,73	33,9	26,8
Cebada 41	8	101,6	78,9	88,5	49,8	75,1 ^b	0,48	35,2	27,0
Cebada 63	8	100,0	77,6	87,7	50,3	75,5 ^b	0,56	30,9	25,5
Cebada 81	8	95,0	76,6	87,4	48,8	76,5 ^b	0,12	34,9	29,1
eem		4,30	0,92	0,68	0,72	0,54	0,26	1,53	1,88
S									
Macho	16	98,9	77,2	87,9	49,5	76,7	0,35	34,7	29,6 ^a
Hembra	16	98,4	78,3	87,9	49,6	76,0	0,47	32,7	24,6 ^b
eem		3,09	0,65	0,81	0,51	0,38	0,18	1,08	1,29
P TA <		0,75	0,21	0,69	0,50	0,032	0,15	0,20	0,58
P S <		0,92	0,51	0,98	0,85	0,20	0,63	0,20	0,011
P TA x S <		0,68	0,83	0,31	0,41	0,65	0,77	0,43	0,45
P covariable PC			0,32*	0,0001	0,16	0,0001	0,007	0,001	0,0043
P contraste control vs cebada		0,88	0,89	0,97	0,73	0,10	0,16	0,96	0,84

n = número de cerdos, PC = peso canal, RC = rendimiento canal, LIC = longitud interna de la canal, LJ = longitud del jamón, PJ = perímetro del jamón, JR = media de jamones rechazados por cerdo, EG = espesor de grasa a nivel de la última costilla, GM = espesor de grasa a nivel del músculo *Gluteus medius*, * covariable peso al sacrificio, eem = error estándar de la media. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren P<0,05.

Machos: $GIM (\%) = 4,240 + 0,0353 \times \%D$
 (n = 12, R² = 0,36, P < 0,037).

Hembras: $GIM (\%) = 2,991 + 0,0425 \times \%D$
 (n = 12, R² = 0,38, P < 0,036).

La comparación de pendientes de las rectas de regresión, correspondientes a machos y hembras, mediante la prueba "t" de Student, no detectó diferencias significativas entre ellas (P<0,27).

Según los resultados expuestos en la Tabla 5, la sustitución del pienso convencional por cebada aumentó significativamente (P<0,05) la proporción de C18:1 n-9, de ácidos grasos monoinsaturados totales (MONO) y de los índices de insaturación C18:1/C18:0 y MONO/saturados totales (SAT) y de calidad de la grasa n-6/n-3, mientras que las proporciones de C18:2 n-6, C20:4 n-6 y el total de ácidos grasos n-6 disminuyeron significativamente.

Tabla 4. Efecto del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre la calidad de la carne
 Table 4. Effect of feeding treatment (TA) and gender (S) on meat quality

Factor de variación	n	Humedad (%)	Proteína bruta (%)	Grasa intramuscular (%)
TA				
Control	6	74,9 ^a	21,3	3,4 ^b
Cebada 41	6	72,3 ^b	21,0	6,3 ^a
Cebada 63	6	72,8 ^b	21,3	5,3 ^{ab}
Cebada 81	6	72,9 ^b	21,1	5,6 ^a
eem		0,56	0,38	0,71
S				
Macho	12	72,7	22,2	5,7
Hembra	12	73,8	22,1	4,6
eem		0,40	0,27	0,50
P TA <		0,011	0,82	0,04
P S <		0,078	0,81	0,13
PTA x S <		0,66	0,88	0,47
P covariable PC		0,46	0,59	0,81
P contraste control vs cebada		0,014	0,69	0,014

n = número de cerdos, eem = error estándar de la media. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren $P < 0,05$.

