



UNIVERSIDAD
DE
CÓRDOBA

**EVALUACIÓN DEL ULTRASONIDO EN
TIEMPO REAL PARA PREDECIR LA
COMPOSICIÓN GRASA Y MUSCULAR DE LA
CANAL DEL CERDO IBÉRICO Y LA
INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN EN LAS
CARACTERÍSTICAS DEL TEJIDO GRASO**

**TESIS DOCTORAL POR COMPEDIO DE
PUBLICACIONES**

DOLORES AYUSO CARRIZOSA

2016

TITULO: *Evaluación del ultrasonido en tiempo real para predecir la composición grasa y muscular de la canal del cerdo ibérico y la influencia de la alimentación en las características del tejido graso*

AUTOR: *Dolores Ayuso Carrizosa*

© Edita: UCOPress. 2016
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



UNIVERSIDAD
DE
CÓRDOBA

**EVALUACIÓN DEL ULTRASONIDO EN
TIEMPO REAL PARA PREDECIR LA
COMPOSICIÓN GRASA Y MUSCULAR DE LA
CANAL DEL CERDO IBÉRICO Y LA
INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN EN LAS
CARACTERÍSTICAS DEL TEJIDO GRASO**

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA
POR

DOLORES AYUSO CARRIZOSA

DIRECTORES

Dr. Francisco Peña Blanco Dra. Ana M^a González Martínez

Dra. Mercedes Izquierdo Cebrián

Córdoba, Julio 2016



TÍTULO DE LA TESIS: Evaluación del ultrasonido en tiempo real para predecir la composición grasa y muscular de la canal del cerdo Ibérico y la influencia de la alimentación en las características del tejido graso

DOCTORANDO/A: Dolores Ayuso Carrizosa

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La Tesis Doctoral que se presenta se ha elaborado a modo de "compendio de publicaciones", al estar integrada por cuatro artículos publicados en revistas ISI, de gran impacto en las categorías de Agriculture, Dairy & Animal Science, Food Science & Technology, Multidisciplinary Science y un artículo que actualmente se encuentra en fase de revisión en otra revista indexada. Con los resultados de la presente Tesis se ha podido comprobar que la ultrasonografía *in vivo* es una técnica de utilidad en la diferenciación del sistema de alimentación en la fase final de cebo en el Cerdo Ibérico y que puede predecir las características cárnicas de la canal del cerdo Ibérico, pudiendo ser incluida en el programa de selección del Cerdo Ibérico. También se ha podido constatar cómo afecta la duración de la fase final del cebo en montanera a la composición y desarrollo de los tejidos grasos del Cerdo Ibérico. La tesis se ha estructurado en 3 capítulo:

Capítulo 1: Efecto del sexo y sistema de cebo en medidas de ultrasonido y en canal del cerdo Ibérico. Este capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

✓ Ayuso D., González A., Hernández F., Peña F., Izquierdo M. Effect of sex and final fattening on ultrasound and carcass traits in Iberian pigs. *Meat Science*, 96 (2014) 562–567.

Capítulo 2: Predicción de la composición de la canal, del peso de jamones y paletas y los rendimientos de las piezas cárnicas mediante el empleo de medidas de ultrasonido en el cerdo Ibérico. Este capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

✓ Ayuso D., González A., Hernández F., Corral J.M., Izquierdo M. Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. J. Anim. Sci. 2013.91:1884–1892.

Capítulo 3: Efecto de la duración de la fase final de cebo (Montanera) en el tamaño de las células adiposas del mm *longissimus dorsi* y en el perfil de ácidos grasos de las capas del tejido adiposo en el cerdo Ibérico criado en sistema de explotación extensivo. Este último capítulo está integrado por dos trabajos:

✓ Ayuso D., González A., Peña F., Izquierdo M. Changes in adipose cells of Longissimus dorsi muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions. Anais da Academia Brasileira de Ciências, accept (01-Mar-2016).

✓ Ayuso D., González A., Peña F., Martínez, A., Izquierdo M. Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Artículo actualmente sometido a revisión.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, _20_ de _Junio_ de _2016_

Firma del/de los director/es



Fdo.: Francisco Peña Blanco Fdo.: Ana González Martínez Fdo.: Mercedes Izquierdo Cebrián

*A MI FAMILIA, EN ESPECIAL A MI ABUELO JUAN CUYO
RECUERDO SIGUE HACIÉNDOME FELIZ*

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el resultado del esfuerzo y la dedicación de un grupo de personas a las que quiero expresarles mi más sincero agradecimiento, entre los que están mis directores, por su gran labor tutorial, sus conocimientos, enorme paciencia y confianza.

A Ana González, porque sus conocimientos, su manera de trabajar, persistencia, paciencia y motivación han sido fundamentales para concluir con éxito este proyecto que parecía interminable. Gracias de corazón.

A mis padres por educarme, quererme y cuidarme.

A mi hermano y hermana, compañeros inmejorables de mi vida.

A mi marido y mis hijos que cada día me hacen más feliz.

A mis amigos con los que he compartido momentos inolvidables.

A todos los compañeros de trabajo con los que he tenido la suerte de compartir parte de mi vida y aprender junto a ellos, en especial a Lourdes, Javier, Sole y Juanma, qué bueno es encontrarse con buenas personas en la vida.

Al Instituto Nacional de Investigación Agraria, Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura y la Universidad de Córdoba por poner los medios para que esta tesis sea posible.

A los que no he citado pero que han hecho posible que esto salga adelante, a todos ellos gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE.....	13
RESUMEN.....	17
INTRODUCCIÓN.....	27
OBJETIVOS.....	43
REVISIÓN REVISION BIBLIOGRAFÍA.....	47
MATERIAL Y MÉTODOS.....	89
CAPÍTULO I.....	103
CAPÍTULO II.....	131
CAPÍTULO III.....	159
DISCUSIÓN GENERAL.....	201
CONCLUSIONES.....	239
REFERENCIAS.....	245
LISTADO DE PUBLICACIONES.....	261

RESUMEN

RESUMEN

El objetivo principal de la presente Tesis Doctoral es evaluar la tecnología ecográfica para su uso en la mejora de la calidad de la canal *in vivo* y para caracterizar los sistemas de engorde final y sus depósitos grasos en el cerdo Ibérico.

Esta Tesis Doctoral se divide en tres capítulos que se corresponde con el efecto que el sexo y la alimentación tiene sobre la canal del Cerdo Ibérico, con la capacidad de predicción de las medidas tomadas *in vivo* mediante ultrasonido para establecer la composición de la canal y con el efecto que tiene la duración de la montanera sobre el desarrollo y composición de los tejidos adiposos. Cada uno de estos capítulos está integrado por artículos científicos incluidos en revistas ISI en los que se han publicado (o están en vías de publicación) los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente tesis.

En el primer capítulo se aborda el efecto del sistema de alimentación y del sexo en los atributos de la canal (espesor de la grasa dorsal y área del lomo medida con ultrasonido antes del sacrificio, contenido de grasa intramuscular y peso y rendimientos de los jamones, paletas y lomos después del sacrificio). Se ha querido caracterizar los sistemas de engorde más comúnmente utilizados en el Cerdo Ibérico como son la Montanera, Recebo y Cebo con pienso comercial, e incluir un cebo con piensos enriquecidos con ácido oleico. A este capítulo corresponde el siguiente trabajo:

- ✓ Effect of sex and final fattening on ultrasound and carcass traits in Iberian pigs. D. Ayuso, A. González, F. Hernández, F. Peña, M. Izquierdo. *Meat Science*, 96 (2014) 562–567.

En el segundo capítulo se presenta un estudio sobre la evaluación de la correlación existente entre las mediciones de la composición corporal tomadas *in vivo* mediante ultrasonografía en Cerdo Ibérico y las tomadas en la canal con el fin de desarrollar modelos predictivos que estimen el peso y rendimientos de los cortes cárnicos (jamones, paletas y lomos). Una vez confirmada la utilidad de esta técnica se posibilitaría, por un lado, determinar *in vivo* la composición grasa y el rendimiento cárnico, permitiendo así tomar decisiones de tipo comercial previas al sacrificio y reducir costes y complicaciones derivados de la toma de datos en matadero, así como evaluar animales que, inicialmente o tras la ecografía, sean destinados a la reproducción; y por otro evaluar, como consecuencia, un gran número de individuos, obteniendo así unos valores genéticos más eficaces e incrementando la respuesta a la selección, de forma que se puedan aplicar de forma eficiente programas de selección genética dirigidos a reducir la grasa de cobertura sin afectar al contenido de grasa intramuscular en el Cerdo Ibérico. Este capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

- ✓ Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. D. Ayuso, A. González, F. Hernández, J. M. Corral, M. Izquierdo. *Journal of Animal Science*, 2013.91:1884–1892.

Por último, el tercer capítulo se centra en la fase de engorde del Cerdo Ibérico, la Montanera, evaluando y caracterizando el efecto de la duración de esta fase de engorde sobre el tamaño de los adipocitos y su relación con el espesor de la grasa dorsal y el contenido de grasa intramuscular. Igualmente se analiza la evolución del desarrollo de las tres capas de la grasa dorsal y se evalúa la influencia de la duración de la montanera en el perfil de ácidos grasos de la grasa dorsal e intramuscular. Los trabajos que componen este último capítulo son los siguientes:

- ✓ Changes in adipose cells of *Longissimus dorsi* muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions. D. Ayuso, A. González, F. Peña, M. Izquierdo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, accept (01-Mar-2016).
- ✓ Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions. D. Ayuso, A. González, F. Peña, A. Martínez, M. Izquierdo. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Artículo actualmente sometido a revisión.

Teniendo en cuenta los resultados se puede recomendar el uso de la técnica de ultrasonido para la diferenciación de sistema de alimentación en la fase final de cebo del Cerdo Ibérico, debiéndose de ser incluida en el Esquema de Selección de la raza. Además la correlación existente entre el tamaño del adipocito (que a su vez presenta un incremento significativo con la duración de la montanera) y el espesor de la capa interna de la grasa dorsal hace que éste sea un buen indicador de infiltración grasa en Cerdo Ibérico engordado en montanera. Y por último,

la composición de ácidos grasos de la grasa dorsal es un estimador aceptable del perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular.

SUMMARY

The main goal of this Thesis is to evaluate the ultrasound technology for use in improving the quality *in vivo* of the carcass and to characterize the fattening systems and fatty deposits in the Iberian pig.

This Thesis is divided into three chapters corresponding to the effect of sex and final fattening on the carcass of the Iberian pig, with the predictability capacity of the measures taken *in vivo* using ultrasound to establish the composition of the carcass and the duration of the "montanera" effect on the development and composition of adipose tissues. Each of these chapters is composed of scientific papers included in ISI journals where have been published (or are in the process of publication) the results obtained during the development of this thesis.

In the first chapter the effect of feeding system and sex in the attributes of the carcass (backfat thickness and loin area measured with ultrasound before slaughter, intramuscular fat content and weight and yields of hams, forelegs and loins after slaughter) was evaluated. It has been characterized the most commonly farming systems used in the Iberian pig such as "Montanera", "Recebo" and "Cebo" with commercial feed, and include a high oleic fed. This chapter corresponds to the following work:

- ✓ Effect of sex and final fattening on ultrasound and carcass traits in Iberian pigs. D. Ayuso, A. González, F. Hernández, F. Peña, M. Izquierdo. *Meat Science*, 96 (2014) 562–567.

In the second chapter is present a study on the evaluation of the

correlation between measurements of body composition taken *in vivo* by ultrasonography in Iberian pig and those taken into the carcass in order to develop predictive models to estimate the weight and yields meat cuts (hams, forelegs and loins). Once confirmed the usefulness of this technique is it possible, on one hand, to determine *in vivo* fat composition and meat yield, allowing commercial decisions previous slaughter and reduce costs and complications arising from data collection in slaughterhouse, as well as evaluating animals initially or after ultrasound, they are intended for breeding; and secondly evaluate, as a result, a large number of individuals, obtaining more effective genetic values and increasing the response to the selection, so that may be applied efficiently breeding programs aimed at reducing the fat cover without affect the content of intramuscular fat in the Iberian pig. This chapter consists of the following work:

- ✓ Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. D. Ayuso, A. González, F. Hernández, J. M. Corral, M. Izquierdo. *Journal of Animal Science*, 2013.91:1884–1892.

Finally, the third chapter focuses on the final fattening phase of Iberian pig,” Montanera”, evaluating and characterizing the effect of the duration of this phase on the adipocyte size and their relationship with backfat thickness and intramuscular fat content. Also the evolution of development of three layers of backfat and the influence of the length of the ”motnanera” in the

fatty acid profile of backfat and intramuscular fat was analyzed.

The works that make up this last chapter are:

- ✓ Changes in adipose cells of *Longissimus dorsi* muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions. D. Ayuso, A. González, F. Peña, M. Izquierdo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, accept (01-Mar-2016).
- ✓ Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions. D. Ayuso, A. González, F. Peña, A. Martínez, M. Izquierdo. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Artículo actualmente sometido a revisión.

According with the results may recommend the use of ultrasound technique for differentiating feed system in the final phase of fattening in Iberian pig, will be included in Scheme Selection of the breed. In addition the correlation between adipocytes size (which in turn presents a significant increase with the length of the mast) and the thickness of the inner layer of backfat makes this a good indicator of fatty infiltration in Iberian pig fattened in “montanera”. And finally, the fatty acid composition of the backfat is an acceptable estimator of the fatty acid profile of intramuscular fat.

INTRODUCCIÓN

La población del Cerdo Ibérico ha ido variando a lo largo de los años, siendo a mediados de los años `80 cuando empieza a recuperarse con una diversificación de los sistemas productivos (Vargas & Tovar, 2001). El crecimiento del censo es debido principalmente a la desaparición de la Peste Porcina Africana, al aumento en la consideración social de los productos, tanto curados como frescos del Cerdo Ibérico, y al interés medioambiental en fomentar la producción agropecuaria extensiva. La cabaña española del Cerdo Ibérico tenía un censo en el año 2014 de 2.175.022 cabezas, existiendo en la CCAA de Extremadura un total de 919.246 cabezas (MAGRAMA, 2014). Precisamente en Extremadura la producción del Cerdo Ibérico ha pasado de ser una actividad de tipo familiar a convertirse en un sector organizado con gran importancia económica en la región y con un tejido empresarial especializado y consolidado. El crecimiento de la industria porcina ha provocado una nueva orientación de los objetivos generales de producción y, si bien caracteres tradicionales como la prolificidad y el crecimiento de los lechones siguen siendo importantes, se tiende a concentrar el esfuerzo en la obtención de productos homogéneos y de mayor calidad que satisfagan la demanda del consumidor. Para ello las pautas alimenticias, junto con la mejora genética, proporcionan una herramienta muy útil para la consecución de estos nuevos objetivos.

La producción de productos del Cerdo Ibérico está regulada por el Estado a través de una Norma de Calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo Ibérico (BOE, 2014). El

objetivo de dicha Norma es definir las características de calidad que deben reunir los productos derivados del Cerdo Ibérico y regularizar el mercado mediante empresas certificadoras que aseguren el amparo al consumidor. La obtención de productos de alta calidad está tradicionalmente asociada a la producción de razas autóctonas. La principal característica que condiciona la calidad de la carne de cerdo, tanto en fresco como en curado, es la cantidad de grasa intramuscular y su composición en ácidos grasos (Ventanas y col., 1999), valorando positivamente un alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados, ya que se asocian a una superior fluidez y capacidad de formación de compuestos aromáticos en los productos curados. Se ha demostrado además, que el porcentaje de grasa intramuscular está relacionado positivamente con atributos sensoriales de la carne de cerdo, como jugosidad, palatabilidad e incluso ternura (Fernández y col., 2006; Ragland, 1998) y que el rango óptimo de grasa intramuscular se sitúa entre el 5 y el 10% en el Cerdo Ibérico (según datos de AECERIBER) y mientras que en el cerdo blanco el rango se sitúa entre el 2 y el 3% (Bejerholm & Barton Gade, 1986). La elevada cantidad de grasa intramuscular presente en canales de Cerdo Ibérico va generalmente acompañada de un elevado espesor de la grasa de cobertura, ya que, según algunos autores (Hoventer y col., 1992) estos dos depósitos grasos muestran una correlación genética positiva, aproximadamente de 0.37. Debido a esta correlación positiva, en las razas de cerdos seleccionadas para la obtención de carnes magras mediante la disminución del espesor del tocino dorsal, el

contenido en grasa intramuscular ha disminuido por debajo de los niveles aceptables, lo que ha producido un rechazo de estas carnes por parte de los consumidores (Cameron, 1991). Se podría afirmar que la industria del Cerdo Ibérico tiene una producción elevada de grasa de cobertura (que necesitaría reducir) para unos determinados niveles de grasa intramuscular.

Los rendimientos de las piezas nobles en el Cerdo Ibérico (jamón, paleta y lomo) son muy bajos, entre un 25 y 30 % del peso de la canal (Clemente y col., 2008). En general, el rendimiento de las piezas nobles aumenta a medida que disminuye el engrasamiento de la canal. Numerosos trabajos muestran que las razas o cruces comerciales (Tibau y col., 1997; Fisher y col., 2006; Renaudeau & Mourot, 2007) seleccionados hacia una alta producción cárnica, presentan un rendimiento en piezas nobles respecto al peso de la canal mayor al de las razas tradicionales (Barba, 1999; Ramírez & Cava, 2007). Por tanto una selección genética específica en el Cerdo Ibérico orientada a mejorar los rendimientos cárnicos sin deterioro de la calidad organoléptica de la carne que le confiere la grasa infiltrada sería de gran importancia para el porcino, uno de los sectores económicamente más importantes en el sector ganadero extremeño.

Las mediciones en vivo de parámetros de calidad de la canal como el espesor de grasa dorsal, el área del lomo, el porcentaje de grasa intramuscular, así como predecir rendimientos lograrían acortar los tiempos y facilitar la selección de la cabaña ibérica. El aumento del veteado en la carne del cerdo va

acompañado generalmente de un elevado espesor de grasa de cobertura. Aunque para algunos autores esta grasa de cobertura y la grasa intramuscular muestran una correlación positiva en porcino, para otros no es así. Por ejemplo, Wilson y col. (1993) obtuvieron estimas cercanas a cero y por tanto sería factible reducir la grasa de cobertura hasta cierto nivel sin por ello reducir la grasa intramuscular de forma significativa. Un dato importante es que la heredabilidad de la grasa intramuscular es alta, y así Koots y col. (1994) e Izquierdo y col. (1996) la cifran en valores cercanos a 0.5, aunque en Cerdo Ibérico los valores obtenidos son inferiores (0.37, García Cascos y col., 2008). En el Cerdo Ibérico las heredabilidades del porcentaje de jamones, paletas y lomos ajustados al peso de la canal son elevadas, entre 0.40 y 0.50, y las correlaciones entre ellas positivas, lo cual indica que dichos caracteres están en parte controlados por un mismo grupo de genes. La correlación genética de la grasa intramuscular fue negativa (-0.19 para porcentaje de jamón y -0.23 para el porcentaje de lomo) con el porcentaje de jamones y lomo y casi cero con el porcentaje de paletas (García Cascos y col., 2008).

La mayoría de los programas de mejora genética actuales intentan aumentar el contenido en grasa intramuscular sin elevar el espesor de la grasa de cobertura. Según García Cascos y col. (2008), en el Cerdo Ibérico sería posible, a corto plazo, realizar un esquema de selección efectivo para aumentar el porcentaje de piezas nobles en las canales y priorizar la mejora en el rendimiento de las paletas en concreto, pero a medio plazo el

esquema de selección debería modificarse e incorporar el contenido en grasa intramuscular al objetivo de selección para evitar un descenso en la calidad de la carne.

Para poder seleccionar un carácter hay que medirlo de forma fácil, económica y fiable, pero las medidas que se realizan directamente en la canal y la carne de los animales son muy caras, por ello la técnica del ultrasonido podría ser una gran alternativa. La investigación sobre el uso del ultrasonido en cerdos comenzó a mediados de 1950 (Hazel & Kline, 1959) y los primeros trabajos se centraban en medir la grasa dorsal como indicador de gordura y la profundidad del lomo como indicador de musculatura. Investigaciones posteriores evaluaron el ultrasonido en el animal in vivo observando las correlaciones (85-97%) entre las medidas ultrasónicas y las de la canal tomadas directamente (Schinkel y col., 1994). También se ha utilizado el ultrasonido en tiempo real para mejorar atributos de calidad de canal y carne *in vivo* (Wilson, 1992; Newcom y col., 2002). El vacuno de carne y el porcino blanco han sido las especies en las que más se ha utilizado la tecnología de ultrasonidos con resultados satisfactorios. Por ejemplo, según estudios de la Universidad de Iowa esta técnica proporciona medidas fiables de la grasa de cobertura y el área de la chuleta y también medidas aceptables, aunque menos precisas, de la grasa intramuscular, tanto en la especie bovina (Izquierdo y col., 1996) como en el porcino de raza Duroc (Schwab y col., 2004). En el Cerdo Ibérico encontramos investigaciones sobre el uso del ultrasonido para la predicción de las piezas nobles

(rendimientos de jamones y paletas) a partir de variables ecográficas tomadas *in vivo* (Daza y col., 2006).

Poder obtener estimas fiables de composición de canal supone un gran avance para valorar individuos genéticamente, y además estas medidas de canal pueden servir para predecir otros parámetros de interés productivo. La posibilidad de evaluar la composición de la canal *in vivo* mediante el ultrasonido en tiempo real a través de medidas indicadoras del rendimiento de la canal (grasa dorsal, área del lomo, etc.) así como estimar el porcentaje de grasa intramuscular con ultrasonido y análisis de imagen resultaría de gran utilidad en el sector del Cerdo Ibérico.

Muchos han sido los estudios encaminados a evaluar la fiabilidad de las medidas ecográficas. Según Wilson (1992), estas medidas deben poder realizarse con una fiabilidad que permita una comparación directa entre el carácter ultrasónico y el carácter medido en la canal. Los parámetros estadísticos utilizados para determinar la fiabilidad entre las medidas de ultrasonidos y las medidas realizadas directamente en la canal se definen en el trabajo de MacNeil (1983). Un trabajo realizado por Greiner y col. (1996) demuestra que la grasa de cobertura se puede medir con un sesgo medio (medida en canal – medida ecográfica) de 0.01 pulgadas, una diferencia media absoluta de 0.04 pulgadas y un error estándar de predicción (SEP) de 0.06 pulgadas. Igualmente, el área del *Longissimus dorsi* se puede medir con un sesgo medio de -0.16 pulgadas cuadradas, una diferencia media absoluta de 0.42 y un SEP de 0.52 pulgadas cuadradas. Predicciones similares fueron descritas también por

Bergen y col. (2003) en toros jóvenes de Canadá. Hassen y col. (1996) encontraron correlaciones entre medidas ecográficas y en la canal de 0.70 para el espesor de la grasa y de 0.50 para el área del *Longissimus dorsi*. Otros autores demostraron una correlación entre las medidas de ultrasonido y las de la canal de 0.89 para grasa de cobertura y de 0.86 para el área del *Longissimus dorsi* (Greiner y col., 2003). Uno de los problemas que presenta esta técnica es que es dependiente del técnico que la aplica e incluso del ecógrafo que se utiliza (Hassen y col., 2001; Herring y col. 1994). Una conclusión general es que la técnica de ultrasonido proporciona una predicción muy buena de estos caracteres, a veces incluso mejor que la propia medida de la canal (Berthour, 1992). También se mostró que la medida del espesor de la grasa dorsal es más precisa que la del área del *Longissimus dorsi*, pero en todos los casos es necesario un buen entrenamiento de los técnicos de forma que obtengan una gran repetitividad (McLaren, 1991; Smith, 1992; Herring, 1994).

Otras medidas de grasa de cobertura y profundidad del músculo se han evaluado a nivel de la zona glútea de los animales con el fin de incrementar la fiabilidad de las ecuaciones para predecir rendimiento cárnico con resultados diversos. Bergen y col. (2003) no encontraron diferencias en las predicciones de rendimiento cárnico al introducir el espesor de la grasa de la grupa o el espesor del glúteo medio, mientras que Williams y col. (1997), al introducir las medidas realizadas en la grupa, incrementaron el coeficiente de determinación de la predicción, y además concluyeron que las medidas ultrasográficas predicen

con la misma fiabilidad que las medidas convencionales tomadas en la canal por los técnicos oficiales del USDA (Departamento de Agricultura de EEUU).

La grasa intramuscular es también un carácter de gran importancia en la industria bovina, aunque en España no se paguen las canales con relación a este carácter como se hace en otros países (EEUU). Pero este carácter sí que influye en la aceptación por parte de los consumidores de una determinada carne u otra, y además está relacionada con la jugosidad y otros atributos de calidad de carne (Lo y col., 1992). El porcentaje de grasa intramuscular también se puede medir con ultrasonidos, aunque no es una medida tan directa como las anteriores, ya que requiere un proceso intermedio de análisis de imágenes (Izquierdo y col., 1996; Amin y col., 1996; Newcom y col., 2002) porque, a simple vista, si bien se pueden distinguir ciertas estructuras, no se pueden discriminar con cierta fiabilidad diferencias en porcentaje de grasa intramuscular. Hassen y col. (1999) indicaron que haciendo la media del porcentaje de grasa intramuscular de varias imágenes se logra más precisión que midiendo una sola imagen. Brethour (1994) utilizó medidas de textura y *neuronal networking* (NN) para predecir grasa intramuscular mediante ultrasonidos. La fiabilidad del ultrasonido era similar a la de un evaluador subjetivo, y este autor analizó más de 500 parámetros de textura de imágenes con NN, siendo los resultados más fiables que en un modelo multi-regresivo. Brethour (2000) concluyó que estimas de grasa de cobertura e intramuscular realizadas durante el cebo pueden

predecir la calidad de la canal al sacrificio, y según Bergen y col. (2004) el rendimiento cárnico de toros jóvenes se puede predecir con fiabilidad utilizando medidas ultrasónicas de espesor de grasa subcutánea y de profundidad del músculo.

Son muchos los trabajos que se han realizado para predecir el rendimiento cárnico en vacuno utilizando las medidas de ultrasonido de espesor de grasa dorsal y área del *Longissimus dorsi* (Greiner y col., 1996 y 1997; Hassen y col. 1997; Bethour, 2000; Bergen y col. 2004; Wall y col. 2004; Tait y col. 2005). Todos estos trabajos han hecho posible que en la actualidad algunas asociaciones ganaderas e incluso la Federación de Mejora de Bovino (BIF) en Estados Unidos hayan incluido estas medidas en sus esquemas de selección. En esta misma línea se ha intentado predecir el rendimiento cárnico en porcinos. Así, Moeller (2002) describe con detalle el uso de las medidas de ultrasonido por parte de la industria porcina. No obstante, la importancia del rendimiento cárnico del Cerdo Ibérico no es tan relevante, como en el resto de las razas intensivas, sino que lo más importante es el peso de las piezas nobles.

El desarrollo de la presente tesis doctoral tiene lugar dentro de dos proyectos de investigación:

1. RTA2007-00093-00-00: "Evaluación de la ultrasonografía en tiempo real como tecnología no invasiva para determinar la composición de la canal del Cerdo Ibérico" cuyo objetivo fue evaluar la técnica de ultrasonido de tiempo real para medir el espesor de grasa dorsal, el área del lomo y el porcentaje de grasa

intramuscular de porcinos ibéricos in vivo y desarrollar modelos estadísticos para estimar parámetros de calidad de canal de porcinos ibéricos (peso de jamones, paletas, lomos y rendimiento cárnico), utilizando las medidas ultrasónicas junto con otras medidas in vivo, y en un futuro ofrecer una herramienta al ganadero y al productor de Cerdo Ibérico que le permita predecir la calidad potencial de la carne que ofrece al consumidor. Cubriendo así mismo las necesidades del industrial con un instrumento para la clasificación de animales con características de calidad homogéneas y adecuadas a cada tipo de mercado. De esta forma tanto productor primario como industrial pueden disponer de una nueva fuente de información sobre el ganado o las canales para tomar decisiones de manejo, tipo de alimentación o momento de sacrificio. Esta herramienta es viable económicamente, rápida, no invasiva, precoz en la vida del animal y eficaz. Y todo ello sin gran consumo de recursos humanos ni de tiempo. Para la realización de este proyecto se utilizaron 241 cerdos castrados (machos y hembras) de la raza Ibérica de la Finca La Orden-Valdesequera, Página: 38 perteneciente al CICYTEX (Centro de Investigación, Ciencia y Tecnología de Extremadura), durante dos años productivos. El equipo investigador se propuso evaluar en esta raza la eficacia de la técnica de ultrasonido en tiempo real para la selección de mejora genética de parámetros productivos de calidad de la canal (grasa dorsal, grasa intramuscular y área del lomo) y obtener las correlaciones de las variables identificadas con la canal, así como las ecuaciones de predicción de los rendimientos

de las piezas nobles a partir de las variables de la canal estudiadas.

2. RTA2008-00026-C07-05: "Evaluación de la alimentación recibida por cerdos ibéricos en la etapa final del cebo utilizando diferentes técnicas instrumentales de análisis. Aplicabilidad y fiabilidad". El objetivo principal del proyecto fue contrastar la utilidad de las alternativas analíticas al perfil de ácidos grasos desarrollados por los diferentes grupos de trabajo, mediante su aplicación a muestras ciegas, es decir, sin conocimiento por parte del investigador del tipo de alimentación al que corresponde cada una de ellas. Contrastar la relación existente entre esa clasificación de la materia prima por los diversos métodos y la posterior calidad final de producto curado (jamones). Como parte de la tesis y de este proyecto se caracterizó la calidad de la canal del Cerdo Ibérico en función de cuatro dietas diferentes que habían recibido los animales en la fase final del cebo mediante el uso del ultrasonido. Igualmente se proyectó un segundo objetivo en nuestro grupo de investigación para caracterizar el perfil de ácidos grasos y el tamaño de los adipocitos de tejidos grasos, grasa dorsal e intramuscular, a lo largo de la Montanera.

El proyecto ha surgido gracias a que investigadores del área de Producción Animal del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) poseen una dilatada experiencia en el uso del ultrasonido como herramienta para la selección genética en razas bovinas y también a demanda del sector porcino, concretamente de AECERIBER. El contenido

está en concordancia con las líneas prioritarias preferentes como la mejora de la transformación y la producción en el ámbito agroalimentario y más en concreto en el manejo sostenible y optimización del rendimiento de los sistemas de producción ganadera.

Por tanto, esta tesis doctoral se divide en tres capítulos. Cada uno de estos capítulos está integrado por artículos científicos incluidos en revistas ISI en los que se han publicado (o están en vías de publicación) los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente tesis.

En el primer capítulo se presenta un estudio sobre la influencia que tiene la alimentación en la fase final del ciclo productivo y el sexo en variables de la calidad de la canal medidas con ultrasonido. Hemos querido caracterizar los sistemas de engorde más comúnmente utilizados en el Cerdo Ibérico como son la Montanera, recebo y cebo con pienso comercial, e incluir un cebo con piensos enriquecidos con ácido oleico.

Los resultados han dado lugar a la siguiente publicación:

- ✓ Effect of sex and final fattening on ultrasound and carcass traits in Iberian pigs. D. Ayuso, A. González, F. Hernández, F. Peña, M. Izquierdo. *Meat Science*, 96 (2014) 562–567.

En el segundo capítulo se aborda la puesta a punto de la tecnología ecográfica *in vivo* adaptándola a la raza Ibérica para evaluar la composición de la canal porcina, que tiene unas especiales características en cuanto a su fisiología de deposición

grasa y tipo de producción, y una vez desarrollada esta técnica se posibilitaría lo siguiente:

- Determinar *in vivo* la composición grasa y el rendimiento cárnico, permitiendo así tomar decisiones de tipo comercial previas al sacrificio y reducir costes y complicaciones derivados de la toma de datos en matadero, así como evaluar animales que, inicialmente o tras la ecografía, sean destinados a la reproducción.
- Evaluar, como consecuencia, un gran número de individuos, obteniendo así unos valores genéticos más eficaces e incrementando la respuesta a la selección, de forma que se puedan aplicar de forma eficiente programas de selección genética dirigidos a reducir la grasa de cobertura sin afectar al contenido de grasa intramuscular en el cerdo Ibérico.

Los trabajos que integran el capítulo son:

- ✓ Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. D. Ayuso, A. González, F. Hernández, J. M. Corral, M. Izquierdo. *Journal of Animal Science*, 2013.91:1884–1892.

Por último, el tercer capítulo se centra en la fase de engorde del Cerdo Ibérico: La Montanera. Caracterizamos los adipocitos de la grasa dorsal a lo largo de la montanera y sus correlaciones con parámetros de calidad de la canal como la grasa intramuscular, así como evaluamos los cambios que sufre el

perfil de ácidos grasos en dos tejidos grasos (dorsal y sus capas e intramuscular) según la duración de la montanera.

Los trabajos que compone este último capítulo son los siguientes:

- ✓ Changes in adipose cells of Longissimus dorsi muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions. D. Ayuso, A. González, F. Peña, M. Izquierdo. Anais da Academia Brasileira de Ciências, accept (01-Mar-2016).
- ✓ Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions. D. Ayuso, A. González, F. Peña, A. Martínez, M. Izquierdo. Artículo actualmente sometido a revisión.

OBJETIVOS

El objetivo principal de la presente Tesis Doctoral es evaluar la tecnología ecográfica para su uso en la mejora de la calidad de la canal *in vivo* y para caracterizar los sistemas de engorde final y sus depósitos grasos en el cerdo Ibérico.

Los objetivos específicos planteados son los siguientes:

1. Evaluar la correlación de diferentes medidas ultrasónicas *in vivo* tanto a nivel del espacio intercostal entre la 10 y la 11 costilla, como a nivel de la última (14) costilla con las mismas medidas realizadas en la canal.
2. Comparar las medidas ultrasónicas de las dos proyecciones anatómicas y averiguar cuál de ellas predice *in vivo* las medidas de la canal
3. Desarrollar un modelo predictivo para estimar el peso y el rendimiento de las piezas nobles, jamones, paletas y lomos *in vivo* en el cerdo Ibérico usando estas medidas ultrasónicas, ya estudiadas en cerdo intensivo, junto con otras medidas ultrasónicas de grasa dorsal a nivel del glúteo.
4. Evaluar mediante el uso del ultrasonido en tiempo real la influencia del sexo y del sistema de alimentación en la deposición de la grasa dorsal y del área del lomo así como en la canal.
5. Evaluar cómo influye el sexo y los sistemas de alimentación en la calidad de la canal a través de medir el porcentaje de grasa intramuscular en el m. *Longissimus dorsi* y los

rendimientos de la canal y piezas nobles del cerdo ibérico

6. Determinar si la duración del cebo en Montanera en el Cerdo Ibérico influye en el tamaño de los adipocitos de la grasa intramuscular del mm. *Longissimus dorsi*.
7. Caracterizar el perfil de ácidos grasos de cada una de las tres capas de la grasa dorsal, (interna, media y externa) en tres periodos de la Montanera del Cerdo Ibérico.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Cerdo Ibérico: origen de la raza, estirpes y líneas

La agrupación racial conocida como Cerdo Ibérico deriva del *Sus mediterraneus* o *Sus scrofa meridionales* asentado en las áreas meridionales y centrales de la Península Ibérica. Su producción data de tiempos inmemorables, existiendo referencias históricas desde la época de la dominación romana, en las que se indica que las piezas cárnicas procedentes de la Península Ibérica eran muy apreciadas (Daza, 1996). Su origen se encuentra en la interacción con el ecosistema de bosque mediterráneo, caracterizado por la presencia de especies arbóreas del género *Quercus*, base ecológica de las actuales dehesas con las que el Cerdo Ibérico en extensivo guarda una relación cuasi-simbiótica (Clemente y col., 2008). Esta raza presenta unos caracteres raciales que le hacen distinto morfológicamente a otras razas porcinas y, a pesar de la heterogeneidad entre sus individuos y variedades, lo encuadran como raza, siendo además uno de los escasos tipos raciales nativos que ha sobrevivido a las modernas técnicas de producción porcina (López-Bote y col., 1998).

Tradicionalmente el Cerdo Ibérico ha sido considerado como una única raza, si bien diversos autores e instituciones consideran que es una agrupación racial con una rica diversidad interna configurada a modo de estirpes y líneas. La clasificación de estas estirpes y líneas ha seguido criterios exterioristas, principalmente fanerópticos de coloración de la capa y ausencia o presencia de pelo (Clemente y col., 2008). Dichos criterios fueron los fundamentos en los que Aparicio Sánchez (1944) se

basó para la clasificación del Cerdo Ibérico en cuatro "razas": Negra, con los tipos Lampiño y Entrepelado; Colorada (Olivenza o Extremeña); Rubia (Rubia campionesa de Andalucía) y Manchada (Manchado de Jabugo), siendo aceptada esta clasificación por la mayoría de los zootecnistas clásicos españoles.

En la actualidad, en el prototipo racial se reconocen cuatro variedades: Retinto, Lampiño, Entrepelado y Torbiscal (*ORDEN APA/3376/2007*).

- La variedad *Retinta* se caracteriza por un esqueleto fino y ligero, capa retinta uniforme, pudiendo haber alguna variación en la tonalidad, y el pelo regularmente distribuido. Cabeza de frente ancha, con hocico bien proporcionado y orejas en alero de tejado. La línea dorsal tiende a la rectitud. Los lomos, tercio posterior y jamones están bien desarrollados.
- La variedad *Lampiño* presenta menor precocidad y desarrollo corporal, con tendencia a un mayor engrasamiento. Carece de pelos o éstos son muy escasos y finos, dejando a la luz numerosos pliegues cutáneos muy característicos, sobretodo en la región frontal. La piel es delgada con dos tonalidades, negro intenso y pálido o pizarra. Cabeza bien proporcionada, frente pequeña, orejas amplias y caídas, hocico marcadamente alargado y en ocasiones presenta la característica mancha blanca en el rodete de la jeta. Dorso y lomos con prominencia en el

morrillo y las extremidades son más cortas con variación entre muy finas a más gruesas.

- El *Entrepelado* es el producto fijado del cruce entre Lampiño y Retinto, mostrándose algo más precoz y menos graso que el Lampiño, pero sin llegar a los niveles del Retinto. Destaca por la finura de su conformación. Es una variedad de escaso pelo y piel de color retinto oscuro o negro al nacimiento. Los ejemplares adultos presentan siempre una coloración negra. Posee extremidades finas.
- Por último, la variedad *Torbiscal* la constituyen animales de mayor alzada, muy resistentes y con mayor prolificidad merced al vigor híbrido resultante de su origen. Su capa es de color pizarra, con abundantes cerdas, aunque puede presentar color variable de la piel desde tonalidades casi amarillas hasta retintas oscuras, además de hocicos y vientres rosáceos. Presentan una cabeza característica en la que destacan la longitud de las orejas y el hocico largo. Presenta el dorso corregido, con mayor longitud y rectitud. Es habitual encontrar ejemplares con 12 mamas. Las extremidades no presentan finura de caña y poseen un jaspeado claro en las pezuñas, incluso con despigmentación casi total de las mismas.

A pesar de las características morfológicas y fanerópticas diferenciales de las diferentes estirpes y líneas se puede decir que el Cerdo Ibérico como raza tiene una conformación redondeada, gran capacidad adipogénica, crecimiento lento y gran rusticidad. Durante siglos, las zonas adeshadas han sido su

hábitat y han contribuido a definir su rusticidad y carácter adipogénico. Como consecuencia de esta adaptación presentan características morfológicas propias de la raza como son cabeza alargada y jeta fuerte y estirada apta para hozar, orejas en visera y extremidades largas.

Los productos derivados de esta raza y su sistema de producción la han diferenciado del resto de producciones porcinas siendo una de las producciones ganaderas españolas más estables y cuyos productos le dan fama a la gastronomía española.

En España, el censo del Cerdo Ibérico en el año 2015 se cifró 723895 cabezas (Tabla 1), representando el 9.2% del total del censo nacional de porcino. Casi la mitad (327541 cabezas) se ubica en Extremadura, evidenciándose la fuerte relación que tiene el sistema extensivo con las áreas tradicionales de dehesa, en las que el protagonista es el Cerdo Ibérico y sus cruces, principalmente con la raza Duroc Jersey.

Tabla 1. Censo de animales inscritos en el Libro Genealógico del Cerdo Ibérico a 31 de diciembre de 2015

	Hembras	Machos	Total	Nº de ganaderías activas
Andalucía	187748	28405	216153	3037
Castilla la Mancha	31914	3555	35469	146
Castilla León	106456	3206	109662	1025
Cataluña	15591	2	15593	18
Comunitat Valenciana	1383	0	1383	2
Extremadura	296215	31326	327541	3781
Madrid	64	49	113	2
Murcia	17957	24	17981	13
Total	657328	66567	723895	8024

Fuente: MAGRAMA, 2016

Las explotaciones pequeñas o familiares de carácter extensivo dedicadas a la cría del Cerdo Ibérico tienen gran importancia en el sector agrario como actividad productiva creadora de una base económica y generadora de empleo en zonas desfavorecidas o de difícil acceso evitando así la despoblación de estas regiones. Además la capacidad de desarrollo de la agricultura y ganadería ecológicas son importantes oportunidades de comercialización como figuras de calidad.

En la actualidad, la facturación anual de productos del Cerdo Ibérico se cifra en, aproximadamente, 750 millones de euros, lo que supone el 25 % del total de la industria cárnica española (Pérez, 2008), de los que aproximadamente 185 millones de euros corresponden a las piezas cárnicas para consumo en fresco (estimación propia). Este subsector cuenta con 326 mataderos, más de 360 establecimientos especializados en la transformación de los productos del Cerdo Ibérico y con aproximadamente 100.000 ganaderos; si bien el grueso de la producción se concentra en el 10 % de los mismos (FUNDECYT, 2008).

2. Sistemas de producción del Cerdo Ibérico. Norma de calidad y Denominaciones de Origen.

El ciclo productivo del Cerdo Ibérico es de tipo tradicional, caracterizado por la explotación en extensivo del ganado en pureza, con dos partos al año, normalmente en otoño y primavera. Se puede dividir en tres fases: lactación y cría, recría y cebo. La primera de ellas abarca desde el nacimiento hasta el destete, que aproximadamente ocurre cuando el animal tiene

unos 23 kg. En esta etapa el lechón comienza a ingerir alimentación sólida. Una vez que el lechón es destetado pasa a la fase de recría. Es una etapa de crecimiento y transición hasta los 95 kg aproximadamente, en la que se simultanean los recursos naturales de la dehesa con el consumo de pienso. Por último, la etapa de cebo tendrá lugar hasta que el animal alcanza aproximadamente 160 kg, peso adecuado para el sacrificio. La alimentación y manejo recibido en esta última etapa es la que define en la actualidad la denominación comercial de sus productos.

Tradicionalmente el cebo del Cerdo Ibérico se realizaba en montanera, es decir, entre los meses de diciembre y marzo. En esta etapa de su vida, el cerdo campea en las dehesas aprovechando los recursos naturales, la bellota y la hierba, hasta ganar unas 5 arrobas de peso vivo (55 kg). Si no hubiera suficiente bellota para terminar el cebo en montanera, se suplementaba con pienso hasta reponer el peso vivo óptimo para el sacrificio. A estos animales se les denomina de “Recebo”. En cambio, cuando el animal era engordado a base de piensos comerciales se llamaban “De Cebo”.

Este sistema ha sufrido diversas adaptaciones en los últimos años. A pesar de que su explotación y percepción de la raza continúan ligadas a la dehesa, el Cerdo Ibérico ha comenzado a difundirse por zonas con menor o ninguna tradición en este tipo de ganadería, hasta abandonar los sistemas extensivos y tecnificar el sistema productivo hacia un sistema más intensificado. De hecho, en los últimos años ha habido una

conversión de explotaciones intensivas de porcino blanco a Ibérico, responsable hoy día del 75% de la producción total del ibérico de nuestro país (Clemente & Moreno, 2010).

Debido al riesgo del mantenimiento de la raza porcina Ibérica y de la dehesa por una disminución de la cabaña porcina y de la relajación en los parámetros de calidad de los productos derivados de esta raza se hizo necesario regular de alguna manera la producción del Cerdo Ibérico para la obtención de productos cárnicos de elevada calidad. Por ello, en el año 2001 se redactó (*Real Decreto 1083/2001*) una norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico, modificada y/o ampliada en los años 2004 (*Real Decreto 1781/2004*), 2007 (*Real Decreto 1469/2007*) y 2014 (*Real Decreto 4/2014*). Esta norma de calidad establece tres tipos de designaciones:

a) Designación por tipo de producto:

- i) Para productos elaborados: jamón, paleta, caña de lomo o lomo embuchado o lomo.
- ii) Para los productos obtenidos del despiece de la canal comercializados en fresco: la designación de la pieza procedente del despiece, de acuerdo con las denominaciones de mercado, así como sus distintas preparaciones y presentaciones comerciales, en su caso.

b) Designación por alimentación y manejo:

i) «De bellota»: para productos procedentes de animales sacrificados inmediatamente después del aprovechamiento exclusivo de bellota, hierba y otros recursos naturales de la dehesa, sin aporte de pienso suplementario, en las condiciones de manejo siguientes:

1. Las parcelas y recintos utilizados para la alimentación de animales cuyos productos vayan a comercializarse con arreglo a la mención «de bellota», deberán estar identificados en la capa montanera incluida en el Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC), establecido en el *Real Decreto* 2128/2004, de 29 de octubre, por el que se regula el sistema de información geográfica de parcelas agrícolas, como aptos para su utilización para el engorde de animales» de bellota», conforme a las designaciones establecidas en el presente real decreto.

2. El aprovechamiento de los recursos de la dehesa en época de montanera deberá realizarse teniendo en cuenta la superficie arbolada cubierta de la parcela o recinto y la carga ganadera máxima admisible que figura en el anexo de este Real Decreto, modulada en su caso a la baja en función de la disponibilidad de bellota del año. La valoración de dicha disponibilidad será realizada anualmente por las entidades de inspección, previamente a la entrada de los animales.

3. La entrada de los animales a la montanera deberá realizarse entre el 1 de octubre y el 15 de diciembre, estableciéndose como

período para su sacrificio entre el 15 de diciembre y el 31 de marzo.

4. Las condiciones mínimas que habrán de reunir los animales en cuanto a su peso y edad, serán las siguientes:

- El peso medio del lote a la entrada en montanera estará situado entre 92 y 115 kg.
- La reposición mínima en montanera será de 46 kg, durante más de 60 días.
- La edad mínima al sacrificio será de 14 meses.
- El peso mínimo individual de la canal será de 115 kg, excepto para los animales 100% ibéricos que será de 108 kg.

ii) Para los productos procedentes de animales cuya alimentación y manejo, hasta alcanzar el peso de sacrificio, no estén entre los contemplados en el punto anterior se utilizarán las siguientes designaciones:

1. «*De cebo de campo*»: tratándose de animales que aunque hayan podido aprovechar recursos de la dehesa o del campo, han sido alimentados con piensos, constituidos fundamentalmente por cereales y leguminosas, y cuyo manejo se realice en explotaciones extensivas o intensivas al aire libre pudiendo tener parte de la superficie cubierta, teniendo en cuenta al respecto que:

1.1. Los animales se cebarán en explotaciones de cebo extensivas que deberán cumplir los requisitos establecidos en el

Real Decreto 1221/2009, de 17 de julio, por el que se establecen normas básicas de las explotaciones de ganado porcino extensivo y por el que se modifica el *Real Decreto* 1547/2004, de 25 de junio, por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas.

1.2. Así mismo los animales podrán cebarse en explotaciones de cebo en instalaciones intensivas al aire libre pudiendo tener parte de la superficie cubierta, debiendo cumplir los requisitos establecidos en el *Real Decreto* 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. En lo que hace referencia a las condiciones de cría, sin perjuicio de lo establecido en el *Real Decreto* 1135/2002, de 31 de octubre, relativo a las normas mínimas para la protección de cerdos, los animales de producción de más de 110 kg de peso vivo deben disponer de una superficie mínima de suelo libre total por animal de 100 m² en su fase de cebo.

1.3. La estancia mínima en dichas explotaciones, previa a su sacrificio, será de 60 días.

1.4. La edad mínima al sacrificio será de 12 meses.

1.5. El peso mínimo individual de la canal será de 115 kg, excepto para los animales 100% ibéricos que será de 108 kg.

2. «*De cebo*»: en caso de animales alimentados con piensos, constituidos fundamentalmente por cereales y leguminosas, cuyo manejo se realice en sistemas de explotación intensiva, de acuerdo con:

2.1. Sin perjuicio de las condiciones de cría establecidas en el *Real Decreto* 1135/2002, de 31 de octubre, relativo a las normas mínimas para la protección de cerdos, los animales de producción de más de 110 kg de peso vivo que den origen a productos con la designación «de cebo» deben disponer de una superficie mínima de suelo libre total por animal de 2 m², en su fase de cebo.

2.2. La edad mínima al sacrificio será de 10 meses.

2.3. El peso mínimo individual de la canal será de 115 kg, excepto para los animales 100% ibéricos que será de 108 kg.

c) Designación por tipo racial:

i. «100% ibérico»: cuando se trate de productos procedentes de animales con un 100% de pureza genética de la raza Ibérica, cuyos progenitores tengan así mismo un 100% de pureza racial Ibérica y estén inscritos en el correspondiente Libro Genealógico.

ii. «Ibérico»: cuando se trate de productos procedentes de animales con al menos el 50% de su porcentaje genético correspondiente a la raza porcina Ibérica, con progenitores de las siguientes características: para obtener animales del 75% ibérico se emplearán hembras de raza 100% ibérica inscritas en libro genealógico y machos procedentes del cruce de madre de raza 100% Ibérico y padre de raza 100% Duroc, ambos inscritos en el correspondiente Libro Genealógico de la raza (BOE-Núm. 10 Sábado 11 de enero de 2014 Sec. I. Pág. 1574). Para obtener animales del 50% ibérico se emplearán hembras de raza 100%

Ibérica y machos de raza 100% Duroc, ambos inscritos en el correspondiente Libro Genealógico de la raza. La justificación del factor racial de los progenitores se realizará mediante «certificado racial», emitido por la correspondiente asociación oficialmente reconocida para la gestión del Libro Genealógico. En el caso de los machos cruzados que intervienen en el cruce para obtener animales del 75% Ibérico, el procedimiento de justificación del factor racial se decidirá por la Mesa de Coordinación de la Norma de Calidad del Ibérico. La verificación del factor racial de los animales con destino al sacrificio para la obtención de productos ibéricos será realizada por una entidad de inspección acreditada por la Entidad Nacional de Acreditación.

La Asociación española de criadores de ganado porcino selecto ibérico puro y tronco ibérico (AECERIBER) es una asociación, no lucrativa, integrada por asociados y criadores de la raza porcina Ibérica reconocida por el MAGRAMA (*Real Decreto 723/90*) para gestionar el Libro Genealógico de la raza porcina Ibérica y certificar la pureza de los individuos reproductores inscritos en él, basada en un esquema de valoración oficialmente aprobado por orden ministerial (Resolución de 17 de diciembre de 1992, Resolución de 30 de diciembre de 1998 y Resolución de 10 de Agosto de 2011). La asociación persigue mejorar las cualidades productivas y maternas de la población española de Cerdo Ibérico, y en consecuencia, la rentabilidad de las explotaciones de este sector.

Existen además otras figuras de protección para los productos del Cerdo Ibérico como son las Denominaciones de Origen. En total existen cuatro: Dehesa de Extremadura, Jamón de Huelva, Guijuelo y Jamón de los Pedroches.

La Denominación de Origen Protegida “*Dehesa de Extremadura*” tiene su origen en 1990 (DOE 30/5/90), siendo posteriormente ratificada por el Ministerio de Agricultura (BOE 2/7/90). Su labor es controlar los productos derivados del Cerdo Ibérico acogidos a la norma para proteger al consumidor frente a posibles fraudes. En el pliego de condiciones que tienen que cumplir los ganaderos y las fábricas de los productos acogidos a la D. O. Dehesa de Extremadura se incluye: el nombre del producto, descripción del producto (físicas, organolépticas y físico-químicas), zona geográfica, elementos que prueban que el producto es originario de la zona (características del productos y controles y certificación), descripción del método de obtención del producto (Salazón, lavado, asentamiento, secado, maduración y envejecimiento en bodegas), vínculo, estructura de control y etiquetado.

La Denominación de Origen Protegida “*Jamón de Huelva*” data del año 1970. En el año 1995 fue ratificado el Reglamento de la DO Jamón de Huelva y de su Consejo Regulador (BOE nº 170 de 78-07-95). Dicha DO designa, protege y sirve para certificar el origen y la calidad de los jamones y paletas procedentes de cerdos de raza Ibérica, criados y engordados en libertad en la dehesa de encinas, alcornoques y quejigos de las provincias de Badajoz y Cáceres en Extremadura y de las de Córdoba, Huelva,

Sevilla, Cádiz y Málaga en Andalucía y elaborados en bodegas naturales de los pueblos de Sierra de Aracena y Picos de Aroche.

El Reglamento de la Denominación de Origen “*Guijuelo*”, así como su Consejo Regulador fueron aprobados en el año 1986 (BOE nº 141 de 13-06-86), al que sucedieron dos modificaciones, una en 1991 (BOE nº 273, de 14-11-91) y otra en 1993 (BOE nº 292 de 07-12-93). La zona delimitada de producción de cerdos comprende varias comarcas ricas en dehesas de encina y alcornoque de Castilla y León, Extremadura, Andalucía y Castilla La Mancha, mientras que la zona de elaboración comprende 77 municipios del sureste de Salamanca.

Por último, la Denominación de Origen Protegida de “*Los Pedroches*” fue reconocida oficialmente mediante Reglamento (UE) (Nº 775/2010 de la Comisión) y la Orden de 6 de junio de 2012 (BOJA nº 117). La zona de esta está constituida por las dehesas arboladas a base de encinas, alcornoques y quejigos de algunos términos municipales de la provincia de Córdoba. La zona de elaboración de los jamones y paletas protegidos por la Denominación de Origen “*Los Pedroches*”, se corresponde con la zona de producción especificada anteriormente.

La Asociación Interprofesional del Cerdo Ibérico (ASICI), creada a finales del año 1992, es una Organización Interprofesional Agroalimentaria (OIA), sin ánimo de lucro, en la que están representadas paritariamente tanto organizaciones

de la rama de la producción (ganaderos) como de la rama de la transformación (industriales) de Cerdo Ibérico. Esta asociación tiene por objeto el asumir la representación y defensa de los intereses comunes de los ganaderos e industriales del sector del Cerdo Ibérico. Continuó la labor emprendida por la Comisión Interprofesional del Cerdo Ibérico (CICI) desde la campaña 88/89, fecha de homologación por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) del primer contrato tipo de compraventa de cerdos ibéricos y sus cruces para elaboración. Cada campaña el contrato fue resultado de acuerdos entre representantes de ganaderos e industriales, por tanto fue un instrumento para formalizar, normalizar y clarificar sus relaciones comerciales. El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación la reconoció en julio de 1999 como Organización Interprofesional Agroalimentaria para el Sector del Cerdo Ibérico. ASICI goza de personalidad jurídica propia e independiente de la de sus miembros y de plena capacidad para obrar en cumplimiento de sus fines, establecidos en el Artículo 3 de la Ley 38/94 de las organizaciones interprofesionales agroalimentarias. Entre los fines de la organización se encuentra la mejora de la calidad de los productos de todos los procesos que intervienen en la cadena agroalimentaria, efectuando seguimiento desde la fase de producción hasta su llegada al consumidor. Para ello dispone de un laboratorio propio, en Zafra (Badajoz), dedicado a la toma de muestras en canales de cerdos ibéricos y el análisis de la composición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases con detección de ionización de

llama (CG-FID). Laboratorio acreditado por ENAC n° 516/LE 1069.

3. Características productivas y sensoriales de los productos cárnicos procedentes de la raza Ibérica: rendimientos cárnicos, grasa intramuscular y perfil de ácidos grasos

Entre las características productivas intrínsecas de los cerdos de la raza Ibérica encontramos su marcado carácter adipogénico y su característica infiltración grasa en el músculo. Sin embargo, el Cerdo Ibérico presenta un bajo índice de transformación de alimentos, mala conformación cárnica y baja prolificidad, lo que ha llevado a cruzar con otras razas porcinas para atenuar estas características productivas.

Debido a las características organolépticas que presentan los productos derivados del Cerdo Ibérico convierten a esta raza en símbolo de calidad con gran aceptación por el consumidor.

La calidad de la canal y de la carne del Cerdo Ibérico están definidas, aparte de por la raza, por el sistema de explotación (alimentación, edad, peso sacrificio, ejercicio...), entre las que podemos destacar su intenso color rojo y la elevada infiltración grasa en músculo así como el valor nutricional de los productos derivados de cerdos en montanera que presentan alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), en comparación con las razas blancas.

3.1. Rendimientos cárnicos

De forma genérica se define peso vivo como el peso del animal inmediatamente antes del sacrificio y peso de la canal (según el BOE -A-2014-318) como el peso del cuerpo de un cerdo adulto sacrificado, sangrado y eviscerado, entero o partido por la mitad longitudinalmente, sin lengua, cerdas, órganos genitales, manteca, riñones ni diafragma. La medida que relaciona el peso vivo y el peso de la canal es el rendimiento de canal. Es una variable de interés económico, definida por la proporción entre el peso de la canal y el peso vivo del animal al sacrificio. Puede hablarse de rendimiento de la canal en frío o en caliente según se considere el peso de canal post-sacrificio (caliente) o el de la canal oreada durante 24 horas a 4ª C (frío), tiempo y temperatura suficiente para conseguir en el interior de la canal una temperatura igual o inferior a 7°C. A diferencia de otras especies, en el cálculo del rendimiento de la canal del cerdo se incluyen en el peso de la canal la cabeza, pezuñas, cola y piel, y oscila entre un 70 y 80 % del peso vivo.

En las razas autóctonas españolas el rendimiento encontrado es muy variable. Se han publicado numerosos trabajos, sobre todo en la raza Ibérica (Serra y col., 1998; Barba y col., 2001; Ramírez & Cava, 2006; Daza y col., 2006), aunque también en otras razas como el cerdo Chato Murciano (Peinado y col., 2004) y el cerdo Celta (Sánchez y col., 2001), que indican elevados rendimientos de la canal. Los trabajos anteriormente citados ofrecen en sus resultados una elevada variabilidad en los rendimientos de la canal debida a numerosos motivos, que

además de las diferencias dadas por la raza, la estirpe y la forma de faenarla, existen otros factores que influyen y varían los rendimientos obtenidos, como son la edad y peso de sacrificio (Menaya y col., 1998; Dobao y col., 1985), el sexo (Benito y col., 1986; Serrano y col., 2008), el sistema de explotación (Mateos, 2003) o la alimentación (Duran & Lizaso, 1997). Además el peso de la canal está influenciado por el tiempo de ayuno pre-sacrificio, el transporte, el tiempo de espera pre-sacrificio, el manejo y la duración y las condiciones ambientales de oreo de la canal (Nacameh, 2013). De otra parte, el peso vivo del animal está influenciado por diversos factores como son: genotipo, edad, sexo, condiciones de alojamiento y alimentación recibida en la fase de acabado.

El *genotipo* en la raza Ibérica tiene gran influencia en los rendimientos. Así, Benito y col. (1997) observaron un mayor rendimiento a la canal en cerdos de la estirpe Lampiña que en cerdos de las estirpes Torbiscal, Valdesequera y Retinta acabados en montanera (81% vs 78.5%, 79.5% y 78.5%). El cruce de las estirpes ibéricas con la raza Duroc aumenta significativamente el contenido magro de la canal y reduce el de la grasa (Dobao y col., 1987) pero el cruzamiento no se traduce en una mejora del rendimiento a la canal (Aparicio, 1987; Esparrago y col., 2001).

La *edad* de sacrificio en las razas tradicionales suele ser mayor a las razas comerciales e influye significativamente en los rendimientos de canal. A mayor peso vivo la canal crece relativamente más rápidamente que el aparato digestivo y los

animales sintetizan más grasa (Whittemore, 1997), por lo que el rendimiento de la canal se incrementa.

Igualmente, el *sexo* (machos, enteros o, castrados, o hembras) va a influir en diversas variables (consumo voluntario, velocidad de crecimiento, relación entre deposición grasa y proteína e índice de transformación). Todas ellas afectan, por tanto, al peso final de la canal obtenida. Benito y col. (1986) no encontraron diferencias significativas para el espesor de la grasa dorsal ni para el rendimiento de la canal para machos y hembras de la línea Valdesequera en sacrificios de tres años consecutivos, encontrando en el cuarto año un mayor rendimiento en los machos que en las hembras (80 vs. 78.1%).

La *alimentación* (composición de la dieta y aporte energético diario) tiene una gran influencia en el rendimiento de la canal y en su conformación (Daza y col., 2006).

Las condiciones de *alojamiento* también influyen en el rendimiento de la canal. Así, un animal que haya campeado tendrá más musculación que otro en criado y cebado en intensivo. El gasto metabólico tampoco es el mismo en sistemas intensivo y extensivo, así como el gasto que generan las condiciones climáticas adversas.

La producción del Cerdo Ibérico está orientada principalmente a la elaboración de productos cárnicos curados a partir de las piezas nobles, aunque en los últimos años el consumo de carne fresca ha aumentado considerablemente, alcanzando altas tasas de aceptación entre los consumidores (Mayoral y col., 2005). Se

definen como piezas nobles a las partes de la canal con mayor valor económico, siendo en el Cerdo Ibérico los jamones, paletas y lomos. Aunque estas piezas suponen entre un 25 y 30% del peso de la canal (Tabla 2) su valor económico está entre un 80 y 90% del total. Estos pesos y rendimientos se miden en fresco (2 horas post mortem), después del proceso de refrigeración a las 24 horas y del perfilado.

El rendimiento de las piezas nobles está influenciado por el porcentaje de grasa (aumenta con la disminución en el porcentaje de grasa de la canal), el tiempo de oreo, el perfilado, el sistema de engorde, etc. Por ejemplo, el rendimiento en jamones y paletas de cerdos ibéricos criados en intensivo es mayor que los de Montanera (Daza y col., 2009).

Tabla 2. Parámetros productivos del Cerdo Ibérico por estirpe

Variables	Variedades de Cerdo Ibérico				
	Lampión	Entrepelado	Retinto	Torbiscal	Mixto
GMD (g/d)	503 ± 39.19	547 ± 13.64	625 ± 9.04	650 ± 40.71	628 ± 15.36
Peso vivo (kg)	144 ± 4.54	156 ± 1.20	162 ± 0.86	172 ± 2.50	168 ± 1.75
Peso canal (kg)	110.3 ± 4.28	123.7 ± 1.05	129.5 ± 0.73	138.4 ± 2.16	134.9 ± 1.50
Rendimiento canal (%)	76.51 ± 1.14	79.09 ± 0.18	80.18 ± 0.11	80.52 ± 0.27	80.24 ± 0.18
Peso jamones (kg)	19.97 ± 0.67	20.92 ± 0.19	21.18 ± 0.10	22.14 ± 0.23	21.98 ± 0.22
Peso paletas (kg)	12.61 ± 0.50	14.32 ± 0.16	14.53 ± 0.07	14.19 ± 0.23	14.60 ± 0.13
Peso lomos (kg)	2.83 ± 0.26	2.86 ± 0.05	2.73 ± 0.03	3.08 ± 0.06	2.96 ± 0.06
Peso grasa (kg)	11.88 ± 1.49	11.65 ± 0.45	12.05 ± 0.24	9.79 ± 0.72	10.83 ± 0.52
% jamones	18.10 ± 0.28	16.91 ± 0.14	16.35 ± 0.07	15.98 ± 0.20	16.28 ± 0.13
% paletas	11.43 ± 0.22	11.57 ± 0.12	11.21 ± 0.05	10.24 ± 0.09	10.82 ± 0.12
% lomos	2.56 ± 0.20	2.30 ± 0.04	2.10 ± 0.02	2.22 ± 0.04	2.19 ± 0.04
% grasa	10.87 ± 1.08	9.37 ± 0.34	9.20 ± 0.18	7.10 ± 0.76	8.06 ± 0.23
% piezas nobles	32.10 ± 0.71	30.79 ± 0.22	29.67 ± 0.12	28.46 ± 0.50	29.30 ± 0.25

Fuente: Clemente y col. (2008)

3.2. Calidad de la canal

3.2.1. Grasa intramuscular y adipocitos

El marcado carácter adipogénico del Cerdo Ibérico es uno de los factores más influyentes para determinar la calidad sensorial de los productos derivados de esta raza (López-Bote, 1998). Para mejorar la calidad de los productos del Cerdo Ibérico es imprescindible conocer los factores que influyen en el desarrollo de la grasa infiltrada, su composición en ácidos grasos y poder predecir el porcentaje en músculo. Por otro lado, las actuales guías dietéticas recomiendan reducir el consumo de grasa a un 25-30% de la ingesta calórica diaria con una contribución de un tercio de cada una (saturadas, monoinsaturadas y ácidos grasos poliinsaturados) en la grasa de la dieta.

Durante la fase final de cebo (140-160 kg), los cerdos ibéricos puros en montanera pueden alcanzar un 60% de grasa en la canal, 15 cm de espesor de grasa subcutánea dorsal y entre 10 y 13% de grasa intramuscular (López-Bote, 1998). La grasa intramuscular, también llamada veteado, es un parámetro muy importante para la calidad de la carne, tanto, que su contenido influye en la apariencia visual, textura y el aroma de los productos cárnicos (Tejeda y col., 2002). La grasa intramuscular juega un papel decisivo en la tecnología del procesado y en las características sensoriales y nutricionales de los productos derivados del Cerdo Ibérico (Ruiz y López-Bote, 2002; Ventanas y col., 2005).

Por ello, tanto el estudio de su formación (adipogénesis) como de su metabolismo (lipogénesis y lipólisis) son de gran importancia y han sido objeto de numerosos trabajos (Dodson y col., 2010). El tejido adiposo presenta una elevada plasticidad y mantiene la capacidad de crecer a lo largo de toda la vida de los animales a través de procesos de hiperplasia (aumento del número de células) e hipertrofia (aumento del volumen celular). El estudio de ambos procesos precisa una adecuada caracterización de las principales células constituyentes del tejido adiposo, los adipocitos. En principio se piensa que el desarrollo celular del tejido adiposo en el cerdo blanco tiene lugar en tres fases: hiperplasia (7-20 kg de peso vivo), una fase mixta de hiperplasia e hipertrofia (20-70 kg de peso vivo) e hipertrofia dominante (a partir de los 70 kg) (Mersmann y col., 1986; Hauser y col., 1997).

El contenido en grasa intramuscular está influenciado por múltiples factores que pueden ser intrínsecos como son el genotipo, sexo y la edad y extrínsecos como la alimentación y las condiciones de producción entre otros.

El contenido total de lípidos se determina comúnmente por métodos de extracción con disolventes orgánicos (por ejemplo Soxhlet, Folch, Bligh y Dyer, etc.), por métodos de extracción que no incluyen disolventes (Gerber y Babcock) y por métodos instrumentales que se basan en propiedades físicas o químicas de los lípidos (por ejemplo, NIRS, densidad y absorción de rayos X) (Aguilar, 2011).

3.2.2. *Ácidos Grasos*

La alteración del perfil de ácidos grasos de la grasa animal a través de la dieta ha sido objeto de numerosas investigaciones y se ha propuesto el empleo de dietas ricas en ácidos grasos monoinsaturados en el engorde de cerdos ibéricos para conseguir materia prima de calidad similar a la obtenida en cerdos en montanera (Ventanas y col., 2008; Pérez-Palacios y col., 2009). En el Cerdo Ibérico hay numerosos estudios sobre la influencia del perfil de ácidos grasos (Fernández y col., 2007; Daza y col., 2007) en las características sensoriales de sus productos (Cava y col., 1997) y en la percepción visual del consumidor hacia estos productos (Ruiz y col., 2002).

En España, el perfil de ácidos grasos del tejido adiposo subcutáneo se utilizó oficialmente hasta 2005 para clasificar las canales del Cerdo Ibérico en función de la alimentación recibida (Ruiz & Preton, 2001). El uso de piensos con grasas de origen vegetal enriquecidos con ácido oleico cuestionó la utilidad de la cromatografía de gases (GC-FID) como técnica para determinar la procedencia de los ácidos grasos depositados en las canales y productos del Cerdo Ibérico. Muchos industriales siguen utilizando la determinación del perfil de ácidos grasos en las canales de cerdos ibéricos debido a que la composición de la grasa intramuscular de la carne juega un papel importante en los procesos de curado de los productos del Cerdo Ibérico (Cava & Andrés, 2001).

Aunque la composición de ácidos grasos del tejido adiposo y muscular puede estar influenciado por diferentes factores como la especie, la raza, la edad, el peso, el sexo (Lorenzo y col., 2012) y hormonas (Enser, 1991; Flint & Vernon, 1993; Regla y col., 1995) es la dieta en las etapas previas al sacrificio la que más influye en el perfil de ácidos grasos de la grasa (Andrés y col., 2001; Cava y col., 1997; Tejeda y col., 2002; Wood y col., 2003). La composición de los ácidos grasos de los fosfolípidos en porcino, vacuno y gallinas, principalmente los poliinsaturados, depende de la composición grasa de la dieta (Lin y col., 1989; Asghar y col., 1990; Monahan y col., 1992) y la duración del cebo con esa dieta (Miller y col., 1987). En el cerdo, y otros animales monogástricos, la composición de los ácidos grasos de la grasa de la canal puede ser modificada aumentando la concentración de los ácidos grasos en la dieta, los cuales son absorbidos por el intestino delgado e incorporado directamente al tejido graso. Por lo tanto, es posible producir carne y productos cárnicos que cumplan las directrices dietéticas para humanos (Lough y col., 1992).

Por métodos analíticos, como la cromatografía de gases, se pueden separar los diferentes tipos de ácidos grasos que forman la grasa. Los ácidos grasos comúnmente estudiados son: Láurico (C12:0), Mirístico (C14:0), Palmítico (C16:0), Margárico (C17:0), Esteárico (C18:0), y Aráquico (C20:0), del grupo de los saturados (SFA); Palmitoleico (C16:1), Margaloeico (C17:1), Oleico (C18:1) y Gasoleico (C20:1), de los monoinsaturados

(MUFA) y Linoleico (C18:2) y Linolénico (C18:3), de los poliinsaturados (PUFA).

El perfil de ácidos grasos en el Cerdo Ibérico está influenciado por la diera que recibe el animal en la fase final del cebo, tal y como se pone de manifiesto en la Tabla 3.

Tabla 3. Perfil de ácidos grasos de la grasa dorsal de cerdos cebados bajo condiciones de Montanera, recebo y cebo a pienso

Ácido graso	Montanera	Recebo	Cebo	p-value
C12:0	0.10 ^{ab} ± 0.02	0.08 ^b ± 0.01	0.12 ^a ± 0.04	0.0135
C14:0	1.82 ± 0.25	1.60 ± 0.14	1.97 ± 0.51	0.0606
C16:0	24.15 ^b ± 1.15	24.53 ^b ± 1.42	26.86 ^a ± 1.84	0.0007
C16:1 (n-7)	3.64 ± 0.39	3.10 ± 0.40	3.05 ± 0.83	0.0580
C18:0	9.14 ^b ± 1.23	10.40 ^b ± 1.12	12.21 ^a ± 1.74	0.0002
C18:1 (n-9)	47.71 ^a ± 1.12	46.02 ^a ± 1.80	41.82 ^b ± 2.12	0.0001
C18:2 (n-6)	9.45 ^b ± 0.59	10.42 ^a ± 0.84	9.85 ^{ab} ± 0.70	0.0181
C18:3 (n-3)	0.72 ^b ± 0.10	0.63 ^b ± 0.07	1.08 ^a ± 0.26	0.0001
C20:0	0.13 ^b ± 0.02	0.15 ^a ± 0.02	0.17 ^a ± 0.02	0.0076
C20:4 (n-6)	0.13 ^b ± 0.02	0.11 ^b ± 0.02	0.19 ^a ± 0.04	0.0001
Total SFA	35.29 ^b ± 1.29	36.74 ^b ± 2.43	41.31 ^a ± 1.85	0.0001
Total MUFA	51.34 ^a ± 1.10	49.12 ^b ± 1.77	44.87 ^c ± 1.89	0.000 1
Total PUFA	10.22 ^b ± 0.56	11.15 ^a ± 0.89	11.12 ^a ± 0.83	0.0173

Fuente: Ruiz y col. (1998)

En el Cerdo Ibérico alimentado en Montanera el alto porcentaje de ácido oleico (C18:1) en la canal influye en las propiedades físicas de la grasa (Ruiz y col., 2000; Ruiz & López-Bote, 2002)

dando lugar a una grasa blanda y aceitosa, la cual es muy apreciada por el consumidor de sus productos (Ruíz y col., 2002).

Fernández y col. (2007) encontraron que los jamones de cerdos ibéricos cebados en Montanera se caracterizaban por presentar un porcentaje bajo y significativo de ácidos grasos saturados y un porcentaje alto y significativo de ácidos grasos monoinsaturados comparado con lo obtenido en las razas blancas. Este alto porcentaje de monoinsaturados en los productos del Cerdo Ibérico de Montanera indica su idoneidad en dietas saludables ya que dietas con altos contenidos en ácidos grasos monoinsaturados disminuyen los niveles de colesterol en sangre y están relacionados con bajos índices de enfermedades cardiovasculares (Mattson & Grundy, 1985; **FAO**; Schaefer, 1997; Alexander, 1998; Kris-Etherton, 1999).

4. Ultrasonografía aplicada a la mejora genética y productiva del Cerdo Ibérico

La ecografía es una técnica de diagnóstico por imagen que se utiliza fundamentalmente para evaluar los tejidos blandos. Se trata de un procedimiento seguro, no invasivo y que no utiliza radiaciones ionizantes, por lo que no produce efectos biológicos adversos (Bartrum y col., 1977; Barr, 1990; Gerwing y col., 1989). Las imágenes ecográficas corresponden al aspecto macroscópico de cortes anatómicos.

4.1. Principios Básicos de la ecografía

4.1.1. Ultrasonidos (US)

La ecografía se basa en la emisión y recepción de ultrasonidos, que son aquellas ondas de sonido cuya frecuencia es superior a la audible por el oído humano, es decir, por encima de los 20.000 Herzios (Hz) (Bartrum & Crow, 1977; Lohss, 1989).

Las frecuencias utilizadas en la práctica clínica varían entre 2 y 10 Megahertzios (MHz) (Barr, 1990; Herring & Bjornton, 1985). Todos los sonidos, ya sean audibles o US, son ondas de presión que se repiten a lo largo del tiempo. Estas ondas longitudinales presentan una serie de características (Herring & Bjornton, 1985; Wessels y col., 1983):

- Período: tiempo que tarda en completarse un ciclo.
- Amplitud: altura de la onda. Se trata de la medición de la intensidad o «volumen» del sonido.
- Velocidad: depende del medio que el sonido esté atravesando (aire 331 *mis*; tejidos blandos 1540 *mis*).
- Frecuencia: número de períodos o ciclos por segundo: 1 ciclo/seg = 1 Herzio (1 Hz) y 1 millón de ciclos/seg=1 millón de Herzios (1MHz).
- Longitud de onda: distancia que recorre la onda durante un ciclo o período.

4.1.2. Efecto piezoeléctrico

Los US diagnósticos son generados en un dispositivo llamado transductor, el cual contiene uno o más cristales con propiedades

piezoeléctricas. Esto quiere decir que, al ser sometidos a una corriente eléctrica alterna, vibran y emiten ultrasonidos de una frecuencia característica. Al aplicar el transductor sobre la superficie de un animal, las ondas de sonido viajan a través de los tejidos. A medida que avanzan parte de ellas serán reflejadas en forma de ecos. Estos son devueltos al transductor, donde interactúan con los cristales, produciendo una señal eléctrica que será analizada y transformada en un punto de luz. A esta capacidad de los cristales de transformar energía eléctrica en mecánica y viceversa se le denomina efecto piezoeléctrico (Ginther, 1986; Lohss, 1989). Los US no reflejados seguirán avanzando a través de los tejidos para seguir mandando información de zonas más profundas. Los cristales piezoeléctricos actúan por tanto como emisores y receptores de USI (Gerwing, 1989; Ginther, 1986).

4.1.3. Interacción de los ultrasonidos con los tejidos orgánicos

Los tejidos orgánicos representan un medio complejo y las ondas de US sufren una serie de modificaciones que conducen a la atenuación del sonido. La atenuación en ecografía se define como la disminución de la intensidad de las ondas de US que se produce a medida que atraviesan los tejidos orgánicos (Ginther, 1986). Esta atenuación se produce a razón de 1 dB/cm/MHz (Bartrum y col., 1977), de lo cual deducimos que cuanto mayor sea la frecuencia (más MHz), mayor será la atenuación, lo que limita la profundidad de penetración de los US.

Existen cuatro causas principales de atenuación: reflexión, refracción, dispersión y absorción (Bartrum y col., 1977):

- *Reflexión*: Se denomina impedancia acústica a la resistencia que ofrece un tejido al paso de los US. Esta resistencia viene determinada fundamentalmente por la densidad del tejido. La reflexión de las ondas ultrasónicas se produce cuando éstas pasan de un tejido determinado a otro de diferente densidad. La superficie de contacto entre ambos se denomina interfase acústica". La diferencia de densidad que existe entre los tejidos a cada lado de la interfase determina la cantidad de ondas que son reflejadas. Generalmente, los ecos que ofrecen más información se producen en interfases de escasa diferencia de densidad (1 % a menos). Pero existen interfases en las que la diferencia es tan grande que bloquean el paso de los US, como ocurre con el gas y el hueso (Bartrum y col., 1977; Gerwing, 1989).
- *Refracción*: cambio de dirección de las ondas ultrasónicas. Estas ondas se pierden al no volver al transductor, lo que contribuye a la atenuación.
- *Dispersión*: reflexión de ecos en múltiples direcciones cuando los US chocan con una superficie pequeña e irregular.
- *Absorción*: la energía es absorbida por los tejidos y convertida en calor, produciéndose una pérdida constante de intensidad.

En relación con la atenuación es importante conocer el concepto de TGC o Time Gain Compensation (Gerwing, 1989). Se trata de la capacidad del ecógrafo de compensar la atenuación

amplificando los ecos procedentes de interfases lejanas, para poder obtener así imágenes homogéneas. Esto resulta de particular importancia a la hora de valorar órganos voluminosos, como puede ser el hígado.

4.1.4. Resolución

La resolución es la capacidad del ecógrafo de distinguir dos interfases cercanas (Ginther, 1986). Si un ecógrafo tiene una capacidad de resolución de 3 mm, querrá decir que dos pequeñas interfases separadas por sólo 3 mm, aparecerán como dos ecos distintos en la imagen. Si están a por ejemplo 2 mm, aparecerán en la imagen como un solo eco.

La resolución presenta dos componentes:

Resolución axial: se denomina así a la resolución en la dirección del haz de US que viene determinada por la longitud de onda de los US. Cuanto mayor sea la frecuencia, menor será la longitud de onda y mejor la resolución (Bartrum y col., 1977; Ginther, 1986).

Resolución lateral: las interfases están situadas perpendicularmente a la dirección del haz de US. En este caso depende de la anchura del haz, es decir, del tamaño de los cristales presentes en el transductor. Cuanto menor sea la anchura del haz, mayor será la resolución. Si las dos interfases se localizan dentro de dicha anchura, aparecerán en la imagen como un solo eco (Bartrum y col., 1977; Ginther, 1986).

4.1.5. Tipos de formatos de imagen

Existen tres formas distintas de representar la información recogida por el ecógrafo (Barr, 1990; Lohss, 1989):

- *Modo A (Amplitud)*: Es el primer modo de visualización que se utilizó para formación de imágenes ultrasónicas de una sola dimensión (Templo y col., 1956). Se utiliza un solo haz de US y la información recogida es representada en gráficas. El eje vertical representa la distancia y el eje horizontal la amplitud de los ecos. Ofrece poca información y prácticamente no se utiliza. Sólo es capaz de medir la profundidad de la grasa y el musculo en animales vivos. No permite, por ejemplo, la medición del área del músculo *Longissimus dorsi* (Wilson, 1994).
- *Modo B (Brillo)*: es el formato más utilizado y conocido. Se utilizan múltiples haces emitidos secuencialmente y se obtienen imágenes bidimensionales en movimiento. El modo B es una visualización de la imagen creada por la integración de múltiples señales de modo A (Amin, 1995). Es de dos dimensiones y consta de puntos o píxeles. El brillo del punto es proporcional a la amplitud del eco y la posición al tiempo de recepción (Wilson, 1994). Se reproducen en distintas tonalidades de gris de la imagen de ultrasonido; el modo B utiliza 64 tonos de gris, mientras que el modo A solo 16. Los ecos se cambian a señales eléctricas y luego en ondas de radio frecuencia por el transductor. Las ondas de radio frecuencia se convierten entonces en la memoria de acceso

aleatorio digital en el ordenador que permite la asignación de números de la escala de grises que van desde 1 a 64 tonos. Así, la pantalla final de la imagen está en tonos de gris. De este modo la escala de grises permite visualizar las diferencias en la textura del tejido (Widmer, 1993). El conjunto de los puntos reproduce un corte anatómico de la región examinada.

- *Modo M (Movimiento)*: se trata de una variante del modo B en la que se utiliza un solo haz de US. Se obtienen imágenes unidimensionales en movimiento. El ultrasonido en tiempo real crea imágenes que se ven casi instantáneamente y cambian con la orientación del transductor al tejido. El resultado es un proceso dinámico de imágenes por ultrasonido. Esta tecnología se utiliza para la medir características de la canal y utiliza ondas sonoras de alta frecuencia (por lo general 2 a 10 MHz) en la piel del animal vivo. Una sonda o transductor de emisión de sonido se coloca sobre la espalda del animal y las ondas sonoras penetran en los tejidos, que se refleja en los límites entre las capas de cuero, grasa y músculo. Cuando las ondas sonoras reflejan de nuevo hacia la sonda, una imagen de la sección transversal se crea en el monitor de la máquina de ultrasonido que permite la medición de las características de la canal como espesor de grasa, músculo o la profundidad del área del músculo sin cortar la canal. Este proceso es inofensivo para los animales, así como para los técnicos (Houghton & Turlington, 1992). Se precisa de los conocimientos y las habilidades para

obtener imágenes de ultrasonido y para la interpretación de los resultados. Hay programas de ordenador para el análisis de imágenes que permiten la interpretación de área del músculo del lomo a estimar rápidamente mediante el ajuste de una elipse a la forma de la sección transversal de la imagen del área del músculo del lomo en algunos de los instrumentos más nuevo.

4.1.6. *Transductores*

Para las exploraciones ecográficas es necesario elegir la frecuencia y el tipo de transductor, lo que va a depender esencialmente del tamaño del animal y del órgano a explorar.

- *Frecuencia*: Cuanto mayor sea la frecuencia menor será la profundidad que alcancen los US (mayor atenuación), pero mayor será la resolución o definición de la imagen (Bartrum y col., 1977). Por tanto, los transductores de alta frecuencia se utilizarán para el estudio ecográfico de estructuras superficiales o de animales de pequeño tamaño, mientras que para poder valorar estructuras profundas habrá que emplear frecuencias más bajas, incluso a costa de una disminución de la resolución.

Algunas de las frecuencias más utilizadas en la práctica clínica son:

- 3 MHz: Razas gigantes de perros.
- 5 MHz: Razas grandes, medianas y pequeñas.
- 7,5 MHz: Razas miniatura de perros, gatos, estructuras superficiales.

- 10 MHz: Ecografía de ojos.
- *Tipos de transductores:* Los transductores lineales presentan cristales piezoeléctricos en línea que emiten haces paralelos de US, por lo que se obtiene una imagen rectangular. Presentan la ventaja de ofrecer una imagen amplia del campo cercano, pero la desventaja más importante es que necesita un gran área de contacto. Una variante del transductor lineal es el convexo, que presenta también cristales en línea pero curvada, siendo la superficie de contacto convexa, por lo que es mucho más sencilla de acoplar sobre la superficie del animal. Los transductores sectoriales emiten haces divergentes de US, obteniéndose una imagen en abanico. La ventaja es que la superficie de contacto es mínima, siendo de gran utilidad para dirigir los US. La desventaja es que el campo es muy reducido.

4.1.7. Patrones ecográficos

En los modos B y M, las imágenes ecográficas están formadas por puntos de diferente brillo. Cuanto más intenso sea el eco reflejado por una determinada estructura, más brillante aparecerá en la imagen. A esta intensidad de brillo se le conoce con el nombre de ecogenicidad (Bartrum y col., 1977; Barr, 1990; Herring & Bjornton, 1985), utilizándose para describir las imágenes ecográficas los siguientes términos:

- Hiperecogénico, hiperecoico: se produce una gran reflexión de US (escasa o nula transmisión). Los puntos en el monitor

- aparecen con una intensidad de brillo máxima, es decir, blancos (gas, hueso).
- Hipoecogénico, hipoecoico: se produce una reflexión media (transmisión media), teniendo los puntos distinta intensidad de gris según la cantidad de ecos producidos (tejidos blandos). Para comparar la ecogenicidad de los tejidos entre sí, se utiliza esta terminología de forma comparativa, es decir, que un tejido puede ser hiper, hipo o isoecogénico con respecto a otro.
 - Anecogénico, anecoico: ausencia de ecos por no producirse reflexión de US (transmisión completa). Los puntos aparecerán de color negro (líquidos).

4.1.8. Artefactos

Los artefactos son aquellas imágenes que aparecen en el monitor, que no se corresponden con ecos generados por estructuras reales. Es fundamental conocerlos, ya que pueden representar entre un 30 y un 90 % de los ecos observados (Bartrum y col., 1977).

4.2. Uso de la ecografía en Producción Animal

El desarrollo de la tecnología de ultrasonido se inició en el año 1880 y se utilizó por primera vez en la Segunda Guerra Mundial (en el año 1940) en forma de SONAR (Sound Navigation y Ranging) (Hedrick, 1983; Houghton & Turlington, 1992). Sin embargo, en la industria cárnica el uso de los ultrasonidos como medio no destructivo de la medición de la grasa y músculo de los animales vivos fue descrito por primera vez en la década de

1950 y se ha utilizado en la industria de la carne durante más de 40 años (Hedrick, 1983; Houghton & Turlington, 1992). El ultrasonido modo A ha estado disponible desde 1950. Investigaciones en el área durante años condujo al desarrollo de modo B y al ultrasonido en tiempo real en la década de 1980 (Stanford y col., 1998).

La técnica ultrasonográfica en Producción Animal es utilizada por veterinarios especializados como una herramienta para evaluar la composición y la calidad de la canal en los animales vivos. En reproducción se usa para el diagnóstico temprano de gestación, sexado fetal, determinación de quistes foliculares y diagnóstico de patologías.

La ecografía es utilizada en Producción Animal en sistemas de comercialización con alto valor añadido y abarca la medición de la grasa subcutánea, el área del lomo, la grasa de la cadera y la grasa intramuscular. Además, el empleo de la ecografía para predecir la calidad de la carne es habitual en Argentina, Australia, Brasil, Chile, EEUU, Japón y Uruguay. En estos países, donde se construyen equipos específicos para valorar la calidad de carne *in vivo*, esta técnica se utiliza de modo oficial, amparada por asociaciones de razas, para obtener registros que son obligatorios en subastas y otros eventos.

En el sector del porcino se aplica la ecografía para la identificación de individuos con una elevada tasa de crecimiento de magro y de infiltración grasa y para la calificación de los animales de cebo.

Las medidas que actualmente se toman en el animal vivo son: el área del lomo, espesor de grasa dorsal, espesor de grasa de cadera y porcentaje de grasa intramuscular.

4.2.1. Área del lomo

La imagen ecográfica para medir este parámetro se toma en la región anatómica correspondiente al espacio intercostal de la décima costilla. El área del lomo es un indicador de la producción de músculo en el animal: cuando se incrementa, también lo hace el rendimiento de la canal.

4.2.2. Espesor de la grasa dorsal

Esta imagen también debe tomarse en la proyección anatómica de la décima costilla. Esta característica, expresada en milímetros, se refiere al espesor de la grasa dorsal medido entre la 10^a y la 15^a costilla sobre el músculo *Longissimus dorsi*.

4.2.3. Espesor de grasa de cadera

Debe tomarse la imagen desde la punta de la cadera hacia la región caudal. El espesor de grasa de cadera se mide en el punto de unión de los músculos bíceps femoral y glúteo medio más cercano al plano dorsal. Para predecir el porcentaje de grasa intramuscular en animales magros, este parámetro, expresado en milímetros, puede ser más útil que el valor para el espesor de grasa de cadera.

4.2.4. Porcentaje de grasa intramuscular

Debe medirse en el área ubicada entre la 10^a y la 14^a costilla. Se deben tomar tres imágenes independientes a efectos de

promediar los valores para obtener uno final. Este parámetro, se refiere a la proporción de grasa intramuscular (también conocida como marmoreo) que hay en la superficie del músculo *Longissimus dorsi*.