El tratamiento alimenticio no afectó significativamente a las proporciones de los ácidos grasos saturados C14:0, C16:0, C18:0 y C20:0 y SAT. Los contrastes ortogonales detectaron mayores proporciones de SAT y de ácidos grasos poliinsaturados totales (POLI), mayor valor del índice POLI/SAT y menor proporción de C18:4 n-3 en los cerdos del tratamiento control que en los del conjunto de los tratamientos de la cebada. Las proporciones de C18:2 n-6, totales de n-6 y el índice n-6/n-3 fueron significativamente superiores ($P < 0,05$) en las hembras enteras que en los machos castrados. Los resultados de un análisis de covarianza adicional que incluía en el mo-

delo estadístico como covariable al porcentaje de GIM pusieron de manifiesto un efecto significativo de esta covariable sobre las proporciones de C18:1 n-9, MONO, C18:2 n-6, C20:4 n-6, n-6, C18:3n-3 y POLI y sobre los índices de insaturación C18:1n-9/C18:0 y MONO/SAT y de calidad de la grasa POLI/SAT y n-6/n-3, aunque los valores de las medias de mínimos cuadrados obtenidos no diferían ostensiblemente de los de las medias aritméticas expuestos en la Tabla 5. La interacción tratamiento alimenticio por sexo no fue significativa para ninguno de los ácidos grasos e índices de insaturación y de calidad de la grasa estudiados.

Tabla 5. Influencia del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre el perfil de ácidos grasos (AG) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi*
 Table 5. Influence of dietary treatment (TA) and gender (S) on fatty acid profile (AG) of intramuscular fat from *Longissimus dorsi* muscle

AG	TA										S				
	Cont	C41	C63	C81	eem	M	H	eem	TA	S	TAXS	Contr			
C10:0	0,31	0,16	0,21	0,15	0,044	0,18	0,23	0,03	0,07	0,3	0,81	0,009			
C12:0	0,09	0,05	0,09	0,06	0,014	0,06	0,08	0,001	0,16	0,19	0,62	0,29			
C14:0	1,12	1,13	1,21	1,13	0,043	1,19	1,11	0,030	0,42	0,07	0,84	0,53			
C15:1	0,01	0,02	0,01	0,02	0,005	0,02	0,01	0,004	0,49	0,86	0,43	0,33			
C16:0	22,67	22,34	22,30	22,28	0,29	22,68	22,11	0,21	0,76	0,07	0,82	0,28			
C16:1	3,58	3,42	4,12	3,58	0,18	3,86	3,48	0,13	0,08	0,06	0,78	0,62			
C17:0	0,19	0,16	0,20	0,19	0,011	0,19	0,18	0,008	0,21	0,63	0,47	0,70			
C18:0	12,28	11,80	11,57	12,17	0,22	11,96	11,95	0,16	0,13	0,94	0,76	0,09			
C18:1 n-9	43,89 ^b	49,99 ^a	47,40 ^a	49,67 ^a	1,03	48,29	47,18	0,73	0,003	0,30	0,34	0,0005			
C18:2 n-6	10,11 ^a	7,28 ^b	8,03 ^b	7,15 ^b	0,74	7,36 ^b	8,93 ^a	0,53	0,05	0,05	0,47	0,009			
C18:3 n-3	0,38	0,31	0,35	0,31	0,021	0,33	0,35	0,015	0,09	0,30	0,70	0,02			
C18:4 n-3	0,022 ^b	0,047 ^a	0,048 ^a	0,037 ^{ab}	0,006	0,041	0,036	0,004	0,04	0,47	0,61	0,005			
C20:0	0,16	0,16	0,15	0,17	0,007	0,16	0,15	0,005	0,75	0,30	0,68	0,82			
C20:1	0,70 ^b	0,82 ^a	0,70 ^b	0,73 ^b	0,028	0,75	0,73	0,020	0,02	0,45	0,87	0,16			
C20:3 n-9	0,25	0,32	0,31	0,28	0,025	0,28	0,30	0,017	0,21	0,40	0,82	0,04			
C20:4 n-6	2,88 ^a	1,29 ^b	1,79 ^b	1,36 ^b	0,26	1,56	2,10	0,19	0,002	0,06	0,56	0,0003			
n-6	12,99	8,58	9,83	8,51	1,00	8,92 ^b	11,03 ^a	0,70	0,02	0,05	0,49	0,003			
n-3	0,40	0,36	0,40	0,35	0,02	0,37	0,38	0,014	0,18	0,37	0,79	0,12			

Tabla 5. Influencia del tratamiento alimenticio (TA) y del sexo (S) sobre el perfil de ácidos grasos (AG) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* (continuación)
 Table 5. Influence of dietary treatment (TA) and gender (S) on fatty acid profile (AG) of intramuscular fat from *Longissimus dorsi* muscle (continuation)

AG	TA												S			Valores de P		
	Cont	C41	C63	C81	eem	M	H	eem	TA	S	TAxS	Contr	S	TAxS	Contr			
SAT	37,32	36,05	36,09	36,40	0,37	36,73	36,20	0,26	0,09	0,16	0,61	0,01	0,16	0,61	0,01			
MONO	48,82 ^b	54,62 ^a	52,73 ^a	54,38 ^a	1,08	53,35	51,93	0,76	0,005	0,21	0,41	0,0006	0,21	0,41	0,0006			
POLI	13,84 ^a	9,32 ^b	11,16 ^{ab}	9,21 ^b	1,07	9,91	11,86	0,76	0,02	0,09	0,64	0,0005	0,09	0,64	0,0005			
C16:1/C18:0	0,16 ^b	0,15 ^b	0,19 ^a	0,16 ^b	0,007	0,17	0,16	0,005	0,02	0,09	0,65	0,40	0,09	0,65	0,40			
C18:1/C18:0	3,57 ^b	4,26 ^a	4,10 ^a	4,09 ^a	0,13	4,05	3,96	0,10	0,01	0,52	0,55	0,0001	0,52	0,55	0,0001			
MONO/SAT	1,30 ^b	1,52 ^a	1,46 ^a	1,50 ^a	0,035	1,45	1,43	0,025	0,002	0,61	0,32	0,0001	0,61	0,32	0,0001			
POLI/SAT	0,37 ^a	0,26 ^b	0,31 ^{ab}	0,25 ^b	0,030	0,27	0,33	0,021	0,05	0,07	0,73	0,01	0,07	0,73	0,01			
n-6/n-3	32,14 ^a	23,71 ^b	24,35 ^b	24,34 ^b	1,91	24,10 ^b	28,17 ^a	1,35	0,02	0,05	0,50	0,002	0,05	0,50	0,002			

Número de observaciones por TA y por S = 6 y 12 respectivamente. Cont, C41, C63 y C81 = tratamientos alimenticios control y cebada 41,63 y 81 respectivamente. M = macho, H = hembra. n-6, n-3, SAT, MONO y POLI = suma de los ácidos grasos n-6, n-3 saturados, monoinsaturados y poliinsaturados respectivamente. eem = error estándar de la media. Contr = valor de P del contraste ortogonal entre el pienso control y la cebada granulada. Según factor de variación, medias con distintos superíndices difieren P<0,05.

En la Tabla 6 aparecen reflejadas las relaciones significativas encontradas en este experimento entre el porcentaje de GIM y las proporciones de ácidos grasos principales e índices de insaturación y de calidad de la grasa calculados. La relaciones entre el porcentaje de GIM y las proporciones de C18:1 n-9, MONO, C18:2 n-6, C20:4 n-6, total de n-6 y POLI se ajustaron a funciones cuadráticas con coeficientes del término lineal positivos y del término cuadrático negativos para los ácidos grasos C18:1 n-9 y MONO y coeficientes del término lineal negativos y del término cuadrático positivos para los ácidos grasos C18:2 n-6, C20:4 n-6, total de n-6 y POLI.

Funciones logarítmicas pusieron de manifiesto una relación negativa y significativa entre las proporciones de C18:3 n-3 y del total de ácidos grasos n-3 y el porcentaje de GIM, mientras que los índices de insaturación C18:1 n-9/C18:0 y MONO/SAT aumentaban linealmente con el porcentaje de GIM y los índices de calidad de la grasa POLI/SAT y n.6/n-3 se reducían, según funciones inversas, conforme aumentaba el porcentaje de GIM. Sin embargo, no se encontraron relaciones significativas (P<0,05) entre el porcentaje de GIM y las proporciones de los ácidos grasos saturados C10:0, C12:0, C14:0, C16:0, C17:0, C18:0, C20:0 y SAT.