MATERIAL Y METODOS

Material y Métodos

1. Animales y dieta

Los animales (cerdos Ibéricos puros) usados en los procedimientos experimentales de esta tesis doctoral provenían del centro de investigación La Orden-Valdesequera de la Junta de Extremadura y cumplían las directrices españolas para el cuidado y uso de los animales en investigación (RD 1469/2007). Desde el nacimiento hasta el inicio del periodo de cebo (aproximadamente 100 kg de peso vivo) los animales fueron manejados siguiendo los procedimientos estándares para la cría de esta especie, siendo alimentados con una dieta estándar concentrada. A los lechones nada más nacer se le administró intramuscularmente 200 mg de un complejo férrico-vitamínico (Imposil Forte®; Alstoe Ltd., UK). A partir de los 21 días de vida de los lechones tuvieron acceso libre a comida sólida basada en un pienso de iniciación . Los lechones fueron destetados aproximadamente a los 45 días de edad, siendo trasladados a un cercado al aire libre con acceso libre tanto a la comida como al agua. A partir de las 8 semanas de vida los animales sufrieron un cambio gradual de la alimentación desde una dieta de iniciación (16.8% de proteína bruta, 5.1% de grasa bruta, 70% de fibra bruta, 11% de humedad, 5.8% de cenizas, 3500 kcal de energía) a una de crecimiento (~23 kg peso vivo; 15.7% de proteína bruta, 2.8% de grasa bruta, 75% de fibra bruta, 11% de humedad, 5.1% de cenizas, 3200 kcal. de energía), así como a una de pre-engorde (~70 kg peso vivo; 12.3% de proteína bruta, 5.8% de grasa bruta, 4.8% de cenizas,

60% de fibra bruta, 11% de humedad, 3800 kcal. de energía). La dieta fue administrada *ad libitum*. Una vez que los animales alcanzaban un peso aproximado de 100 kg entraban en la fase de engorde o fase final de cebo donde recibían una dieta diferente dependiendo del objetivo que se persiguiera siempre en parcelas extensas de modo que el animal pudiera hacer ejercicio. Las dietas que recibieron los animales de las distintas experiencias en la fase de engorde fueron las siguientes: basada en los recursos naturales de la dehesa (bellota y pasto, principalmente), basada en piensos concentrados comerciales o basadas en piensos enriquecidos con ácido oleico. La composición de las diferentes dietas se detalla en la Tabla 4. Los machos fueron castrados y las hembras ovariectomizadas con anestesia siguiendo las pautas que marca la legislación europea sobre bienestar animal y siempre ejecutado por un veterinario.

Table 4. The chemical composition of dietary ingredients.

Analysed composition ^a	Concentrate ^b	Concentrate high Oleic ^b	Acorn ^c	Pasture ^d
Crude protein %	16.10	15.00	4.60	13.7
Crude fat %	2.44	5.66	7.00	6.26
Crude fibre %	3.99	5.07	5.90	22.22
Ash %	5.80	5.10	1.50	7.31
Oleic %	0.54	3.30	3.61	0.31

^a Expressed as % dry matter

^b by formulation

^c As specified in Daza et al. (2007)

^d As specified in Cava et al. (2000)

Cuando los cerdos alcanzaban la edad o peso de sacrificio permanecían en ayuno de 12 horas antes del transporte hacia el matadero, en ese momento eran pesados y cargados al camión que los transportaría al matadero, localizado a una distancia de la explotación de unos 100 kg. Una vez en el matadero eran sometidos un periodo de descanso de 14 horas, con acceso libre a agua pero no a comida. Durante el sacrificio los animales fueron aturdidos eléctricamente, sacrificados mediante desangramiento, escaldados y eviscerados de acuerdo a las normativas europeas para el bienestar de los animales antes del sacrificio y siguiendo los procedimientos básicos de los mataderos comerciales.

1.1. Efecto del sexo y sistema de alimentación de la fase final de cebo en medidas ultrasónicas y de canal

Se usaron 125 animales (61 machos y 64 hembras). El peso vivo y la edad de los animales al inicio de la fase final de cebo fue de 106.9 ± 1.0 kg y un año de edad, aproximadamente. Los cerdos fueron agrupados por sexo asignándolos de forma aleatoria a cuatro tipos de alimentación: montanera, recebo, cebo a campo y pienso rico en ácido oleico. El grupo de montanera, compuesto por 25 hembras y 25 machos, fue cebado en extensivo y alimentado con los recursos naturales de la dehesa (bellota y pasto) siguiendo el sistema de producción tradicional del cerdo Ibérico que consiste en que la montanera debe de tener una duración entre 60 y 90 días y que los animales tienen que alcanzar al menos 160 kg de peso vivo. Un segundo grupo, el de recebo, constituido por 25 animales (12 machos y 13 hembras)

fue sometido al mismo sistema de explotación que los animales del grupo de montanera hasta que alcanzaron un peso vivo de 125 kg; a partir de este momento los animales fueron criados de manera extensiva y alimentados con pienso comercial hasta que alcanzaron un peso final de 160 kg. Los dos grupos restantes de 25 animales cada uno (12 machos y 13 hembras) estuvieron durante la fase final de cebo en una parcela extensa donde poder hacer ejercicio pero que carecía de encinas para evitar la ingesta de bellotas por parte del animal. Ambos grupos fueron alimentados durante toda la fase de cebo final (desde 100 kg hasta 160 kg de peso vivo) con un pienso concentrado comercial y una dieta rica en ácido oleico imitando la composición natural de la bellota, respectivamente. En la tabla 1 se expone la composición química de cada una de las dietas que recibieron los cerdos en la fase final de cebo. Los pesos medios que alcanzaron los animales al sacrificio fue de 160.8 ± 6 kg para el grupo de montanera, 161.8 ± 5 kg para el grupo de recebo, 160.8 ± 7 kg para el grupo de pienso comercial and 159.0 ± 6 kg para el grupo de pienso rico en ácido oleico.

1.2. Predicción de la composición de la canal in vivo

Se usaron 241 animales (mitad machos y mitad hembras) engordados bajo condiciones extensivas a base de bellotas y pasto o pienso comercial hasta que alcanzaron el peso de sacrificio (160 kg aproximadamente).

1.3. Efecto de la duración de la fase final de cebo sobre la composición de ácidos grasos de la grasa dorsal e intramuscular y sobre el tamaño de las células adiposas

Se usaron 24 machos castrados cebados bajo condiciones de montanera entre los meses de Noviembre y Enero, donde el animal recibe una dieta basada en los recursos naturales de la dehesa (bellota y pasto). Los animales fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos en función de la duración de la montanera (1, 2 ó 3 meses). El peso vivo y la edad de los animales a la entrada en la fase final de cebo fue de 128.8 ± 1.0 kg y 350 ± 10 días y el peso sacrificio estuvo entre 157.6 kg y 225.6 kg, dependiendo de la duración de la montanera.

2. Recogida de datos

2.1. Imágenes por ultrasonido

Los cerdos fueron pesados y escaneados por ultrasonido 24 horas antes del sacrificio para medir la composición in vivo de la canal. Para la recogida de las medidas de ultrasonido se empleó el ecógrafo Aloka 500 (Aloka Holding-Europe, Switzerland) y una sonda de 3.5 MHz, con un prolongador de 12 cm (Aloka Holding-Europe, Switzerland). Las imágenes de ultrasonido fueron recogidas por una sonda que se colocaba de perpendicular al lomo en dos localizaciones anatómicas diferentes: entre las costillas 10^a y 11^a y justo delante de la última costilla. Se utilizó un adaptador de caucho suave hecho por Superflab® para asegurar un contacto adecuado de la sonda con la piel del animal. Las imágenes fueron digitalizadas y almacenadas en un ordenador para su posterior análisis con el software Biosoft® (Biotronics Inc., Ames, IA, USA). En cada imagen se midió el área del lomo, el grosor de la grasa dorsal, así como de las capas que componen este tejido adiposo

(externa, media e interna) en los dos puntos anatómicos mencionados con anterioridad. Las mediciones de cada variable se realizaron por triplicado y por dos técnicos diferentes.

2.2. *Medidas de la canal*

Una vez sacrificado el animal, la canal (en el cerdo Ibérico se incluye la cabeza) fue pesada, y el rendimiento de la canal se calculó en caliente. Transcurridas dos horas del sacrificio las canales fueron divididas longitudinalmente en dos partes, midiéndose la longitud interna de la canal (desde el extremo craneal de la primera vértebra cervical al borde craneal de la sínfisis isquio-púbica). La hemicanal izquierda fue dividida en jamones, paletas y lomos, obteniéndose el peso de cada uno de estas piezas cárnicas y calculando su rendimiento respecto al de la canal. Se tomo un trozo de costillar entre la décima y última costilla con su musculatura anexa, incluido el mmo *Longissimus dorsi*. En ambas secciones transversales del costillar se midieron las mismas variables de calidad de canal (grasa dorsal y sus capas y área del lomo) que las recogidas *in vivo* por ultrasonido. Posteriormente la grasa dorsal se diseccionó en diferentes muestras identificándola con la costilla y lo mismo se hizo con el mm *longisismus dorsi*, para a continuación envasarla al vacío y almacenarla junto a la grasa dorsal a una temperatura de -80° hasta que fueron analizadas posteriormente (menos de dos semanas). El contenido en grasa intramuscular de las muestras de lomo fue cuantificado de acuerdo con el método descrito por Folch et al. (1957).

2.3. *Contenido de ácidos grasos de los tejidos grasos*

Se analizó la composición de ácidos grasos de la grasa dorsal, así como de sus capas (externa, media e interna) por el método oficial usado en los estándares de calidad del Cerdo Ibérico. El procedimiento fue el siguiente: una muestra homogénea de cada una de las capas de la grasa dorsal de cada animal fue pesada y homogeneizada con 50 ml de éter dietílico (relación 1:2) usando un homogeneizador de palas a una velocidad de 80 o 400 rpm dependiendo del tamaño de la muestra durante dos minutos. La solución resultante es filtrada para separar la grasa (contenido de lípidos junto con el disolvente) y el residuo sólido (tejido conectivo). El matraz con el extracto se lleva al rotovapor, bajo vacío y con baño calefactor con agua entre 40 y 50 °C y circuito de refrigeración, donde estará un mínimo 5 minutos para la separación y recuperación del disolvente. Para la disolver los lípidos se le añadió 4 ml de n-hexano mezclado con alcanos a 0.20 g de lípidos, siendo posteriormente agitado suavemente. A continuación se le añadió 0.2 ml 2M de KOH en metal agitándolo y dejándolo reposar después durante 30 minutos. La mezcla resultante es centrifugada a 2000 rpm durante 30 segundos. Los ácidos grasos son determinados en 1 ml de mezcla por análisis de cromatografía de gases.

2.4. *Tamaño de los adipocitos*

Se obtuvo el área, diámetro y perímetro de los adipocitos de la grasa intramuscular. Para ello se obtuvo una porción de 1 cm³ del músculo *Longissimus dorsi* y se introdujo en nitrógeno líquido. Después de ello las muestras fueron embebidas en un medio de OCT y almacenadas a -80 °C hasta su posterior corte.

Secciones de 20 μm de espesor, recogidas en portaobjetos con intervalos de 300 μm entre cada corte, se realizaron con ayuda de un criostato Leica CM1900. Los cortes fueron fijados en una solución de glutaraldehído al 2.5% en PBS durante 10min., lavados con PBS y seguidamente se aplicó la tinción Oil Red O descrita por Lillie y Assburn (1943). Mediante una cámara digital acoplada a un microscopio Eclipse 90i Nikon se tomaron microfotografías que posteriormente se analizaron mediante el programa de análisis de imagen NIS-Elements AR. Se obtuvieron entre 1 y 12 adipocitos por cada animal.

3. Análisis estadístico

3.1. Predicción de la composición de la canal in vivo

Se calcularon los estadísticos descriptivos de las medidas de ultrasonido y de canal, así como las correlaciones de Pearson usando el programa estadístico SAS. Se obtuvo la ecuación de predicción del peso y rendimiento de las piezas cárnicas mediante regresión. El modelo de predicción seleccionado fue el que presentó un mejor ajuste con un R^2 máximo y un MSE mínimo (Kempster et al., 1982; MacNeil, 1983).

3.2. Efecto del sexo y sistema de alimentación de la fase final de cebo en medidas ultrasónicas y de canal

Los datos fueron analizados mediante el diseño de modelos ANOVA para medidas de ultrasonidos, de pesos y rendimientos usando procedimientos GLM del programa estadístico SAS ver. 9.2. Para las medidas de ultrasonido el modelo incluyó el sistema de alimentación, el sexo y su interacción, usando el peso de la canal como covariable (Ecuación 1), mientras que para el

modelo con las medidas de canal y piezas cárnicas (pesos y rendimientos) el modelo incluyo los efectos del sistema de alimentación y sexo, así como la interacción de ambos efectos. El nivel de diferenciación se estableció a un p-value inferior a 0.05 ($p < 0.05$).

$$\text{Ecuación 1. } Y = m + CW_i + T_j + S_k + (T * S)_{jk} + e_{ijk}$$

donde:

CW es el peso de la canal,

T es el sistema de alimentación o dieta recibida por el animal en la fase final de cebo,

S es el seco,

TS es la interacción del sistema de alimentación y el sexo

3.2.Efecto de la duración de la fase final de cebo en montanera sobre la composición de los ácidos grasos del tejido adiposo

Se utilizó el procedimiento GLM implementado con el programa estadístico SAS para comparar las medidas de la canal (peso y área del lomo, porcentaje de grasa intramuscular y espesor de la grasa dorsal) usando la duración de la fase final del cebo como efecto fijo y el peso de la canal como covariable.

Se comparó el contenido de ácidos grasos de la grasa intramuscular y dorsal, así como de las capas de ésta (externa, media e interna) usando la duración de la fase final del cebo como efecto fijo y la localización fue anidado dentro de la duración de la fase final del cebo. Las medias fueron comparadas por el test de Tukey. Se calcularon las correlaciones entre el contenido de ácidos grasos de la grasa intramuscular y el mismo ácido graso de la grasa dorsal. Las relaciones lineales

entre ácidos grasos en la grasa intramuscular y dorsal fueron estudiadas usando el contenido de ácidos grasos de la grasa dorsal como una variable independiente y los de la grasa intramuscular como dependiente. Se realizó un ANCOVA para testar que la pendiente entre los ácidos grasos de ambas localizaciones fue diferente para las tres duraciones de la fase final de cebo. La interacción entre la duración de la fase final de cebo y los ácidos grasos de la grasa dorsal del *Longissimus dorsi* m. no fue diferente en ninguna variable por ello se realizó un análisis de regresión simple. Para establecer la representación del crecimiento diferencial de los músculos y tejido graso se empleó la ecuación alométrica (Huxley, 1932). Este modelo describe una parte de todas las relaciones de la siguiente forma:

$$\log Y = \log a + b * \log X$$

donde

a = intersección en el eje Y,

b = el coeficiente de crecimiento alométrico (pendiente)

X = peso de la canal e Y = contenido en grasa intramuscular, espesor de la grasa dorsal y peso y área del lomo. En el estudio de las capas de la grasa dorsal, X = espesor de la grasa dorsal e Y = espesor de cada una de las tres capas.

Los coeficientes alométricos se testaron para determinar su el coeficiente alométrico puede definir un patrón rápido, lento o equivalente de crecimiento. El test fue computado como $t = (b - B_0) / SE_b$, el cual distribuye como un test de Student con grados de libertad del término del error.

3.3.Efecto de la duración de la fase final de cebo en montanera sobre el tamaño de los adipocitos de la grasa intramuscular

Se evaluó el efecto de la duración de la fase final de cebo en montanera en el tamaño de los adipocitos. Para ello se usó el proceso GLM implementado con SAS. Para comparar las medias de las medidas se empleó el test de Tukey. Se establecieron correlaciones de Pearson entre medidas de la canal (porcentaje de grasa intramuscular y espesor de la grasa dorsal y sus capas en dos localizaciones anatómicas) y el tamaño del adipocitos (área, diámetro y perímetro). Las frecuencias para el tamaño de los adipocitos fueron obtenidas y representadas gráficamente.

CAPITULO I

CAPITULO I: EFECTO DEL SEXO Y SISTEMA DE CEBO EN MEDIDAS DE ULTRASONIDO Y EN CANAL DEL CERDO IBÉRICO

- Ayuso D., González A., Hernández F., Peña F., Izquierdo M. Effect of sex and final fattening on ultrasound and carcass traits in Iberian pigs. *Meat Science*, 96 (2014) 562–567.

Effect of sex and final fattening system on ultrasounds and carcass measurements in Iberian pigs

D. Ayuso^a, A. González^b, F. Hernández^a, F. Peña^b M. Izquierdo^a

^aResearch Center of Extremadura “La Orden Valdesequera”,
Spain

^bDepartment of Animal Production, University of Córdoba,
Córdoba, Spain

Corresponding author: Dolores Ayuso Carrizosa. E-mail:
lolayuso@gmail.com. Phone: +34 924014088. Fax: +34
924014001

ABSTRACT

A hundred and twenty-five castrated Iberian pigs (61 males and 64 females, from 106.9 kg of live weight at star to 160.3 kg at slaughter) was used to investigate the effect of feeding system on carcass attributes (backfat thickness and loin area measured with ultrasound before slaughter, and intramuscular fat and weights and yields of hams, forelegs and loins after slaughter). Pigs were fattened outdoor under extensive conditions. There were 4 treatments: “montanera”, M; “recebo”, R; “cebo a campo”, C; and high oleic fed, O). Ultrasound images were

collected at two rib locations (10th and 14th). M and O groups had the highest fat thickness and loin area was lower in M than in C group. M and O showed higher carcass weight and yield than the other groups. The largest ham weight was for C and the lowest for M groups. Loin weight and yield were higher in M and R than the other two groups (O and C).

KEY WORDS

Iberian pig, feeding system, ultrasound, backfat layers, commercial lean cuts, loin area.

INTRODUCTION

The Iberian pig (*Sus mediterraneus*) is a local breed from the southwest regions of Spain with a distinct adipogenic nature (marbling) which production is linked to the Mediterranean forest (the so-called “dehesa”). This breed is traditionally raised under free range conditions (slaughtered approximately when they are at least 12-14 month old and a weight of 150-160 kg) and has survived thanks to high consumer acceptability of their cured products (Andersen y col., 2005; López-Bote, 1998; Fernández y col., 2006). The production and feeding systems in the fattening period classified the Iberian pig products (RD 1469/2007) into categories (e.g. “montanera”, “recebo”, “cebo a campo”). The “montanera” system is carried out in the Mediterranean forest, the so-called “dehesa”. In this system, the fattening period (from ~ 100 to 160 kg of live weight) is in free-range conditions and animals eat only acorns and grass. On the “recebo” system, the animals are in free-range conditions in the

“dehesa” eating only acorn and grass during the initial phase of the fattening (from ~ 100 to 125 kg of live weight); afterwards, the diet is supplemented with concentrate until the final weight (~160 kg.). On the other hand, the “cebo a campo” system means that the animals must remain in extensive system through the final stage of fattening (from ~100 to 160 kg. of live weight) period over which the animals consume feed concentrate based on cereal and leguminous. The composition and yield of commercial cuts (hams, forelegs and loins) from the extensively raised Iberian pigs are very much conditioned by the gender and the type of feeding in the fattening period (Flores y col., 1988; Ruiz y col., 1998). These commercial cuts, in individuals with 140-160 kg of live weight, can represent up to the 80% of the whole economic value of the carcass (Silió, 2000). The subcutaneous fat (up to the 50% of the carcass weight (Mayoral y col., 1999)), is not appreciated by the consumer, so the selection of Iberian pigs tends to diminishing the fat thickness, but should avoid the reduction of the intramuscular fat content (IMF), as has happened in other pig breeds (Lonergan y col., 2001). It has been proved that backfat thickness, loin area and intramuscular fat content are good features to predict pig carcass characteristics. Real-time ultrasound has been used to measure *in vivo* these parameters in mammals (Mersmann, 1982; Cisneros y col., 1996; Gresham y col., 1992; Youssao y col., 2002; Greiner y col., 2003). This technology has been proved efficient to assess *in vivo* the effect of slaughter weight on fat thickness and lean percentage (McLaren y col., 1989), and to

estimate the intramuscular fat content in meat and carcasses (Mörlein y col., 2005). On the other hand, Newcom y col. (2005) correlated the intramuscular fat of the *Longissimus dorsi* muscle with the ecographic measures *in vivo* of the inner layer of backfat that develops at the end of the fattening period. In Iberian pig breed, previous research showed that the ultrasound technology can be used to predict the yields of the carcass and commercial cuts (Daza y col., 2006; Ayuso y col., 2010).

The main objective of this research was to study, by the use of real-time ultrasound technique, the influence of feeding systems and sex on some carcass characteristics of the Iberian pig as backfat thickness and the loin area. In addition, after slaughter, the effect of both factors (diet and sex) on the percentage of intramuscular fat in the *Longissimus dorsi* muscle and on the weights and yields of commercial cuts were studied too.

MATERIAL AND METHODS

1. Animals and diets

The experimental procedures used in this study were in compliance with the Spanish guidelines for the care and use of animals in research (RD 1469/2007). A hundred and twenty-five castrated Iberian pigs (61 males and 64 females) from the Research Institute “La Orden-Valdesequera” (Extremadura, Spain) were used in this study. From birth to the start of the fattening period (approximately 100 kg live weight) were managed according to standard commercial procedures and they received the same standard diet based on commercial

concentrate feed. Shortly after birth, the piglets were administered 200 mg Fe-dextran complex (Imposil Forte®; Alstoe Ltd., UK) via i.m. injection. From 15 days of age onwards piglets had free access to solid feed based on wheat products, soybean protein isolate, potato protein and acid whey powder. At weaning (42-49 days old), all piglets were moved to an open-air fenced where they had full access to feed and water. A gradual change to a starter diet (CP 16.8%, CF 5.1%, ELN 70%, moisture 11%, Ash 5.8%, EM 3500 kcal) took place during 8th week, to growth diet (~23 kg live weight; CP 15.7%, CF 2.8%, ELN 75%, moisture 11%, Ash 5.1%, EM 3200 kcal.), and to pre-final fattening diet (~70 kg live weight; CP 12.3%, CF 5.8%, Ash 4.8%, ELN 60%, moisture 11%, EM 3800 kcal.). This diet was offered ad libitum. The males were castrated and the females were ovariectomized under anesthesia following the Spanish regulations. Live weight and age of the pigs at the beginning of the fattening period were 106.9 ± 1.0 kg and 12 months old, approximately. Afterwards, pigs were grouped by sex and randomly assigned to one of the four feeding systems: “montanera” (M), “recebo” (R), “cebo a campo” (C) and “high oleic fed” (O) systems. The M group (25 males and 25 females) was free-range reared and fed on natural resources (acorns and grass) following traditional livestock farming for Iberian pigs for 60 to 90 days until they reach 160 kg of weight, approximately. A second group (R), of 25 (12 males and 13 females) animals, was kept into the same production system until they reach 125 kg of live weight. Afterwards, these pigs

were reared outdoors system, under controlled conditions and fed with a commercial diet until final weight (160 kg.). The two remaining batches, 25 pigs per batch (12 males and 13 females), were reared in extensive parcels according to the Spanish legislation (RD 1469/2007), without the presence of oaks to avoid the intake of acorns, and were fed with conventional concentrate feed (C) or concentrate diet containing high level of oleic acid (O), imitating the natural composition of acorn during the whole fattening period (from 100 to 160 kg. of live weight). The chemical composition of each feed is presented in Table 5. The pigs were fed *ad libitum* and individually weighed monthly, and slaughtered once they obtained an average live weight of 160 kg, approximately. At slaughter, the average of live weight was 160.8 ± 6 kg for the group M, 161.8 ± 5 kg for R, 160.8 ± 7 kg for C and 159.0 ± 6 kg for O.

Table 5. The chemical composition of dietary ingredients

Analysed composition ^a	Concentrate ^b	Concentrate high Oleic ^b	Acorn ^c	Pasture ^d
Crude protein %	16.10	15.00	4.60	13.7
Crude fat %	2.44	5.66	7.00	6.26
Crude fiber %	3.99	5.07	5.90	22.22
Ash %	5.80	5.10	1.50	7.31
Oleic %	0.54	3.30	3.61	0.31

^a Expressed as % dry matter.

^b by formulation.

^c As specified in Daza y col. (2007).

^d As specified in Cava y col. (2000).

2. Collection of images by ultrasounds

Pigs were weighed (SLW) and ultrasonically scanned 24 h before slaughter to measure body composition, using an Aloka 500 machine (Aloka Holding - Europe, Switzerland) and a 3.5 MHz, 12 cm long probe (Aloka Holding - Europe, Switzerland). Ultrasound images were collected by placing the probe perpendicular to the loin at two different rib locations: one image was taken between the 10th and 11th ribs (10th intercostal space) and the other was taken just behind the last rib (the 14th rib). A soft, rubbery adaptor made of Superflab® was used between the animal and the probe to assure an adequate contact of the probe with the animal. Images were digitalized and stored in a computer for a later analysis by Biosoft® software (Biotronics Inc., Ames, IA, USA). For each image, loin area (LAu10 and LAu14), total backfat thickness, and the thickness of the fat layers were measured. The measurements from the ultrasound images (8 in total) were abbreviated as following: i) outer backfat layer at the 10th and 14th ribs (OBFu10 and OBFu14, respectively); ii) middle backfat layer at the 10th and 14th ribs (MBFu10 and MBFu14, respectively); iii) inner backfat layer at the 10th and 14th ribs (IBFu10 and IBFu14, respectively); iv) total backfat thickness at the 10th and 14th ribs (TBFu10 and TBFu14, respectively).

3. Carcass data collection

After slaughtering, the carcasses with head were weighed (CW) and the hot carcass yield was calculated. Within two hours after slaughter, the carcasses were split longitudinally, and carcass inner length (from the cranial edge of the first cervical rib to the cranial border of *isquium-pubis symphysis*, CL) was recorded. Then, the left-hand side of the carcass was halved into hams, forelegs and loins, and the joint weights were measured. Carcass yield (CY) and yield of commercial cuts (ham, HY; foreleg, FY; and loin, LY) were calculated from the hot carcass weight. Two portions of the *Longissimus dorsi* muscle from the interfaces 10th to 11th and behind the 14th rib were dissected, freed from visible fat, vacuum packaged and stored, together with the back-fat, at -80 °C until the analyses were carried out (less than 2 weeks). The intramuscular fat content (IFAT) was quantified according the method described by Folch y col. (1957).

4. Statistical analysis

Data were analysed creating two completely randomized design ANOVA models for ultrasound and weights and yields measurements using GLM procedure (SAS ver. 9.2.). For the ultrasound measurements, the model included the variables feeding system (T), sex (S) and their interaction (TxS); carcass weight was used as a covariate (Equation 1). For the model with carcass and commercial lean cuts measurements (weights and yields) the model included feeding system (T) and sex (S) effects and their interaction (TxS). The means between variables were considered significantly different at $p \leq 0.05$.

Equation 1. $Y = m + CW_i + T_j + S_k + (T * S)_{jk} + e_{ijk}$

where:

CW is the carcass weight for the i^{th} animal,

T is the feeding or diet system treatment,

S is the sex,

TS is the interaction feeding and sex.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 6 shows the means and standard deviation obtained for ultrasound measurements in two anatomic locations (rib 10th and 14th) in Iberian pigs. These means were similar to results in previous studies carried out directly in carcasses (De Pedro, 1987; Dobao y col., 1987; Daza y col., 2005; Daza y col., 2006; Rey y col., 2006). The variability of the sample could be due to the feeding in the final fattening (acorns and grass or commercial diet), sex, or an interaction between the both factors (feeding and sex).

Table 6. Simple statistics for ultrasound measurements and intramuscular fat content from the *Longissimus dorsi* muscle and backfat layers in two anatomical locations (rib 10th and 14th)

Trait ¹	Mean	SD	Max.	Min.	CV
TBFu10 (mm)	69.98	8.28	89.92	50.55	11.83
OBFu10 (mm)	12.44	2.22	19.56	6.31	17.85
MBFu10 (mm)	40.86	6.21	60.19	26.93	15.20
IBFu10 (mm)	17.61	3.41	26.66	9.68	19.36
Alu10 (cm ²)	20.83	1.77	24.77	16.97	8.50
TBFu14 (mm)	55.25	8.70	77.47	36.83	15.75
OBFu14 (mm)	10.70	1.76	15.50	6.76	16.45
MBFu14 (mm)	27.24	5.78	45.82	15.75	21.22
IBFu14 (mm)	17.31	3.91	28.18	8.13	22.59
Alu14 (cm ²)	18.63	1.60	22.65	14.90	8.59
IFAT10 (%)	5.75	1.86	13.70	2.26	32.35
IFAT14 (%)	5.36	1.74	11.85	1.63	32.46

¹TBFu10 = ultrasound backfat thickness at 10th rib location; TBFu14 = ultrasound backfat thickness at 14th rib location; OBFu10 = ultrasound outer backfat layer at 10th rib location; OBFu14 = ultrasound outer backfat layer at 14th rib location; MBFu10 = ultrasound middle backfat layer at 10th rib location; MBFu14 = ultrasound middle backfat layer at 14th rib location; IBFu10 = ultrasound inner backfat layer at 10th rib location; IBFu14 = ultrasound inner backfat layer at 14th rib location; Alu10 = ultrasound loin muscle area at 10th rib location; Alu14 = ultrasound loin muscle area at 14th rib location; IFAT10 = intramuscular fat at 10th rib location; IFAT14 = intramuscular fat at 14th rib location.

Table 7 shows effect of feeding. In relation to backfat, TBFu10 and TBFu14 were significantly higher ($P \leq 0.05$) for M (72.80 and 57.00 mm) and O groups (73.47 and 58.10 mm) than for R (67.94 and 51.90 mm) and C groups (64.37 and 50.60 mm). The difference in TBF between the two most different feeding systems (M and C) was almost 8 mm. These results disagree with Daza y col. (2006), who obtained a difference of only 1 mm in ultrasound backfat thickness between M (51.98 mm) and C (50.72 mm) feeding systems. On the other hand, Rey y col. (2006) reported a difference of 13 mm between M and C feeding systems (59.00 and 46.00 mm, respectively), but these results were obtained directly from the carcass and ours were measured on the ultrasound images.

Table 7. Least squares means of ultrasound measurements and intramuscular fat content from the *Longissimus dorsi* muscle and backfat layers in two anatomical locations (rib 10th and 14th) from Iberian pigs by fattening systems

Trait ¹	M		R		O		C		ANOVA
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	F
TBFu10 (mm)	72.80 ^a	1.13	67.94 ^b	1.67	73.47 ^a	1.38	64.37 ^b	1.49	6.76*
OBFu10 (mm)	12.50	0.35	12.80	0.52	13.11	0.43	11.60	0.47	1.77
MBFu10 (mm)	42.50 ^a	0.87	39.90 ^{ab}	1.29	41.60 ^a	1.07	37.10 ^b	1.16	4.07*
IBFu10 (mm)	18.50 ^a	0.55	16.10 ^b	0.83	18.70 ^a	0.67	15.40 ^b	0.72	3.74*
Alu10 (cm ²)	20.10 ^a	0.29	21.10 ^b	0.43	20.90 ^b	0.35	21.70 ^b	0.38	2.27*
TBFu14 (mm)	57.00 ^a	1.23	51.90 ^b	1.83	58.10 ^a	1.56	50.60 ^b	1.64	4.93*
OBFu14 (mm)	10.50	0.30	10.20	0.44	11.30	0.38	10.50	0.39	1.02
MBFu14 (mm)	28.80 ^a	0.89	26.00 ^{ab}	1.32	28.20 ^a	1.13	24.40 ^b	1.19	3.92*
IBFu14 (mm)	17.60 ^{ac}	0.60	16.00 ^{cb}	0.91	18.70 ^a	0.76	15.60 ^b	0.80	2.47*
Alu14 (cm ²)	17.80 ^a	0.26	18.60 ^{ab}	0.39	19.30 ^{bc}	0.32	19.70 ^c	0.34	5.91*
IFAT10 (%)	6.35 ^a	0.26	5.54 ^{ab}	0.39	5.42 ^b	0.32	4.47 ^c	0.35	4.71*
IFAT14 (%)	6.17 ^a	0.25	5.34 ^b	0.37	5.00 ^b	0.30	4.10 ^c	0.33	6.35*

¹TBFu10 = ultrasound backfat thickness at 10th rib location; TBFu14 = ultrasound backfat thickness at 14th rib location; OBFu10 = ultrasound outer backfat layer at 10th rib location; OBFu14 = ultrasound outer backfat layer at 14th rib location; MBFu10 = ultrasound middle backfat layer at 10th rib location; MBFu14 = ultrasound middle backfat layer at 14th rib location; IBFu10 = ultrasound inner backfat layer at 10th rib location; IBFu14 = ultrasound inner backfat layer at 14th rib location; Alu10 = ultrasound loin muscle area at 10th rib location; Alu14 = ultrasound loin muscle area at 14th rib location; IFAT10 = intramuscular fat at 10th rib location; IFAT14 = intramuscular fat at 14th rib location.

²M = "Montanera"; R = "Recebo"; O = Oleic; C = "Cebo a campo". ^{a,b,c}: Means having different superscript letters within rows differ ($p \leq 0.05$); * = $p \leq 0.05$.

These differences of backfat thickness in groups M and O compared with the other feeding groups (R and C) were due to the acorn high fat content similar to the fat content of O concentrate, while in regular commercial concentrates this percentage is low (Rey y col., 1997). In a previous research in Duroc purebred and crossbreed genotypes with intensive breeds (Large White and Landrace), it was shown that a diet low in protein (similar to the “montanera” system) did not affect significantly the carcass characteristics. However, if the time of administration of these diets was prolonged TBFu14 was increased (Wood y col., 2004; Teye y col., 2006). Our results showed that a diet low in protein affects carcass characteristics in Iberian breed. While “montanera” animals showed similar backfat thickness compared to the oleic group; the loin area and intramuscular fat between those two groups were statistically different ($P \leq 0.05$). Our results showed that the diet given to pigs in their fattening stage, as indicated above, had an effect on the backfat thickness and carcass characteristics. The IFAT was higher in animals fed with high oleic diets without affecting backfat thickness and loin area, whilst group C showed the lowest percentages of intramuscular fat and the lowest backfat thickness. Our results agree with the research of Huang y col. (2008), who showed that the percentage of intramuscular fat is strongly affected by high content of oleic acid in the diet given at early growth stages. Kouba y col. (2003) obtained higher values for backfat thickness in Duroc breed pigs fed on diets enriched with oleic acid compared to pigs fed with traditional

diets. The effect of type of feed is expected to be more marked in Iberian pigs because the animals are slaughtered with higher weights and older ages than other breeds such as white pigs and Duroc. The middle and inner backfat layers measured at two ribs locations (MBFu10-14 and IBFu10-14) followed the same trend as the backfat thickness (TBF), and showed significantly ($P \leq 0.05$) differences between feeding systems. M and O groups had the greatest thickness in all backfat layers at both rib locations, in relation to R and C groups. The animals of Group O had the greatest outer backfat layer, but we did not find overall significant differences ($P > 0.05$) at 14th rib location for this layer between feeding systems. The little variation of the outer backfat layer among feeding systems could indicate that this layer has an earlier development than the other two layers. In that regard, Rey y col. (2006) indicated that the fat deposition in the outer layer was more constant than middle and inner layers.

The *Longissimus dorsi* muscle area was significantly lower ($P \leq 0.05$) in M and higher in C than the rest of the systems at both rib locations. Measurements at 14th rib site showed the largest differences between the four groups. The diets rich in oleic acid (M, R and O) showed marked differences in loin area. The largest loin area was found in group O, which can be attributed to the high protein intake is controlled, unlike the M and R groups where the protein level of diet proceeded mainly on acorns and grass. These results agree with those obtained by Daza y col. (2006), where the M group showed significant differences ($P \leq 0.05$) with C in loin area (2,672 vs. 3,031 mm²).

According to these results, the carcasses of animals fed with diets rich in fat and poor in protein in the fattening period will have greater fat percentage when compared to animals fed with commercial or rich oleic acid diets. The results that we obtained seem obvious if we consider the age of animals (> 320 days, approx.), their marked adipogenic character and the acorn composition, which has greater percentage of fat and lower level of protein than commercial feed (4.29 vs. 12.95%) (Cava y col., 1997).

Regarding to IFAT, we found significant ($P > 0.05$) differences between animals fed in the “montanera” system with acorn and grass (M and R) and animals fed in extensive parcels with commercial feeding formulations (O and C). The two most different groups (M and C) showed the extreme values in IFAT at both rib location (6.35 and 6.17 % for M and 4.47 and 4.10 % for C). However, the percentage of intramuscular fat in both rib locations for group R (5.54 - 5.34 %) was similar to group O (5.42 - 5.00 %). Wood y col. (2004) and Teye y col. (2006) found statistically significant differences in the percentage of intramuscular fat in animals of Duroc and White breeds (Large White and Landrace) fed with diets poor in protein against of animals fed with conventional feed where the level of protein is optimal for that breeds. In the Iberian pig the trend was similar because animals fed with diets based on acorn (groups M and R) which could be deficient in protein showed a greater percentage of intramuscular fat than the other two groups. These results are consistent with those obtained by Melgar y col. (1991) who

detected greater percentages of intramuscular fat in hams of Iberian pigs fed in “montanera” system (22%), followed by “recebo” (20.70%) and “cebo” (16%) systems. As the deposition of intramuscular fat occurs at a later age than subcutaneous fat, the composition of intramuscular fat could have a greater relationship with the lipid composition of feed in last stage of the fattening than the subcutaneous fat. This can be seen in our study if we compare M and R feeding systems, because the latter had lower intramuscular fat due to the type of feeding in the last stage of fattening. To recall, the commercial diet used to feed group R had a lower percentage of fat than the acorn. However, these observations disagree with Mayoral y col. (1999), who found the intramuscular fat percentage in Iberian pigs fed by extensive feeding system increased significantly in the *Longissimus dorsi* muscle in pigs from 58 to 234 days of age, slaughtered at 482 days of age, however, the increase of the percentage of intramuscular fat was not significant ($P > 0.05$) in the loin. In our study, M and R groups showed significant ($P \leq 0.05$) differences in the IFAT in the final stage of the fattening (30 days).

Unlike the type of feeding, sex did not significantly ($P \leq 0.05$) affect ultrasound measurements obtained from two anatomic locations, with the exception of OBFu10, that was more developed in females (12.98 mm) than in males (12.02 mm) (Table 8). Also, the IFAT at the 14th rib site (IFAT14) was statistically different ($P \leq 0.05$) between males and females. The males accumulated more intramuscular fat than females, in

agreement with studies carried out by De Pedro (1987) in Iberian breed, by Ramirez & Cava (2007) and Cordero y col. (2010) in Iberian and Duroc crossbreed and by Heyer & Lebret (2007) in Duroc and white pigs (Large White and Landrace) crossbreed. However, differences between sexes were only found significant in Landrace crossbreed.

Table 8. Least squares means of ultrasound measurements and intramuscular fat content from the *Longissimus dorsi* muscle and backfat layers in two anatomical locations (rib 10th and 14th) from Iberian pigs by sex.

Trait ¹	Male		Female		ANOVA
	Mean	SE	Mean	SE	F
TBFu10 (mm)	68.50	0.91	71.00	1.10	3.08
OBFu10 (mm)	12.02 ^a	0.28	12.98 ^b	0.34	5.34*
MBFu10 (mm)	39.20	0.70	41.30	0.85	3.81
IBFu10 (mm)	17.40	0.44	17.10	0.54	0.00
Alu10 (cm ²)	20.80	0.23	21.10	0.28	0.84
TBFu14 (mm)	53.30	1.01	55.50	1.20	3.20
OBFu14 (mm)	10.66	0.24	10.64	0.29	0.16
MBFu14 (mm)	25.90	0.73	27.70	0.87	2.70
IBFu14 (mm)	16.70	0.49	17.30	0.59	1.10
Alu14 (cm ²)	18.70	0.21	19.00	0.25	1.16
IFAT10 (%)	5.54	0.21	5.34	0.26	0.33
IFAT14 (%)	5.57 ^a	0.20	4.76 ^b	0.24	7.18*

¹TBFu10 = ultrasound backfat thickness at 10th rib location; TBFu14 = ultrasound backfat thickness at 14th rib location; OBFu10 = ultrasound outer backfat layer at 10th rib location; OBFu14 = ultrasound outer backfat layer at 14th rib location; MBFu10 = ultrasound middle backfat layer at 10th rib location; MBFu14 = ultrasound middle backfat layer at 14th rib location; IBFu10 = ultrasound inner backfat layer at 10th rib location; IBFu14 = ultrasound inner backfat layer at 14th rib location; Alu10 = ultrasound loin muscle area at 10th rib location; Alu14 = ultrasound loin muscle area at 14th rib location; IFAT10 = intramuscular fat at 10th rib location; IFAT14 = intramuscular fat at 14th rib location

^{a,b,c}: Means having different superscript letters within rows differ ($p \leq 0.05$); * = $p \leq 0.05$.

In previous studies of Iberian pigs (Serrano y col., 2009) and Pietrain breed (Peinado y col., 2008), the sex did not affect significantly the backfat thickness similarly to our study. Backfat thickness was greater in females than in males, which disagree with the results found by De Pedro (1987), who indicated that the males deposit more fat than females at last lumbar level (5.93 and 5.70 cm, respectively). Additionally, sex did not affect ($P > 0.05$) the ultrasound measurements of backfat thickness and loin area, as well as the percentage of intramuscular fat in the Iberian pigs fed with four different traditional systems (groups M, R, O, and C). The interaction of both factors (feeding and sex) did not affect ($P > 0.05$) for ultrasound measurements and intramuscular fat content in two anatomical locations (rib 10th and 14th) (data not presented).

The feeding systems and the sex in the Iberian pigs, as in the case of ultrasound measurements, could also influence on the weights and yields of the carcass and commercial lean pieces (Tables 9 and 10).

Table 9. Least squares means of carcass measurements from Iberian pigs by fattening systems

Trait ¹	Fattening systems ²								ANOVA F
	M		R		O		C		
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	
CL (cm)	78.36	0.33	79.47	0.49	78.62	0.40	78.32	0.44	1.39
CW (kg)	136 ^{ab}	0.66	134.20 ^a	0.97	137.0 ^b	0.79	134.20 ^a	0.87	2.66*
CY (%)	84.87 ^a	0.24	84.14 ^a	0.36	85.25 ^b	0.29	82.96 ^c	0.32	8.46*
HY (%)	20.80	0.18	21.30	0.27	21.00	0.22	21.40	0.24	1.10
FY (%)	13.70	0.12	14.00	0.18	14.00	0.15	14.20	0.16	1.52
LY (%)	2.30 ^a	0.04	2.50 ^b	0.06	2.60 ^b	0.05	2.80 ^c	0.06	11.30*
HW (kg)	28.35	0.25	28.90	0.38	28.56	0.30	29.12	0.34	0.90
FW (kg)	18.70	0.16	19.03	0.25	19.05	0.20	19.33	0.22	1.41
LW (kg)	3.18 ^a	0.06	3.36 ^a	0.08	3.61 ^b	0.07	3.78 ^b	0.07	11.88*

¹ CL = carcass length; CW = carcass weight; CY = yield carcass; HY = ham yield; FY = foreleg yield; LY = loin yield; HW = ham weight; FW = foreleg weight; LW = loin weight.

²M = "Montanera"; R = "Recebo"; O = Oleic; C = "Cebo a campo"

^{a,b,c}: Means having different superscript letters within rows differ ($p \leq 0.05$).

Table 10. Least squares means (\pm SE) of carcass measurements from Iberian pigs by sex

Trait ¹	Sex				ANOVA F
	Male		Female		
	Mean	SE	Mean	SE	
CL (cm)	78.55	0.30	78.83	0.32	0.43
CW (kg)	136.20	0.50	134.80	0.63	1.98
CY (%)	83.93 ^a	0.20	84.68 ^b	0.23	5.77*
HY (%)	21.00	0.20	21.30	0.18	2.41
FY (%)	14.30 ^a	0.10	13.70 ^b	0.11	13.94*
LY (%)	2.56	0.00	2.58	0.04	0.21
HW (kg)	28.51	0.20	28.96	0.25	2.12
FW (kg)	19.44 ^a	0.10	18.62 ^b	0.16	13.98*
LW (kg)	3.49	0.00	3.48	0.05	0.00

¹CL = carcass length; CW = carcass weight; CY = yield carcass; HY = ham yield; FY = shoulder yield; LY = loin yield; HW = ham weight; FW = shoulder weight; LW = loin weight.

^{a,b,c}: Means having different superscript letters within rows differ ($p \leq 0.05$).