Tabla 6. Relaciones significativas (P<0,05) entre el porcentaje de grasa intramuscular (GIM) y las proporciones de ácidos grasos, índices de insaturación y de calidad de la grasa en el músculo *Longissimus dorsi*
 Table 6. Significant relationships among intramuscular fat percentage (GIM) and fatty acid proportions and insaturation and fat quality indexes in *Longissimus dorsi* muscle

Ecuación de regresión	n	R ²	DRE	P <
C18:1 n-9 (%) = 33,91 + 3,95 GIM - 0,21 GIM ²	24	0,82	1,53	0,0001
C18: 2 n-6 (%) = 17,76 - 2,85 GIM + 0,18 GIM ²	24	0,85	0,91	0,0001
C20:4 n-6 = 5,90 - 1,22 GIM + 0,073 GIM ²	24	0,86	0,35	0,0001
n-6 = 23,67 - 4,07 GIM + 0,24 GIM ²	24	0,88	1,13	0,0001
C18:3 n-3 = 0,50 - 0,10 ln GIM	24	0,58	0,035	0,0001
n-3 = 0,50 - 0,078 ln GIM	24	0,43	0,036	0,0006
MONO (%) = 38,74 + 3,96 GIM - 0,21 GIM ²	24	0,85	1,41	0,0001
POLI (%) = 24,50 - 3,99 GIM + 0,23 GIM ²	24	0,87	1,18	0,0001
C18:1 n-9/C18:0 = 3,16 + 0,16 GIM	24	0,66	0,23	0,0001
MONO/SAT = 1,20 + 0,047 GIM	24	0,64	0,052	0,0001
POLI/SAT = 0,11 + 0,83/GIM	24	0,88	0,03	0,0001
n-6/n-3 = 14,70 + 49,50/GIM	24	0,82	1,98	0,0001

n = número de pares de valores. n-6, n-3, SAT, MONO y POLI = suma de los ácidos grasos n-6, n-3, saturados, monoinsaturados y poliinsaturados respectivamente. R² = coeficiente de determinación. DRE = desviación residual estándar. P = probabilidad.

Discusión

Los resultados obtenidos en el presente experimento de las variables consumo medio diario e índice de transformación del pienso deben ser considerados con precaución debido al escaso número de réplicas disponibles para tales variables. En este estudio, la sustitución del pienso convencional por cebada granulada supuso una reducción de la relaciones proteína/energía y lisina/energía del 41 y 63% respectivamente.

Como consecuencia de una reducción del 30 y 31% de la relaciones proteína/energía y lisina/energía, durante el periodo de crecimiento, D'Souza *et al.* (2003) observaron un aumento del índice de conversión, aunque no encontraron efecto significativo sobre el crecimiento medio diario obtenido durante todo el periodo de cebo. En un trabajo previo (Daza *et al.*, 2010) se observó que la sustitución de un pienso convencional, con el 15,5% de proteína bruta (PB), por cebada granulada, con el 10,2% de PB, realizada desde los 88,5 kg hasta el sacrificio (130,4 kg), conducía a un empeoramiento del índice de conversión del pienso, pero no afectaba a las características de la canal en cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel. La reducción de las relaciones proteína/energía y lisina/energía, durante la fase de crecimiento, redujo el perímetro del jamón en cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel (Daza *et al.*, 2011a), pero este resultado no se obtuvo cuando tales reducciones se realizaban durante el periodo de acabado.

Los porcentajes encontrados de GIM en el *Longissimus thoracis* han sido superiores a los observados por Daza *et al.* (2010) y Daza *et al.* (2011a) en cerdos destinados a la producción de Jamón de Teruel. Este resultado se explica por que los cerdos del presente experimento procedían de líneas genéticas grasas de las razas Duroc, Landrace y Large White y por que cuando las muestras de músculo se toman de la región caudal del *Longissimus*

thoracis los porcentajes de GIM que se obtienen son más elevados (Rey, 2012 comunicación peronal). La disminución del contenido de lisina en el pienso durante las fases de crecimiento y acabado (Kerr *et al.*, 1995), crecimiento o acabado (Daza *et al.*, 2011a) y acabado (Witte *et al.*, 2000) aumentaba el porcentaje de GIM en el *Longissimus thoracis*, resultado al cual también se llegaba cuando se disminuía el aporte de aminoácidos esenciales durante las 3-5 últimas semanas del periodo de acabado (Cisneros *et al.*, 1996). En el presente experimento, como en los de Daza *et al.* (2010 y 2011a), la sustitución del pienso convencional por cebada, como único ingrediente principal, durante la fase de acabado, aumentó el porcentaje de GIM en el músculo *Longissimus thoracis*. La relación proteína/energía de la ración determina la relación de la deposición de grasa y proteína en los tejidos del cerdo, de manera que cuando disminuye el aporte de proteína tal relación aumenta generándose un incremento del engrasamiento de la canal y del porcentaje de GIM (Castell *et al.*, 1994). En el presente experimento, sin embargo, la reducción de la relación proteína/energía no derivó en un aumento de los espesores de grasa dorsal.