The linear statistical model used to study the feeding system (T) and sex (S) did not show a significant ($P > 0.05$) effect on the interaction between both variables for the characters of weight and yields of commercial cuts. However, for the carcass length the interaction was significant ($P \leq 0.0002$). Although the average live weight of slaughter of animals was similar between groups, given the significant difference in carcass weight we considered studying both effects (T and S) separately without adjusting the results for body weight. In relative with this, the carcass length was not significant ($P > 0.05$) affect by none of two factors. The pigs from M and O groups showed greater carcass weights and yields than R and C animals. The differences were significant ($P \leq 0.0001$) between feeding systems for both variables (CW and CY). The results showed three significant different blocks for CY; on the one hand the O animals had the greatest yields; in the other hand, C animals with the lowest yields; and finally acorn systems (M and R) showed intermediate values. These results disagree with a previous study of Daza y col. (2006) in Iberian breed. They found that the animals fed under “montanera” system had lower carcass yield (76.94%) than the animals raised under conventional fattening system (77.97%). In our study, the greatest yields corresponded to the animals raised under high fat feeding systems (O and M).

The O group was the one with the greatest carcass yield, although the percentage of fiber in the diet was smaller than the animals which ate acorn and grass. The result of carcass yield

did not agree with previous studies in Iberian breed (De Pedro, 1987; Menaya y col., 1998) because in those a increase of slaughter weight was followed by an increase in the carcass yield, but there were not variations in carcass yield if the variations in slaughter weight were low (Aparicio, 1987; De Pedro, 1987; Dobao y col., 1985).

The average slaughter weight of the animals raised under the four feeding system was similar in our study, with a variation between 5 and 7 kg, but still the carcass yields were affected by type of feed. This may be due to the increase in backfat of animals fed with diet rich in fat (M and O) and as discussed before, the subcutaneous fat could amount to up to 50% of carcass weight in Iberian pig (Mayoral y col., 1999).

Regarding the commercial pieces (hams, forelegs and loins), we did not find significant ($P > 0.05$) differences due to the type of feed in the ham weight or yield. Despite this, the animals of C group had the greatest ham weight (29.12 kg) and M had the lowest (28.35 kg). Similar trend was shown for ham yield. In the case of foreleg weight and yield occurred something similar to that explained for ham; the animals of C had the heaviest foreleg and the highest yields in front of M group which had the lowest values of this commercial cut. However, loin weight and yield were statically different ($P \leq 0.05$) between groups fed with acorn (M and R) and groups fed with commercial diets (O and C). The difference for loin weight between the more different feeding systems (C and M) was of 600 g.

Our results are in agreement with the obtained in previous studies in Iberian breed by López-Carrasco y col. (2003), but not with obtained by Daza y col. (2006) in this breed, because they said that the “montanera” and “cebo” feeding system did not significantly affect on weights and yields of commercial pieces (hams and forelegs). This observation leads to the same conclusion as the one for the measurement *in vivo* of the loin (ALu). The contribution of an optimal level of protein in diet, as well as a standard diet (C) as a diet enriched with oleic (O), produce animals with more yield than those fed in “montanera” system basic on acorn.

Regarding to sex, only had a significant ($P \leq 0.05$) effect on carcass yield. This trait was greater in males, although females had heavier carcasses. These observations disagree with De Pedro (1998), who concluded that males had a greater weight of carcass and females had greater weight of commercial pieces. These pieces obtained from Iberian pig showed similar weights and yields in both sexes, with the exception of the forelegs. Those were significantly heavier and had greater yields in males. These results suggest that females are fatter than males. In the case of hams, the females had greater weight and yield than males but the differences were not significant ($P > 0.05$) between sexes, according with those obtained by De Pedro (1998) observed that weight and yield of ham were greater for females. We did not find differences ($P > 0.05$) in loin: the weight and yield were similar in both sexes. These results are agree with those obtained by Serrano y col. (2009) and Peinado

y col. (2008) in crossbreed Iberian and Duroc and Pietrain breed, respectively, although the age of first animals at the time of slaughter was lower than ours (317 vs. 510 days, respectively).

CONCLUSIONS

The feeding system affects the ultrasound measurements in Iberian pigs, obtained greater values when fed the animals with fat diets (“montanera” and high acid oleic groups), so ultrasound techniques are effective in differentiating the four feeding systems employed in this study. Sex did not practically affect the ultrasound measurements of thickness backfat, loin area and percentage of intramuscular fat in the 10th rib site. The intramuscular fat content on the last rib was greater in males, which also had higher weights and yields of foreleg than females. Although the rest of weights and yields were indifferent the use of females or males castrated. The variable ultrasound measurements of loin area significantly differ between “montanera” and oleic acid feeding systems. The common practice of trying to simulate the fatty acid profile of “montanera” pigs with high oleic acid diets do not lead to the same characteristics on loin. M animals have the lowest meat yields because they have high backfat thickness and low lean yield of commercial lean pieces compared to the other feeding systems, although their highest intramuscular fat, which is associated with quality, compensates for the low yields.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by INIA RTA 2007-000-93-00-00
and by FEDER.

CAPITULO II

CAPITULO II: PREDICCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA CANAL, DEL PESO DE JAMONES Y PALETAS Y LOS RENDIMIENTOS DE LAS PIEZAS CÁRNICAS MEDIANTE EL EMPLEO DE MEDIDAS DE ULTRASONIDO EN EL CERDO IBÉRICO

- Ayuso D., González A., Hernández F., Corral J.M., Izquierdo M. Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. *Journal of Animal Science*. 2013.91:1884–1892.

**Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights
and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound
measurements in live animals**

D. Ayuso*, A. González[†], F. Hernández*, J.M. Corral*, M.
Izquierdo*

*Research Center of Extremadura “La Orden Valdesequera”,
Spain.

[†]Department of Animal Production, University of Córdoba,
Córdoba, Spain

Corresponding author: Dolores Ayuso Carrizosa. E-mail:
lolayuso@gmail.com. Phone: +34 924014088. Fax: +34
924014001

ABSTRACT

The most valuable lean cuts from Iberian pigs are the hams, forelegs and loins, which yield high quality cured meat products. This study aimed to assess the correlation between body composition measurements taken *in vivo* by ultrasonography in Iberian pigs and those taken on the carcass, which were then used to develop predictive models to estimate the weight and

yield of these cuts. Before slaughter, 241 Iberian pigs were weighed (slaughter live weight) and ultrasonically scanned. Ultrasound images were collected at 3 locations: the 10th intercostal space, caudal to the last rib to image the loin muscle and the rear gluteal region (ultrasound gluteal backfat, u-GBF). After slaughter, the weight of the carcass (CW), ham (HW), foreleg (FW) and loin (LW) were determined, and the sum of these lean cuts weights (CLPW) and the corresponding yields were calculated. A portion of loin with the associated bones, backfat and skin was obtained by cutting the carcass between the 10th and last ribs and was used to measure, at the 10th (10) and last (14) rib locations, the total backfat thickness, the area of the loin muscle (c-LA) and the thickness of the 4 backfat (BF) layers, namely, the outer (c-OBF), middle (c-MBF), outer plus middle (c-OMBF) and the inner (c-IBF). Finally, intramuscular fat percentages (IMF) were obtained from the meat samples. Corresponding measurements from the ultrasound (u) images were similarly taken at the same 2 ribs (u-BF, u-LA, u-OBF, u-MBF, u-OMBF and u-IBF). The correlation was greatest between u-MBF10 and c-MBF10 (0.84). Most correlations between ultrasound and carcass measurements were lower at the last rib than at 10th rib. The highest correlation of IMF10 occurred with u-IBF10 (0.40). HW and HL were more correlated with u-BF10 than with u-BF14, while FW was more correlated with u-BF14. u-LA was more correlated with HW, FW and LW at the last rib than at the 10th rib. Slaughter live weight accounted for 0.84, 0.42, 0.36 and 0.54% of the variation for the

prediction of CW, HW, FW and CLPW, respectively. u-LA10 and u-LA14 increased the variation explained by the model up to 0.89, 0.48, 0.39 and 0.62% for CW, HW, FW and CLPW, respectively. Including u-GBF in the models also increased the R^2 values for predicting HW, LW, HY (ham yield) and LY (loin yield). In conclusion, u-LA10, u-LA14 and u-GBF may improve weight of commercial cuts and yield prediction in live Iberian pigs.

KEY WORDS

Backfat layers, commercial lean cuts, Iberian pig, intramuscular fat, ultrasound

INTRODUCTION

The meat and fat portions of the porcine Iberian breed are harvested to produce dry cured products characterized by a high sensorial quality (Ventanas y col., 2001), mainly because of a high intramuscular fat content (López-Bote & Rey, 2004). However the lean meat percentage is low and carcass conformation is highly variable.

The ultrasound technique to estimate backfat and loin area in live animals is well documented and has been used to predict carcass quality and composition (Terry y col., 1989; Gresham y col., 1992; Ragland, 1998; Newcom y col., 2002; Hassen y col., 2004; Niñoles y col., 2010; Lakshmanan y col., 2012) and to predict weight and yield of main lean cuts in pigs (Cisneros y col., 1996; Dutra y col., 2001; Wiseman y col., 2007). Some of measurements on live Iberian pig provided by ultrasound images

could be good predictors of the performance of carcass and commercial lean cuts (Ayuso y col., 2010; Izquierdo y col., 2010). However, no research has evaluated the usefulness or the reliability of ultrasound measurements on live Iberian pigs to predict carcass yields. Furthermore, no research has measured backfat at the gluteus to predict the weight and yield of commercial lean cuts in Iberian pig. A study of the growth of the backfat layers of intensive breed pigs determined an association between the inner backfat layer thickness and high location of intramuscular fat on the *longissimus dorsi* muscle (Eggert y col., 1998). An increase in the innermost layer of backfat and a decrease in the outermost backfat layer should lead to a significant improvement in loin intramuscular fat (Eggert y col., 1998; Newcom y col., 2005).

Therefore, the aim of this study was to assess the correlation between ultrasound measures at the 10th and last ribs in live animals and on the post slaughter carcass in order to develop a predictive model to estimate the weight and yield of commercial lean cuts of Iberian pigs.

MATERIALS AND METHODS

1. Animals

For this study, 241 pure Iberian pigs were used from a research farm (Research Institute of Extremadura Government, Spain). Piglets were raised indoors in standard commercial conditions until they reached a body weight of 20 kg. After this period, the animals were raised outdoors in free range conditions and a

restricted feeding regime with concentrate increasing gradually to a maximum daily ration of 2.5 kg/day/per (as usual in this traditional system) until they were 12 mo of age and achieved a BW of approximately 110 kg. (Table 1). At this weight, the animals begin eating either acorn or concentrate *ad libitum* for a period of 2.5 to 3 mo (the finishing period), until they reached an average BW of 160 kg, which is the commercial slaughter weight (SLW) (Table 11). Hams and forelegs were salted and cured for at least 21 and 9 mo, respectively.

Table 11. Means and standard deviations for the weights and yields of the carcass, ham, foreleg, loin and commercial lean piece measurements

Traits ²	Mean	SD ¹
BW of start phase of fattening (Kg)	113.09	11.00
SLW (Kg)	158.28	7.85
CW (Kg)	133.62	6.74
CY (%)	118.87	2.36
HW (Kg)	27.99	1.87
HY (%)	21.07	0.96
FW (Kg)	18.79	1.39
FY (%)	14.15	0.83
LW (Kg)	3.56	0.43
LY (%)	2.67	0.35
CLPW (Kg)	50.33	2.90
CLPY (%)	37.90	1.53

¹SD = standard deviation.

²BW = body weight; SLW = slaughter weight live; CW = carcass weight; HW = ham weight; FW = foreleg weight; LW = loin weight; CLPW = commercial lean cuts weight; CY = carcass yield; HY = ham yield; FY = foreleg yield; LY = loin yield; CLPY = commercial lean cuts yield.

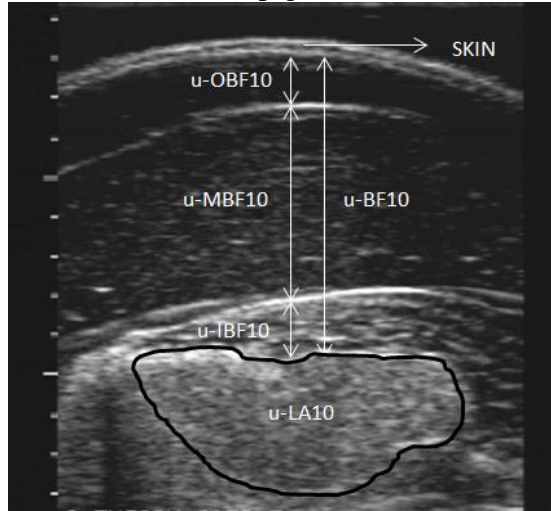
2. Ultrasound image collection

Pigs were weighed (SLW) and ultrasonically scanned 24 h before slaughter, using an Aloka 500 machine (Aloka Holding - Europe, Switzerland) and a 3.5 MHz, 12 cm long probe (Aloka Holding - Europe, Switzerland). Pigs were restrained in a crate during ultrasound scanning to restrict movement and maintain a standing posture. A soft, rubbery adaptor made of Superflap® was used between the animal and the probe to allow for an adequate contact despite the curved back surface. Images were digitalized and stored in a computer. Image measurements were conducted afterward using the Biosoft® software (Biotronics Inc., Ames, IA, USA).

Ultrasound images were collected by placing the probe perpendicular to the loin at 2 different rib locations: one image was obtained between the 10th and 11th ribs (10th intercostal space, Figure 1) and the other was obtained just behind the last rib (14th). One additional image was taken at the gluteus muscle location (Figure 2). For each image, the animals were measured at the 10th rib location and the loin area (u-LA10) for total backfat (u-BF10) and the thickness of backfat layers: i) outer layer (u-OBF10); ii) middle layer (u-MBF10); iii) inner layer (u-IBF10); and iv) outer + middle layers (u-OMBF10) an extra measurement computed to distinguish those two layers from the inner layer, which is the last layer that develops (Figure 1). The same measurements were collected at the last rib location (u-LA14, u-BF14, u-OBF14, u-MBF14, u-OMBF14 and u-IBF14).

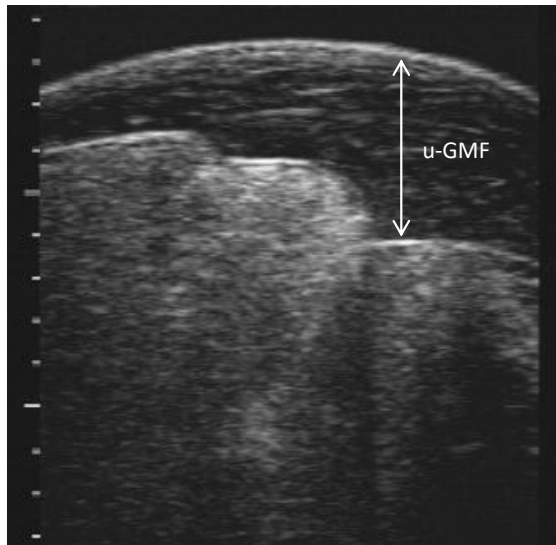
Fat thicknesses were also measured (u-GMF) at the gluteus muscle location (Figure 2).

Figure 1. Transversal image of *longissimus dorsi* muscle from the 10th and 11th rib in Iberian pigs



u-OBF = ultrasonic outer backfat layer; u-MBF = ultrasonic middle backfat layer; u-IBF= ultrasonic inner backfat layer; u-BF = ultrasonic backfat; u-LA = ultrasonic loin muscle area

Figure 2. Transversal imagen of backfat ham at level of *gluteus medius* muscle in Iberian pig



u-GMF= Fat thickness in gluteus.

3. Carcass data collection

Twenty animals were slaughtered each day to facilitate the carcass study. After slaughter, carcass weight with head (CW) and weight of commercial lean cuts: ham (HW), foreleg (FW) and loin (LW) were collected. Ham and foreleg were measured with no trimming, while the loin was trimmed and bones and all fat were removed. Yields (HY, FY and LY) were also calculated. At the packing plant, from each carcass a half portion of loin containing four chops (spanning from the 11th to the 14th ribs) was extracted, chilled and used to measure the backfat thickness (c-OBF10, c-OBF14, c-MBF10, c-MBF14, c-OMBF10, c-OMBF14, c-IBF10, c-IBF14, c-BF10, c-BF14) and loin area (c-LA10 and c-LA14) at the two already mentioned rib locations.

4. Statistical analysis

Descriptive statistics for ultrasound and carcass measurement and Pearson correlations were calculated using the procedures in SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Similarly, commercial lean cuts weight and yield prediction equations were computed using a stepwise regression in SAS. The prediction model selected was the most right best fit (smaller Mallows` Cp) model with a maximum R^2 and minimum MSE (Kempster y col., 1982; MacNeil, 1983).

RESULTS AND DISCUSSION

The number of observations, means and standard deviations of the different ultrasound and carcass measurements at the two

anatomical rib locations are presented in Table 12. Comparing the two anatomical rib location means of ultrasound and carcass measurements, the means were larger at the 10th rib than at the last rib, except for c-IBF and c-LA. These differences between ultrasound and carcass means were larger than previously reported. Moeller (2002) reported differences of 2 mm and Moeller & Christian (1998) of 1.1 mm. In both cases, ultrasound measures were under-predicted in intensive pork production. These differences between the ultrasound and carcass means in Iberian pigs may be mainly due to the large backfat means (66.93 and 81.50 mm at the 10th and 51.53 and 66.70 at the last ribs, respectively) compared with the means reported in other breeds or commercial pigs (33.70 mm in live animals and 31.40 in carcasses) at the 10th rib location (Wiseman y col., 2007).

Table 12. Means and standard deviations for ultrasound and carcass measurements at two anatomical locations in Iberian pigs.

Item ¹		u-OBF, mm	u-MBF, mm	u-IBF, mm	u-BF, mm	u-LA, cm ²	c-OBF, mm	c-MBF, mm	c-IBF, mm	c-BF, mm	c-LA, cm ²	IMF, %
	n	241	241	240	232	219	196	187	188	190	194	212
10 th rib ²	Mean	12.70	38.12	17.18	66.93	20.42	16.04	43.11	18.69	81.50	21.53	5.15
	SD ³	2.65	6.54	3.10	8.30	1.90	2.46	7.52	4.09	10.29	2.50	1.84
	n	239	239	239	239	234	204	196	177	189	171	212
Last rib ²	Mean	10.06	25.05	16.41	51.53	18.48	13.48	30.14	21.00	66.70	24.89	4.75
	SD ³	1.95	5.97	3.61	9.17	2.00	2.18	6.42	5.30	9.20	2.87	1.77

¹OBF = ultrasound outer backfat layer; u-MBF = ultrasound middle backfat layer; u-IBF = ultrasound inner backfat layer; u-BF = ultrasound backfat; u-LA = ultrasound loin muscle area; c-OBF = carcass outer backfat layer; c-MBF = carcass middle backfat layer; c-IBF = carcass inner backfat layer; c-BF = carcass backfat; c-LA = carcass loin muscle area; IMF = carcass percentage of intramuscular fat.

²Anatomical location: 10th rib = interface between the 10th and 11th ribs; Last rib = interface just behind the last rib.

³SD = standard deviation.

Another characteristic of Iberian pigs is the soft consistency of the backfat. This soft backfat may make it difficult to accurately obtain measurement at the packing plant, resulting in larger carcass than ultrasound measurements. For this reason, u-BF, u-OBF, u-MBF and u-IBF may be easier to measure than c-BF, c-OBF, c-MBF and c-IBF. The loin in Iberian pigs also is not as uniformly rounded as it is in other fast growing pigs (Figure 1), and the contour loin area is difficult to measure due to the irregular forms in the Iberian breed (both in the ultrasound image and the carcass), which reduce the accuracy of the measurement.

1. Relationship between live animal and carcass measurements

Pearson correlation coefficients between carcass and ultrasound measurements at the 10th rib location are described in Table 13. The highest correlation between ultrasound and carcass measurements was for the MBF layer (0.84), while OBF and IBF layers had correlations of 0.57 and 0.56, respectively. The correlation between c-BF10 and u-BF10 was 0.70 and between c-BF10 and LA was 0.45. McLaren y col. (1989) obtained a correlation of 0.55 for BF; Cisneros y col. (1996) obtained a correlation of 0.67 for BF and 0.46 for LA; Turlington (1990) obtained a correlation of 0.93 for BF and 0.91 for LA; and Moeller & Christian (1998) obtained a correlation of 0.87 and 0.74 for BF and LA, respectively, in intensive pork. The results in this study highlight the importance of measuring the different

fat layers because correlations between the carcass and ultrasound back fat layers vary considerably according to the layers measured.

Table 13. Pearson correlation coefficients between ultrasound and carcass traits for the 10th rib anatomical location in Iberian pigs.

Trait ¹	10 th rib						
	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA	IMF
u-OBF	0.57*	0.31*	0.43*	-0.02	0.33*	0	0.09
u-MBF	0.29*	0.84*	0.82*	0.21*	0.67*	-0.19*	0.20*
u-OMBF	0.41*	0.80*	0.82*	0.17*	0.67*	-0.16*	0.19*
u-IBF	0.32*	0.22*	0.27*	0.56*	0.40*	-0.17*	0.40*
u-BF	0.44*	0.72*	0.75*	0.31*	0.70*	-0.17*	0.26*
u-LA	0.02	-0.12	-0.11	-0.05	-0.13	0.45*	0.02
IMF	0.22*	0.29*	0.32*	0.47*	0.43*	-0.36*	1.00*

¹c-OBF = carcass outer backfat layer; c-MBF = carcass middle backfat layer; c-OMBF = carcass outer and middle backfat layers; c-IBF = carcass inner backfat layer; c-BF = carcass backfat; c-LA = carcass loin muscle area; IMF = carcass percentage of intramuscular fat; u-OBF = ultrasound outer backfat layer; u-MBF = ultrasound middle backfat layer; u-OMBF = ultrasound outer and middle backfat layers; u-IBF = ultrasound inner backfat layer; u-BF = ultrasound backfat; u-LA = ultrasound loin muscle area.

²*Values represent significant correlations ($P \leq 0.05$). The comparison is across anatomical locations.

Correlation coefficients between ultrasound image measurements and the corresponding carcass measurements at the last rib location are reported in Table 14. Most backfat correlations at the last rib location were lower than those obtained at the 10th rib location, except for u-IBF14 and c-IBF14 (0.65) and for u-BF14 and c-BF14 (0.79). Conversely, the correlation between u-LA14 and c-LA14 was lower (0.35). For Iberian pigs, Daza y col. (2006) reported a correlation between u-LA and c-LA of 0.46 in pigs fed extensively and 0.58 between u-BF and c-BF at the last rib location; Cisneros y col. (1996) found correlations of 0.86 and 0.46 for BF and LA, respectively. Contrary to our results, Cisneros y col. (1996) reported larger correlations between ultrasound and the corresponding carcass measurements at the last rib location than at the 10th rib location for BF (0.67) and LA (0.56).

Table 14. Pearson correlation coefficients between ultrasound and carcass traits for the last rib anatomical location in Iberian pigs¹.

Trait ¹	Last rib						
	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA	IMF
u-OBF	0.55*	0.32*	0.46*	0.16*	0.44*	0.18*	0.17*
u-MBF	0.16*	0.78*	0.73*	0.31*	0.71*	0.01	0.18*
u-OMBF	0.28*	0.76*	0.75*	0.30*	0.73*	0.06	0.20*
u-IBF	0.14	0.35*	0.36*	0.65*	0.55*	0.02	0.23*
u-BF	0.27*	0.71*	0.72*	0.48*	0.79*	0.06	0.25*
u-LA	0.15*	-0.02	0.04	-0.11	-0.05	0.35*	-0.14*
IMF	0.22*	0.21*	0.30*	0.22*	0.38*	-0.25*	1.00*

¹c-OBF = carcass outer backfat layer; c-MBF = carcass middle backfat layer; c-OMBF = carcass outer and middle backfat layers; c-IBF = carcass inner backfat layer; c-BF = carcass backfat; c-LA = carcass loin muscle area; IMF = carcass percentage of intramuscular fat; u-OBF = ultrasound outer backfat layer; u-MBF = ultrasound middle backfat layer; u-OMBF = ultrasound outer and middle backfat layers; u-IBF = ultrasound inner backfat layer; u-BF = ultrasound backfat; u-LA = ultrasound loin muscle area;

²*Values represent significant correlations ($P \leq 0.05$). The comparison is across anatomical locations.

Correlations between ultrasound back fat layers (OBF, MBF, IBF and BF) and IMF at the 10th and last rib locations (Tables 13 and 14) were 0.09 to 0.40, and 0.17 to 0.25, respectively. Intramuscular fat was better correlated with ultrasound IBF (0.40) than with any other fat layer. Moody & Zobrisky (1966) reported correlations between marbling score and carcass (OBF: 0.03, MBF: 0.07 and IBF: 0.29) and Newcom y col. (2005) reported genetic correlations between intramuscular fat and ultrasound OBF, MBF and IBF of 0.26, 0.30 and 0.34, respectively, at the 10th rib location. Similar to results in the literature (Eggert y col., 1998), our study also suggests an important association between IFAT and IBF.

Cisneros y col. (1996) obtained a negative correlation between u-LA and c-BF of -0.36 at the 10th and -0.30 at the last rib location, which were more negative than our results (-0.13 and -0.05, respectively). The different results may be due to the animals used in our study. We measured heavy pigs in the last fattening phase when the increase in backfat compared to growth of the loin area is larger.

At both rib locations, c-LA was negatively correlated with IMF (-0.36 and -0.25) and c-BF was positively correlated with IMF (0.43 and 0.38). These results suggest that the percentage of intramuscular fat could depend more on the thickness of backfat than loin area because lean tissue growth is lower than fat tissue growth in the last fattening phase in the Iberian breed.

2. Association between ultrasonic and carcass measurements and commercial lean cuts

Table 11 lists the means and standard deviations of BW at the start of fattening, slaughtered and measurements of weight and yield of commercial lean cuts. The results in Tables 15 and 16 describe the correlation coefficients between ultrasound and carcass measurements at the 10th and last rib locations with economically commercial lean cuts (weight and yield) of Iberian pigs. Ultrasound measurements at the 10th rib location are more highly correlated with commercial lean cuts weight (ham and loin) than the corresponding measures at the last rib location, except for LW with u-LA. However, except for the foreleg weight, ultrasound measurements were highly correlated at the last rib, except for u-LA. The measurement u-BF10 is significantly correlated with CW (0.40) and LW (-0.38), and u-MBF10 with LW (-0.36). In general, ultrasound measurements are significantly correlated with CW and LW but are poorly correlated with HW, FW and CLPW, contrary to the correlations between u-LA and HW (0.97), and u-LA and FW (0.98) (Dutra y col., 2001). Regarding commercial lean cuts yields (Table 16), ultrasound measurements at both rib locations are more highly correlated with lean meat yield than with weight. Measurements at the 10th rib location are again more highly correlated than the corresponding measurements at the last rib location, except for FY with u-BF and LY with u-LA. The u-BF at the 10th rib location showed the largest correlation with CY (-0.50), FY (-0.38), LY (-0.50) and CLPY (-0.52). In general, carcass

measurements at the 10th rib location are more highly correlated than the corresponding measurements at the last rib, with some exceptions for CY and HY. In addition, carcass measurements are more correlated with CY and LY than with the other commercial lean cuts weights. The c-BF at the 10th rib showed the largest correlations with FY (-0.46), LY (-0.60) and CLPY (-0.54). These results followed similar trends for the ultrasound measurements.

In general, the correlations from carcass measurements were slightly higher than the correlations for ultrasound measurements when comparing commercial lean cuts weights and yields. Moody & Zobrisky (1966) obtained similar correlations between u-OBF and c-OBF with HY (0.32 and 0.31, respectively) and between u-IBF and c-IBF with HY (0.37 in both); however, the correlations between u-MBF and c-MBF with HY were 0.30 and 0.51, respectively. In contrast, u-OBF and c-OBF were not correlated with HY, and carcass and ultrasound medium and internal backfat measurements were moderately correlated with HY (0.27) in this study.

Table 15. Simple correlation coefficients between ultrasound and carcass measurements for the weights of the carcass, ham, foreleg and loin at two anatomical locations.

Item ¹		u-OBF	u-MBF	u-OMBF	u-IBF	u-BF	u-LA	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA
10 th rib	CW	0.25*	0.35*	0.37*	0.22*	0.40*	0.12*	0.23*	0.46*	0.48*	0.23*	0.45*	0.02
	HW	0.20*	0.14	0.17*	0.01	0.20	0.17*	0.19*	0.19*	0.28*	0.09	0.15*	0.06
	FW	-0.07	-0.02	-0.04	0.02	0.05	0.12*	-0.04	0.03	0.06	0.11	-0.11	0.08
	LW	-0.13*	-0.36*	-0.34*	-0.32*	-0.38*	0.25*	-0.16*	-0.40*	-0.39*	-0.27*	-0.49*	0.43*
	CLPW	0.07	0.01	0.03	-0.03	0.08	0.21*	0.06	0.06	0.13	0.05	-0.06	0.14*
Last rib	CW	0.25*	0.25*	0.28*	0.15*	0.27*	0.14*	0.13*	0.24*	0.35*	0.10	0.37*	0.04
	HW	0.24*	0.14	0.19*	-0.02	0.13	0.18*	0.23*	0.23*	0.33*	-0.20*	0.20*	0.12
	FW	0.04	-0.10	-0.07	-0.11	-0.10	0.11	-0.01	-0.03	0.06	-0.12	-0.01	0.12
	LW	-0.10	-0.32*	-0.30*	-0.29*	-0.35*	0.29*	-0.13	-0.28*	-0.28*	-0.18*	-0.35*	0.44*
	CLPW	0.16	0	0.04	-0.12	-0.02	0.21*	0.12	0.07	0.18*	-0.22*	0.06	0.21*

¹u-OBF = ultrasound outer backfat layer; u-MBF = ultrasound middle backfat layer; u-OMBF= ultrasound outer and middle backfat layers; u-IBF= ultrasound inner backfat layer; u-BF = ultrasound backfat; u-LA = ultrasound loin muscle area; c-OBF = carcass outer backfat layer; c-MBF = carcass middle backfat layer; c-OMBF= ultrasound outer and middle backfat layers; c-IBF= carcass inner backfat layer; c-BF = carcass backfat; c-LA = carcass loin muscle area; CW= carcass weight; HW= ham weight; FW= foreleg weight; LW= loin weight; CLPW = commercial lean cuts weight.

²*Values represent significant correlations ($P \leq 0.05$).. The comparison is across anatomical locations.

Table 16. Simple correlation coefficients between ultrasound and carcass measurements for the yields of the carcass, ham, foreleg and loin at two anatomical locations.

Item ¹		u-OBF	u-MBF	u-OMBF	u-IBF	u-BF	u-LA	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA
10 th rib	CY	-0.50*	-0.42*	-0.46*	-0.34*	-0.50*	-0.12	-0.32*	-0.38*	-0.34*	-0.19*	-0.39*	0.11
	HY	-0.03	-0.26*	-0.23*	-0.30*	-0.28*	0.07	-0.04	-0.28*	-0.24*	-0.22*	-0.25*	0.05
	FY	-0.33*	-0.37*	-0.40*	-0.20*	-0.38*	0	-0.31*	-0.37*	-0.39*	-0.15*	-0.46*	0.06
	LY	-0.21*	-0.47*	-0.46*	-0.38*	-0.50*	0.18*	-0.24*	-0.53*	-0.54*	-0.35*	-0.60*	0.41*
	CLPY	-0.25*	-0.49*	-0.48*	-0.41*	-0.52*	0.09	-0.24*	-0.50*	-0.49*	-0.30*	-0.54*	0.17*
Last rib	CY	-0.34*	-0.39*	-0.42*	-0.30*	-0.45*	-0.02	-0.23*	-0.31*	-0.37*	-0.20*	-0.44*	0.14
	HY	-0.04	-0.15*	-0.14*	-0.26*	-0.21*	0.03	0.08	-0.06	-0.05	-0.35*	-0.23*	0.09
	FY	-0.26*	-0.39*	-0.40*	-0.30*	-0.43*	-0.04	-0.21*	-0.31*	-0.32*	-0.18*	-0.42*	0.10
	LY	-0.19*	-0.41*	-0.39*	-0.33*	-0.43*	0.21*	-0.17*	-0.36*	-0.40*	-0.19*	-0.47*	0.41*
	CLPY	-0.22*	-0.41*	-0.41*	-0.42*	-0.48*	0.05	-0.10	-0.29*	-0.30*	-0.37*	-0.48*	0.21*

¹u-OBF = ultrasound outer backfat layer; u-MBF = ultrasound middle backfat layer; u-OMBF = ultrasound outer and middle backfat layers; u-IBF = ultrasound inner backfat layer; u-BF = ultrasound backfat; u-LA = ultrasound loin muscle area; c-OBF = carcass outer backfat layer; c-MBF = carcass middle backfat layer; c-OMBF = ultrasound outer and middle backfat layers; c-IBF = carcass inner backfat layer; c-BF = carcass backfat; c-LA = carcass loin muscle area; IMF = carcass percentage of intramuscular fat; CY = carcass yield; HY = ham yield; FY = foreleg yield; LY = loin yield; CLPY = commercial lean cuts yield..

²*Values represent significant correlations ($P \leq 0.05$).. The comparison is across anatomical locations.

3. Estimation of commercial lean cuts prediction from live weight and ultrasound measurements

Final regression prediction models and related statistics for commercial lean cuts weight and yield are summarized in Table 17. Slaughter live weight accounted for 0.84, 0.42, 0.36 and 0.54% of the variation for the prediction of CW, HW, FW and CLPW, respectively, but the variation explained for SLW on LW was nearly negligible. The addition of ultrasound measurements to the regression models increases the proportion of the total variation explained by the model up to 0.89%, 0.48%, 0.39% and 0.62% for CW, HW, FW and CLPW, respectively, improving the prediction of almost all commercial lean cuts. Daza y col. (2006) reported coefficients for HW (0.73%), FW (0.59%) and CLPW (0.77%) for Iberian pigs feed under extensive conditions, and these values are larger than those reported by this study. It should be noted that in Daza y col. (2006), the authors used only 22 animals, which is a small number compared with the 208 animals measured in this study. On the other hand, the results in Table 7 also indicate that ultrasound BF accounts for 0.22, 0.10, 0.14, 0.25 and 0.25% of the variation for the prediction of CY, HY, FY, LY, and CLPY, respectively. The addition of SLW and other ultrasound measurements to the regression model increases the proportion of the total variation accounted for by the model by up to 0.33, 0.15, 0.33 and 0.31% for CY, HY, LY and CLPY, respectively. Similarly, Daza y col. (2006) reported determination coefficients of 0.23 and 0.32% for HY and FY, respectively. Both of these results are larger than our coefficients. In commercial low weight pigs, Gressham y col. (1992) obtained an R^2 for total cut weight and yield of 0.75 and 0.35%, respectively (higher than our R^2 for similar traits). The same stepwise regression analyses were performed for ultrasound measurements at the last rib location, but none had better prediction ability than ultrasound parameters at the 10th rib location, and for this reason, the results are were not shown.

Table 17. Multiple regression equations for ultrasound measurements at the 10th rib anatomical location and live weight for predicting carcass traits of Iberian Pigs.

Dependent variables ¹	n	Independent variables ²	RMSE	Intercept	Estimator	R ²	Cp	p-value
CW	208	SLW	2.04	-0.25	0.7392	0.84	91.50	0.0001
		u-BF10			0.1707	0.89	11.74	0.0001
CY	208	u-BF10	1.98	12.70	-0.1524	0.22	32.25	0.0001
		SLW			0.0923	0.29	11.69	0.0001
		u-LA10			-0.2240	0.33	2.92	0.0012
HW	209	SLW	1.22	3.45	0.1440	0.42	25.66	0.0001
		u-OBF10			0.1444	0.45	17.38	0.0001
		u-IBF10			-0.0981	0.48	6.90	0.0006
FW	210	SLW	0.94	4.66	0.1000	0.36	6.48	0.0001
		u-BF10			-0.0239	0.39	0.47	0.0048
LW	208	u-BF10	0.36	2.78	-0.0269	0.15	22.60	0.0001
		u-LA10			0.0445	0.21	10.28	0.0003
		u-OBF10			0.0350	0.23	7.17	0.0260
		SLW			0.0077	0.24	4.13	0.0256
HY	207	u-IBF10	0.89	23.28	-0.0982	0.10	12.37	0.0001
		u-MBF10			-0.1219	0.03	7.89	0.0126
		u-OMBF10			0.0823	0.15	3.56	0.0126
FY	208	u-BF10	0.10	16.70	-0.0374	0.14	0.47	0.0001
LY	207	u-BF10	0.28	4.76	-0.0232	0.25	20.8	0.0001
		SLW			-0.0090	0.28	13.31	0.0001
		u-LA10			0.0281	0.31	7.05	0.0030
		u-OBF10			0.0251	0.33	4.27	0.0048
CLPW	207	SLW	1.53	11	0.2553	0.54	39.38	0.0001
		u-IBF10			-0.1573	0.58	18.66	0.0001
		u-MBF10			-0.1981	0.60	13.70	0.0107
		u-LA10			0.1374	0.61	9.46	0.0143
		u-OMBF10			0.1302	0.62	6	0.0204
CLPY	206	u-BF10	1.24	44.11	-0.1633	0.25	15.24	0.0001
		u-OBF10			0.1893	0.28	7.73	0.0026
		u-MBF10			0.0708	0.30	5.88	0.0521
		SLW			-0.0221	0.31	4.46	0.0658

¹CW = carcass weight; CY = carcass yield; HW = ham weight; FW = foreleg weight; LW = loin weight; HY = ham yield; FY = foreleg yield; LY = loin yield; CLPW = commercial lean cuts weight; CLPY = commercial lean cuts yield.

²SLW = slaughter weight live; u-BF10 = ultrasound backfat at 10th rib location; u-LA10 = ultrasound loin muscle area at 10th rib location; u-OBF10 = ultrasound outer backfat layer at 10th rib location; u-IBF10 = ultrasound inner backfat layer at 10th rib location; u-MBF10 = ultrasound middle backfat layer at 10th rib location; u-OMBF10 = ultrasound outer and middle backfat layers at 10th rib location.

The results in Table 18 summarize regression models for carcass weight and yield, including the same ultrasound variables at the 10th rib location plus an ultrasound measurement of backfat at the gluteus location (u-GMF). Including this variable in the prediction model reduced the data to 93 animals but resulted in an R^2 for HW, LW, HY and LY of 0.58, 0.42, 0.29 and 0.43%, respectively, which considerably improves the prediction of these commercial lean cuts compared with results obtained with the model depicted in Table 7. Terry y col. (1989) concluded that fat measurement at the *gluteus medius* was one of the most appropriate variables to predict the percentage of lean cuts, similar to our results.

Table 18. Multiple regression equations for ultrasound measurements at the 10th rib anatomical location of gluteus and live weight for predicting carcass traits of Iberian Pigs.

Dependent variables ¹	n	Independent variables ²	RMSE	Intercept	Estimator	R ²	Cp	p-value
CW	93	SLW	2.39	12.04	0.7208	0.83	27.50	0.0001
		u-BF10			0.1587	0.86	9.72	0.0001
		u-LA10			0.3943	0.87	7.30	0.0527
		u-GMF			0.1081	0.88	4.06	0.0444
CY	93	u-BF10	2.49	-2.52	-0.1374	0.13	16.19	0.0004
		SLW			0.1092	0.21	8.76	0.0037
		u-LA10			-0.3511	0.24	6.78	0.0526
		u-GMF			0.0958	0.27	4.69	0.0458
HW	93	SLW	1.41	2.75	0.1659	0.41	33.17	0.0001
		u-IBF10			-0.1550	0.47	23.04	0.0022
		u-GMF			0.1072	0.54	11.28	0.0006
		u-OBF10			0.1827	0.56	8.01	0.0266
		u-MBF10			-0.0478	0.58	21.88	0.0719
FW	93	SLW	0.89	4.64	0.0890	0.35	10.63	0.0001
LW	93	u-GMF	0.37	4.92	-0.0400	0.27	21.88	0.0001
		u-LA10			0.0648	0.36	10.63	0.0007
		SLW			0.0129	0.39	8.18	0.0421
		u-MBF10			-0.0173	0.42	4.36	0.0175
HY	93	u-IBF10	0.73	23.37	-0.2202	0.16	13.96	0.0001
		u-GMF			0.0680	0.23	7.61	0.0059
		u-MBF10			-0.1390	0.27	4.44	0.0257
		u-BF10			0.0890	0.29	3.42	0.0831
FY	93	u-BF10	0.82	16	-0.0291	0.09	0.36	0.0035
LY	93	u-GMF	0.42	3.85	-0.0339	0.34	17.38	0.0001
		u-BF10			-0.0129	0.43	4.41	0.0002
CLPW	93	SLW	1.76	9.78	0.2787	0.53	22.26	0.0001
		u-IBF10			-0.3304	0.60	9.83	0.0004
		u-MBF10			-0.2179	0.61	8.88	0.0984
		u-BF10			0.1490	0.62	8.14	0.1071
CLPY	91	u-BF10	1.23	44.17	-0.1113	0.24	1.89	0.0001
		u-OBF10			0.1562	0.28	-0.17	0.0429

¹CW = carcass weight; CY = carcass yield; HW = ham weight; FW = foreleg weight; LW = loin weight; HY= ham yield; FY= foreleg yield; LY = loin yield; CLPW = commercial lean cuts weight; CLPY = commercial lean cuts yield.

²SLW = weight live; u-BF10 = ultrasound backfat at 10th rib location; u-LA10 = ultrasound loin muscle area at 10th rib location; u-GMF = Fat thickness in gluteus; u-IBF10 = ultrasound inner backfat layer at 10th rib location; u-OBF10 = ultrasound outer backfat layer at 10th rib location; u-MBF10 = ultrasound middle backfat layer at 10th rib location.

Improving production efficiency without decreasing the dry cured product quality is very important for the Iberian pig sector. However, collecting information on carcass composition or intramuscular fat has been neither easy. The currently available tools, such as the use of ultrasound on live animals, enable us to obtain information in an efficient and manner.

The results from this study reveal that the ultrasound measurements at the 10th rib location may not predict ham, foreleg and loin weights with acceptable accuracy. However, including fat thickness measurements at the gluteus medium location would considerably increase the prediction accuracy. Specifically, the prediction accuracy of ham and loin weight and yield would be improved. Thus, more research needs to be performed on the anatomical locations that are more related to carcass meat cut prediction in order to adapt ultrasound technology for Iberian pigs. If this technology is improved, ultrasound technology may be adopted to predict important meat cuts.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by INIA RTA 2007-000-93-00-00 and by FEDER.

CAPITULO III

CAPITULO III: EFECTO DE LA DURACIÓN DE LA FASE FINAL DE CEBO (MONTANERA) EN EL TAMAÑO DE LAS CÉLULAS ADIPOSAS DEL MM *LONGISSIMUS DORSI* Y EN EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LAS CAPAS DEL TEJIDO ADIPOSO EN EL CERDO IBÉRICO CRIADO EN SISTEMA DE EXPLOTACIÓN EXTENSIVO

- Ayuso D., González A., Peña F., Izquierdo M. Changes in adipose cells of Longissimus dorsi muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions. Anais da Academia Brasileira de Ciências, accept (01-Mar-2016).
- Ayuso D., González A., Peña F., Martinez, A., Izquierdo M. Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Artículo actualmente sometido a revisión.

Changes in adipose cells of *Longissimus dorsi* muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions

D. Ayuso^a, A. González^b, F. Peña^b, M. Izquierdo^a

^aDepartment of Animal Production, CICYTEX, Spain

^bDepartment of Animal Production, University of Córdoba, Córdoba, Spain

* Corresponding author: Dolores Ayuso Carrizosa. E-mail: lolayuso@gmail.com. Phone: +34 924014088. Fax: +34 924014001

ABSTRACT

Twenty-four Iberian castrated male pigs were used to characterize and evaluate the effect of the duration of "Montanera" in the adipocytes size and its relation with the backfat thickness and intramuscular fat. The animals were fed under extensive conditions during 30, 60 and 90 days in the "Dehesa" before slaughtered. Carcass weight, percentage of intramuscular fat, thickness of backfat and its three layers and adipocytes size of the intramuscular fat were obtained. The group which expended 90 days on fattening obtained the highest adipocytes, with an area higher by a 50% than those that only expended 30 days. The differences in diameter and perimeter adipocyte were not as marked as area. A significant positive correlation between the diameter, area and perimeter of

adipocyte with the backfat thickness were found. The fat cells in Iberian pig hypertrophy during the “montanera stage”, being this increase significant from month to month in this period of fattening. Also this adipocyte increase is correlated with the animal weight. The correlation between adipocyte size and inner layer of backfat shows that the inner layer obtained in live pig by ultrasound techniques could be a good marker of fat infiltration in pigs fattening in “montanera” system.

KEY WORDS

Extensive; adipocyte; backfat thickness; intramuscular fat.