Los resultados de las ecuaciones de regresión que relacionan el porcentaje de GIM con el porcentaje de días, respecto a la duración total del cebo, que se sustituye el pienso convencional por cebada ponen de manifiesto que a medida que aumenta el tiempo de sustitución se incrementa el porcentaje de GIM y que la interacción entre el sexo y el tiempo de sustitución no es significativa.

El efecto positivo de la cebada sobre la proporción de C18:1 n-9 (ácido oleico), resultado también observado por Daza *et al.* (2010 y 2011a), se explica como consecuencia de un incremento de la actividad de la delta-9 desaturasa, enzima que introduce un doble enlace en la posición C-9 de la cadena del C18:0 (ácido esteárico) para formar ácido oleico. Efectivamente, en nuestro estudio,

los índices de insaturación C18:1 n-9/C18:0 y MONO/SAT, que estiman indirectamente la actividad de la delta-9 desaturasa (Daza *et al.*, 2009), aumentaron significativamente en los cerdos que recibieron cebada. Los incrementos de tales índices pueden explicarse porque la actividad de la delta-9 desaturasa se ve favorecida por la deficiencia de grasa y de proteína y por la presencia de niveles elevados de carbohidratos en la ración (Cava y Andrés, 2001). Así, algunos trabajos clásicos han demostrado que raciones pobres en grasa (Wirth *et al.*, 1980) o ricas en carbohidratos (Enser, 1975) aumentaban la actividad de dicha enzima. La concentración de C18:2 n-6 (ácido linoleico) fue un 28% superior en el pienso convencional (tratamiento control) que en la cebada. Por ello, la concentraciones de C18:2 n-9 y de C20:4 n-6, y, como consecuencia, de POLI, fueron superiores en los cerdos del tratamiento control, mientras que ocurrió lo contrario respecto al C18:4 n-3, ácido graso derivado del C18:3 n-3 (ácido linolénico). Los ácidos linoleico y linolénico utilizan el mismo complejo enzimático (deltas-6 y 5 desaturasas) (Sprecher, 1999) y cuando la concentración de linoleico es baja en la ración, como ocurre en la cebada, se favorece la formación de ácidos grasos derivados del linolénico, entre ellos el C18:4 n-3 (Garg *et al.*, 1988; Cava y Andrés, 2001). Un aumento de la concentración del C18:4 n-3 en la grasa intramuscular del jamón fue encontrado por Daza *et al.* (2011a) en cerdos pesados que consumieron cebada granulada entre los 90 y 130 kg.

Según los resultados expuestos en la Tabla 6 es interesante resaltar que el aumento del porcentaje de GIM condujo a un incremento paralelo de las proporciones de los ácidos grasos C18:1 n-9 y MONO y a una reducción de los ácidos grasos POLI, aspectos sin duda interesantes para la mejora genética ya que la selección del contenido de GIM conduciría también a una mejora de la calidad de la grasa. Estos resultados han sido también observados por Daza *et al.* (2010), Olivares *et al.*

(2009) y Daza *et al.* (2011b). Así mismo, Cánovas *et al.* (2009) evidenciaron relaciones lineales positivas entre la expresión proteica de la enzima delta-9 desaturasa y el contenido de GIM, la proporción de MONO y el índice de insaturación C18:1 n-9/C18:0. Los valores obtenidos en este estudio de los índices de calidad de la grasa PUFA/SAT y n-6/n-3 concuerdan con los encontrados por Daza *et al.* (2011a), aunque en lo que respecta al índice de calidad n-6/n-3 queremos subrayar que los valores obtenidos en este experimento están muy por encima de cuatro, valor recomendado por el Departamento Británico de Salud (Department of Health, 1994), lo que, evidentemente, se explica por el elevado contenido de ácido linoleico de los cereales incluidos en los piensos experimentales utilizados en este estudio.

En lo que concierne al efecto del sexo, otros autores han observado mayor ganancia media diaria, mayor consumo de pienso y peor índice de conversión en machos castrados que en hembras (Latorre *et al.*, 2003 y 2004). Sin embargo, como en nuestro experimento, Peinado *et al.* (2008) no encontraron efecto del sexo sobre el índice de conversión y Latorre *et al.* (2008) sobre la ganancia media diaria. El mayor espesor de grasa a nivel del *Gluteus medius* en los machos castrados que en las hembras de nuestro estudio concuerda con los resultados de Latorre *et al.* (2004). Sin embargo, contrariamente a nuestras observaciones, tales autores obtuvieron un mayor rendimiento a la canal y un menor perímetro del jamón en hembras que en machos castrados.

La literatura dispone de pocos trabajos que hayan abordado el estudio de la influencia del sexo sobre el porcentaje de GIM y el perfil de ácidos grasos de la misma. Peinado *et al.* (2008) y Alonso *et al.* (2009) encontraron que los machos castrados tenían mayor porcentaje de GIM y menor proporción de ácido linoleico que las hembras enteras, lo que concuerda con lo observado en el presente experimento.

Conclusiones

A tenor de los resultados obtenidos en este trabajo se concluye que la sustitución del pienso convencional por cebada granulada no afecta a la mayoría de las características de la canal, mejora la calidad de la carne y de la GIM de cerdos pesados destinados a la producción de Jamón de Teruel. Sin embargo, si la sustitución de pienso convencional por cebada se inicia a los 41 o 63 días de cebo (65 o 85 kg de peso) se penalizan los resultados productivos y, como consecuencia, probablemente, el coste de producción del cerdo cebado.

Aunque el número de cerdos utilizados en este experimento ha sido bajo, parece que el espesor de grasa a nivel del músculo del jamón *Gluteus medius* de los machos castrados es superior que el de las hembras, mientras que la proporción de ácido linoleico es superior en las hembras que en los machos castrados.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a la Asociación Turolense de Industrias Agroalimentarias (ATIA), sin cuya generosa ayuda no hubiera sido posible la realización de este estudio.

Bibliografía

- AICE (Asociación de Industrias de la Carne de España), 2010. El sector cárnico. <http://www.info@aice.es>
- Alonso V, Campo MM, Español S, Roncales P, Beltrán JA, 2009. Effect of crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Science*, 81:209-217.
- Boletín Oficial del Estado, 2005. Real Decreto 1201/2005 sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos. *Boletín Oficial del Estado*, 252:3467-34391.
- Cánovas A, Tor M, Pena RN, Dorán O, Estany J, 2009. Efecto de la selección contra grasa dorsal a grasa intramuscular constante en la expresión proteica de las enzimas ACC y SCD porcinas. AIDA, XIII Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza 12 y 13 de mayo de 2009, Tomo I: 78-80.
- Castell AG, Cliplef RL, Poste-Flynn LM, Butler G, 1994. Performance, carcass and pork characteristics of castrates and gilts self-fed diets differing in protein content and lysine:energy ratio. *Canadian Journal of Animal Science*, 74:519-528.
- Cava R, Andrés AI, 2001. La obtención de la materia prima de una adecuada aptitud tecnológica. Características de la grasa determinantes de la calida del jamón: influencia de los factores genéticos y ambientales. En: *Tecnología del Jamón Ibérico* (Coordinador J. Ventanas), Ed Mundi Prensa, pp 99-129.
- Cisneros F, Ellis M, Mc Keith FK, Mc Caw J, Fernando RL, 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, comercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74:925-933.
- Consejo Regulador Denominación de Origen Jamón de Teruel, 2011. <http://www.jamonde-teruel.com>
- Daza A, Rey AI, Olivares A, Cordero G, Toldrá F, López-Bote CJ, 2009. Physical activity-induced alterations on tissue lipid composition and lipid metabolism in fattening pigs. *Meat Science*, 81:641-646.
- Daza A, Latorre MA, López-Bote CJ, 2010. The use of barley as single ingredient in the diet provided during the finishing period may improve the meat quality of heavy pigs from PO Teruel ham (Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3): 607-616.
- Daza A, Latorre MA, López-Bote CJ, 2011a. The effect of granulated barley as only ingredient in the growing or finishing diet on productive performance, carcass, meat and fat quality of heavy pigs. *Animal* (aceptado para publicación). N° de manuscrito: 11-606669R1.
- Daza A, Sobreviela A, Palomo A, Garcés C, Cano JL, López-Bote CJ, 2011b. Efecto de la alimentación líquida y del sexo sobre la calidad de la canal, de