INTRODUCTION

Traditionally, the Iberian pig is raised under extensive system being fed with natural resources, acorns and grass, during the final fattening phase, called "Montanera". This stage occurs from October to March and there is a high weight gain and fat accumulation at intramuscular and dorsal level. This type of feeding, along with genetic factors and processing conditions of the products is responsible for the high quality of meat and meat products of the Iberian pig.

The traditional food system in the management seems to be influencing the quality of Iberian pig products (Ventanas y col., 2005). Besides the agro-silvo-pastoral system in which the Iberian pig breeding has a positive image for consumers to be associated with increased animal welfare, environmental impact reduction and protection of traditional production system (Rey y col., 2006).

The fat thickness is one of the most important carcass traits of pigs. The fat deposition has come to be one of the main objectives in improving pig production. Factors such as the size of the adipocyte (Etherton, 1980; Hausman y col., 1983; Mersmann, 1986) have been studied because it could explain the differences between lean and fatty pigs.

The development of adipose depots occur in three phases; the first one is characterized by a hyperplasia between 1 and 2 months old; the second one, between 2 and 5 months old, is based in both hyperplasia and hypertrophy; and in the last phase hypertrophy (Anderson y col., 1972; Henry, 1977; Hood & Allen, 1977).

Currently sufficient studies are made of the influence of type of feeding on carcass characteristics of Iberian pig, but there are few studies that examine as influences the duration of the Montanera in adipose tissue. Furthermore, while foreign breeds, mainly with a low-fat (Azain, 2004; Domeneghini y col., 2006; Barnes y col., 2015) and high-fat (Hauser y col., 1997; Alfonso y col., 2005; Zhao y col., 2009; Nakajima y col., 2011) accumulation in their tissues, have been sufficiently studied as the fat of food is relationship with the adipocytes size of pigs. However this fact has not been studied in Iberian pig. The difference in adipocyte size among breeds lean and fat, being higher in latter, is due to the genetic control of fat cells and affected by the backfat thickness (Nakajima y col., 2011), or a slow differentiation or lipid filling of adipose tissue cell in obese

pigs, or to a later commitment to adipose differentiation (Hauser y col., 1997).

The feeding with food enriched in fat produces changes in performance as reducer intake, improved gain and feed efficiency and increases carcass fat (Azain, 2004). This increase in carcass fat is correlated positively with the increase of adipocyte size (Steffen y col., 1978).

Therefore the aim of this work is to characterize and evaluate the effect of the duration of "Montanera" in the adipocytes size in the Iberian pig and its relation with the backfat thickness and intramuscular fat.

MATERIAL AND METHODS

1. Data collection

Twenty-four Iberian castrated male pigs of the Valdesequera line ("Valdesequera", Badajoz, Extremadura, Spain) progeny of four boars and twenty sows (two to three full siblings per litter) were used. Animals were randomly distributed into three groups of eight pigs each. The animals were fed under extensive conditions with acorn and grass during 30 (M_{30}), 60 (M_{60}), and 90 (M_{90}) days in the "Dehesa" before slaughtered. The animals were slaughtered with 463 ± 3 days of age, 484 ± 2 days of age and 504 ± 2 days of age for M_{30} , M_{60} and M_{90} groups, respectively. The initial body weight (BW) was 128.88 ± 5.46 kg, 129.25 ± 4.83 kg and 128.38 ± 5.63 kg, for M_{30} , M_{60} and M_{90} , respectively. Pigs were slaughtered at the pre-planned age (at 30, 60 and 90 days of fattening) and the final BW was 157.56

± 6.40 kg for M₃₀, 190.38 ± 5.01 kg for M₆₀ and 225.63 ± 16.12 kg for M₉₀.

2. *Carcass traits*

The carcass measurements as carcass weight, percentage of intramuscular fat and backfat thickness and its three layers were taken at the slaughterhouse. The traits of backfat were taken at two levels, tenth and fifteenth rib. For this purpose from each carcass a half portion of loin containing four chops (spanning from the 11th to the 14th ribs) was extracted, chilled and used to measure the total backfat thickness and its layers at the two already mentioned rib locations. The intramuscular fat content was quantified according the method described by Folch y col., (1957).

3. *Adipocyte traits*

Adipocytes size (area, diameter and perimeter) of the intramuscular fat of *Longissimus dorsi muscle* were obtained. For this purpose a 1 cm³ centered portion of the *Longissimus dorsi* muscle tissue was selected and placed in liquid nitrogen. After that, the samples were embedded in OCT medium and stored at -80 ° C until further cutting. The sections of 20 micron thick, collected on slides with intervals between each cut 300 microns were performed using a Leica CM1900 cryostat. The sections were fixed in a solution of 2.5% glutaraldehyde in PBS for 10 min, washed with PBS and then applied Oil Red O staining described by Lillie & Assburn (1943). Using a digital camera coupled to a microscope Nikon Eclipse 90i photomicrographs were taken subsequently and analyzed by

image analysis program (NIS-Elements RA). In each photograph the area, diameter and circumference of 1-12 adipocytes for each animal were obtained.

4. Statistical analysis

The effect of the duration of fattening system called “Montanera” on the productive results, carcass traits and adipocytes size were studied by means of an analysis of covariance, using GLM procedure of Statistica 8.0 for windows. HSD Tukey’s test was applied to compare the mean values. Mean values with standard deviation are reported. The correlations between carcass and adipocyte traits were investigated by Pearson’s correlation analysis. Frequencies for adipocyte traits were obtained and represented graphically.

RESULTS AND DISCUSSION

Fat cells from adipose tissue of white pigs are closely studied by several groups of authors (Cagnazzo y col., 2006; Wimmers y col., 2007; Zheng & Mei, 2009) that concluded that adipocyte size increases with live weight of animals. Other authors argue that the variation of the content of intramuscular and subcutaneous fat is closely related to changes in the size of adipocytes (Gondret & Lebret, 2002; Alfonso y col., 2005; Barnes y col., 2015). In our study, the weight gain of Iberian pigs during the open range leads to increased adipocyte size in addition to observe also the intramuscular fat content was consistent with increase of adipocytes size (Table 19). The M₉₀ group obtained the highest adipocytes, with an area higher by a 50% than M₃₀ group (26252.38 vs. 13693.49 μm^2). In the case

of adipocyte diameter and perimeter the differences were not as marked as area, because it only increased by 26% between acorn-fed for three months and for a month (179.37 vs. 129.65 μm and 647.57 vs. 476.13 μm , respectively). Our results were higher than those obtained by Etherton & Allen (1979), Herpin y col. (1993), Smith y col. (1996), Hauser y col. (1997), Nünberg y col. (1998), Mourot (2001), Alfonso y col. (2005); Damon y col. (2006), Gardan y col. (2008) Zhao y col. (2009), Jiang y col. (2014), Zhabo y col. (2010), Barnes y col. (2015), both in lean and obese breeds. Also, Nürnberget y col. (1998) affirmed that the rapid adipose tissue growth in pigs with 100-180 days of age is followed by a phase where adipocyte growth is minimal (180-220 days of age). In our case the pigs had more age (around one year) and there are no studies about growth of adipocyte in Iberian pigs, but if taken account studies in obese breeds as Meishan, shows that the growth in first months is more rapid than other months (Hauser y col., 1997). In relation to the results obtained in commercial pig breeds, differences could be due to the weight of sacrifice (higher in our case) (Mourot, 2001), as well as the genetics of the breed (Herpin y col., 1993; Hauser y col., 1997; Wood y col., 2004; Alfonso y col., 2005; Poulos & Hausman, 2005).

Table 19. Effects of duration of fattening period (D) on carcass¹ and adipocyte traits

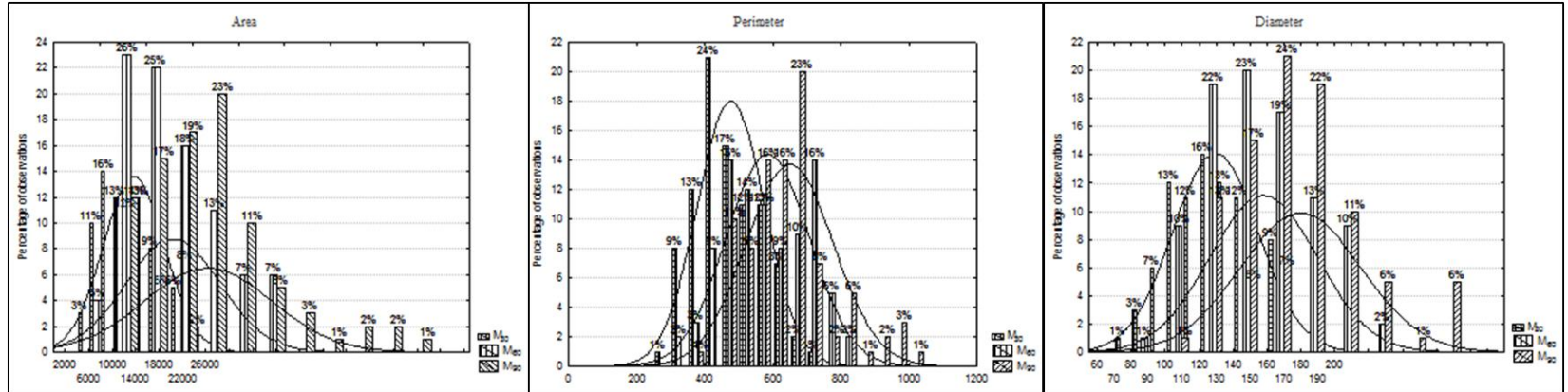
	Duration of fattening ²						P-values
	M ₃₀		M ₆₀		M ₉₀		
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.	
Body weight at start, kg	128.9 ^b	5.5	129.2 ^b	4.8	128.4 ^b	5.6	0.95
Body weight at slaughter, kg	157.6 ^a	6.4	190.4 ^b	5.0	225.6 ^c	16.1	0.00
Carcass weight, kg	119.6 ^b	4.6	163.0 ^c	6.5	193.1 ^d	13.3	0.00
IFAT, g/100g	2.74 ^a	1.25	4.72 ^b	1.41	6.22 ^b	2.45	≤ 0.01
BF10, mm	7.26 ^a	0.75	9.90 ^b	0.43	10.94 ^b	1.98	≤ 0.01
OBF10, mm	1.57 ^a	0.23	2.00 ^b	0.25	1.87 ^b	0.34	≤ 0.01
MBF10, mm	4.20 ^a	0.57	5.55 ^b	0.24	6.14 ^b	0.93	≤ 0.01
IBF10, mm	1.48 ^a	0.26	2.35 ^b	0.24	2.92 ^b	0.95	≤ 0.01
BF15, mm	5.60 ^a	1.04	7.63 ^b	0.84	9.56 ^c	1.14	≤ 0.01
OBF15, mm	1.25 ^a	0.29	1.59 ^b	0.27	1.62 ^b	0.20	≤ 0.05
MBF15, mm	2.51 ^a	0.61	3.62 ^b	0.45	3.92 ^b	0.63	≤ 0.01
IBF15, mm	1.84 ^a	0.42	2.42 ^a	0.63	4.01 ^b	0.77	≤ 0.01
Area, μm ²	13693.49 ^a	3085.12	20273.92 ^{ab}	5558.03	26252.38 ^b	8429.56	≤ 0.01
Perimeter, μm	476.1 ^a	57.3	582.8 ^{ab}	95.4	647.6 ^b	95.8	≤ 0.01
Diameter, μm	129.6 ^a	15.0	157.6 ^{ab}	22.7	179.4 ^b	26.9	≤ 0.01

¹IFAT: Intramuscular fat; BF10: Backfat thickness at tenth rib level; OBF10: Backfat thickness of outer layer at tenth rib level; MBF10: Backfat thickness of middle layer at tenth rib level; IBF10: Backfat thickness of inner layer at tenth rib level; BF15: Backfat thickness at fiftieth rib level; OBF15: Backfat thickness of outer layer at tenth rib level; MBF15: Backfat thickness of middle layer at tenth rib level; IBF15: Backfat thickness of inner layer at tenth rib level.

²M₃₀ = Thirty days on fattening; M₆₀ = Sixty days on fattening; M₉₀ = Ninety days on fattening

The 45% of the adipocytes had an area situated in the range of 9000 to 15000 μm^2 in M_{30} group, of 15000 to 27000 μm^2 in M_{60} group and of 21000 to 33000 μm^2 in M_{90} group. In the case of perimeter in the range of 400 to 500 μm are the 41% of the adipocytes measured in the M_{30} group, of 600 to 800 μm in M_{60} group, and of 600 to 700 μm in M_{90} group. In the last case, the diameter, the 55% of adipocytes range from 100 to 140 μm in M_{30} group, from 100 to 160 μm in M_{60} group and from 160 to 220 μm in M_{90} group (Fig. 3). The increase in adipocyte diameter is caused by the deposition of fat (Nürnberg & Wegner, 1990).

Figure 3. Frequencies of adipocyte size traits from Iberian pigs



M₃₀ = Thirty days on fattening; M₆₀ = Sixty days on fattening; M₉₀ = Ninety days on fattening

Consistent with previous studies (Gondret & Lebret, 2002; Alfonso y col., 2005; Velotto y col., 2012), a significant positive correlation between the diameter, area and perimeter of adipocyte with the backfat thickness were found (Table 20), specifically with the inner layer taken at the 15th rib (0.42, 0.40 and 0.36, respectively). This correlation could be due to, and according with Fortin (1986), Geri y col., (1986), Barone y col. (2000) and Velotto y col. (2012), the adipocytes from inner layer are larger than the outer layer. Also, this inner layer of backfat (IBF15) has the most increase in size over “montanera” period of fattening, especially in the last section of fattening (Table 19). In previous studies Ayuso y col. (2013) obtained a positive correlation between the inner layer thickness of backfat and intramuscular fat both in the carcass and in vivo by ultrasound methods (0.47 and 0.40, respectively). The greater adipocyte size is the major contributing factor in the greater increase on backfat tissue in obese pigs (Nakajima y col., 2011).

Table 20. Relationship between carcass traits¹ and adipocyte traits

	IFAT	BF10	OBF10	MBF10	IBF10	BF15	OBF15	MBF15	IBF15
Area, μm^2	0.07	0.12	-0.01	0.21*	0.03	0.29*	0.08	0.05	0.40*
Perimeter, μm	0.14*	0.12	-0.00	0.21*	0.03	0.31*	0.10	0.10	0.36*
Diameter, μm	0.11	0.17*	-0.00	0.25*	0.08	0.33*	0.11	0.09	0.42*

¹IFAT: Intramuscular fat; BF10: Backfat thickness at tenth rib level; OBF10: Backfat thickness of outer layer at tenth rib level; MBF10: Backfat thickness of middle layer at tenth rib level; IBF10: Backfat thickness of inner layer at tenth rib level; BF15: Backfat thickness at fiftieth rib level; OBF15: Backfat thickness of outer layer at tenth rib level; MBF15: Backfat thickness of middle layer at tenth rib level; IBF15: Backfat thickness of inner layer at tenth rib level.

* $p \leq 0.05$

There were significant differences in the amount of intramuscular fat during the fattening phase on “montanera” system. These differences appear to be due to an adipocyte hypertrophy and the increased size of these cells are positively correlated with the weight gain, intramuscular fat and the inner layer thickness of backfat at the 15th rib level. The animals that spent 90 days on this system had higher deposits of intramuscular fat. The flavor, juiciness and tenderness of meat is variable and depends on fat content of meat (Fernandez y col., 1999; Brewer y col., 2001; Wood y col., 2004; Lonergan y col., 2007), due to this a specific development of intramuscular fat deposits is necessary (Hauser y col., 1997). Therefore, the animals that spend 90 days in fattening must present those carcasses with better organoleptic features. Zhao y col. (2009) suggested that fat pig breeds possess higher capacity to deposit triacylglycerol in muscle deposit than lean pigs because intramuscular fat content is higher in first breeds (5.58 vs. 3.90%). Also, higher intramuscular pigs appear to be because this kind of this breed has a high capacity of lipogenesis and fatty acid transport, lower potential of fat mobilization and fatty acid oxidation (Zhao y col., 2009). The increase in fat in pigs is associated with the increase of intramuscular fat adipose tissue. This increase is attributable to the larger increase in intramuscular adipocyte size (Barnes y col., 2012).

CONCLUSIONS

The fat cells in Iberian pig hypertrophy during the “montanera stage”, being this increase significant from month to month in

this period of fattening. Also this adipocyte increase is correlated with the animal weight. Prolong the final fattening in “montanera stage” up to 90 days in Iberian pigs makes the marbling, and therefore the final quality of the meat is significantly higher than those animals with 60 or 30 days on “montanera” fattening and backfat is thicker. The correlation between adipocyte size and inner layer of backfat at 15th ribs shows that the inner layer obtained in live pig by ultrasound techniques could be a good marker of fat infiltration in pigs fattening in “montanera” system.

Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions

D. Ayuso^{a*}, A. González^b, F. Peña^b, A. Martínez^b, M. Izquierdo^a

^a*Department of Animal Production, CYCYTEX, Spain*

^b*Department of Animal Production, University of Córdoba, Córdoba, Spain*

** Corresponding author: Dolores Ayuso Carrizosa. E-mail: lolayuso@gmail.com. Phone: +34 924014088. Fax: +34 924014001*

Running head: Fatty acid profile in pure Iberian breed

ABSTRACT

Twenty-four Iberian pigs were used to analyze the evolution of the depth of the three layers of subcutaneous fat and assess the influence of fattening time (30, 60 or 90 days) on the fatty acid profile in subcutaneous and intramuscular fat. The subcutaneous fat had a higher concentration of PUFA and a lower content of MUFA than the intramuscular fat of *Longissimus dorsi* muscle. In addition, although the length of fattening phase did not affect the concentration of SFA in either adipose tissue, MUFA in

subcutaneous backfat increased and PUFA decreased in both adipose tissues, and the change in oleic acid was more marked in backfat than in intramuscular fat. SFAs are found in a higher proportion in the inner layer of backfat and MUFAs accumulate in the outer layer, while PUFAs accumulate in either layer, depending on the length of the fattening phase. The coefficients of determination ($R^2 = 0.41-0.83$) confirmed that the fatty acid composition from the subcutaneous fat depot is an acceptable estimator of fatty acid composition from the intramuscular fat depot.

KEY WORDS

Free-range, backfat layers, intramuscular fat, Iberian pig, subcutaneous fat.

INTRODUCTION

Consumers nowadays demand high quality products with a particular taste or specific health properties, in which the content and fatty acid profile are important factors. The products made from the Iberian pig breed, especially those derived from animals fattened exclusively in a silvopastoral system known as "montanera", comply with these requirements (Ruiz y col., 1999) and its high content of oleic acid makes it healthier than other animal products (Viera-Alcaide y col., 2009). The montanera diet in pigs, linked to the "dehesa" (*Quercus ilex rotundifolia* and *Q. suber* open woodlands), is based on acorns and grass (Aparicio Macarro, 1988), with significant influence

on the fatty acid composition of the adipose tissues (Ruiz y col., 1998).

The fatty acid composition of the Iberian pig adipose tissues is diet-dependent (Viera-Alcaide y col., 2009) and the contents of four fatty acids (palmitic, stearic, oleic and linoleic acid) in a sample of the outer layer of subcutaneous fat from the animal's rump are often used by the industry to classify the pig carcasses. A high quality carcass must have a high proportion of oleic acid (De Pedro, 2001).

A number of studies have looked into the fatty acid profile in adipose tissues of the Iberian pig, e.g. in backfat (Daza y col., 2007a); (Daza y col., 2007b); (Daza y col., 2007c); (Niñoles y col., 2007); (Rey y col., 2006) in intramuscular fat (Tejerina y col., 2012a) (Tejerina y col., 2012b) or in both (Ventanas y col., 2008); (Pérez-Palacios y col., 2009), but few correlated the profiles obtained in the two types of fat. This information might be relevant since it is easier to sample backfat than intramuscular fat. In addition, few studies have assessed the influence of the duration of the fattening period under a "montanera" system on the fatty acid profile.

The main objectives of this experiment were to analyze the evolution of the depth of the three layers of subcutaneous fat and study the influence of the duration of the fattening period on the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat (total and outer, medium, and inner layers) of purebred Iberian pigs reared under free-range conditions, to predict the fatty acid

profile of intramuscular fat through the subcutaneous fat composition.

MATERIAL AND METHODS

1. Animals

Twenty-four pure-breed Iberian barrows of the Valdesequera strain ("Valdesequera", Badajoz, Extremadura, Spain) were used. The animals were raised in standard commercial conditions up to the beginning of the fattening period ("montanera"). Then, the animals were randomly distributed into three groups of eight pigs each according to the length of the fattening period (30 (M₃₀), 60 (M₆₀), and 90 (M₉₀) days) and fed under free-range conditions from November to January. Diet comprised acorns (dry matter (DM): 588.2 g/kg, crude protein: 57.8 g/kg of DM, crude fat: 75.7 g/kg of DM, crude fiber: 68.6 g/kg of DM) and pasture (dry matter: 160.9 g/kg, crude protein: 309.2 g/kg of DM, crude fat: 4.1 g/kg of DM, crude fiber: 163.2 g/kg of DM) (Tejerina y col., 2012a). Body weight (BW) and age at the start of the "montanera" were 128.8 ± 1.0 kg and 350 ± 10 days. The final BW ranged from 157.6 kg to 225.6 Kg (Table 1).

2. Carcass and fatty acid traits

Upon reaching its allocated slaughtering age (after 30, 60 and 90 days on feed), the pigs were fasted for 12 h, weighed immediately and transported to a commercial slaughterhouse located at 100 km from the experimental farm. They were then allowed a 14-h rest period, with full access to water but no feed.

The fasting period lasted 26 h, which is within the range used by the industry for Iberian pigs. At slaughter, the animals were stunned electrically, killed by exsanguination, scalded and eviscerated according to European regulations for animal care, following normal commercial abattoir procedures. The hot carcasses (including the head and loin) were weighed within 1 h *post-mortem*. At the packing plant, the backfat depth (total and outer, middle and inner layers) and loin area at the 14th rib level were traced on acetate paper on the left side of each carcass. The loin area was measured using an LI-3100C Area meter (Li-Cor Corporation, Lincoln, NE, USA) with a lens adjustable to a resolution of 1 mm². The samples were placed on the lower transparent belt and allowed to pass through the LI-3100C scanning head. The accumulated area was shown on the LI-3100C display. The backfat thickness was measured with a 0.5 mm-precision flexible ruler (Mitutoyo, UK).

A slice of the 14th rib (including skin, backfat and *Longissimus dorsi* m.) from the left half of each carcass was removed and vacuum packed in nylon/polyethylene vacuum bags, transported to the laboratory and kept frozen at -20 °C until its analysis. Before analysis, the vacuum packed samples were defrosted at 2 ± 1 °C for 24 h. In the laboratory, the backfat of each animal was divided into its three layers (outer, middle and inner) to analyze the fatty acid composition by the official method used in Iberian pork quality standards. The process was as follows: an homogeneous sample from each layer and each animal was weighed and homogenized with 50 ml of ester diethyl (2:1 v/v)

using a Stomacher (80 or 400 depending on sample size) for 2 minutes. The resultant solution was filtered to separate the extracted fat (total lipid content with the solvent) and the solid residue (connective tissue). To separate and recover the solvent, the extracted fat was put through a Rotavapor hot bath, between 40-50 °C, and then refrigerated for 5 minutes. To dissolve the lipids, 0.20 g of the total extracted lipids without ester was added to 4 ml n-hexane with alkenes and was shaken softly. 0.2 ml of KOH (2M methanol) was then added, leaving it to stand for 30 minutes. The mixture was then centrifuged at 2,000 rpm for 30 seconds. The fatty acids were determined in 1.0 ml of the mixture by chromatographic gas analysis. The results are expressed as g/100 g of fatty acid methyl esters identified. A 2.5 cm slice was removed from the *Longissimus dorsi* m. at the 14th rib for intramuscular fat content (IFAT) and fatty acid analysis. The IFAT was quantified according the method described by Folch y col. (1957) and later, the fatty acid composition of the intramuscular fat was analyzed by the same method as the backfat layer fatty acids.

3. *Statistical analysis*

All the statistical analyses were performed using SAS 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC). The GLM procedure was used to compare carcass traits (weight and area of the loin, intramuscular fat, and backfat thickness), using time of fattening as the fixed effect and carcass weight as covariate. The fatty acid (FA) contents of intramuscular and subcutaneous fat were compared using the time of fattening as the fixed effect and the

location was nested within time of fattening. The FA contents of the backfat layers (outer, middle and inner) were also compared using the time of fattening as the fixed effect and the layers were nested within the time of fattening. The least squares means were compared by Tukey's test. Time dependent variations of FA contents within locations and layers were investigated through polynomial contrasts (linear and quadratic effects). Correlations between the FA contents in intramuscular and the same FA in subcutaneous fat were investigated. Linear relationships between FA in intramuscular and subcutaneous fat were investigated using the FA contents in the latter as the independent variables and those in the former as the dependent variables. An ANCOVA was performed to test whether the slope between FA in both locations was different for the three finishing times. Since the interaction between finishing time and the FA in subcutaneous fat of *Longissimus dorsi* m. was not different in any variable, a simple regression analysis was performed. In all cases, the significance level was set at $P \leq 0.05$.

The allometric equation (Huxley, 1932) was used for the depiction of differential growth of muscle and fatty tissue. This model describes a part-to-whole relationship and has the following form:

$$\log Y = \log a + b * \log X$$

where

a = intercept on Y axis,

b = allometric growth coefficient (slope)

X = carcass weight and Y = intramuscular fat content, subcutaneous fat thickness, loin weight or loin area. In the study of the BF layers, X = backfat depth and Y = depth of each of the three adipose layers.

The allometric coefficients were t-tested to determine if the allometric coefficient may define a fast, slow or equivalent pattern of growth. The t-tests were computed as $t = (b - B_0) / SE_b$, which distributes as Student's t, with the degrees of freedom of the error term.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Live and carcass traits

The body weight at slaughter and carcass traits showed the highest mean values in the M₉₀ group (Table 21), but this increase was not significant ($P > 0.05$) for the weight and area of the loin. The dressing-out (carcass weight*100/body weight at slaughter) increased significantly ($P \leq 0.05$) with the duration of the fattening period (75.9% and 85.6% at 30 and 90 days on feed, respectively), mainly due to increased fat deposition. This could be inferred by the significant increase in both intramuscular fat content (229%) and subcutaneous fat thickness (170%) between M₃₀ and M₉₀ groups, while the weight and area of the loin remained practically unchanged with as carcass weight increased. The intramuscular fat content had a positive allometric growth ($b = 2.7$; isometric coefficient = 1) which was clearly biphasic ($b = 3.2$ and $b = 0.5$ for 30-60 d and 60-90 d fattening periods, respectively). The average allometric

coefficient of the backfat depth fat for the whole experimental period was ($b = 0.46$) and showed a positive allometric growth relative to carcass weight (isometric coefficient = 0.33) with a tendency to increase at the end of the fattening period ($b = 0.40$ and 0.51 for 30-60 d and 60- 90 d periods). As expected, the weight ($b = 0.17$; isometric index = 1) and area ($b = 0.15$; isometric index = 0.66) of the loin showed a negative allometric growth.

Table 21. Effect of duration of fattening period on body weights and carcass traits (least squares means).

Traits	Duration of fattening			RSD	P-value
	Groups ¹				
	M ₃₀ (N=8)	M ₆₀ (N=8)	M ₉₀ (N=8)		
Body weight at start, kg	128.9 ^b	129.2 ^b	128.4 ^b	0.4	0.950
Body weight at slaughter, kg	157.6 ^a	190.4 ^b	225.6 ^c	28.4	≤ 0.001
Carcass weight, kg	119.6 ^a	163.0 ^b	193.1 ^c	30.8	≤ 0.001
Loin, kg	2.1	2.2	2.5	0.16	0.071
Loin area, cm ²	27.1	28.8	31.4	1.8	0.190
Intramuscular fat, g/100g	2.7 ^a	4.7 ^{ab}	6.2 ^b	1.5	≤ 0.01
Backfat thickness					
Total, cm	5.60 ^a	7.63 ^b	9.56 ^c	1.65	≤ 0.001
Outer layer, cm	1.26 ^a	1.59 ^b	1.63 ^b	0.17	0.020
Middle layer, cm	2.51 ^a	3.62 ^b	3.93 ^b	0.62	≤ 0.001
Inner layer, cm	1.84 ^a	2.42 ^a	4.00 ^b	0.94	≤ 0.001

¹ M₃₀ = Thirty days on fattening; M₆₀ = Sixty days on fattening; M₉₀ = Ninety days on fattening.

^{a,b,c} Values within a row with different superscript differ at $P \leq 0.05$.

In the data set, the average thickness of the outer, middle and inner subcutaneous adipose layers of the backfat, similar to those recorded by Izquierdo y col. (2012) in Iberian pigs slaughtered in the 135-175 kg range, differ significantly from those obtained by Alfonso y col. (2005) in Basque (latter breed) and Large White (selected breed) pig breeds slaughtered at 86 and 126 kg, respectively. Eggert y col. (1998) found that the inner layer thickness was proportionally lower in leaner genotypes. The mean thickness of the outer, middle and inner layers of the backfat in animals slaughtered at 90 days on feed represented 129%, 157% and 302%, respectively, of the values obtained from M₃₀, it is showing that the individual layers not grow at the same rate. In relation to subcutaneous fat thickness, the outer layer showed a significant ($P \leq 0.05$) decrease (22.83% vs. 17.13%), the middle layer showed no significant ($P > 0.05$) change, and the inner layer increased ($P \leq 0.001$) between the M₃₀ and M₉₀ groups (32.73% vs. 42.43%). This evolution is similar to that observed when fat thickness values were related to carcass weight in each batch (1.05, 0.98 and 0.84 cm / 100 kg carcass weight for outer layer, 2.10, 1.99 and 2.01 cm / 100 kg carcass weight for middle layer, and 1.54, 1.72 and 2.11 cm / 100 kg carcass weight for inner layer), although the differences were only significant for the inner layer. These results contrast with those obtained by Izquierdo y col. (2012) in the Iberian breed (the only significant increase was observed in the middle layer). The largest allometric growth coefficient was for the inner layer ($b = 0.79$; isometric coefficient = 0.33), showing it to

be the latest depot to develop, while the outer ($b = 0.26$) and middle ($b = 0.29$) layers were the earliest. However, in a previous work (Fortin, 1986), the allometric coefficients for the fat thickness measurements of the outer layer were lower than those of the middle layer, while those of the inner layer were intermediate. Also, McEvoy *et al.* (2007) noted, using ultrasound measurements, that during growth, the middle and inner subcutaneous adipose layers change in the relative contribution they make to total backfat thickness and the middle layer shows the greatest increase in thickness per unit body weight. These authors demonstrated that the change in thickness of the individual layers per unit changed in the live weight, and thereby ranked the middle layer (0.0040 cm/kg) first, followed by the outer layer (0.0031 cm/kg) and then the third layer (0.0020 cm/kg). Newcom *et al.* (2005), analyzing the regression coefficients for the ratios of individual layers (outer (OBF), middle (MBF) and inner (IBF)) to total backfat and for MBF:OBF, IBF:OBF, and IBF:MBF in Duroc swine, found that the rate of growth of the outer layer of backfat decreased as weight increased, that the depth of the middle and inner backfat layers increased at a faster rate than the outer layer in the weight range observed, and that the middle and inner layer of backfat grew at approximately the same rate with respect to each other. These contradictory results may be explained by the different diet and genotype used in the studies (Eggert *et al.*, 1998; Alfonso *et al.*, 2005) and/or a difference in mean backfat level (Newcom *et al.*, 2005), weight range and sites of measurements

(Fortin, 1986). Concerning the genotype effect, Eggert y col. (1998) in a comparative study of the relative growth of subcutaneous fat layers in Duroc, Pietrain and Large White-sired genotypes, found that the outer layer appears to grow linearly for most pigs, the middle layer grows at an increasing rate, while the inner layer fat growth approaches a plateau for Pietrain-sired barrows and Large White-sired gilts, and all other pigs deposit an inner layer of backfat at an accelerating rate. The inner layer showed a monophasic evolution ($b = 0.54$ and 0.48 for 60-90 d and 30-60 d periods, respectively), whereas it was biphasic in the other two layers (0.36 and 0.03 , and 0.46 and 0.10 for outer and middle, respectively).

2. Relationship between backfat layers and intramuscular fat percentage

It has long been known that the total subcutaneous backfat depth is moderately correlated with intramuscular fat percentage in pigs (Sellier, 1998). Recent investigation into the three individual subcutaneous backfat layers has led to some speculation that the innermost layer develops last, around the same time as intramuscular fat, and this relationship could be higher than the relationship with total fat depth (Eggert y col., 1998). In addition, Newcom y col. (2005) suggest that an emphasis during selection and during growth on the inner-most adipose layer would both retain the usefulness associated with back fat measurements and be advantageous, since increased thickness of the inner-most layer is associated with marbling, and does not involve associated wasteful increases in adipose

tissue at other sites. In our study, the correlation coefficients between the inner subcutaneous backfat layer and IMF were 0.829 ($p = 0.011$), -0.005 ($p = 0.990$), -0.349 ($p = 0.396$) and 0.488 ($p = 0.015$) for M₃₀, M₆₀, M₉₀ and the whole batch of animals, respectively. Eggert y col., (1998) and Newcom y col., (2005) reported phenotypic correlations of IBF with IMF for Duroc pigs of 0.71 and 0.34, respectively. This difference could be due to differences in genotype, measurement methods (with ultrasound vs. on the carcass), differences in number of observations (24 vs. 589 and 16), or differences in individual fat layer depths and IMF.

3. Fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat.

The fatty acid composition of the fat depots was, as expected, largely a reflection of the fatty acid pattern of the dietary fat. In the data set (Table 22), the most abundant fatty acids were oleic (52.94%) and palmitic acids (21.54%), followed by stearic (9.73%) and linolenic acids (8.76%). Likewise, a high level of MUFA (57.68%) was detected, which is the most relevant quality feature in meat from Iberian pigs (Ventanas y col., 2006). Significant differences between intramuscular and subcutaneous adipose tissues were observed. The anatomical variation in the fatty acid composition in pigs (Monziols y col., 2007); (Pérez-Palacios y col., 2009) could be attributed to the fact that each adipose tissue shows specific development and metabolism (Mourot y col., 1996). Compared with the subcutaneous fat, the intramuscular fat exhibited a higher ($P \leq 0.05$) percentage of lauric, miristic, palmitic and palmitoleic

acids, SFA, MUFA and SFA/MUFA+PUFA ratio, and a lower percentage of margaric, margaroleic, gadoleic, linoleic and linolenic acids, PUFA and unsaturation index. No significant effect ($P > 0.05$) of the adipose depot on the levels of stearic, araquic and oleic acids was observed. The percentage of palmitoleic acid in intramuscular fat was about twice that of backfat (4.63 vs. 1.96, respectively). In contrast, the content of the gadoleic fatty acid was twice as high in backfat than in intramuscular fat (1.54 vs. 0.85, respectively). This could relate to the fact that the enzymatic activity for the formation of gadoleic acid is more active in backfat than in intramuscular fat (Narváez-Rivas y col., 2009).

Table 22. Effect of duration of fattening period on intramuscular¹ (IMF) and subcutaneous fat (BF) fatty acid percentages in Iberian pigs (least squares means).

Traits (g/100 g) ¹	Duration of fattening ²						RSD	Probability ³	
	M ₃₀ (N=8)		M ₆₀ (N=8)		M ₉₀ (N=8)			Linear	
	IMF	BF	IMF	BF	IMF	BF		IMF	BF
C 12:0	0.06 ^{bc}	0.05 ^d	0.07 ^{ab}	0.05 ^d	0.08 ^a	0.05 ^d	0.105	0.002	0.453
C 14:0	1.15 ^{bc}	1.07 ^c	1.29 ^{ab}	1.09 ^c	1.34 ^a	1.12 ^c	0.384	0.011	0.306
C 16:0	21.42 ^{bc}	19.79 ^c	23.57 ^{ab}	20.35 ^c	24.10 ^b	20.04 ^c	1.541	0.041	0.606
C 16:1	4.87 ^a	2.28 ^b	4.27 ^a	1.76 ^b	4.75 ^a	1.85 ^b	1.207	0.718	0.008
C 17:0	0.18 ^c	0.35 ^a	0.13 ^d	0.28 ^b	0.12 ^d	0.27 ^b	0.301	0.001	0.001
C 17:1	0.29 ^b	0.37 ^a	0.19 ^c	0.25 ^{bc}	0.19 ^c	0.27 ^b	0.280	0.001	0.001
C 18:0	8.92 ^a	9.24 ^a	10.50 ^a	10.19 ^a	9.77 ^a	9.78 ^a	1.161	0.275	0.304
C 18:1	52.55 ^a	51.40 ^a	52.17 ^a	53.52 ^a	53.89 ^a	54.15 ^a	1.497	0.331	0.001
C 18:2	9.07 ^b	12.90 ^a	5.87 ^c	9.90 ^b	4.93 ^c	9.89 ^b	1.678	≤0.001	≤0.001
C 18:3	0.48 ^c	1.06 ^a	0.35 ^d	0.73 ^b	0.33 ^d	0.78 ^b	0.525	0.001	≤0.001
C 20:0	0.15 ^b	0.17 ^{ab}	0.19 ^a	0.20 ^a	0.17 ^{ab}	0.18 ^{ab}	0.164	0.092	0.193
C 20:1	0.84 ^c	1.33 ^b	0.87 ^c	1.69 ^a	0.85 ^c	1.61 ^a	0.618	0.765	0.001
SFA	31.89 ^{ab}	30.67 ^b	35.06 ^{ab}	32.15 ^{ab}	36.28 ^a	31.46 ^b	1.655	0.114	0.370
MUFA	58.55 ^{ab}	55.38 ^b	57.51 ^{ab}	57.21 ^{ab}	59.69 ^a	57.88 ^{ab}	1.750	0.490	0.004
PUFA	9.55 ^b	13.96 ^a	6.22 ^c	10.63 ^b	5.26 ^c	10.66 ^b	0.637	≤0.001	≤0.001
SFA/MUFA+PUFA	0.47 ^{abc}	0.44 ^c	0.54 ^{ab}	0.47 ^{bc}	0.57 ^a	0.46 ^{bc}	1.865	0.122	≤0.001
Desaturation index	2.48 ^{ab}	2.73 ^a	1.95 ^c	2.45 ^{ab}	2.05 ^{bc}	2.53 ^a	0.282	0.059	0.068

¹*Longissimus dorsi* m.; SFA = Σ Saturated fatty acids; MUFA = Σ monounsaturated fatty acids; PUFA = Σ polyunsaturated fatty acids.

²M₃₀ = Thirty days on fattening; M₆₀ = Sixty days on fattening; M₉₀ = Ninety days on fattening.

^{a,b,c} Values within a row with different superscript differ at P ≤ 0.05.

³Probability of the linear responses of fatty acid contents to the time on fattening within intramuscular and subcutaneous fat.

The fatty acid profile, which is highly influenced by the characteristics of the feed (Barea y col., 2013; Lopez-Bote, 1998; Pascual y col., 2006; Daza y col., 2007b; Ventanas y col., 2008; Tejerina y col., 2012a; Pérez-Palacios y col., 2009), changed during fattening, as both the animal's fat content and the rate of fatty acid synthesis increased (Enser y col., 1996). The time of fattening significantly ($P \leq 0.05$) influenced the content of some fatty acids, and the deposition of fatty acids in both intramuscular and subcutaneous adipose tissues differed between each fatty acid (Table 22). The percentage of margaric, margaroleic, linoleic and linolenic fatty acids, PUFA and the unsaturation index decreased as well as increased during the fattening phase in both adipose tissues. In intramuscular fat, significant increases in lauric and miristic acids percentages were recorded, while the percentage of margaric, margaroleic, linoleic and linolenic acids, and PUFA showed a significant decrease with increasing time of fattening. In subcutaneous fat, the M_{90} pigs exhibited a higher percentage of oleic and gadoleic acids and MUFA, and a lower percentage of margaric, palmitoleic, margaroleic, linoleic and linolenic acids, PUFA and unsaturation index. No effect of the number of days of fattening was observed on palmitic or stearic acids and SFA in both adipose tissues. In Iberian pigs under intensive system and slaughtered at 50 and 115 kg, Barea y col. (2013) found a decrease in SFA content and an increased MUFA content as body weight increased, while the PUFA content was practically unchanged. Pascual y col. (2006) observed that in the subcutaneous fat of the extensively-fed Iberian pig, with increasing periods of fattening, there is an increase in oleic acid and a decrease in stearic and palmitic acids. A similar trend was found by Cava (1994) in intramuscular fat. The percentage of mainly MUFA, oleic acid, showed an increase in backfat during the days of fattening only in the two first groups (51.40% and 53.52% for M_{30} and M_{60} , respectively). The increase in oleic acid in backfat can be influenced by the age when the animals begin the basic fattening phase on acorns and grass (Daza y col., 2007a; Pascual y col., 2006). The significant differences obtained could be due to the number of days of the fattening phase, the richness in oleic acid of the acorns and to its low endogenous synthesis. Our results in oleic acid agreed with those obtained by Daza y col. (2007a), Daza y col. (2007b), Tejerina y col. (2012a) and Tejerina y col. (2012b). The other backfat monounsaturated fatty acids, palmitoleic and margaroleic acids, decreased from M_{30} to M_{60} , but the case of gadoleic acid was different as it

increased in first period. Raj y col. (2010) also show that the proportion of SFA and MUFA in *Longissimus dorsi* muscle and backfat tended to rise, while the PUFA concentration and PUFA / SFA ratio fell significantly. Similar findings were reported by Kouba y col. (2003) and Wood y col. (2008). These changes result from the increasing role of *de novo* tissue synthesis of SFA and MUFA and the declining role of the direct incorporation of linoleic acid from the diet. In both linoleic and linolenic acids, their concentration significantly decreased ($P \leq 0.05$) in two tissue depots, especially between M₃₀ and M₆₀. In the M₉₀ group, the percentage of both fatty acids in backfat was twice that of intramuscular fat (9.89% vs. 4.93%, and 0.78% vs. 0.33%, respectively). The results in linoleic fatty acid diverge from Pascual y col. (2006), who indicated that the higher linoleic increase is compensated by a significantly higher decrease in palmitic and stearic acid levels. However, in our study, the opposite occurred.

The decline in PUFA with the number of fattening days is due to the low levels of this fatty acid in the acorns and the high fat content of the pigs. As reported by Camoes y col. (1995), the reduction in linoleic acid in the diet is compensated by the rise in palmitic and stearic acids. According to Nilzén y col. (2001), the addition of grass to the diet resulted in high levels of linoleic and linolenic acids and a decrease in the level of palmitic acid in the intramuscular fat. The results obtained by Raj y col. (2010) show that as the pigs' body weight increased, the proportion of stearic acid in the backfat increased and that of linoleic acid fell. However, in the *Longissimus dorsi* muscle, the proportion of stearic acid did not change, and the oleic acid decreased. The values of the saturated/unsaturated fatty acid ratio obtained in backfat were lower than those obtained by Niños y col. (2007). The unsaturation index values as the days of the fattening phase increased did not show a clear trend. Our results agree with those obtained by other authors (Ventanas y col., 2008; Tejerina y col., 2012a; Tejerina y col., 2012b; Lopez-Bote, 1998; Niños y col., 2007) but are lower than those obtained by Cava y col. (2000), although the length of the final fattening phase was not always the same.

4. Fatty acid profile of the three layers of subcutaneous backfat.

Table 23 shows the fatty acid composition of the three layers of backfat (outer, middle and inner). It is widely recognized that the outer back-fat layer is more unsaturated than the inner, partly by a probable preferential deposition of PUFA in the outer layer, but

also as a result of the dilution effect caused by an increased deposition of de novo fatty acid from a stimulated de novo lipogenesis in the inner layer (Bee y col., 2002). The fatty acid profile was significantly ($P \leq 0.05$) different for each layer, in agreement with the results of Monziols y col. (2007). The percentage of miristic, palmitoleic, oleic and gadoleic acids, MUFA and unsaturation index were higher in the outer layer than in the other two layers, whilst stearic acid, SFA and saturated/unsaturated ratio were lower in the outer layer than the others. The inner layer showed the lowest values of oleic, gadoleic and margaroleic fatty acids, MUFA and unsaturation index, and the highest in palmitic and stearic fatty acids and SFA. This can be attributed to the fact that the inner layer matures later and is therefore the last to be affected by the fatty acid composition of food. These results agreed with those obtained by Rey y col. (2006), Daza y col. (2007a), Daza y col. (2007b) and Daza y col. (2008). The interaction was not significant ($P > 0.05$) for all traits of fatty acids. In contrast to the results provided by Monziols y col. (2007) and Isabel y col. (2014), in our study, significant differences between the layers in the concentration of linoleic acid were not found. Palmitoleic, margaroleic, linoleic and linolenic fatty acids, PUFA and unsaturation index decreased as the number of days of fattening increased, whilst oleic and gadoleic acids and MUFA increased (Table 3). These results agree with those obtained by Daza y col. (2007a), Daza y col. (2007b), Daza y col. (2007c) and Daza y col. (2008), except for linoleic fatty acid, which was higher in the inner layer of backfat. Rey y col. (2006)'s results also differed from ours in that only palmitic, stearic and linolenic fatty acids had the highest percentages in the inner layer.