- la carne y de la grasa de cerdos pesados de la Denominación de Origen Jamón de Teruel. AIDA, XVI Jornadas sobre Producción Animal, Zaragoza, 17 y 18 de mayo de 2011, Tomo II: 595-597.
- Department of Health, 1994. Nutritional aspects of the cardiovascular disease. Report of health and social subjects. n° 46 London, Her Majesty's Stationery Office.
- D' Souza DN, Pethick DW, Dunshea FR, Pluske JR, Mullan BP, 2003. Nutritional manipulation increases intramuscular fat levels in the *Longissimus dorsi* muscle of female finisher pigs Australian Journal of Agricultural Research, 54: 745-749.
- Enser M, 1975. Desaturation of stearic acid by liver and adipose tissue from obese-hyperglycemic mice. Biochemical Journal, 148: 381-385.
- FEDNA, 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ª Edición (Coordinada y Dirigida por C. de Blas, G.G Mateos y P García Rebollar) Ed Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 502 pp.
- Folch J, Lees M, Stanly GH, 1956. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. Journal of Biological Chemistry, 266: 497-509.
- Garg ML, Thompson ABR, Clandinin MT, 1988. Effect of dietary cholesterol and/or n-3 fatty acids on lipid composition and D-5 desaturase activity in rat liver microsomes. Journal of Nutrition, 118:661-668.
- Kerr BJ, Mc Keith FK, Easter RA, 1995. Effect of performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein amino acid supplemented diets. Journal of Animal Science, 80:617-627.
- Latorre MA, Medel P, Fuentetaja A, Lázaro R, Mateos GG, 2003. Effect of gender, terminal sire line and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. Animal Science, 77:33-45.
- Latorre MA, Lázaro R, Valencia DG, Medel P, Mateos GG. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. Journal of Animal Science, 82:526-533.
- Latorre MA, García-Belenguer E, Ariño L, 2008. The effects of sex and slaughter weight on growth performance and carcass traits of pigs intended for dry-cured ham from Teruel (Spain). Journal of Animal Science, 86:1933-1942.
- López-Bote CJ, Isabel B, Ruiz J, Daza, A, 2003. Effect of vitamin E supplementation and partial substitution of poly- with monounsaturated fatty acids in pigs diets on muscle, and microsome extract α -tocopherol concentration and lipid oxidation. Archives of Animal Nutrition, 57:11-25.
- López-Bote CJ, Rey AI, Menoyo D, 2004. Efecto de la alimentación en la composición y características de la grasa. Porci, 84:34-58.
- MARM, 2010. Anuario de Estadística Agraria. <http://www.marm.es>
- Olivares A, Daza A, Rey AI, López-Bote CJ, 2009. Interactions between genotype, dietary fat saturation and vitamin A concentration on intramuscular fat content and fatty acid composition in pigs. Meat Science, 82:6-12.
- Peinado J, Medel P, Fuentetaja A, Mateos GG, 2008. Influence of castration of females on growth performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined to the dry-cured industry. Journal of Animal Science, 86:1410-1417.
- SAS, 1999. Statistics. In: SAS user's guide. Cary NC: Statistical Analysis system Inst. Inc.
- Sprecher H, 1999. Interactions between metabolism of n-6 and n-3 fatty acids. Journal of Internal Medicine, 225:5-11.
- Wirth A, Heuch CC, Holm G, Bjorntoro G, 1980. Changes in the composition of fatty acids of total lipids in various tissues and serum due to physical training and food restriction in the rat. Scandinavian Journal of Clinical Laboratory Investigation, 40: 55-61.
- Witte DP, Ellis M, Mac Keith FK, Wilson ER, 2000. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. Journal of Animal Science, 78: 1272-1276.

(Aceptado para publicación el 6 de marzo de 2012)