Table 23. Effect of duration of fattening period on backfat fatty acid percentages in Iberian pigs (least squares means).

Traits (g/100 g) ¹	Duration of fattening ²									RSD			
	M ₃₀ (N=8)			M ₆₀ (N=8)			M ₉₀ (N=8)				inner	medium	outer
	inner	middle	outer	inner	middle	outer	inner	middle	outer				
C 12:0	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.05 ^b	0.06 ^a	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.06 ^a	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.087	0.123	0.284	0.52
C 14:0	1.06 ^a	1.06 ^a	1.09 ^a	1.11 ^a	1.01 ^a	1.14 ^a	1.12 ^a	1.08 ^a	1.15 ^a	0.313	0.244	0.653	0.181
C 16:0	20.48 ^{abc}	19.87 ^{abc}	19.04 ^c	21.22 ^a	20.17 ^{abc}	19.65 ^{bc}	20.92 ^{ab}	19.96 ^{abc}	19.25 ^c	1.069	0.408	0.859	0.625
C 16:1	2.04 ^{bc}	2.08 ^{bc}	2.72 ^a	1.68 ^{cd}	1.51 ^d	2.08 ^{bc}	1.63 ^{cd}	1.69 ^d	2.22 ^b	0.677	≤0.001	0.001	0.009
C 17:0	0.36 ^a	0.36 ^a	0.33 ^{ab}	0.27 ^b	0.28 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.232	0.176	0.347	0.499
C 17:1	0.32 ^{bc}	0.36 ^{ab}	0.43 ^a	0.22 ^c	0.24 ^{de}	0.31 ^{bcd}	0.23 ^{de}	0.26 ^{cde}	0.33 ^{bc}	0.285	0.250	0.244	0.106
C 18:0	10.39 ^a	9.74 ^{ab}	7.58 ^c	11.05 ^a	11.12 ^a	8.40 ^{bc}	11.17 ^a	10.29 ^a	7.88 ^c	1.298	0.007	0.007	0.014
C 18:1	50.38 ^d	50.89 ^{cd}	52.94 ^{bc}	52.15 ^{bcd}	52.93 ^{bc}	55.47 ^a	52.62 ^{bc}	53.94 ^{ab}	55.88 ^a	1.475	≤0.001	≤0.001	0.001
C 18:2	12.44 ^a	12.99 ^a	13.28 ^a	9.78 ^b	9.99 ^b	9.93 ^b	9.50 ^b	9.86 ^b	10.30 ^b	1.250	0.007	≤0.001	≤0.001
C 18:3	1.09 ^a	1.09 ^a	1.00 ^a	0.79 ^b	0.76 ^b	0.65 ^b	0.78 ^b	0.79 ^b	0.76 ^b	0.428	0.002	0.001	≤0.001
C 20:0	0.17 ^{bc}	0.18 ^{bc}	0.15 ^c	0.20 ^{ab}	0.22 ^a	0.18 ^{bc}	0.19 ^{abc}	0.20 ^{ab}	0.17 ^{bc}	0.178	≤0.001	≤0.001	≤0.001
C 20:1	1.22 ^f	1.34 ^{ef}	1.42 ^{def}	1.48 ^{cde}	1.71 ^{abc}	1.87 ^a	1.51 ^{bcd}	1.60 ^{bcd}	1.73 ^{ab}	0.491	≤0.001	≤0.001	≤0.001
SFA	32.52 ^{ab}	31.25 ^{abc}	28.24 ^d	33.91 ^a	32.86 ^a	29.69 ^{bcd}	33.73 ^a	31.86 ^{ab}	28.79 ^{cd}	1.581	0.207	0.534	0.463
MUFA	53.96 ^d	54.67 ^d	57.51 ^{bc}	55.53 ^{cd}	56.38 ^{cd}	59.73 ^{ab}	55.99 ^{cd}	57.50 ^{bc}	60.15 ^a	1.307	0.025	0.003	≤0.001
PUFA	13.53 ^a	14.08 ^a	14.28 ^a	10.56 ^b	10.75 ^b	10.58 ^b	10.28 ^b	10.64 ^b	11.06 ^b	0.573	≤0.001	≤0.001	≤0.001
SFA/MUFA+PUFA	0.48 ^{ab}	0.45 ^{abc}	0.40 ^c	0.51 ^a	0.49 ^a	0.42 ^{bc}	0.51 ^a	0.47 ^{ab}	0.41 ^c	1.610	0.175	0.525	0.507
Desaturation index	2.50 ^{cde}	2.67 ^{bcd}	3.06 ^a	2.27 ^c	2.38 ^{de}	2.73 ^{abc}	2.28 ^e	2.48 ^{cde}	2.86 ^{ab}	0.234	0.065	0.124	0.079

¹SFA = Σ saturated fatty acids; MUFA = Σ monounsaturated fatty acids; PUFA = Σ polyunsaturated fatty acids; Unsaturation index = [(MUFA*1) + (PUFA*2)] / SFA.

²M₃₀ = Thirty days on fattening; M₆₀ = Sixty days on fattening; M₉₀ = Ninety days on fattening.

^{a,b,c} Values within a row with different superscript differ at P ≤ 0.05.

³Probability of the linear responses of fatty acid contents to the time on fattening within subcutaneous fat layers.

In our current study, the unsaturation degree of the pig's fat deposits followed a negative gradient from the outside inwards. The highest levels of SFA and SFA/MUFA+PUFA ratio were recorded in the inner layer. In agreement with Monziols y col. (2007), the MUFA content and unsaturation index differed between the three layers according to gradient: this content was highest in the outer layer and lowest in the inner layer. The PUFA concentrations followed the same pattern. Differences in lipid metabolism could be the main causes of the preferential deposition of PUFA in the outer layer. According to Bee y col. (2002), the lipid metabolism is lower in the outer layer than in the inner layer of subcutaneous adipose tissue.

According to Daza y col. (2007a), the highest level of SFA, and MUFA and PUFA were recorded in the inner and outer layers, respectively. The preferential deposition of PUFA in the outer layer of the pig's adipose tissues is still not fully understood. It has been postulated that it may be related to the lower lipid metabolism in the outer layer (Monziols y col., 2007). On the contrary, the greater novo lipogenesis activity in the inner layer may dilute the dietary PUFA with endogenous fatty acids (Bee y col. 2002). The results for PUFA did not agree with Daza y col. (2007b), Daza y col. (2007c) and Daza y col. (2008), who found the highest value in the inner layer. The unsaturated index value, higher in the outer layer, was in harmony with those obtained by Daza y col. (2007c) in Iberian pigs. As found by Daza y col. (2007b), the time of fattening significantly affected ($P \leq 0.05$) MUFA and PUFA in the three backfat layers and MUFA in outer and middle layers, respectively. However, there was no significant ($P > 0.05$) effect of the runtime of fattening on SFA, except for margaric acid in all backfat layers and araquic acid in the outer and middle layers, respectively. These results could be due to the fact that the amount of saturated fatty acid in the three backfat layers follows a similar trend, while the amount of unsaturated fatty acid is higher in one layer than the other two. The trend of the amount of different fatty acids in the three backfat layers for free-range fattening did not agree with Daza y col. (2007b) for palmitic and stearic acids in the outer and inner layers, oleic acid and MUFA in the inner layer and SFA in the outer layer. Also, an adaptation of adipose tissue to temperature, with the aim of maintaining the physical flow of lipids in the different adipose tissues (Dean & Hilditch, 1933), could be one of the causes of the differences in the fatty acid profile in the three layers.

5. Relationship between intramuscular and backfat fatty acids

The fatty acid composition of the intramuscular fat largely determines the quality of the pork, and the subcutaneous fat is usually used to characterize and determine the commercial grade of Iberian meat (BOE, 2014) according to the production system (management and feeding). Based on these two facts, several studies have focused on the relationship between the fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat in heavy pigs (Yang y col., 2010); however, no research has studied this relationship in Iberian pigs. As indicated by Niñoles y col. (2007), if a significant relationship between the composition of both types of fat can be found, then a fast, objective, cost-efficient analysis and non-destructive techniques could be designed to determine the quality of the pork (Zamora-Rojas y col., 2013). The simple correlation coefficients between the same fatty acids from intramuscular and subcutaneous depots in Iberian pigs reared on a “montanera” diet are shown in Table 24. The stearic fatty acid and SFA had a significant ($P \leq 0.05$) relationship with both adipose tissues in all pig groups. Conversely, two polyunsaturated fatty acids (linoleic and linolenic) and PUFA did not show a significant ($P > 0.05$) correlation coefficient in all groups. The rest of the fatty acids (palmitic and oleic) and MUFA showed a significant ($P \leq 0.05$) relationship with the levels in intramuscular and backfat in at least one group of pigs.

Table 24. Pearson correlation coefficients between fatty acid of intramuscular fat¹ and subcutaneous fat in Iberian pigs at 30 (M₃₀), 60 (M₆₀) and 90 (M₉₀) days on fattening

Groups ³	Traits ²							
	C 16:0	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	SFA	MUFA	PUFA
M ₃₀ (N=8)	0.84*	0.98*	0.69	0.39	0.67	0.96*	0.70	0.40
M ₆₀ (N=8)	0.53	0.78*	0.71*	0.71	0.39	0.84*	0.70	0.70
M ₉₀ (N=8)	0.74*	0.92*	0.93*	-0.18	-0.19	0.92*	0.94*	-0.17

¹Longissimus dorsi m.

²SFA = Σ saturated fatty acids; MUFA = Σ monounsaturated fatty acids; PUFA = Σ polyunsaturated fatty acids; Unsaturation index = $[(\text{MUFA} \times 1) + (\text{PUFA} \times 2)] / \text{SFA}$.

³M₃₀ = Thirty days on fattening; M₆₀ = Sixty days on fattening; M₉₀ = Ninety days on fattening.

* $p \leq 0.05$

In agreement with Yang y col. (2010), there was a strong relationship between the SFA and MUFA, and the value and statistical significance of the coefficient of correlation increased with the duration of the fattening period. However, PUFA showed no significant ($P > 0.05$) relationship in the three groups of pigs considered, which differs from the findings of Yang y col. (2010). The main fatty acid in Iberian pig, oleic acid, showed a significant correlation coefficient ($P \leq 0.05$) in the M_{60} and M_{90} groups. This could be due to its varying accumulation in both adipose tissues, which was higher in intramuscular fat in the case of M_{30} but lower in M_{60} and M_{90} , and, as mentioned above, the difference between both adipose tissues was significant ($P \leq 0.05$) only in the last group. The coefficient of correlation for this fatty acid between both fat depots increased with the duration of the fattening phase due to accumulation, following the same trend in both fatty tissues. However, the saturated fatty acid, linoleic and linolenic fatty acids followed the opposite trend: the correlation coefficient was higher in animals slaughtered after only one month of fattening (M_{30} group). In lean pigs, as found by Landrace and Duroc, the high degree of association between the fatty acids suggest that as intramuscular fat content increases, there is a rapid dilution of polyunsaturated fatty acids by saturated and monounsaturated fatty acids (Cameron & Enser, 1991). Our results, as stated by Yang y col. (2010), indicate that the fatty acid depositions of adipose tissues are associated with each other to some extent. The data were subjected to regression analysis to assess the effectiveness with which fatty acid composition by intramuscular fat depot could be predicted from the same features by subcutaneous fat depot (Table 25). Previously, we tested the finishing-time effects on the slope and intercept of the relationships. These effects were not significant and therefore the regressions for data set were performed. The best fits were recorded with the linear function. The results indicated low to high coefficients of determination, confirming that the fatty acid composition from the subcutaneous fat depot is an acceptable estimator of that from the intramuscular fat depot. The R^2 values for the regression equations to estimate some fatty acids from intramuscular fat ranged from 0.41 (oleic) to 0.83 (SFA).

Table 25. Regression to predict fatty acids profile of intramuscular fat¹ from corresponding subcutaneous fat

Fatty acid	Intercept			Slope			FA X time	R ²
	a	E.E.	p ²	b	E.E.	p ²		
16:0	-15.39	7.81	*	1.91	0.39	***	ns	0.52
18:0	-3.36	1.38	*	1.34	0.14	***	ns	0.81
18:1	0.22	13.50	ns	0.99	0.25	***	ns	0.41
18:2	-5.79	1.65	**	1.14	0.15	***	ns	0.72
18:3	0.04	0.06	ns	0.40	0.07	***	ns	0.60
SFA	-32.38	6.57	***	2.13	0.21	***	ns	0.83
MUFA	-7.75	16.20	ns	1.17	0.28	**	ns	0.43
PUFA	-5.64	1.65	**	1.08	0.14	***	ns	0.73

¹*Longissimus dorsi* m.

² ns: not significance; *p ≤ 0.05; **: p ≤ 0.01; *** p ≤ 0.001

CONCLUSIONS

This experiment confirmed that the various adipose tissues of the pig differ in their fatty composition. The backfat tissue had a higher concentration of PUFA and a lower content of MUFA than the intramuscular fat of the *Longissimus dorsi* muscle. The time that the animals spend in the “montanera” system does not affect the concentration of SFA in either adipose tissue (intramuscular and backfat), but if the days of fattening are increased, the concentration of MUFA in backfat from the M₃₀ to M₉₀ groups increases significantly and the percentage of PUFA decreases in both adipose tissues – by as much as half in the M₉₀ group. The change in oleic acid as the days of the fattening phase increased was higher in backfat than in intramuscular fat, although the values in both adipose tissues were similar. However, the few differences which exist in the fatty acid composition between both adipose tissues show that the changes due to feeding take some time to occur. For this reason, although the runtime of the last fattening phase is increased, the fatty acid profile does not improve.

Saturated fatty acids are found in higher proportion in the inner layer of backfat and monounsaturated fatty acids accumulate in the outer layer, while polyunsaturated acids accumulate in either layer depending on the length of the final fattening phase. However, the percentage falls from the beginning of the fattening phase based on acorn and grass. The percentage of the main fatty acid, oleic acid, increased significantly in

backfat as the days of fattening period increased, but in the case of intramuscular fat this increase was not significant.

The coefficients of determination confirm that the fatty acid composition from the subcutaneous fat depot is an acceptable estimator of fatty acid from the intramuscular fat depot.

CONFLICT OF INTEREST STATEMENT

The authors declare that they have no conflict of interest

DISCUSSION GENERAL

1. Diferencias peso vivo y rendimiento a la canal durante la fase de cebo y entre sistemas de alimentación de engorde

El rendimiento de la canal es la proporción entre el peso de la canal y el peso vivo al sacrificio. Son varios los factores que influyen en el rendimiento de la canal, entre los que se encuentra la raza, el sexo, la dieta, la edad y el peso de sacrificio. Como se puede observar en la Tabla 26, el rendimiento de la canal aumentó significativamente con la duración de la fase de cebo hasta el segundo mes de engorde, a partir del cual el rendimiento no presentó variaciones (75.9% en M₃₀ y 85.6% en M₆₀ y M₉₀), no ocurriendo lo mismo para el peso de la canal (163 y 193 Kg para M₆₀ y M₉₀, respectivamente), que aumentó más de un kilo por día. Ello podría ser debido en gran parte al aumento de los depósitos grasos, tanto subcutáneos como intramusculares, ya que el peso y área del lomo se mantuvieron sin cambios desde el inicio al final de la fase de cebo (Tabla 26).

Tabla 26. Efecto de la duración de la fase de cebo sobre el peso vivo y rendimiento de la canal.

Variables	Duración de la fase de cebo				P-value
	Grupos ¹			RSD	
	M ₃₀ (N=8)	M ₆₀ (N=8)	M ₉₀ (N=8)		
Peso vivo inicial, kg	128.9 ^b	129.2 ^b	128.4 ^b	0.4	0.950
Peso vivo sacrificio, kg	157.6 ^a	190.4 ^b	225.6 ^c	28.4	≤ 0.001
Peso canal, kg	119.6 ^a	163.0 ^b	193.1 ^c	30.8	≤ 0.001

¹M₃₀ = 30 días en cebo; M₆₀ = 60 días en cebo; M₉₀ = 90 días en cebo.

^{a,b,c} valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de $P \leq 0.05$

Los pesos y rendimientos cambiaron con la duración del engorde y también con el tipo de dieta que recibieron los animales en la fase final del cebo aunque está influyó en menor medida que la duración. Cuando se observan los cuatro grupos de engorde final (Montanera, Recebo, Oleico y Cebo) (Tabla 27) para un mismo peso de sacrificio (~160kg) resulta que el grupo que recibió una dieta comercial enriquecida con ácido oleico fue el que presentó mayor peso de la canal, siendo la diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con los grupos de Recebo y Cebo, aunque no para el grupo de Montanera. En relación al rendimiento de la canal, los resultados fueron similares: el grupo alimentado con pienso rico en ácido oleico presentó unos valores significativamente ($P \leq 0.05$) más altos que el resto de los grupos de alimentación. Este resultado es el esperado, ya que el grupo Oleico recibió un pienso formulado con los nutrientes necesarios y enriquecido además en grasas ricas en ácido oleico. Si observamos en paralelo los rendimientos del lomo vemos que no hay diferencias entre los grupos Oleico y Cebo, pero sí en el rendimiento de la canal. Ese aumento significativo en el rendimiento de la canal podría deberse al aumento de los depósitos grasos.

Tabla 27. Valores medios (\pm error estándar) del peso vivo y rendimiento de la canal en Cerdo Ibérico sometido a diferentes sistemas de alimentación en la fase de cebo

Variable ¹	Sistemas de alimentación ²								ANOVA
	M		R		O		C		
	Media	SE	Media	SE	Media	SE	Media	SE	
CL (cm)	78.36	0.33	79.47	0.49	78.62	0.40	78.32	0.44	1.39
CW (kg)	136 ^{ab}	0.66	134.20 ^a	0.97	137.0 ^b	0.79	134.20 ^a	0.87	2.66*
CY (%)	84.87 ^a	0.24	84.14 ^a	0.36	85.25 ^b	0.29	82.96 ^c	0.32	8.46*

¹ CL = longitud de canal; CW = peso de la canal; CY = rendimiento canal

²M = "Montanera"; R = "Recebo"; O = Oleico; C = "Cebo a campo"

^{a,b,c} valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de $P \leq 0.05$.

2. Medidas de la canal mediante ultrasonografía in vivo o tomadas directamente en la canal del Cerdo Ibérico

La ecografía *in vivo* se ha venido utilizando ampliamente en diversas especies de animales domésticos para predecir características de interés productivo en animales de abasto. En el Cerdo Ibérico una de las aplicaciones de la ultrasonografía *in vivo* es comparar los valores en distintos parámetros de la canal obtenidos por medición directa o a través de ultrasonografía *in vivo*. Con este fin se tomaron medidas ecográficas en porcinos de raza Ibérica. Los valores medios de las variables estudiadas, tanto *in vivo* por ultrasonidos como directamente en la canal (tabla 28), a nivel de la 10^a costilla fueron mayores que los obtenidos sobre la 14^a costilla, excepto para la capa interna de la grasa dorsal y el área del lomo, estando de acuerdo con los resultados obtenidos por distintos autores en la misma especie (McLaren y col., 1989; Liu & Stouffer, 1995) y que a su vez se corresponden con el cambio en el desarrollo corporal conforme avanzamos por la columna vertebral.

Cuando se compararon los valores medios de las variables estudiadas mediante ultrasonografía *in vivo* con sus equivalentes en la canal, se observó que mediante ecografía se obtuvieron valores inferiores a las mediciones directas en canal, estando ello en consonancia con estudios similares. Sin embargo, las diferencias entre ambas técnicas o procedimientos fueron mayores a las registradas por Moller (2002), quien observó diferencias de 2 mm, y Moller & Christian (1998) para quienes las diferencias fueron de tan solo 1 mm. Esta mayor diferencia

entre las medidas ecográficas y su equivalente en la canal en el cerdo Ibérico puede ser debido principalmente al gran espesor de grasa dorsal que presenta esta raza (81.5 y 66.7 mm en 10ª y última costilla, respectivamente) frente a razas de cerdo blanco que presentan espesores de grasa dorsal inferiores: 33.3 mm en la 10ª costilla (Terry y col., 1989) o 27 mm en la última costilla (Gresham y col., 1992). Otra particularidad que presenta esta raza y que dificulta la exactitud de las mediciones es la consistencia aceitosa de la grasa en caliente y podría dar como resultado valores más grandes *in vivo* que los reales. Por ello, la presión ejercida durante las ecografías y el manejo de las canales pueden tener gran incidencia en los valores de las mediciones. Por estas razones algunos investigadores piensan que las medidas de ultrasonido de la grasa dorsal y sus capas son más reales que las medidas hechas en la canal (Liu & Stouffer, 1995). Otra característica anatómica del Cerdo Ibérico que dificulta la precisión en la medición es que el contorno del lomo no es uniforme como en otras razas lo que reduce la exactitud en las medidas de este parámetro tanto a nivel de la canal como *in vivo* mediante ultrasonografía.

Tabla 28. Valores medios y desviaciones estándar para medidas *in vivo* por ultrasonido y directamente en la canal en dos puntos anatómicos del Cerdo Ibérico

Item ¹		u-OBF, mm	u-MBF, mm	u-IBF, mm	u-BF, mm	u-LA, cm ²	c-OBF, mm	c-MBF, mm	c-IBF, mm	c-BF, mm	c-LA, cm ²
	n	241	241	240	232	219	196	187	188	190	194
10 ^a	Media	12.70	38.12	17.18	66.93	20.42	16.04	43.11	18.69	81.50	21.53
costilla	SD ³	2.65	6.54	3.10	8.30	1.90	2.46	7.52	4.09	10.29	2.50
	n	239	239	239	239	234	204	196	177	189	171
Última	Media	10.06	25.05	16.41	51.53	18.48	13.48	30.14	21.00	66.70	24.89
costilla ²	SD ³	1.95	5.97	3.61	9.17	2.00	2.18	6.42	5.30	9.20	2.87

¹OBF = espesor de grasa externa medida con ultrasonido; u-MBF = espesor de grasa media medida con ultrasonido; u-IBF = espesor de grasa interna medida con ultrasonido; u-BF = espesor de grasa dorsal medida por ultrasonido; u-LA = área del lomo medida por ultrasonido; c-OBF = espesor de grasa externa medida en la canal; c-MBF = espesor de grasa media medida en la canal; c-IBF = espesor de grasa interna medida en la canal; c-BF = espesor dorsal medida en la canal; c-LA = área del lomo medida en la canal.

La técnica de ultrasonido fue usada también para evaluar el efecto de la alimentación en la fase de cebo en el Cerdo Ibérico. El efecto alimentación fue significativo ($P \leq 0.05$) en ciertas variables ecográficas (Tabla 29). Así, el espesor de la grasa total a nivel de la décima y última costillas fue mayor en los animales de Montanera y Oleico que en los de Recebo y Cebo, obteniéndose una diferencia de hasta 8 mm entre los animales de Montanera y los de Cebo. Se diferencian dos grupos, uno que recibió dietas ricas en grasas durante dos meses como son los de Montanera y Oleico y otros dos grupos con menos tiempo de cebo y/o menor proporción de grasa en la dieta como es el Recebo (un mes) y el Cebo, respectivamente. En este sentido Daza y col. (2006) obtuvieron unas diferencias de solo 1 mm en medidas *in vivo* con ultrasonido para la grasa dorsal entre animales alimentados en montanera (51.98 mm) y con piensos comerciales (50.72 mm).

La grasa dorsal se divide en tres capas: externa, media e interna. Las capas media e interna presentaron unas diferencias similares entre los grupos de alimentación siendo también los lotes de Montanera y Oleico los que presentaron un mayor grosor en estas capas. La medida *in vivo* de la capa externa mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los lotes de Cebo y Oleico a nivel de la 10^a costilla, no encontrándose diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los grupos de alimentación a nivel de última costilla.

En relación al área del músculo *Longissimus dorsi*, fue significativamente ($P \leq 0.05$) menor en Montanera y mayor en

Cebo que el resto de los sistemas en los dos niveles anatómicos considerados (10^a y 14^a costilla). Las mediciones del área del lomo realizadas en la última costilla mostraron las mayores diferencias entre los cuatro grupos de alimentación. El área del lomo más grande se encontró en el grupo de Oleico, que podría atribuirse a la elevada ingesta de proteínas, a diferencia de los grupos alimentados en Montanera y Recebo, en los que el nivel de proteína de la dieta procedió principalmente de la bellota y el pasto. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Daza y col. (2006), quienes señalaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el grupo de montanera y el de Cebo en el área del lomo (2.672 frente a 3.031 cm²). De acuerdo a estos resultados, las canales de los animales alimentados con dietas ricas en grasa y pobres en proteína en la fase final de cebo tendrían un mayor porcentaje de grasa en comparación con los animales alimentados con dietas comerciales enriquecidas en ácido oleico. Los resultados que hemos obtenido parecen obvios si tenemos en cuenta la edad de los animales (320 días, aprox.), el marcado carácter adipogénico de la raza y la composición nutricional de la bellota, que tiene mayor porcentaje de grasa y menor nivel de proteína que el alimento comercial (4.29 frente a 12.95%) (Cava y col., 1997).

El sexo no afectó significativamente ($P > 0.05$) a las variables medidas con ultrasonido en ninguna de las dos localizaciones anatómicas, a excepción de la capa externa de la grasa dorsal en la décima costilla, que está algo más desarrollada en las hembras (12.98 mm) que en los machos (12.02 mm). En estudios previos

en cerdos ibéricos (Serrano y col., 2009) y en la raza Pietrain (Peinado y col., 2008), el sexo no afectó significativamente ($P > 0.05$) al espesor de grasa dorsal, aunque si fue mayor en las hembras que en los machos. Por el contrario, De Pedro (1987) encontró que los machos depositan más grasa que las hembras a nivel de la última vértebra lumbar (5.93 y 5.70 cm, respectivamente).

Tabla 29. Valores medios (\pm error estándar) del espesor de las capas de la grasa dorsal y del contenido de grasa intramuscular del mm. *Longissimus dorsi*, determinados mediante ultrasonidos, en dos localizaciones anatómicas (costillas 10^a y 14^a) en varios sistemas de engorde en Cerdo Ibérico.

Variable ¹	Sistema de alimentación ²								ANOVA F
	M		R		O		C		
	Media	SE	Media	SE	Media	SE	Media	SE	
TBFu10 (mm)	72.80 ^a	1.13	67.94 ^b	1.67	73.47 ^a	1.38	64.37 ^b	1.49	6.76*
OBFu10 (mm)	12.50	0.35	12.80	0.52	13.11	0.43	11.60	0.47	1.77
MBFu10 (mm)	42.50 ^a	0.87	39.90 ^{ab}	1.29	41.60 ^a	1.07	37.10 ^b	1.16	4.07*
IBFu10 (mm)	18.50 ^a	0.55	16.10 ^b	0.83	18.70 ^a	0.67	15.40 ^b	0.72	3.74*
Alu10 (cm ²)	20.10 ^a	0.29	21.10 ^b	0.43	20.90 ^b	0.35	21.70 ^b	0.38	2.27*
TBFu14 (mm)	57.00 ^a	1.23	51.90 ^b	1.83	58.10 ^a	1.56	50.60 ^b	1.64	4.93*
OBFu14 (mm)	10.50	0.30	10.20	0.44	11.30	0.38	10.50	0.39	1.02
MBFu14 (mm)	28.80 ^a	0.89	26.00 ^{ab}	1.32	28.20 ^a	1.13	24.40 ^b	1.19	3.92*
IBFu14 (mm)	17.60 ^{ac}	0.60	16.00 ^{cb}	0.91	18.70 ^a	0.76	15.60 ^b	0.80	2.47*
Alu14 (cm ²)	17.80 ^a	0.26	18.60 ^{ab}	0.39	19.30 ^{bc}	0.32	19.70 ^c	0.34	5.91*

¹TBFu10 = espesor de la grasa dorsal en la 10^a costilla.; TBFu14 = espesor de la grasa dorsal en la 14^a costilla; OBFu10 = espesor de la capa externa de la grasa dorsal en la 10^a costilla; OBFu14 = espesor de la capa externa de la grasa dorsal en la 14^a costilla; MBFu10 = espesor de la capa media de la grasa dorsal en la 10^a costilla; MBFu14 = espesor de la capa media de la grasa dorsal en la 14^a costilla; IBFu10 = espesor de la capa interna de la grasa dorsal en la 10^a costilla; IBFu14 = espesor de la capa interna de la grasa dorsal en la 14^a costilla; Alu10 = área del lomo en la 10^a costilla; Alu14 = área del lomo en la 14^a costilla; IFAT10 = contenido en grasa intramuscular en la 10^a costilla; IFAT14 = contenido en grasa intramuscular en la 14^a costilla. u= variable medida por ultrasonido.

²M = "Montanera"; R = "Recebo"; O = Oleico; C = "Cebo a campo".

^{a,b,c} valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de ($P \leq 0.05$)

* = $P \leq 0.05$.

2.1. Correlación entre medidas de la canal, en dos localizaciones anatómicas, tomadas por ultrasonografía in vivo o directamente en la canal del Cerdo Ibérico

A fin de estimar la utilidad de la ultrasonografía *in vivo* en la predicción de características de la canal del Cerdo Ibérico es necesario conocer el grado de relación entre los valores obtenidos directamente sobre la canal y los obtenidos con la ultrasonografía en el animal vivo. Así mismo, es de interés conocer en qué región anatómica se obtienen los mejores resultados. Para ello realizamos mediciones en dos zonas anatómicas (10ª y última costilla). A nivel de la 10ª costilla, los valores más altos del coeficiente de correlación entre las medidas tomadas mediante ultrasonidos y sus equivalentes en la canal fueron para la capa media de la grasa dorsal con un valor de 0.84; mientras que los registrados para las capas externa e interna presentaron un valor medio de 0.57 y 0.56, respectivamente (Tablas 30 y 31). En relación a la grasa dorsal total (que incluye las tres capas: externa, media e interna) y al área del lomo, los valores medios del coeficiente de correlación fueron de 0.70 y 0.45, respectivamente. Estos valores se sitúan dentro del rango registrado por otros autores. Así, McLaren y col. (1989) y Cisneros y col. (1996) registraron valores medios de 0.55 y 0.67, respectivamente, para la grasa dorsal; mientras que Turlington (1990) obtuvo un coeficiente de correlación netamente más alto (0.93). Las correlaciones encontradas en otras razas (Moeller & Christian, 1998) para el área del lomo y

el espesor de grasa subcutánea son más altas que las de nuestro estudio (0.74 y 0.87, respectivamente).

En relación a los coeficientes de correlación obtenidos a nivel de la 10ª y última costilla, los obtenidos para la última costilla fueron inferiores excepto para la variable espesor de la capa interna de la grasa dorsal (0.65). La grasa dorsal presentó un coeficiente de correlación de 0.70 y 0.79 en ambos niveles anatómicos (10ª y última costilla, respectivamente), siendo en ambos casos superiores a los obtenidos por Daza y col. (2006) en Cerdo Ibérico a nivel de la última costilla (0.58) y Cisneros y col. (1996) en cerdo blanco (0.56).

El coeficiente de correlación del área del lomo fue más bajo de lo esperado (0.35), ya que por ejemplo Daza y col (2006) obtuvieron valores medios de 0.46 para el área del lomo a nivel de la última costilla en cerdos ibéricos. Otras investigaciones (Cisneros y col., 1996) con cerdo blanco dan correlaciones más altas (0.56).

Tabla 30. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables ultrasónicas y las de la canal a nivel de la 10ª costilla en Cerdo Ibérico

Variab ¹	c- OBF	c- MBF	c- OMBF	c- IBF	c- BF	c- LA	IMF
u- OBF	0.57*	0.31*	0.43*	-0.02	0.33*	0	0.09
u- MBF	0.29*	0.84*	0.82*	0.21*	0.67*	-0.19*	0.20*
u- OMBF	0.41*	0.80*	0.82*	0.17*	0.67*	-0.16*	0.19*
u- IBF	0.32*	0.22*	0.27*	0.56*	0.40*	-0.17*	0.40*
u- BF	0.44*	0.72*	0.75*	0.31*	0.70*	-0.17*	0.26*
u- LA	0.02	-0.12	-0.11	-0.05	-0.13	0.45*	0.02
IMF	0.22*	0.29*	0.32*	0.47*	0.43*	-0.36*	1.00*

¹c-**OBF** = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; c-**MBF** = espesor de la capa media de la grasa dorsal; c-**OMBF** = espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal; c-**IBF** = espesor de la capa interna de la grasa dorsal; c-**BF** = espesor de la grasa dorsal; c-**LA** = área del lomo; **IMF** = porcentaje de grasa intramuscular en la canal; u-**OBF** = espesor de la capa externa de la grasa dorsal ; u-**MBF** = espesor de la capa media de la grasa dorsal; u-**OMBF** = espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal; u-**IBF** = espesor de la capa interna de la grasa dorsal; u-**BF** = espesor de la grasa dorsal; u-**LA** = área del lomo; c= medido en la canal; u= medido en vivo por ultrasonido

²* $P \leq 0.05$

Tabla 31. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables ultrasónicas y de la canal a nivel de la última costilla en Cerdo Ibérico¹

Variables ¹	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA	IMF
u-OBF	0.55*	0.32*	0.46*	0.16*	0.44*	0.18*	0.17*
u-MBF	0.16*	0.78*	0.73*	0.31*	0.71*	0.01	0.18*
u-OMBF	0.28*	0.76*	0.75*	0.30*	0.73*	0.06	0.20*
u-IBF	0.14	0.35*	0.36*	0.65*	0.55*	0.02	0.23*
u-BF	0.27*	0.71*	0.72*	0.48*	0.79*	0.06	0.25*
u-LA	0.15*	-0.02	0.04	-0.11	-0.05	0.35*	-0.14*
IMF	0.22*	0.21*	0.30*	0.22*	0.38*	-0.25*	1.00*

¹c-OBF = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; c-MBF = espesor de la capa media de la grasa dorsal; c-OMBF = espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal; c-IBF = espesor de la capa interna de la grasa dorsal; c-BF = espesor de la grasa dorsal; c-LA = área del lomo; IMF = porcentaje de grasa intramuscular en la canal; u-OBF = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; u-MBF = espesor de la capa media de la grasa dorsal; u-OMBF = espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal; u-IBF = espesor de la capa interna de la grasa dorsal; u-BF = espesor de la grasa dorsal; u-LA = área del lomo; c= medido en la canal; u= medido *in vivo* por ultrasonido

²*P ≤ 0.05

2.2. Correlaciones entre medidas ultrasónicas in vivo y el contenido en grasa intramuscular

El contenido en grasa intramuscular, veteado o marmóreo, es de gran importancia en el Cerdo Ibérico por su repercusión en la calidad de sus productos. De ahí el interés en poder predecir esta variable a través de procedimientos que no menoscaben el valor de las piezas. En general, los valores más elevados del coeficiente de correlación se obtienen entre variables de significación biológica o metabólica similares. De ahí que no sorprendiera que los valores más altos en la canal se obtuvieran con la capa interna de la grasa dorsal y la grasa total (0.47 y 0.43). La correlación más alta entre una variable ecográfica y la grasa intramuscular fue obtenida para la capa interna de la grasa dorsal a nivel de la décima costilla (0.40). Moody & Zobrisky (1996) obtuvieron una correlación de 0.29 pero con la capa interna de la grasa dorsal medida en la canal, no *in vivo*. Newcom y col. (2005) obtuvieron un valor más aproximado al obtenido por nosotros (0.34) también medido *in vivo*. Eggert y col. (1998) concluyeron en su trabajo que el desarrollo de la capa más interna de la grasa dorsal está asociado a altos valores de grasa intramuscular en el musculo *Longissimus dorsi*.

2.3. Correlaciones entre las medidas ultrasónicas in vivo y de la canal con los cortes comerciales del Cerdo Ibérico

El rendimiento en piezas nobles de la canal es importante para la industria cárnica, y especialmente en la producción del Cerdo

Ibérico. Igualmente importante es establecer relaciones entre características de la canal estimadas a través de técnicas no invasivas, como la ultrasonografía, y dicho rendimiento. Los valores ultrasonográficos de variables determinadas a nivel de la décima costilla están más correlacionados con los pesos de las piezas cárnicas comerciales que los obtenidos en la última costilla a excepción del peso del lomo (Tablas 32 y 33). La medida de la grasa dorsal ecográfica en la décima costilla estuvo significativamente ($P \leq 0.05$) relacionada con el peso de la canal y con el peso del lomo pero menos correlacionada con los pesos del jamón, paleta y el peso de los cortes comerciales. Dutra y col. (2001) observaron correlaciones contrarias a las obtenidas por nosotros entre la medida ecográfica del lomo y el peso del jamón (0.97) y el peso de la paleta (0.98).

En general las medidas ultrasónicas en ambas localizaciones estuvieron más correlacionadas con los rendimientos de las piezas comerciales que los pesos, sobre todo con las mediciones realizadas en la décima costilla. La medida ecográfica del espesor de la grasa dorsal a nivel de la décima costilla mostró la correlación más alta con los rendimientos de canal (-0.50), jamón (-0.38), lomo (-0.51) y del conjunto de las piezas comerciales (-0.52). Las correlaciones de características de la canal a nivel de la décima costilla y sus piezas fueron más altas que las obtenidas en la última costilla. Las correlaciones entre medidas directas en la canal y sus piezas cárnicas fueron más altas que las obtenidas con sus correspondientes medidas ecográficas. Para Moody & Zobrisky (1966) no hay diferencias

en las correlaciones que presentan la medida de la capa externa de la grasa dorsal, determinada ecográficamente o de forma directa, y el rendimiento de jamón (0.32 y 0.31, respectivamente), o éste con el espesor de la capa interna (0.37 en ambos casos) aunque si encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los coeficientes de correlación entre el espesor de la capa media de grasa subcutánea y el rendimiento del jamón (0.37 y 0.31. En nuestro estudio, el espesor de la capa externa de la grasa dorsal, cualquiera que sea el procedimiento de valoración, no mostró correlación significativa ($P > 0.05$) con el rendimiento del jamón.

Tabla 32. Coeficientes de correlación simples entre variables ultrasónicas y de canal con los pesos de la canal, jamón, paleta y lomo en dos localizaciones anatómicas en Cerdo Ibérico

Variables ¹		u-OBF	u-MBF	u-OMBF	u-IBF	u-BF	u-LA	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA
10ª costilla	CW	0.25*	0.35*	0.37*	0.22*	0.40*	0.12*	0.23*	0.46*	0.48*	0.23*	0.45*	0.02
	HW	0.20*	0.14	0.17*	0.01	0.20	0.17*	0.19*	0.19*	0.28*	0.09	0.15*	0.06
	FW	-0.07	-0.02	-0.04	0.02	0.05	0.12*	-0.04	0.03	0.06	0.11	-0.11	0.08
	LW	-0.13*	-0.36*	-0.34*	-0.32*	-0.38*	0.25*	-0.16*	-0.40*	-0.39*	-0.27*	-0.49*	0.43*
	CLPW	0.07	0.01	0.03	-0.03	0.08	0.21*	0.06	0.06	0.13	0.05	-0.06	0.14*
Última costilla	CW	0.25*	0.25*	0.28*	0.15*	0.27*	0.14*	0.13*	0.24*	0.35*	0.10	0.37*	0.04
	HW	0.24*	0.14	0.19*	-0.02	0.13	0.18*	0.23*	0.23*	0.33*	-0.20*	0.20*	0.12
	FW	0.04	-0.10	-0.07	-0.11	-0.10	0.11	-0.01	-0.03	0.06	-0.12	-0.01	0.12
	LW	-0.10	-0.32*	-0.30*	-0.29*	-0.35*	0.29*	-0.13	-0.28*	-0.28*	-0.18*	-0.35*	0.44*
	CLPW	0.16	0	0.04	-0.12	-0.02	0.21*	0.12	0.07	0.18*	-0.22*	0.06	0.21*

¹u-OBF = espesor de la capa externa de la grasa dorsal ultrasónica; u-MBF = espesor de la capa media de la grasa dorsal ultrasónica; u-OMBF= espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal ultrasónica; u-IBF= espesor de la capa interna de la capa dorsal ultrasónica; u-BF = espesor de la grasa dorsal ultrasónica; u-LA = área del lomo ultrasónica; c-OBF = espesor de la capa externa de la grasa dorsal de la canal; c-MBF = espesor de la capa media de la grasa dorsal de la canal; c-OMBF= espesor de la capa externa y media de la grasa dorsal de la canal; c-IBF= espesor de la capa interna de la grasa dorsal de la canal; c-BF = espesor de la grasa dorsal de la canal; c-LA =área del lomo de la canal; CW = peso de la canal; HW = peso jamones; FW = peso paletas; LW = peso lomos CLPW = peso de los cortes comerciales; c= medido en la canal; u= medido *in vivo* por ultrasonido

^{a,b,c} valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de $P \leq 0.05$

²* $P \leq 0.05$

Tabla 33. Coeficientes de correlación simples entre variables ultrasónicas y de canal con los rendimientos de la canal, jamón, paleta y lomo en dos localizaciones anatómicas en Cerdo Ibérico

Variables ¹		u-OBF	u-MBF	u-OMBF	u-IBF	u-BF	u-LA	c-OBF	c-MBF	c-OMBF	c-IBF	c-BF	c-LA
10 ^a costilla	CY	-0.50*	-0.42*	-0.46*	-0.34*	-0.50*	-0.12	-0.32*	-0.38*	-0.34*	-0.19*	-0.39*	0.11
	HY	-0.03	-0.26*	-0.23*	-0.30*	-0.28*	0.07	-0.04	-0.28*	-0.24*	-0.22*	-0.25*	0.05
	FY	-0.33*	-0.37*	-0.40*	-0.20*	-0.38*	0	-0.31*	-0.37*	-0.39*	-0.15*	-0.46*	0.06
	LY	-0.21*	-0.47*	-0.46*	-0.38*	-0.50*	0.18*	-0.24*	-0.53*	-0.54*	-0.35*	-0.60*	0.41*
	CLPY	-0.25*	-0.49*	-0.48*	-0.41*	-0.52*	0.09	-0.24*	-0.50*	-0.49*	-0.30*	-0.54*	0.17*
Última costilla	CY	-0.34*	-0.39*	-0.42*	-0.30*	-0.45*	-0.02	-0.23*	-0.31*	-0.37*	-0.20*	-0.44*	0.14
	HY	-0.04	-0.15*	-0.14*	-0.26*	-0.21*	0.03	0.08	-0.06	-0.05	-0.35*	-0.23*	0.09
	FY	-0.26*	-0.39*	-0.40*	-0.30*	-0.43*	-0.04	-0.21*	-0.31*	-0.32*	-0.18*	-0.42*	0.10
	LY	-0.19*	-0.41*	-0.39*	-0.33*	-0.43*	0.21*	-0.17*	-0.36*	-0.40*	-0.19*	-0.47*	0.41*
	CLPY	-0.22*	-0.41*	-0.41*	-0.42*	-0.48*	0.05	-0.10	-0.29*	-0.30*	-0.37*	-0.48*	0.21*

¹u-OBF = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; u-MBF = espesor de la capa media de la grasa dorsal; u-OMBF= espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal; u-IBF= espesor de la capa interna de la grasa dorsal; u-BF = espesor de la grasa dorsal; u-LA = área del lomo; c-OBF = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; c-MBF = espesor de la capa media de la grasa dorsal; c-OMBF= espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal; c-IBF= espesor de la capa interna de la grasa dorsal; c-BF = grasa dorsal; c-LA =área del lomo; IMF = grasa intramuscular; CY = rendimiento canal; HY = rendimiento jamones; FY = rendimiento paletas; LY = rendimiento lomos; CLPY = rendimiento de los cortes comerciales; c= medido en la canal; u= medido *in vivo* por ultrasonido

² a,b,c valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de $P \leq 0.05$

2.3.1. Estimación del peso y rendimiento de las piezas nobles (jamones, paletas y lomos), en conjunto o por separado, de la canal del Cerdo Ibérico a través de la ultrasonografía *in vivo*

Vista la relación existente entre los valores de diferentes variables de la canal, estimados mediante ultrasonografía *in vivo*, y el peso y rendimiento en piezas nobles de la canal del Cerdo Ibérico, es de gran interés proceder a establecer funciones de predicción entre ambos, examinando cuál de ellos es el que permite una mejor predicción o el que requiere de menos número de variables para una predicción aceptable. En comparación con un modelo que solo incluye el peso vivo, la adición de medidas ultrasónicas a los modelos de regresión aumentó la proporción de la variación total explicada por el modelo, mejorando la predicción de casi todos los cortes (Tabla 34). Daza y col. (2006) en un estudio con cerdos ibéricos criados en extensivo obtuvo coeficientes de determinación más altos para el peso del jamón (0.73 vs. 0.42), peso de la paleta (0.59 vs. 0.39) y rendimiento de las piezas nobles (0.77 vs. 0.31). Sin embargo, estos autores usaron sólo 22 animales, un número muy pequeño comparado con los 208 animales incluidos en nuestro ensayo.

La variable ultrasonográfica *in vivo* que mejor predice los rendimientos de las piezas nobles y la suma de sus cortes comerciales fue el grosor de la grasa dorsal. Si a ese modelo le añadimos el peso vivo, las predicciones aumentaron para los rendimientos de canal, jamón, lomo y cortes comerciales.

Tabla 34. Ecuaciones de regresión múltiple para medidas ultrasonográficas a nivel de la 10ª costilla y peso vivo para predecir variables de canal del Cerdo Ibérico

Variab ¹	n	Variab ²	RMSE	Intercepto	Estimador	R ²	Cp	p-value
CW	208	SLW	2.04	-0.25	0.7392	0.84	91.50	0.0001
		u-BF10			0.1707	0.89	11.74	0.0001
CY	208	u-BF10	1.98	12.70	-0.1524	0.22	32.25	0.0001
		SLW			0.0923	0.29	11.69	0.0001
		u-LA10			-0.2240	0.33	2.92	0.0012
HW	209	SLW	1.22	3.45	0.1440	0.42	25.66	0.0001
		u-OBF10			0.1444	0.45	17.38	0.0001
		u-IBF10			-0.0981	0.48	6.90	0.0006
FW	210	SLW	0.94	4.66	0.1000	0.36	6.48	0.0001
		u-BF10			-0.0239	0.39	0.47	0.0048
LW	208	u-BF10	0.36	2.78	-0.0269	0.15	22.60	0.0001
		u-LA10			0.0445	0.21	10.28	0.0003
		u-OBF10			0.0350	0.23	7.17	0.0260
		SLW			0.0077	0.24	4.13	0.0256
HY	207	u-IBF10	0.89	23.28	-0.0982	0.10	12.37	0.0001
		u-MBF10			-0.1219	0.03	7.89	0.0126
		u-OMBF10			0.0823	0.15	3.56	0.0126
FY	208	u-BF10	0.10	16.70	-0.0374	0.14	0.47	0.0001
LY	207	u-BF10	0.28	4.76	-0.0232	0.25	20.8	0.0001
		SLW			-0.0090	0.28	13.31	0.0001
		u-LA10			0.0281	0.31	7.05	0.0030
		u-OBF10			0.0251	0.33	4.27	0.0048
CLPW	207	SLW	1.53	11	0.2553	0.54	39.38	0.0001
		u-IBF10			-0.1573	0.58	18.66	0.0001
		u-MBF10			-0.1981	0.60	13.70	0.0107
		u-LA10			0.1374	0.61	9.46	0.0143
		u-OMBF10			0.1302	0.62	6	0.0204
CLPY	206	u-BF10	1.24	44.11	-0.1633	0.25	15.24	0.0001
		u-OBF10			0.1893	0.28	7.73	0.0026
		u-MBF10			0.0708	0.30	5.88	0.0521
		SLW			-0.0221	0.31	4.46	0.0658

¹CW = peso de la canal; CY = rendimiento de la canal; HW = peso jamones; FW = peso paletas; LW = peso lomos; HY= rendimiento jamones; FY = rendimiento paletas; LY = rendimiento lomos; CLPW = peso de las piezas comerciales; CLPY = rendimiento de las piezas comerciales.

²SLW = peso vivo al matadero; u-BF10 = espesor de la grasa dorsal; u-LA10 = área del lomo; u-OBF10 = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; u-IBF10 = espesor de la capa interna de la grasa dorsal; u-MBF10 = espesor de la capa media de la grasa dorsal; u-OMBF10 = espesor de las capas externa y media de la grasa dorsal

Con las medidas ultrasónicas de la última costilla no se obtuvieron buenos modelos predictivos por lo que no fueron considerados para este estudio.

Incluyendo en el modelo el grosor de la grasa subcutánea a nivel del m. *Gluteus*, el valor del coeficiente de determinación (R^2) aumenta para el peso del jamón, peso del lomo, rendimiento del jamón y rendimiento del lomo (0.58, 0.42, 0.29 y 0.43, respectivamente) (Tabla 35). En el mismo sentido Terry y col. (1989) concluyeron que la medida del espesor de la grasa subcutánea a nivel del m. *Gluteus medius* fue una de las variables más idóneas para predecir el porcentaje de los cortes cárnicos.

Tabla 35. Ecuaciones de regresión múltiple para medidas ultrasónicas en la 10ª costilla junto con las medidas a nivel del *m. Gluteus* y el peso vivo para predecir variables de la canal en el Cerdo Ibérico

Variables dependientes ¹	n	Variables independientes ²	RMSE	Intercepto	Estimador	R ²	Cp	p-value
CW	93	SLW	2.39	12.04	0.7208	0.83	27.50	0.0001
		u-BF10			0.1587	0.86	9.72	0.0001
		u-LA10			0.3943	0.87	7.30	0.0527
CY	93	u-GMF	2.49	-2.52	0.1081	0.88	4.06	0.0444
		u-BF10			-0.1374	0.13	16.19	0.0004
		SLW			0.1092	0.21	8.76	0.0037
HW	93	u-LA10	1.41	2.75	-0.3511	0.24	6.78	0.0526
		u-GMF			0.0958	0.27	4.69	0.0458
		SLW			0.1659	0.41	33.17	0.0001
FW	93	u-IBF10	0.89	4.64	-0.1550	0.47	23.04	0.0022
		u-GMF			0.1072	0.54	11.28	0.0006
		u-OBF10			0.1827	0.56	8.01	0.0266
LW	93	u-MBF10	0.37	4.92	-0.0478	0.58	21.88	0.0719
		SLW			0.0890	0.35	10.63	0.0001
		u-GMF			-0.0400	0.27	21.88	0.0001
HY	93	u-LA10	0.73	23.37	0.0648	0.36	10.63	0.0007
		SLW			0.0129	0.39	8.18	0.0421
		u-MBF10			-0.0173	0.42	4.36	0.0175
FY	93	u-IBF10	0.82	16	-0.2202	0.16	13.96	0.0001
		u-GMF			0.0680	0.23	7.61	0.0059
		u-MBF10			-0.1390	0.27	4.44	0.0257
LY	93	u-BF10	0.42	3.85	0.0890	0.29	3.42	0.0831
		u-BF10			-0.0291	0.09	0.36	0.0035
		u-GMF			-0.0339	0.34	17.38	0.0001
CLPW	93	u-BF10	1.76	9.78	-0.0129	0.43	4.41	0.0002
		SLW			0.2787	0.53	22.26	0.0001
		u-IBF10			-0.3304	0.60	9.83	0.0004
CLPY	91	u-MBF10	1.23	44.17	-0.2179	0.61	8.88	0.0984
		u-BF10			0.1490	0.62	8.14	0.1071
		u-BF10			-0.1113	0.24	1.89	0.0001
		u-OBF10			0.1562	0.28	-0.17	0.0429

¹CW = peso de la canal; CY = rendimiento de la canal; HW = peso jamones; FW = peso paletas; LW = peso lomos; HY = rendimiento jamones; FY = rendimiento paletas; LY = rendimiento lomos; CLPW = peso de las piezas comerciales; CLPY = rendimiento de las piezas comerciales.

²SLW = peso vivo al matadero; u-BF10 = espesor de la grasa dorsal; u-LA10 = área del lomo; u-GMF = espesor de la grasa a nivel del *m. Gluteus*; u-IBF10 = espesor de la capa interna de la grasa dorsal; u-OBF10 = espesor de la capa externa de la grasa dorsal; u-MBF10 = espesor de la capa media de la grasa dorsal

3. Evolución del contenido en grasa intramuscular, espesor de las capas de grasa subcutánea y del área del m. *Longissimus* durante la montanera

La Montanera es la última fase de cebo del Cerdo Ibérico, durante la cual los animales ingieren bellotas y el pasto de las dehesas entre los meses de noviembre y marzo. Mediante la ingesta de este fruto, cuyo contenido en hidratos de carbono y grasas es elevado, el Cerdo Ibérico acumula depósitos grasos en forma de ácidos grasos insaturados que le dan a la carne de estos animales esa famosa infiltración y que aporta una textura y un sabor característicos a los productos del cerdo 100% Ibérico. La dependencia del Cerdo Ibérico a la dehesa hace que la duración de la Montanera influya en las características de la canal. En el ensayo hemos dividido la montanera en tres periodos según la duración: un mes, dos meses y tres meses.

El porcentaje en grasa intramuscular está claramente afectado por el tiempo de montanera con unos valores de 2.7, 4.7 y 6.7 g/100g de m. *Longissimus dorsi* para animales sacrificados con uno (M₃₀), dos (M₆₀) y tres (M₉₀) meses de montanera, respectivamente. Fernández y col. (2002) obtuvieron resultados mayores de grasa intramuscular (9.76 %) con cerdos ibéricos en montanera que engordaron 60 kilos en este sistema y Mayoral y col. (1998) obtuvieron valores muy inferiores (2.44%) para una reposición de 30 kilos en Montanera.

El crecimiento de la grasa intramuscular fue alométrico y positivo ($b=2.7$; coeficiente de isometría=1), claramente bifásico ($b=3.2$ y $b=0.5$ durante los periodos de M₃₀₋₆₀ y M₆₀₋₉₀, respectivamente). La media del coeficiente alométrico del espesor de la grasa dorsal para el conjunto del periodo de ensayo fue 0.46 y mostró un crecimiento alométrico positivo en relación al peso de la canal (coeficiente de isometría=0.33) y con tendencia a aumentar en el final del periodo de engorde ($b=0.40$ y 0.51 para M₃₀₋₆₀ y M₆₀₋₉₀, respectivamente). Como era de esperar, la evolución del área ($b=0.15$ coeficiente de isometría=0.66) y peso ($b=0.17$ coeficiente de isometría=1) del lomo mostraron un crecimiento alométrico negativo.

Los valores medios del espesor de las capas de grasa dorsal (externa, media e interna) son similares a los obtenidos por Izquierdo y col. (2012) en cerdos Ibéricos sacrificados en un rango de peso de 135 a 175 kg y difieren de los obtenidos por Alfonso y col. (2005) en la raza Basque y Large White con pesos de sacrificio entre 86 y 126 kg, respectivamente. Eggert y col. (1998) encontraron que el espesor de la capa interna era proporcionalmente menor, respecto del peso vivo, en los genotipos magros. La media

del grosor de las capas externa, media e interna de los animales sacrificados a los 90 días de la montanera representó un 129%, 157% y 302%, respectivamente, respecto a los valores obtenidos en animales con 30 días de montanera, intuyéndose que no tienen el mismo crecimiento individual durante el engorde. En relación al espesor total de la grasa dorsal, es la capa externa la que mostró un descenso significativo (22.83% vs 17.3%), no apreciándose cambios significativos en la capa media, mientras que el espesor de la capa interna tuvo un incremento relativo muy significativo entre los grupos M₃₀ y M₉₀ (32.73% vs. 42.43%). Esta evolución fue similar a la observada cuando los valores del espesor de las capas de grasa se relacionan con el peso de la canal para cada grupo (M₃₀, M₆₀ y M₉₀): 1.05, 0.98 y 0.84 cm/100kg p.v., para la capa externa, 2.10, 1.99 y 2.01 cm/100kg p.v. para la capa media y 1.54, 1.72 y 2.11 cm/100kg p.v. para la capa interna, aunque solo la capa interna mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

El mayor coeficiente alométrico se obtuvo en la capa interna ($b=0.79$; isometría=0.33) siendo el último depósito de grasa en desarrollarse mientras que la capa externa ($b=0.26$) y la media ($b=0.29$) tuvieron un desarrollo más temprano. Sin embargo en trabajos previos (Fortin, 1980) los coeficientes alométricos para la medida del espesor de la capa externa fue más bajo que para la capa media e interna. Mc Evoy y col. (2007) observaron con medidas ecográficas que durante el crecimiento de los animales, las capas media e interna cambian en su contribución relativa al espesor total de la grasa dorsal y es la capa media la que muestra el mayor grosor por unidad de peso corporal. Estos autores demostraron el cambio en el espesor de las capas individualmente por unidad de peso vivo, siendo mayor para la capa media (0.0040cm/kg), seguida de la externa (0.0031 cm/kg) y por último la interna (0.0020 cm /kg).

Newcom y col. (2005) analizaron los coeficientes de regresión para las capas externa, media e interna de la grasa con el espesor total de la grasa dorsal y también para media:externa, interna:externa e interna:media en la raza Duroc. En dicho estudio encontraron que el rango de crecimiento relativo en la capa externa decrece cuando el peso aumenta, que el grosor de las capas media e interna aumenta más rápido que la externa en un mismo rango de peso vivo y que las capas media e interna crecieron a la misma velocidad con respecto a la otra. Estos resultados contradictorios podrían ser explicados por la dieta y el genotipo utilizado en los ensayos (Eggert y col., 1998; Alfonso y col., 2005) y/o diferencias en las medias de la grasa dorsal (Newcom y col.,

2005), rango de pesos y lugar de medición de la grasa (Fortin, 1986). Con respecto al efecto del genotipo, Eggert y col. (1998) en un estudio comparativo del crecimiento relativo del espesor de las capas de la grasa subcutánea en las razas Duroc, Pietrain y Large White encontraron que el crecimiento en la capa externa es lineal en la mayoría de los cerdos, la capa media crece incrementando su valor y la capa interna frena su crecimiento y se estabiliza en machos Pietrain y en hembras y machos Large White. El resto de los cerdos depositaron grasa en la capa interna en un rango acelerado. La capa interna mostró una evolución monofásica ($b=0.54$ y 0.48 para 60-90 y 30-60, respectivamente) mientras que fue bifásica en las otras dos capas (0.36 y 0.3 , y 0.46 y 0.10 para las capas externa y media y para M_{60-90} y M_{30-60} , respectivamente).

3.3. Influencia del sexo y alimentación en el porcentaje de grasa intramuscular en el lomo, los pesos y rendimientos de canal y sus piezas nobles en el cerdo ibérico

Comparando los dos lotes que recibieron piensos formulados en su fase de cebo (Oleico y Cebo), el contenido en grasa intramuscular fue mayor en los animales alimentados con dietas altas en oleico, mientras que el grupo de Cebo mostró los porcentajes más bajos. Nuestros resultados están en concordancia con la investigación de Huang y col. (2008), quienes mostraron que el porcentaje de grasa intramuscular está fuertemente influenciado por el alto contenido de ácido oleico en la dieta dada en etapas de crecimiento. Hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre animales alimentados con bellota y hierba (Montanera y Recebo) frente a los que recibieron un pienso formulado (Cebo y Oleico). Los grupos de Montanera y Cebo presentaron los valores más diferentes en grasa intramuscular en ambas localizaciones anatómicas (6.35 y 6.17% para Montanera y 4.47 y 4.10% para cebo, 10ª y última costilla, respectivamente). Sin embargo, los lotes de Recebo (5.54-5.34%) y Oleico (5.42-5.00%) tuvieron resultados similares en ambas localizaciones anatómicas. Wood y col. (2004) y Teye y col. (2006) encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en el porcentaje de grasa intramuscular en animales de razas Duroc, Large White y Landrace alimentados con dietas pobres en proteínas en relación a animales alimentados con alimentación convencional en el que el nivel de proteína es óptimo. En el Cerdo Ibérico la tendencia fue similar al estudio anterior ya que los animales alimentados con dietas basadas en bellota (Montanera y Recebo), que es deficiente en proteínas, mostró un mayor porcentaje de grasa intramuscular que los otros dos grupos. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Melgar y col. (1991), quienes detectaron mayores

porcentajes de grasa intramuscular en jamones de cerdos ibéricos alimentados en el sistema Montanera (22%), seguido de Recebo (20.70%) y Cebo (16%).

Como la deposición de grasa intramuscular se produce a una edad más tardía que la grasa subcutánea, el porcentaje de la grasa intramuscular podría tener una mayor relación con la composición lipídica de la alimentación recibida en la última etapa del engorde que la de la grasa subcutánea. Esto se puede observar en nuestro estudio si comparamos los sistemas de alimentación de Montanera y Recebo, ya que este último tenía menor grasa intramuscular debido al tipo de la alimentación en la última etapa de engorde. Conviene recordar que la dieta comercial utilizada para alimentar el grupo Recebo tenía un porcentaje menor de grasa que la bellota. Sin embargo, estas observaciones no están de acuerdo con Mayoral y col. (1999), quienes encontraron que el porcentaje de grasa intramuscular en cerdos ibéricos alimentados en Montanera aumentaron significativamente en el músculo *Longissimus dorsi* en cerdos de 58 a 234 días de edad pero no fue significativo el aumento en el sacrificio con 482 días de edad. En nuestro estudio, los grupos Montanera y Recebo mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el contenido en grasa intramuscular durante la etapa final de engorde (30 días).

El contenido en grasa intramuscular a nivel de la última costilla fue estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) entre machos y hembras, no así para en la décima costilla. Los machos acumularon más grasa intramuscular que las hembras. El aumento de grasa intramuscular en machos frente a hembras es un resultado que coincide con estudios previos realizados por De Pedro (1987) en la raza Ibérica, por Ramírez & Cava (2007) y Cordero y col. (2010) en cruces de Ibérico con Duroc y por Heyer & Lebret (2007) en cruces de Duroc con cerdo blanco (Landrace x Large White), aunque solo en este último estudio las diferencias entre sexos fueron significativas ($P \leq 0.05$).

El modelo lineal estadístico utilizado para estudiar el sistema de alimentación y el sexo no mostró significancia en la interacción entre alimentación y sexo para las variables peso de la canal ($p=0.19$), rendimiento de la canal ($p=0.90$), rendimiento de los jamones ($p=0.35$), rendimientos de las paletas ($p=0.88$), rendimiento de los lomos ($p=0.62$), peso de los jamones ($p=0.42$), peso de las paletas ($p=0.86$) y peso de los lomos ($p=0.89$), por el contrario la medida de la canal si mostró interacción entre el sistema de alimentación y el sexo del animal significativa ($p = 0.0002$).

No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en la medida de la canal siendo el peso vivo de sacrificio de los animales similar entre los cuatro grupos de alimentación (159, 160.8, 161.8, 160.8 kg, Montanera, Recebo, Cebo y Oleico, respectivamente). Los cerdos alimentados con un pienso alto oleico presentaron un peso y rendimiento de la canal significativamente ($P \leq 0.05$) más alto que el resto de los grupos estudiados. El grupo alimentado con pienso comercial presentó el peso de canal más bajo, siendo muy significativas ($p \leq 0.001$) las diferencias entre los lotes de Oleico y Cebo (Tabla 13). Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Daza y col. (2006, 2007) ni con las conclusiones de Whittemore y col. (1993), que afirman que los animales alimentados con dietas ricas en fibra presentan rendimientos de canal menores. En nuestro ensayo el grupo de “Montanera” recibió una dieta final más rica en fibras que el resto, debido a la ingesta de pasto y bellota, y presentó un rendimiento de la canal significativamente ($P \leq 0.05$) más alto que los animales alimentados solo con pienso comercial. Tampoco coinciden nuestros resultados con los observados por López Carrasco y col. (2003) entre sistemas de “montanera” y cebo intensivo. En nuestro ensayo los resultados muestran que animales alimentados con dietas ricas en grasas y fibra tuvieron pesos y rendimientos de canal mayores que los animales cebados con un pienso comercial y pasto. Esto puede ser debido al aumento del espesor del tocino dorsal en animales con dietas ricas en grasas y pobres en proteína.

No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los valores medios del peso y rendimiento del jamón para los distintos tipos de alimentación (Tabla 36). El grupo que presentó un jamón más pesado es el correspondiente a los animales cebados con pienso comercial (Cebo).

Los rendimientos y pesos de la paleta y el lomo fueron significativamente ($P \leq 0.05$) mayores en animales alimentados con pienso comercial, mostrando unas diferencias significativas con los animales de Montanera de casi 700 gr y 600 gr para el peso de la paleta y lomo, respectivamente.

Los grupos Oleico y Recebo mostraron valores intermedios a los Montanera y Cebo para peso y rendimiento de las paletas y para rendimiento de los lomos. No sucedió así para el peso de los lomos, pudiendo establecer dos grupos bien definidos: por un lado los grupos que consumieron algo de bellota, Montanera y Recebo, y por otro los que consumieron una alimentación en concentrado, Cebo y Oleico.

Tabla 36. Valores medios (\pm error estándar) de diferentes de variables de la canal en Cerdo Ibérico sometido a varios sistemas de alimentación en la fase de cebo.

Variables ¹	Sistema de alimentación ²								ANOVA F
	Montanera		Recebo		Oleico		Cebo		
	Media	SE	Media	SE	Media	SE	Media	SE	
CL (cm)	78.36	0.33	79.47	0.49	78.62	0.40	78.32	0.44	1.39
CW (kg)	136 ^{ab}	0.66	134.20 ^a	0.97	137.0 ^b	0.79	134.20 ^a	0.87	2.66*
CY (%)	84.87 ^a	0.24	84.14 ^a	0.36	85.25 ^b	0.29	82.96 ^c	0.32	8.46*
HY (%)	20.80	0.18	21.30	0.27	21.00	0.22	21.40	0.24	1.10
FY (%)	13.70	0.12	14.00	0.18	14.00	0.15	14.20	0.16	1.52
LY (%)	2.30 ^a	0.04	2.50 ^b	0.06	2.60 ^b	0.05	2.80 ^c	0.06	11.30*
HW (kg)	28.35	0.25	28.90	0.38	28.56	0.30	29.12	0.34	0.90
FW (kg)	18.70	0.16	19.03	0.25	19.05	0.20	19.33	0.22	1.41
LW (kg)	3.18 ^a	0.06	3.36 ^a	0.08	3.61 ^b	0.07	3.78 ^b	0.07	11.88*

¹CL = longitud de la canal; CW = peso de la canal; CY = rendimiento canal; HY = rendimiento jamones; FY = rendimiento paletas; LY = rendimiento lomos; HW = peso jamones; FW = peso paletas; LW = peso lomos.

^{a,b,c}Valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de $P \leq 0.05$.

Los resultados obtenidos en investigaciones anteriores en Cerdo Ibérico por Daza y col. (2007) muestran diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el sistema de alimentación con bellota (Montanera) y con pienso (Cebo) para el perímetro, peso y rendimientos de las piezas nobles, estando de acuerdo con nuestro estudio en que los animales de pienso comercial (Cebo) muestran un mayor peso y rendimiento en paleta y lomo. Con todo ello se deduce algo similar a lo deducido para el área del lomo y es que el aporte de un nivel de proteína óptimo en el pienso, produce animales con más rendimiento en magro que los alimentados a base de bellota en montanera.

El sexo influyó en los rendimientos y peso de la canal y sus piezas nobles, destacando un aumento del peso de canal en los machos pero con un menor rendimiento de la canal que las hembras (Tabla 37). De Pedro (1998) concluye que los machos tuvieron un mayor peso de la canal pero que las hembras presentaron cortes magros más pesados que estos. En este ensayo las hembras presentaron pesos similares para las piezas nobles, excepto para la paleta que es significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en machos. Estos datos junto al mayor espesor de la grasa dorsal en hembras nos llevan a concluir

que las canales de las hembras se engrasan más que las de los machos. El peso y rendimiento de la paleta mostró una gran diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre hembras y machos con una diferencia de 600 gramos entre sexos, siendo los machos los que mostraron mayor peso y rendimiento en paleta. De Pedro (1998) observó que el peso y el rendimiento del jamón son mayores en hembras que en machos pero en nuestro estudio aunque las medias son mayores en hembras las diferencias no fueron significativas ($P > 0.05$), así como el peso y rendimiento del lomo que fue algo mayor en hembras. Serrano y col. (2009) no encontraron diferencias entre sexos para los rendimientos cárnicos en cerdos ibéricos cruzados con Duroc, aunque la edad de sacrificio de los animales fue menor que en nuestro estudio. Tampoco los ensayos realizados por Peinado y col. (2008) en la raza Pietrain mostraron diferencias significativas entre hembras y machos castrados (317 vs. 510 días, respectivamente).

Tabla 37. Estadísticos descriptivos de las medidas de la canal por sexo en Cerdo Ibérico.

Variables ¹	Sexo				ANOVA F
	Macho		Hembra		
	Media	SE	Media	SE	
CL (cm)	78.55	0.30	78.83	0.32	0.43
CW (kg)	136.20	0.50	134.80	0.63	1.98
CY (%)	83.93 ^a	0.20	84.68 ^b	0.23	5.77*
HY (%)	21.00	0.20	21.30	0.18	2.41
FY (%)	14.30 ^a	0.10	13.70 ^b	0.11	13.94*
LY (%)	2.56	0.00	2.58	0.04	0.21
HW (kg)	28.51	0.20	28.96	0.25	2.12
FW (kg)	19.44 ^a	0.10	18.62 ^b	0.16	13.98*
LW (kg)	3.49	0.00	3.48	0.05	0.00

¹CL = longitud de la canal;; CW = peso de la canal; CY = rendimiento canal; HY = rendimiento jamones; FY = rendimiento paletas; LY = rendimiento lomos; HW = peso jamones; FW = peso paletas; LW = peso lomos.

^{a,b,c} valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de $P \leq 0.05$.

3.4. Correlación entre las medidas de las capas de grasa y el porcentaje de grasa intramuscular durante la montanera

Está bien estudiado que el grosor de la grasa subcutánea esta correlacionado con el porcentaje de grasa intramuscular (Sellier, 1998). Investigaciones sobre las tres capas de grasa han llevado a suposiciones de que la capa más interna de la grasa dorsal tiene un desarrollo más tardío, al mismo tiempo que el desarrollo de la grasa intramuscular, y que ésta relación podría ser más fuerte que con la grasa dorsal (Eggert y col., 1998). Además, Newcom y col. (2005) sugieren que centrarse en la selección y crecimiento de la capa interna de la grasa asociada con otras medidas de la espalda podría ser ventajoso, ya que el grosor de la capa interna se asocia con el veteado de la carne y no implica el aumento de la grasa a otros niveles. En nuestro estudio los coeficientes de correlación entre el espesor de la capa interna de la grasa dorsal y el porcentaje de grasa intramuscular fueron de 0.829 ($p=0.011$), -0.005 ($p=0.990$), -0.349 y 0.488 ($p=0.05$) para M_{30} , M_{60} , M_{90} y para todos los animales del ensayo, respectivamente. Eggert y col. (1998) y Newcom y col. (2005) obtuvieron correlaciones para la raza Duroc de 0.71 y 0.34, respectivamente. Estas diferencias pueden ser debidas al genotipo, métodos usados para medir los parámetros, diferencias en el número de observaciones (24 vs 589 y 16) o las diferencias en el grosor de las capas de grasa y en el porcentaje de grasa intramuscular.

4. Evolución del tamaño de los adipocitos de la grasa intramuscular del m. Longissimus con la duración de la montanera

Las células grasas en el cerdo blanco están muy estudiadas por varios grupos de autores (Cagnazzo y col., 2006; Wimmers y col., 2007; Zheng & Mei, 2009) concluyendo que el tamaño del adipocito incrementa con el aumento del peso vivo de los animales. Otros autores argumentan que el contenido en grasa intramuscular está muy relacionado con los cambios en el tamaño del adipocito (Gondret & Lebret, 2002; Alfonso y col., 2005; Barnes y col., 2015). En nuestro ensayo la ganancia de peso durante la Montanera incrementó el tamaño del adipocito y además se observó que el aumento de la grasa intramuscular fue coherente con ese aumento del tamaño del adipocito. El grupo de cerdos que estuvo 90 días en Montanera (M_{90}) presentó los adipocitos más grandes, con un área un 50% mayor que el grupo de cerdos que estuvo 30 días (M_{30}) (26252.38 vs. $13693.49 \mu\text{m}^2$) (Tabla 38). En el caso del perímetro y el diámetro de los adipocitos las diferencias no fueron tan marcadas como en el área, ya que solo observamos un

incremento de un 26% entre los grupos M₃₀ y M₉₀ (179.37 vs. 129.65 μm y 647.57 vs. 476.13 μm , respectivamente). Nuestros resultados muestran valores más altos que los obtenidos por Etherton & Allen (1979), Herpin y col. (1993), Smith y col. (1996), Hauser y col. (1997), Nürnberg y col. (1998), Mourot (2001), Alfonso y col. (2005); Damon y col. (2006), Gardan y col. (2008) Zhao y col. (2009), Jiang y col. (2014), Zhabo y col. (2010), Barnes y col. (2015), ambos en razas magras y adipogénicas. Además, Nürnberger y col (1998) afirmaron que el rápido crecimiento del tejido adiposo en cerdos con 100-180 días de edad va seguido por una fase donde el crecimiento del adipocito es mínimo (180-220 días de edad). En nuestro estudio los cerdos tenían más edad, alrededor de un año, y no encontramos estudios sobre adipocitos en la raza Ibérica, pero si en razas adipogénicas como la Meishan que muestra crecimientos más rápidos en los primeros meses que en los posteriores (Hauser y col., 1997). Si comparamos nuestros resultados con los obtenidos en razas comerciales de cerdos las diferencias podrían ser debidas tanto al peso de sacrificio (160 kg) (Mourot, 2001) como a la genética de la raza (Herpin et al, 1993; Hauser y col., 1997; Wood y col., 2004; Alfonso y col., 2005; Poulos & Hausman, 2005).

Tabla 38. Efecto de la duración del cebo en el tamaño de los adipocitos en Cerdo Ibérico

Variables	Duración periodo de engorde ¹						P-values
	M ₃₀		M ₆₀		M ₉₀		
	Media	Std.	Media	Std.	Media	Std.	
Área, μm^2	13693.49 ^a	3085.12	20273.92 ^{ab}	5558.03	26252.38 ^b	8429.56	≤ 0.01
Perímetro, μm	476.1 ^a	57.3	582.8 ^{ab}	95.4	647.6 ^b	95.8	≤ 0.01
Diámetro, μm	129.6 ^a	15.0	157.6 ^{ab}	22.7	179.4 ^b	26.9	≤ 0.01

¹M₃₀ = treinta días en engorde; M₆₀ = sesenta días en engorde; M₉₀ = noventa días en engorde

El 45% de los adipocitos presentaron un área situada entre 9000 15000 μm^2 en el grupo M₃₀, de 15000 a 27000 μm^2 en M₆₀ y de 21000 a 33000 μm^2 en M₉₀. En el perímetro encontramos que el rango estuvo en 400-500 μm en el 41% de las medidas de los animales del grupo M₃₀, de 600 a 800 μm en el grupo M₆₀ y de 600 a 700 μm en el M₉₀. En el diámetro observamos que el 55% de los adipocitos medidos estuvo dentro del rango 100-140 μm en M₃₀, de 100 a 160 μm en M₆₀ y de 160 a 220 μm en M₉₀. El

incremento en el diámetro del adipocito es causado por la deposición grasa (Nürnberg & Wegner, 1990).

4.1. Correlaciones entre el tamaño del adipocito y las medidas de la canal

De acuerdo con estudios anteriores (Gondret & Lebret, 2002; Alfonso y col., 2005; Velotto y col., 2012) observamos una correlación significativa ($P \leq 0.05$) y positiva entre el diámetro, área y perímetro del adipocito con el espesor de la grasa dorsal, y en especial con la capa interna a nivel de la última costilla (0.42, 0.40 y 0.36) (Tabla 39). De acuerdo con Fortin (1986), Geri y col. (1986), Barone y col. (2000) and Velotto y col. (2012) esta correlación puede ser debida a que los adipocitos de la capa interna son más voluminosos que los de la capa externa. También podría ser debido a que la capa interna es la que más aumenta proporcionalmente al grosor durante el cebo en Montanera. En estudios anteriores, Ayuso y col. (2013) obtuvieron una correlación positiva entre el espesor de la capa interna de la grasa dorsal y el contenido en grasa intramuscular tanto en mediciones realizadas *in vivo* con ultrasonidos como realizadas directamente en la canal (0.40 y 0.47, respectivamente). El aumento del tamaño del adipocito es el factor que más contribuye al incremento de la grasa dorsal en cerdos adipogénicos (Nakajima y col., 2011).

Tabla 39. Relación entre variables de la canal y medidas del adipocito

	IFAT	BF10	OBF10	MBF10	IBF10	BF15	OBF15	MBF15	IBF15
Area, μm^2	0.07	0.12	-0.01	0.21*	0.03	0.29*	0.08	0.05	0.40*
Perímetro, μm	0.14*	0.12	-0.00	0.21*	0.03	0.31*	0.10	0.10	0.36*
Diámetro, μm	0.11	0.17*	-0.00	0.25*	0.08	0.33*	0.11	0.09	0.42*

¹IFAT: Grasa intramuscular; BF10: Espesor de la grasa dorsal en la décima costilla; OBF10: Espesor de la capa externa de la grasa dorsal en la décima costilla; MBF10: Espesor de la capa media de la grasa dorsal en la décima costilla; IBF10: Espesor de la capa interna de la grasa dorsal en la décima costilla; BF15: Espesor de la grasa dorsal en la última costilla; OBF15: Espesor de la capa externa de la grasa dorsal en la última costilla; MBF15: Espesor de la capa media de la grasa dorsal en la última costilla; IBF15: Espesor de la capa interna de la grasa dorsal en la última costilla.

* $P \leq 0.05$

Las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la cantidad de grasa intramuscular a lo largo de una Montanera parecen deberse a la hipertrofia del adipocito. Éste aumento del tamaño de la célula adiposa parece que está correlacionado positivamente con la

ganancia de peso, el porcentaje de grasa intramuscular y el grosor de la capa interna de la grasa dorsal a nivel de la última costilla. Los cerdos que estuvieron 90 días en Montanera (M₉₀) son los que presentaron los depósitos de grasa intramuscular más grandes.

El sabor, la jugosidad y la ternura de la carne son características que dependen en gran medida del contenido en grasa (Fernández y col., 1999; Brewer y col., 2001; Wood y col., 2004; Lonergan y col., 2007), por lo que es necesario un desarrollo de los depósitos de grasa intramuscular (Hauser y col., 1997). Los animales que permanecieron 90 días en Montanera (M₉₀) presentaron canales con mejores características organolépticas. Zhao y col. (2009) afirmaron que las razas obesas poseen mayores capacidades para depositar triacilglicerol en depósitos del musculo que las razas magras debido a que el porcentaje de grasa intramuscular en estas razas es mayor que en las magras (5.58 vs. 3.90%). Además, los cerdos con mayor contenido en grasa intramuscular parecen encuadrarse mejor en este tipo de razas, ya que tienen alta capacidad de lipogénesis, gran actividad en el transporte de ácidos grasos y bajo potencial de movilización de grasas y oxidación de ácidos grasos (Zhao y col., 2009). El aumento en grasa en cerdos está asociado con el incremento en la grasa intramuscular que puede ser atribuible al aumento del tamaño del adipocito de la grasa intramuscular (Barnes y col., 2012).

5. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular y subcutánea dorsal durante la montanera

La composición en ácidos grasos de los triglicéridos del tejido adiposo del cerdo, en comparación con otras especies, destaca por tener una mayor cantidad de ácido oleico y palmitoleico y una menor cantidad de esteárico. Sin embargo, dicha composición está influida por factores como la raza, el sexo, la alimentación, la localización anatómica o la temperatura. Numerosos estudios han puesto de manifiesto la posibilidad de modificar la composición en ácidos grasos de las membranas y tejidos animales según el tipo de grasa del alimento (Asghar y col., 1988; Larick y Turner, 1989; Monahan y col., 1992a; Lauridsen y col., 1997; López-Bote y col., 1997a).

Como se esperaba, en nuestro ensayo el perfil de ácidos grasos de los dos tejidos adiposos fue un reflejo de los ácidos grasos de la dieta. En el conjunto de los datos el ácido graso que más predomina fue el Oleico (52.94%) seguido del Palmítico (21.54%), el Esteárico (9.73%) y el Linoleico (8.76%) (Tablas 40 y 41). También se observó un

alto contenido en MUFA (57.68%) que es una característica muy importante en la calidad de la carne del Cerdo Ibérico (Ventanas y col., 2006). Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el perfil de ácidos grasos entre la grasa intramuscular y la grasa dorsal. La variación en la composición del perfil de ácidos grasos según la localización anatómica en cerdos (Monziols y col., 2007; Pérez-Palacios y col., 2009) podría atribuirse al hecho de que cada tejido adiposo muestra un desarrollo y metabolismo específico (Mourot y col., 1996). En comparación con la grasa subcutánea, la grasa intramuscular presentó mayor porcentaje significativo ($P \leq 0.05$) de los ácidos grasos Láurico, Mirístico, Palmítico y Palmitoleico, así como SFA, MUFA y en la relación entre saturados e insaturados (SFA y MUFA+PUFA), mientras que fue significativamente ($P \leq 0.05$) menor para el caso de los ácidos grasos Margarico, Margaroleico, Gadoleico, Linoleico y Linolenico, PUFA e índice de insaturación. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en los depósitos grasos para los ácidos grasos Esteárico, Aráquico y Oleico. El porcentaje de ácido Palmitoleico en la grasa intramuscular fue dos veces mayor que en la grasa dorsal (4.63 vs. 1.96). Por el contrario, el contenido en Gadoleico fue mayor en la grasa dorsal que en la intramuscular (1.54 vs 0.85). Esto podría deberse a que la actividad enzimática para la formación del Gadoleico es más activa en la grasa dorsal que en la intramuscular (Narvaéz- Rivas y col., 2009).

Tabla 40. Efecto de la duración del periodo de engorde en el porcentaje de ácidos grasos en la grasa intramuscular¹ (IMF) y subcutánea (BF) en Cerdo Ibérico

Variables (g/100 g) ¹	Duración engorde ²						RSD	P-value	
	M ₃₀ (N=8)		M ₆₀ (N=8)		M ₉₀ (N=8)			Linear	
	IMF	BF	IMF	BF	IMF	BF		IMF	BF
C 12:0	0.06 ^{bc}	0.05 ^d	0.07 ^{ab}	0.05 ^d	0.08 ^a	0.05 ^d	0.105	0.002	0.453
C 14:0	1.15 ^{bc}	1.07 ^c	1.29 ^{ab}	1.09 ^c	1.34 ^a	1.12 ^c	0.384	0.011	0.306
C 16:0	21.42 ^{bc}	19.79 ^c	23.57 ^{ab}	20.35 ^c	24.10 ^b	20.04 ^c	1.541	0.041	0.606
C 16:1	4.87 ^a	2.28 ^b	4.27 ^a	1.76 ^b	4.75 ^a	1.85 ^b	1.207	0.718	0.008
C 17:0	0.18 ^c	0.35 ^a	0.13 ^d	0.28 ^b	0.12 ^d	0.27 ^b	0.301	0.001	0.001
C 17:1	0.29 ^b	0.37 ^a	0.19 ^c	0.25 ^{bc}	0.19 ^c	0.27 ^b	0.280	0.001	0.001
C 18:0	8.92 ^a	9.24 ^a	10.50 ^a	10.19 ^a	9.77 ^a	9.78 ^a	1.161	0.275	0.304
C 18:1	52.55 ^a	51.40 ^a	52.17 ^a	53.52 ^a	53.89 ^a	54.15 ^a	1.497	0.331	0.001
C 18:2	9.07 ^b	12.90 ^a	5.87 ^c	9.90 ^b	4.93 ^c	9.89 ^b	1.678	≤0.001	≤0.001
C 18:3	0.48 ^c	1.06 ^a	0.35 ^d	0.73 ^b	0.33 ^d	0.78 ^b	0.525	0.001	≤0.001
C 20:0	0.15 ^b	0.17 ^{ab}	0.19 ^a	0.20 ^a	0.17 ^{ab}	0.18 ^{ab}	0.164	0.092	0.193
C 20:1	0.84 ^c	1.33 ^b	0.87 ^c	1.69 ^a	0.85 ^c	1.61 ^a	0.618	0.765	0.001
SFA	31.89 ^{ab}	30.67 ^b	35.06 ^{ab}	32.15 ^{ab}	36.28 ^a	31.46 ^b	1.655	0.114	0.370
MUFA	58.55 ^{ab}	55.38 ^b	57.51 ^{ab}	57.21 ^{ab}	59.69 ^a	57.88 ^{ab}	1.750	0.490	0.004
PUFA	9.55 ^b	13.96 ^a	6.22 ^c	10.63 ^b	5.26 ^c	10.66 ^b	0.637	≤0.001	≤0.001
SFA/MUFA+PUFA	0.47 ^{abc}	0.44 ^c	0.54 ^{ab}	0.47 ^{bc}	0.57 ^a	0.46 ^{bc}	1.865	0.122	≤0.001
Índice de saturation	2.48 ^{ab}	2.73 ^a	1.95 ^c	2.45 ^{ab}	2.05 ^{bc}	2.53 ^a	0.282	0.059	0.068

¹*Longissimus dorsi* m.; SFA = Σ Ácidos grasos saturados; MUFA = Σ Ácidos grasos monoinsaturados; PUFA = Σ Ácidos grasos poliinsaturados; Índice de insaturación = [(MUFA*1) + (PUFA*2)] / SFA.

²M₃₀ = treinta días en engorde; M₆₀ = sesenta días en engorde; M₉₀ = noventa días en engorde.

^{a,b,c}: Valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de (P ≤ 0.05); * P ≤ 0.05

Tabla 41. Efecto de la duración de la Montanera en el porcentaje de ácidos grasos de las capas de la grasa dorsal en Cerdo Ibérico

Variables (g/100 g) ¹	Duración del periodo de engorde ²									RSD	interna	media	externa
	M ₃₀ (N=8)			M ₆₀ (N=8)			M ₉₀ (N=8)						
	interna	media	externa	interna	media	externa	interna	media	externa				
C 12:0	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.05 ^b	0.06 ^a	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.06 ^a	0.05 ^{ab}	0.05 ^{ab}	0.087	0.123	0.284	0.52
C 14:0	1.06 ^a	1.06 ^a	1.09 ^a	1.11 ^a	1.01 ^a	1.14 ^a	1.12 ^a	1.08 ^a	1.15 ^a	0.313	0.244	0.653	0.181
C 16:0	20.48 ^{abc}	19.87 ^{abc}	19.04 ^c	21.22 ^a	20.17 ^{abc}	19.65 ^{bc}	20.92 ^{ab}	19.96 ^{abc}	19.25 ^c	1.069	0.408	0.859	0.625
C 16:1	2.04 ^{bc}	2.08 ^{bc}	2.72 ^a	1.68 ^{cd}	1.51 ^d	2.08 ^{bc}	1.63 ^{cd}	1.69 ^d	2.22 ^b	0.677	≤0.001	0.001	0.009
C 17:0	0.36 ^a	0.36 ^a	0.33 ^{ab}	0.27 ^b	0.28 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.232	0.176	0.347	0.499
C 17:1	0.32 ^{bc}	0.36 ^{ab}	0.43 ^a	0.22 ^e	0.24 ^{de}	0.31 ^{bcd}	0.23 ^{de}	0.26 ^{cde}	0.33 ^{bc}	0.285	0.250	0.244	0.106
C 18:0	10.39 ^a	9.74 ^{ab}	7.58 ^c	11.05 ^a	11.12 ^a	8.40 ^{bc}	11.17 ^a	10.29 ^a	7.88 ^c	1.298	0.007	0.007	0.014
C 18:1	50.38 ^d	50.89 ^{cd}	52.94 ^{bc}	52.15 ^{bcd}	52.93 ^{bc}	55.47 ^a	52.62 ^{bc}	53.94 ^{ab}	55.88 ^a	1.475	≤0.001	≤0.001	0.001
C 18:2	12.44 ^a	12.99 ^a	13.28 ^a	9.78 ^b	9.99 ^b	9.93 ^b	9.50 ^b	9.86 ^b	10.30 ^b	1.250	0.007	≤0.001	≤0.001
C 18:3	1.09 ^a	1.09 ^a	1.00 ^a	0.79 ^b	0.76 ^b	0.65 ^b	0.78 ^b	0.79 ^b	0.76 ^b	0.428	0.002	0.001	≤0.001
C 20:0	0.17 ^{bc}	0.18 ^{bc}	0.15 ^c	0.20 ^{ab}	0.22 ^a	0.18 ^{bc}	0.19 ^{abc}	0.20 ^{ab}	0.17 ^{bc}	0.178	≤0.001	≤0.001	≤0.001
C 20:1	1.22 ^f	1.34 ^{ef}	1.42 ^{def}	1.48 ^{cde}	1.71 ^{abc}	1.87 ^a	1.51 ^{bcde}	1.60 ^{bcd}	1.73 ^{ab}	0.491	≤0.001	≤0.001	≤0.001
SFA	32.52 ^{ab}	31.25 ^{abc}	28.24 ^d	33.91 ^a	32.86 ^a	29.69 ^{bcd}	33.73 ^a	31.86 ^{ab}	28.79 ^{cd}	1.581	0.207	0.534	0.463
MUFA	53.96 ^d	54.67 ^d	57.51 ^{bc}	55.53 ^{cd}	56.38 ^{cd}	59.73 ^{ab}	55.99 ^{cd}	57.50 ^{bc}	60.15 ^a	1.307	0.025	0.003	≤0.001
PUFA	13.53 ^a	14.08 ^a	14.28 ^a	10.56 ^b	10.75 ^b	10.58 ^b	10.28 ^b	10.64 ^b	11.06 ^b	0.573	≤0.001	≤0.001	≤0.001
SFA/MUFA+PUFA	0.48 ^{ab}	0.45 ^{abc}	0.40 ^c	0.51 ^a	0.49 ^a	0.42 ^{bc}	0.51 ^a	0.47 ^{ab}	0.41 ^c	1.610	0.175	0.525	0.507
Índice de saturation	2.50 ^{cde}	2.67 ^{bcd}	3.06 ^a	2.27 ^e	2.38 ^{de}	2.73 ^{abc}	2.28 ^e	2.48 ^{cde}	2.86 ^{ab}	0.234	0.065	0.124	0.079

¹SFA = Σ Ácidos grasos saturados; MUFA = Σ Ácidos grasos monoinsaturados; PUFA = Σ Ácidos grasos poliinsaturados; Índice de insaturación = [(MUFA*1) + (PUFA*2)] / SFA.

²M₃₀ = treinta días en engorde; M₆₀ = sesenta días en engorde; M₉₀ = noventa días en engorde

^{a,b,c}: valores dentro de una fila con diferentes superíndices presentan diferencias a un nivel de (P ≤ 0.05); * P ≤ 0.05

El perfil de ácidos grasos, el cual está muy influenciado por la alimentación (Barea y col., 2013, López-Bote, 1998, Pascual y col., 2006, Daza y col., 2007b, Ventanas y col., 2008, Tejerina y col., 2012a, Pérez-Palacios y col., 2009), varió durante el engorde final tanto en el contenido en grasa como en la síntesis de ácidos grasos (Enser y col., 1996). El tiempo de engorde influyó significativamente ($P \leq 0.05$) en el contenido de algunos ácidos grasos y en el depósito de éstos en algunos tejidos grasos. El porcentaje de los ácidos grasos Margarico, Margaroleico, Linoleico y Linolenico, PUFA e índice de insaturación decreció con el aumento del tiempo de engorde en ambos tejidos grasos. En la grasa intramuscular se obtuvieron porcentajes altos de Láurico y Mirístico, mientras que el porcentaje de Margárico, Margaroleico, Linoleico y Linolenico y PUFA disminuyeron con el aumento de tiempo de engorde. En la grasa subcutánea del grupo M₉₀ hubo alto contenido de Oleico, Gadoleico y MUFA y bajo porcentaje de Margárico, Palmitoleico, Margaroleico, Linoleico, Linolenico, PUFA e índice de insaturación. No observamos el efecto de la duración del periodo de engorde sobre los ácidos grasos Palmítico, Esteárico ni sobre los SFA en ningún tejido adiposo estudiado.

En cerdos Ibéricos en sistema de intensivo y sacrificados entre 50 y 115 kg de p.v., Barea y col. (2013) encontraron un descenso en el contenido en SFA y un aumento en MUFA conforme aumentaba el peso vivo, mientras que los ácidos PUFA prácticamente no cambiaban. Pascual y col. (2006) observaron en la grasa subcutánea de cerdos Ibéricos en extensivo que aumentando el periodo de engorde aumentaba el contenido de Oleico y disminuía el de Esteárico y el Palmítico. Una tendencia similar observaron Cava y col. (1994) en la grasa intramuscular.

El porcentaje del principal ácido graso monoinsaturado, el Oléico, mostró un incremento en la grasa dorsal durante el engorde en Montanera en los primeros grupos M₃₀ y M₆₀ (51.40 y 53.52, respectivamente). El incremento de ácido Oléico puede estar influenciado por la edad a la que los animales comienzan el engorde en Montanera (Daza y col., 2007a; Pascual y col., 2006). Las diferencias significativas ($P \leq 0.05$) obtenidas podrían ser debidas al número de días de la fase de engorde, al alto contenido de ácido Oléico de las bellotas y a su baja síntesis endógena. Nuestros resultados en ácido Oléico están en línea con los obtenidos por Daza y col. (2007ab) y Tejerina y col. (2012ab). Los otros ácidos grasos monoinsaturados de la grasa dorsal, Palmitoleico y Margaroleico, decrecieron de M₃₀ a M₆₀, pero en el caso del Gadoleico fue diferente, observándose un incremento en el primer periodo. Raj y col. (2010) también observaron

que la proporción de SFA y MUFA en el músculo longissimus dorsi y en la grasa dorsal tiende a aumentar mientras que la concentración de PUFA y el ratio de PUFA/SFA caía significativamente. Resultados parecidos encontraron Kouba & Mourot (1999) y Wood y col. (2004). Estos cambios son el resultado de la importancia de la síntesis de novo de SFA y MUFA y el papel cada vez menor de la incorporación directa del linoleico de la dieta. La concentración en Linoleico y Linolenico decreció significativamente ($P \leq 0.05$) en ambos tejidos adiposos, especialmente entre M₃₀ y M₆₀. En el grupo de M₉₀ el porcentaje para ambos ácidos grasos fue el doble en la grasa dorsal que en la intramuscular (9.89% vs 4.93% y 0.78% vs 0.33%, respectivamente). Los resultados obtenidos en el ácido graso Linoleico difieren con los obtenidos por Pascual y col. (2006) quienes aseguran que el alto incremento de Linoleico es compensado por un descenso significativo de los niveles de ácido Palmítico y Esteárico. Sin embargo, en nuestro ensayo ocurrió lo contrario.

El descenso en PUFA con el aumento de los días de engorde en Montanera es debido a los bajos niveles de estos ácidos que presenta la bellota y al alto contenido en grasa de los cerdos. Como publicó Camoes (1995) la reducción en ácido linoleico en la dieta está compensado por un aumento en Palmítico y Esteárico. De acuerdo con Nilzen (2001) añadir hierba en la dieta aumenta los niveles de Linoleico y Linolenico y desciende el Palmítico en la grasa intramuscular. Los resultados obtenidos por Raj y col. (2010) muestran que conforme aumenta el peso del cerdo la proporción de Esteárico en la grasa dorsal aumenta y el Linoleico decrece. Sin embargo en m. *Longissimus dorsi* la proporción de Esteárico no cambia y el Oleico disminuye. Los valores de la relación saturados/insaturados de la grasa dorsal fueron más bajos que los obtenidos por Niños (2007).

Los valores del índice de insaturación con el aumento de los días en la fase de engorde no mostraron una tendencia clara. Nuestros resultados están en concordancia con otros autores (Ventanas y col. 2008; Tejerina y col., 2012a; Tejerina y col., 2012b; Lopez-Bote, 1998; Niños y col., 2007), pero fueron más bajos que los obtenidos por Cava y col. (2000), aunque la duración de la fase de engorde no fue la misma.

5.1. Perfil de ácidos grasos de las tres capas de la grasa dorsal en la montanera

Está ampliamente reconocido que la capa externa es más insaturada que la interna, probablemente por una deposición preferencial de PUFA en la capa externa y también

como resultado del efecto de dilución causado por un incremento en la deposición de ácidos grasos de nueva síntesis por una estimulación de la lipogénesis en la capa interna (Bee y col., 2002).

El perfil de ácidos grasos para las tres capas fue significativamente diferente ($P \leq 0.05$) y en concordancia con los resultados de Monziols y col. (2007). El porcentaje de Mirístico, Palmitoleico, Oleico y Gadoleico, MUFA e índice de insaturación fue más alto en la capa externa que en las otras dos capas, mientras que el Estearico, SFA y la relación saturados / insaturados fueron más bajos en la externa. La capa interna mostró los valores más bajos de Oleico, Gadoleico, Margaroleico, MUFA e índice de insaturación y más elevados de Palmitoleico, Esteárico y SFA (Tabla 17 y 18). Esto puede ser debido a que la capa interna madura más tarde y es, por tanto, la última en ser afectada por la composición de los ácidos grasos de la dieta. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos por Rey y col. (2006), Daza y col. (2007a), Daza y col. (2007b) y Daza y col. (2008). La interacción no fue significativa ($P > 0.05$) para todos los ácidos grasos. En contra de los resultados de Monziols y col. (2007) e Isabel y col. (2014), en nuestro ensayo no encontramos diferencias significativas ($P > 0.05$) en la concentración de Linoleico entre las capas.

El contenido en Palmitoleico, Margaroleico, Linoleico, Linolenico, PUFA e índice de insaturación decreció cuando el número de días de Montanera aumentó, mientras que el contenido en Oleico, Gadoleico y MUFA aumentó. Estos resultados están en sintonía con los obtenidos por Daza y col. (2007a), Daza y col. (2007b), Daza y col. (2007c) y Daza y col. (2008), excepto para el Linoleico, el cual fue mayor en la capa interna. Los resultados de Rey y col. (2006) fueron algo diferentes a los nuestros en el que solo el Palmítico, Esteárico y Linolenico presentan altas concentraciones en la capa interna. En nuestro ensayo los depósitos de grasa en los cerdos sufrieron una degradación negativa desde fuera hacia dentro. Los valores más altos de SFA y SFA/MUFA +PUFA se encontraron en la capa interna. De acuerdo con Monziols y col. (2007) el contenido en MUFA y el índice de insaturación difirió entre las tres capas siguiendo un gradiente: más alto en la externa y más bajo en la interna. Los PUFA siguieron el mismo patrón. En concordancia con Bee y col. (2008), el metabolismo lipídico es más bajo en la capa externa que en la interna del tejido adiposo subcutáneo. También, Daza y col. (2007) obtienen los valores más altos de SFA, MUFA en la capa interna y PUFA en la externa. El depósito de PUFA en la capa externa de los tejidos adiposos en el cerdo todavía no

está totalmente entendido. Se ha postulado que puede estar relacionado con el bajo metabolismo lipídico de la capa externa (Monziols y col., 2007). Por el contrario la mayor actividad lipogénica en la capa interna puede diluir los PUFA de la dieta con ácidos grasos endógenos (Bee y col., 2002). Los resultados obtenidos para PUFA están en discordancia por los obtenidos por Daza y col. (2007b), Daza y col. (2007c) y Daza y col. (2008), quienes encuentran altos valores en la capa interna. El valor del índice de insaturación, mayor en la capa externa, estuvo en concordancia con lo obtenido por Daza y col. (2007b) en cerdos Ibéricos. Según Daza y col. (2007b) el tiempo de Montanera afecta significativamente a los MUFA y PUFA en las tres capas. Sin embargo, en nuestro estudio la duración del cebo en montanera no fue significativo ($P > 0.05$) para SFA excepto Margárico en las tres capas de la grasa dorsal y Aráquico en las capas externa y media. Estos resultados podrían deberse al hecho de que la cantidad de ácidos grasos saturados en las tres capas sigue una tendencia similar mientras que los insaturados es mayor en una capa respecto a las otras dos. La tendencia de la cantidad de ácidos grasos en las tres capas para Montanera está en desacuerdo con Daza y col. (2007b) para Palmítico y Esteárico para la capa externa e interna, Oleico y MUFA para interna, y SFA para la externa. Además una adaptación del tejido adiposo a la temperatura con el objetivo de mantener el flujo físico de los diferentes tejidos adiposos (Dean & Hilditch, 1933) podría ser una de las causas que afectan en las diferencias en el perfil de ácido grasos en las tres capas.

5.2. Relación entre los ácidos grasos de la grasa intramuscular y la grasa dorsal

La composición de los ácidos grasos de la grasa intramuscular determina en gran medida la calidad de la carne del cerdo y la grasa subcutánea es usada generalmente para caracterizar y determinar el grado comercial de la carne en el Cerdo Ibérico de acuerdo con el sistema de producción (manejo y alimentación) (BOE, 2014). Sobre la base de estos dos hechos varios estudios de han centrado en la relación entre el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular y subcutánea en razas adipogénicas (Yang y col., 2010), sin embargo ningún estudio se ha realizado en el Cerdo Ibérico. Como indican Niños y col. (2007) se puede encontrar una relación significativa en la composición de ácidos grasos entre los dos tejidos grasos con análisis objetivo, rápido y rentable y se podrían diseñar técnicas no destructivas para la calidad de la carne (Zamora-Rojas, 2012).

El ácido graso Esteárico y el SFA mostraron una correlación significativa ($P \leq 0.05$) entre ambos depósitos grasos en todos los grupos de Montanera (M_{30} , M_{60} y M_{90}), al contrario que Linoleico y Linolenico y PUFA que no mostraron correlación significativa ($P > 0.05$). El resto (Palmitico y Oleico) y los MUFA mostraron una correlación significativa ($P \leq 0.05$) entre grasa intramuscular y dorsal en al menos un grupo (Tabla 43).

Tabla 43. Coeficientes de correlación de Pearson entre ácidos grasos de la grasa intramuscular y de la grasa dorsal en función de la duración de la fase final de cebo

Groups ³	Traits ²							
	C 16:0	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3	SFA	MUFA	PUFA
M_{30} (N=8)	0.84*	0.98*	0.69	0.39	0.67	0.96*	0.70	0.40
M_{60} (N=8)	0.53	0.78*	0.71*	0.71	0.39	0.84*	0.70	0.70
M_{90} (N=8)	0.74*	0.92*	0.93*	-0.18	-0.19	0.92*	0.94*	-0.17

¹*Longissimus dorsi* m.

²SFA = Σ Ácidos grasos saturados; MUFA = Σ Ácidos grasos monoinsaturados; PUFA = Σ Ácidos grasos poliinsaturados

³ M_{30} = treinta días en engorde; M_{60} = sesenta días en engorde; M_{90} = noventa días en engorde

* $P \leq 0.05$

De acuerdo con Yang y col. (2010) hay una fuerte relación entre SFA y MUFA y el valor y nivel de significación del coeficiente de correlación, incrementándose éste con la duración del engorde. Sin embargo, éste hecho no se observó en el caso de PUFA ($P > 0.05$), difiriendo con los obtenido por Yang y col. (2010). El Oleico mostró un coeficiente de correlación significativo ($P \leq 0.05$) en los grupos M_{60} y M_{90} que podría ser debido a que la acumulación es variable en ambos tejidos, siendo la grasa intramuscular mayor en M_{30} y menor en M_{60} y M_{90} .

El coeficiente de correlación para el Oleico entre ambos depósitos grasos aumentó con la duración de la fase de engorde debido a la acumulación y siguiendo la misma tendencia en ambos tejidos adiposos. Sin embargo, los ácidos grasos saturados Linolenico y Linoleico siguieron una tendencia opuesta: el coeficiente de correlación fue mayor en M_{30} . En cerdos magros de raza Duroc y Landrance el alto grado de asociación entre los ácidos grasos sugiere que a medida que el contenido de grasa intramuscular aumenta se produce una rápida dilución de ácidos grasos poliinsaturados por saturados y monoinsaturados (Cameron & Enser, 1991). Nuestros resultados, como

los de Yang y col. (2010), indican que la deposición de ácidos grasos en los tejidos adiposos está asociada. Por ello los datos fueron sometidos a un análisis de regresión para evaluar la eficacia de predicción de la composición de ácidos grasos en la grasa intramuscular a partir de la composición de la grasa subcutánea. Previamente se testó el efecto de la duración del cebo en la pendiente e intersección de la regresión, el cual no fue significativo, haciéndose la regresión para el conjunto de los datos. Los mejores ajustes se obtuvieron con la función lineal. Los resultados mostraron de bajos a altos coeficientes de determinación confirmando que la composición de los ácidos grasos de los depósitos grasos subcutáneos fue un estimador aceptable para el depósito de grasa intramuscular. Los valores de R^2 para las ecuaciones de regresión para estimar los ácidos grasos de la grasa intramuscular a partir de la grasa subcutánea oscilaron entre 0.41 (Oleico) y 0.83 (SFA).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La ultrasonografía *in vivo* es una técnica de utilidad en la diferenciación del sistema de alimentación en la fase final de cebo en el Cerdo Ibérico, mientras que presenta escasa efectividad en la predicción del peso y rendimiento de las principales piezas de la canal. Esta técnica debería ser incluida en el programa de selección del Cerdo Ibérico.
2. El contenido en grasa intramuscular a nivel de la última costilla es de utilidad en la diferenciación de canales de machos y hembras, mientras que no lo son el peso y rendimiento de las principales piezas de la canal.
3. El tipo de manejo y alimentación en la fase final del cebo inciden significativamente en los rendimientos cárnicos y de las piezas comerciales del Cerdo Ibérico.
4. La alimentación tiene un efecto retardado en el perfil de ácidos grasos en los principales depósitos adiposos, por lo que el aumento de la duración de la fase final de cebo no lo modifica significativamente.
5. La duración de la fase de cebo en la modalidad Montanera influye en el grado de marmoreo de la carne, y por tanto en su calidad final. Así mismo, influye en el perfil de ácidos grasos de la grasa dorsal e intramuscular, observándose un aumento significativo de MUFA y un descenso significativo de PUFA.
6. Los diversos tejidos adiposos del cerdo Ibérico difieren en su composición grasa. La grasa dorsal tiene una mayor

concentración de PUFA y un menor contenido de MUFA que la grasa intramuscular del musculo *Longissimus dorsi*.

7. Los ácidos grasos saturados tienen preferencia por la capa externa de la grasa dorsal al acumularse en mayor proporción en ella, mientras que los PUFA no muestran una mayor preferencia por una u otra capa al acumularse de forma similar en todas ellas. Así mismo, el ácido oleico tiene preferencia por acumularse a nivel de la grasa dorsal.

8. La composición de ácidos grasos de la grasa dorsal es un estimador aceptable del perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular.

9. Los adipocitos de los diferentes tejidos adiposos del Cerdo Ibérico se hipertrofian durante la fase final de cebo, presentando un incremento significativo de mes en mes en este periodo de engorde.

10. La correlación entre el tamaño del adipocito y el espesor de la capa interna de la grasa dorsal hace que éste sea un buen indicador de infiltración grasa en cerdos engordados en montanera.

CONCLUSIONS

1. The *in vivo* ultrasound is a useful technique in differentiating of feed system in the final fattening phase in Iberian pig, while present low effectiveness in the predicting of weight and yields of the main cuts of the carcass. This technique should be included in the breeding program of the Iberian pig.
2. The intramuscular fat content in the last rib level is useful in differentiating of carcass by sex, while they usefulness of weight and yields of the main cuts of the carcass is not so good.
3. The type of management and feeding in the final fattening phase have a significant impact on meat yields and commercial cuts of the Iberian pig.
4. The feed has a delayed effect on the fatty acid profile in major adipose deposits, so increasing the duration of the final fattening phase not significantly changed.
5. The duration of fattening phase as “montanera” influences in the degree of meat marbling, and therefore in its final quality. Also, it influences the fatty acid profile of the backfat and intramuscular fat, showing a significant increase in MUFA and a significant decrease in PUFA.
6. The fatty tissues of the Iberian pig differ in their fat composition. Backfat has a higher concentration of PUFA and lower content of MUFA than intramuscular fat of *Longissimus dorsi* muscle.
7. Saturated fatty acids have a preference for the outer layer of the backfat to accumulate therein in a greater proportion while

PUFAs not show a higher preference for one or another layer to accumulate similarly throughout. Also, oleic acid has a preference for accumulate in backfat.

7. Los ácidos grasos saturados tienen preferencia por la capa externa de la grasa dorsal al acumularse en mayor proporción en ella, mientras que los PUFA no muestran una mayor preferencia por una u otra capa al acumularse de forma similar en todas ellas. Así mismo, el ácido oleico tiene preferencia por acumularse a nivel de la grasa dorsal.

8. The fatty acid composition of backfat is an acceptable estimator of the fatty acid profile of intramuscular fat.

9. Adipocyte of different fat tissues of Iberian pig hypertrophy during the final fattening phase, showing a significant increase from month to month in this period of fattening.

10. The correlation between adipocyte size and thickness of the inner layer of backfat makes this a good indicator of fatty infiltration in pigs fattened in "montanera".

REFERENCIAS

- Aguilar S., Chang A., Tenorio G., Ynga H., Oscanoa H., Flores R. 2011. Compendio metodológico para la extracción de lípidos totales a partir de biomasa micro-algal.
- Alexander, J. W. (1998). Immunonutrition: the role of ω 3 fatty acids. *Nutrition*, 14, 627–633.
- Alfonso L., Mourot J., Insausti K., Mendizabal J.A., Arana A. 2005. Comparative description of growth, fat deposition, carcass and meat quality characteristics of Basque and Large White pigs. *Anim. Res.* 54, 33-42.
- Amin, V. R., M. M. Izquierdo, N. Kim, D. E. Wilson, G. H. Rouse. 1996. Application of Statistical Methods for Improving Models of Intramuscular Percentage Fat Prediction in Live Beef Animals From Real-Time Ultrasound Images. Iowa State University Industry Report A.S. Leaflet R1325
- Amin, V., Patel, A., Roberts, R., Rouse, G., & Wilson, D. 1995. Application of A-mode ultrasound for carcass quality grading. A Progress Report, Rep. No. ASL-R1221, Iowa State University, Department of Animal Science.
- Andersen H.J., Oksbjerg N., Therkildsen M. 2005. Potential quality control tools in the production of fresh pork, beef and lamb demanded by the European society. *Liv. Prod. Sci.* 94, 105–124.
- Anderson D.B., Kauffman R.G., Kasterschmidt L.L. 1972. Lipogenic enzyme activities and cellularity of porcine adipose tissue from various anatomical locations. *J. Lipid. Res.* 13, 593-599.
- Andrés A.I., Cava R., Mayoral A.I., Tejada J.F., Morcuende D and Ruíz J. 2001. Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of muscle fibre. *Meat Science.* 59, 39-47.
- Aparicio Macarro J.B. 1988. El cerdo Ibérico. Premio de investigación 1987 Sánchez Romero Carvajal Jabugo, SA Huelva, p. 93.
- Aparicio Sánchez, G. (1944). *Zootecnia Especial. Etnología Compendiada*. 1ª edición, Córdoba.
- Aparicio, J.B. 1987. El cerdo Ibérico. Jabugo, Spain. Premio de Investigación Sánchez Romero Carvajal, S.A.
- Asghar A., Lin C.F., Gray J.I., Buckley D.J., Booren A. y Flegal C.J. 1990. Effect of dietary oils and tocopherol supplementation on membranal lipid oxidation in broiler meat. *J. Food Sci.* 55. pp. 46-50.
- Ayuso D., González A., Hernández F., Corral J.M., Izquierdo M. 2013. Prediction of carcass composition, hams and forelegs weights and yields of Iberian pigs by using ultrasound measurements in live animals. *J. Anim. Sci.* 91, 1884-1892.
- Ayuso D., Izquierdo M., Hernández F., Bazán J & Corral J.M. 2010. Determination of backfat depth and longissimus dorsi area by ultrasound scanning in live Iberian pigs. 7TH Internacional Symposium on Mediterranean Pig. Session 5, 75-75.
- Azain M.J. 2004. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *J. Anim. Sci.* 82, 916-924.
- B.O.E. 1986. Orden de 10 de junio de 1986 por la que se aprueba el Reglamento de la Denominación de Origen Guijuelo y de su Consejo Regulador. BOE nº 141, 13 de junio de 1986. España.
- B.O.E. 1991. Orden de 23 de octubre de 1991 por la que se aprueba la modificación del Reglamento de la denominación de origen «Guijuelo» y su Consejo Regulador. BOE nº 273, 14 de noviembre de 1991. España.
- B.O.E. 1993. Orden de 30 de noviembre de 1993 por la que se aprueba la modificación del Reglamento de la Denominación de Origen «Guijuelo» y su Consejo Regulador. BOE nº 292, 07 de diciembre de 1993. España.

- B.O.E. 1995. Orden de 12 de julio de 1995 por la que se ratifica el Reglamento de la denominación de origen «Jamón de Huelva» y de su Consejo Regulador. BOE nº 170, 18 de julio de 1995. España.
- B.O.E. 2000. Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. BOE nº 58, 8 de marzo de 2000. España
- B.O.E. 2001. Real Decreto 1083/2001, de 5 de octubre, por el que se aprueba la Norma de calidad para el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico elaborados en España. BOE nº 247 del sábado de 15 de octubre de 2001. España.
- B.O.E. 2004. Real Decreto 1135/2002, de 31 de octubre, relativo a las normas mínimas para la protección de cerdos. BOE nº 278, 20 de noviembre de 2002. España.
- B.O.E. 2004. Real Decreto 1547/2004, de 25 de junio, por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas. BOE nº 154, 26 de junio de 2004. España.
- B.O.E. 2004. Real Decreto 1781/2004, de 30 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1083/2001, de 5 de octubre, por el que se aprueba la norma de calidad para el jamón ibérico, paleta ibérica y caña de lomo ibérico elaborados en España. BOE nº 211 del sábado de 1 de septiembre de 2004. España.
- B.O.E. 2004. Real Decreto 2128/2004, de 29 de octubre, por el que se regula el sistema de información geográfica de parcelas agrícolas. BOE nº 274, 13 de noviembre de 2004. España.
- B.O.E. 2004. Real Decreto 723/1990, de 8 de junio, sobre selección y reproducción de ganado porcino de razas puras. BOE nº 140, 12 de junio de 1990. España.
- B.O.E. 2007. Real Decreto 1469/2007, de 2 de Noviembre, por el que se aprueba la Norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico. BOE nº 264, de 3 de Noviembre de 2007. España.
- B.O.E. 2009. Real Decreto 1221/2009, de 17 de julio, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo y por el que se modifica el Real Decreto 1547/2004, de 25 de junio, por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas. BOE nº 187, 4 de agosto de 2009. España.
- B.O.E. 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. BOE nº 10, de 11 de enero de 2014. España.
- B.O.E. ORDEN APA/3376/2007, de 12 de noviembre, por la que se aprueba el Reglamento del Libro Genealógico de la Raza Porcina Ibérica. BOE nº 280, 22 de noviembre de 2007. España.
- Barba, 1999 PERFORMANCE CHARACTERISATION OF IBERIAN PIG VARIETIES BASED IN POSTMORTEM YIELDS Barba, C. , J.V.Delgado, E. Diéguez y P. Cañuelo. Arch. Zootec. 50: 125-132. 2000
- Barea R., Isabel B., Nieto R., López-Bote C and Aguilera J.F. 2013. Evolution of the fatty acid profile of subcutaneous back-fat adipose tissue in growing Iberian and Landrace × Large White pigs. Animal 7: 688-698.
- Barnes K.M., Winslow N.R., Shelton A.G., Hlusko K.C., Azain M.J. 2012. Effect of dietary conjugated linoleic acid on marbling and intramuscular adipocytes in pork. J. Anim. Sci. 90, 1142-1149
- Barone C.M.A., Esposito I., Occidente M., Abbatiello M., Cappuccio A., Matassino D. 2000. Some aspects of meat production in pig autochthonous genetic types. III. Morphometric characteristics of fibre types and adipocytes in Almeida J.A. (ed.), Tirapicos Nunes J. (ed.). Tradition and innovation in Mediterranean pig production.

- Zaragoza: CIHEAM Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, 41, 233- 236.
- Barr F. 1990. (Ed.). Diagnostic ultrasound in the dog and cat, pp. 1-20. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Bartrum R., Crow, H.C.1977. (Ed.), Gray-scale ultrasound: A manual for physicians and technical personnel, pp. 1-101 .Saunders, Philadelphia,.
- Bee G., Gebert S and Messikommer R. 2002. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. *Journal of Animal Science* 80: 1564-1574.
- Bejerholm, C. y Barton-Gade, P. 1986. Proc. 32nd European Meeting of Meat Research Workers, pp 389-391.
- Benito J., Fallóla A., López de Torre G., Ferrera Claramont J.L., 1986. "La Línea Valdesequera". *Conservación y desarrollo de las dehesas portuguesa y española. M.A.P.A.*, 189:218.
- Benito, J., Vázquez, C., García Casco, J., Menaya, C. and Ferrera, J.L. 1997. La Dehesa y el Cerdo Ibérico. Congreso Latinoamericano de Veterinarios Especialistas en Cerdos. V Congreso Nacional de Reproducción Porcina y X Jornadas de Actualización Porcina. Río Grande, Argentina.
- Bergen, R. D., Crews, D. H., Jr., Miller, S. P. and McKinnon, J. J. 2003. Predicting lean meat yield in beef cattle using ultrasonic muscle depth and width measurements. *Canadian Journal Of Animal Science* 83:429–434
- Bergen, R., S. P. Miller, I. B. Mandell, and W. M. Robertson. 2004. Use of live ultrasound, weight and linear measurements to predict carcass composition of young beef bulls. *Canadian Journal Of Animal Science*, pp.23-35
- Brethour, J.R. 1994. Estimating marbling score in live cattle from ultrasound images using pattern recognition and neuronal network procedures. *Anim. Sci.*, 72. 1425-1430.
- Brethour, J.R. 2000. Using serial ultrasound measures to generate models of marbling and backfat thickness changes in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 78:2055-2061.
- Brethour, JR. 1992. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat in cattle. *J Anim Sci.* 70:1039-1044
- Brewer M.S., Zhu L.G., Mckeith F.K. 2001. Marbling effects on quality characteristics of pork loin chops: Consumer purchase intent, visual and sensory characteristics. *Meat Sci.*59, 153-163.
- Cagnozzo M., Te Pas M.F., Priem J., De Wit A.A., Pool M.H., Davoli R., Russo V. 2006. Comparison of prenatal muscle tissue expression profiles of two pig breeds differing in muscle characteristics. *J. Anim. Sci.* 84, 1-10.
- Cameron N.D and Enser M.B. 1991. Fatty acid composition of lipid in Longissimus dorsi muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Science* 29: 295-307.
- Camos J., Mourot J., Kouba M., Cherot P and Mounier A. 1995. Effets de régimes à teneurs variables en acide linoléique sur les caractéristiques des tissus adipeux: estimation de la disparition du C18:2. *Journées de la Recherche Porcine* 27, p. 291-296.
- Cava R. 1994. Efecto del sistema de alimentación en la composición y características de la grasa intramuscular de Cerdo Ibérico. PhD thesis, PhD thesis. University of Extremadura, Spain.
- Cava R. and Ramírez R. 2007. Carcass composition and meat quality of three different Iberian x Duroc genotype pigs. *Meat Science.*75.388-396.

- Cava R., Nieto, A. 2001. La obtención de materia prima de una adecuada aptitud tecnológica. Características de la grasa determinantes de la calidad del jamón: Influencia de los factores genéticos y ambientales, en Mundi-Prensa (Ed.) Tecnología del jamón Ibérico: De los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma, 1st ed. J. Ventanas, Madrid, págs. 99-130.
- Cava R., Ventanas J., Florencio Tejada J., Ruíz J and Antequera T. 2000. Effect of free-range rearing and α -tocopherol and copper supplementation on fatty acid profiles and susceptibility to lipid oxidation of fresh meat from Iberian pigs. *Food Chemistry* 68: 51-59.
- Cava, R., Ruiz, J., López-Bote, C., Martin, L., García, C., Ventanas, J., & Antequera, T. 1997. Influence of finishing diet on fatty acid profiles of intramuscular lipids, triglycerides and phospholipids in muscles of the Iberian pig. *Meat Sci.* 45, 263-270.
- Cava, R., Ventanas, J., Tejada, J.F., Ruiz, J., & Antequera, T. 2000. Effect of free-range rearing and α -tocopherol and copper supplementation on fatty acid profiles and susceptibility to lipid oxidation of fresh meat from Iberian pigs. *Food Chem.* 68, 51-59.
- Cisneros, F., Ellis, M., Miller, K.D., Novakofski, J., Wilson, E.R., & McKeith, F.K. 1996. Comparison of transverse and longitudinal real-time ultrasound scans for prediction of lean cut yields and fat-free lean content in live pigs. *J. Anim. Sci.* 74, 2566-2576.
- Clemente I., Azor P.J., Membrillo A., Jiménez A.M., Santos E., Diéguez E., Dorado G. 2008. "El Cerdo Ibérico: una agrupación racial caracterizada por su elevada diversidad genética". *Solo Cerdo Ibérico*, 19, pp. 21-28.
- Clemente López, I. 2012. Tesis Doctoral. Caracterización de la diversidad genética del cerdo ibérico a través del estudio de las diferencias fisicoquímicas de piezas cárnicas para consumo en fresco (illiopsoas y psoas menor) reguladas por su norma de calidad.
- Clemente López, I.1 y Moreno Rojas, R.2 2010. La producción de carne de cerdo en Andalucía, En la producción de carne en Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.
- Cordero, G., Isabel, B., Menoyo, D., Saza, A., Morales, J., Piñeiro, C., & López-Bote, C.J. 2010. Dietary CLA supplementation and gender modify fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular fat. *Span. J. Agric. Res.* 8, 962-970.
- D.O.E. Diario Oficial de Extremadura. 1990. Decreto 34/1990 de 15 de mayo, por el que se autoriza el Reglamento de la Denominación de Origen de "Jamones y Paletas Dehesa de Extremadura" y su Consejo Regulador.
- Damon M., Louveau I., Lefaucheur L., Lebret B., Vincent A., Leroy P., Sánchez M.P., Herpin P., Gondret F. 2006. Number of intramuscular adipocytes and fatty acid binding protein-4 content are significant indicators of intramuscular fat level in crossbred large white \times Duroc pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 1083-1092.
- Daza A. 1996. El sector del Porcino Ibérico. *Mundo Ganadero*. Nº 83, 30-34.
- Daza A., López- Bote C.J., Olivares A., Menoyo D and Ruíz J. 2007a. 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.
- Daza A., Mateos A., Rey A.I., & López-Bote C.J. 2005. Feeding level in the period previous to the late fattening phase influences fat composition at slaughter in free-ranged Iberian pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 59, 227-236.

- Daza A., Mateos A., Rey A.I., Ovejero I and López- Bote C.J. 2007b. Effect of duration of feeding under free-range conditions on production results and carcass and fat quality in Iberian pigs. *Meat Science* 76: 411-416.
- Daza A., Menoyo D and López- Bote C.J. 2009. Carcass traits and fatty acid composition of subcutaneous, intramuscular and liver fat from Iberian pigs fed in confinement only with acorns or a formulated diet. *Food science and technology international*. Vol. 15, Nº 6, 563-569.
- Daza A., Rey A.I., López-Carrasco C and López- Bote C.J. 2008. Influence of acorn size on growth performance, carcass quality and fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular fat from Iberian pigs fattened in confinement. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6: 230-235.
- Daza A., Rey A.I., Menoyo D., Bautista J.M., Olivares A and López- Bote C.J. 2007c. 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: 61-74.
- Daza, A., Mateos A., López-Carrasco C., Rey A., Ovejero I and López-Bote C.J. 2006. Effect of feeding system on the growth and carcass characteristics of Iberian pigs, and use of ultrasound to estimate. *Meat Sci.* 72:1-8.
- Daza, A., Mateos, A., Rey, A.I., Ovejero, I., López-Bote, C.J. 2005. Validez de las medidas de composición corporal obtenidas 'in vivo' mediante ultrasonidos en el cerdo Ibérico. XI Jornadas A.I.D.A. de Producción Animal, Zaragoza, 11-12 de mayo de 2005; ITEA (2005), Vol. Extra Nº 26, Tomo II, pp. 7566-758
- De Pedro E. 1987. Estudio de los factores sexo y peso de sacrificio sobre las características de la canal del cerdo Ibérico. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Córdoba, Spain.
- De Pedro E. 2001. Calidad de las canales y de los productos del cerdo Ibérico: Técnicas de control y criterios de calidad. *Porcino Ibérico: Aspectos claves*, p. 589-622.
- De Pedro, E. 1998. Producción de cerdo Ibérico: Se impone la calidad. *Solo Cerdo Ibérico* 1, 87-92.
- Dean H.K and Hilditch T.P. 1933. The body fats of the pigs III. The influence of body temperature on the composition of depot fats. *Biochemical Journal* 27: 1950-1961.
- Diario Oficial de la Unión Europea. 2010. Reglamento (UE) No 775/2010 de la comisión de 2 de septiembre de 2010 por el que se inscribe una denominación en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas [Los Pedroches (DOP)].
- Dobao M^a.T., Poza M^a.L., Rodrigañez J & Silio L. 1985. Diferencias en la composición de la canal de tres estirpes de cerdo ibérico. *An. INIA. Ser. Ganadera.* 22, 99-112.
- Dobao M^a.T., Rodrigañez J., Silio L., Toro M.A., De Pedro E & García de Siles J.L. 1987. Crecimiento y características de canal en cerdos Ibéricos, Duroc-Jersey X Ibérico y Jiaying X Ibérico. *Inv. Agrar.: Prod. Sanid. Anim.* 2, 9-23.
- Dodson MV, Hausman GJ, Guan L, Du M, Rasmussen TP, Poulos SP, Mir P, Bergen WG, Fernyhough ME, McFarland DC, Rhoads RP, Soret B, Reecy JM, Velleman SG, Jiang Z. 2010. Lipid metabolism, adipocyte depot physiology and utilization of meat animals as experimental models for metabolic research. *Int J Biol Sci*, 6:691–699.
- Domenechini C., Di Giancamillo A., Corino C. 2006. Conjugated linoleic acids (CLAs) and white adipose tissue: how both in vitro and in vivo studies tell the story of a relationship. *Histol. Histopathol.* 21, 663-672.
- Durán y Lizaso. 1997. Alimentación del Cerdo Ibérico. *Anaporc.* 170, 82-106.

- Dutra W.A., Jr. Ferreira A.S., Tarouco J.U., Donzele J. L., Euclides R., F.Albino. 2001. Prediçao de características cuantitativas de carcas de suinos pela técnica de ultra-sonografía en tempo real. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30:1251-1257.
- Eggert J.M., Schinkel A.P., Mills S.E., Forrest J.C., Gerrard D.E., Farrand E.J., Bowker B.C and Wynveen E.J. 1998. Growth and characterization of individual backfat layers and their relationship to pork carcass quality. Purdue University. Swine Day West Lafayette.14-20.
- Enser M., Hallett K., Hewitt B., Fursey Gaj and Wood J.D. 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science* 42: 443-456.
- Enser, M. 1991. In *Analysis of Oilseeds, Fats and Fatty Foods*, eds J. B. Rossell & J. L. R. Pritchard. Elsevier Applied Science, Barking, UK, p. 329.
- Espárrago, F., Cabeza de Vaca, F., Molina, M. R. & Guijarro, J. L. 2001. La industria del cerdo Ibérico. In C. Buxadé & A. Daza
- Etherton T.D and Allen C.E. 1980. Metabolic Responsiveness of Different Size Adipocytes to Fasting and Refeeding in the Pig. *J. Nutr.* 110, 1169-1175.
- Etherton T.D. 1980. Subcutaneous adipose tissue cellularity of swine with different propensities for adipose tissue growth. *Growth* 44, 182-191.
- Fernández X., Monin G., Talmant A., Mourot J., Lebret B. 1999a. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat-1, Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of m. longissimus lumborum. *Meat Sci.* 53, 59-65.
- Fernández, M., Ordóñez, J.A., Cambero, I., Santos, C., Pin, C., & De la Hoz, L. 2006. Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications. *Food Chem.* 101, 107–112.
- Fernández, X., G. Monin, A. Talmant, J. Mourot, and B. Lebret. 1999b. Influence of intramuscular fat content on the quality pig meat. 2. Consumer acceptability of m. longissimus lumborum. *Meat Science*, 53: 67-72
- Fisher, K., Lindner, J. P., Judas, M., & Hóreth, R. (2006). Schlachtkörperzusammensetzung und Gewebebeschaffenheit von schweren Schweinen. *Archives of Animal Breeding*, 49, 279–292.
- Flint DJ & Vernon RG. 1993. Hormones and adipose tissue growth.1993. In *Vertebrate Endocrinology: Fundamentals and Biomedical Implications*, pp 469–494. Eds MP Schreibman, CG Scanes & PKT Pang. Orlando: Academic Press
- Flores J., Biron C., Izquierdo L & Nieto P. 1988. Characterization of green hams from Iberian pigs by fast analysis of subcutaneous fat. *Meat Sci.* 23, 253–262.
- Folch, J., Lees, M., & Stanley, G.H.S. 1957. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497-508.
- Fortin A. 1986. Development of backfat and individual fat layers in the pig and its relationship with carcass lean. *Meat Science* 18: 255-270.
- FUNDECYT. 2008. Fundación para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en Extremadura. Centro tecnológico virtual del Cerdo Ibérico.
- García-Casco, J., A. Fernández, E. de Pedro, C. Rodríguez, L. Silió. 2008. Moderado antagonismo genético entre rendimiento en piezas nobles y contenido en grasa intramuscular en cerdos Ibéricos ITEA, Vol. 104 (2), 169-174
- Gardan D., Gondret F., Van Den Maagdenberg K., Buysc N., De Smetb S., Louveau I. 2008. Lipid metabolism and cellular features of skeletal muscle and subcutaneous adipose tissue in pigs differing in IGF-II genotype. *Domest. Anim. Endocrinol.* 34, 45-53.

- Gerì G., Zappa A., Franci O. 1986. Influenza dello sviluppo corporeo e della localizzazione sulla cellularità del tessuto adiposo nei suini. *Zoot. Nutr. Anim.* 12, 9-24.
- Gerwing M.F. 1989 . Sonographische Darstellung von Milz und Prostata des Hundes unter besonderer Berücksichtigung der Messung ihrer Lage und Grosse sowie des sonographischen Bildes der pathologischen Veränderung. Das Hydroperitoneum zur besseren Differenzierung abdominaler Organe. Tesis Doctoral, pp. 2-20. Giessen, Alemania.
- Ginther O. 1986. (Ed.). Ultrasonic imaging and reproductive events in the mare, pp. 1-64. Equiservices, Cross Plains.
- Gondret F., Lebret B. 2002. Feeding intensity and dietary protein level affect adipocyte cellularity and lipogenic capacity of muscle homogenates in growing pigs, without modification of the expression of sterol regulatory element binding protein. *J. Anim. Sci.* 80, 3184-3193.
- Greiner, S. P., G. H. Rouse, D. E. Wilson, L. V. Cundiff, T. L. Wheeler. 1997. Predicting Carcass Retail Product in Beef Steers at Variable Fat Thickness Endpoints. Iowa State University Industry Report A.S. Leaflet R1429
- Greiner, S. P., Gene H. Rouse, Doyle E. Wilson, Larry Cundiff. 1996. Predicting Beef Carcass Retail Product Using Real-time Ultrasound and Live Animal Measures: Progress Report. Iowa State University Industry Report A.S. Leaflet R1327
- Greiner, S. P., Rouse, G. H., Wilson, D. E., Cundiff, L. V. and Wheeler, T. L. 2003a. Accuracy of predicting weight and percentage of beef carcass retail product using ultrasound and live animal measures. *J. Anim. Sci.* 81: 466-473.
- Greiner, S.P., Rouse, G.H., Wilson, D.E., Cundiff, L.V., & Wheeler, T.L. 2003b. Prediction of retail product weight and percentage using ultrasound and carcass measurements in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81, 1736-1742.
- Gresham J.D., S. R. McPeake, J. K. Bernard and H. H. Henderson. 1992. Commercial adaptation of ultrasonography to predict pork carcass composition from live animal and carcass measurements. *J. Anim. Sci.* 70:631-639.
- Hassen, A, D. E. Wilson, V. R. Amin and G. H. Rouse. 1999. Repeatability of ultrasound-predicted percentage of intramuscular fat in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, Vol 77, Issue 6: 1335-1340
- Hassen, A., D. E. Wilson, V. R. Amin, G. H. Rouse, and C. L. Hays. 2001. Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment. *J. Anim. Sci.* 79:11-18
- Hassen, A., D. E. Wilson¹, R. L. Willham, G. H. Rouse, and A. H. Trenkle. 1998. Evaluation of ultrasound measurements of fat thickness and longissimus muscle area in feedlot cattle: Assessment of accuracy and repeatability. *Canadian Journal of Animal Science* , 1998, 78 (3): 277-285, 10.4141 / A97-102
- Hassen, A., Doyle E. Wilson, Gene H. Rouse, Richard L. Willham. 1997. Prediction of Percent Retail Product, Retail Product Weight and Hot Carcass Weight From Serially Measured Live Animal Traits. Iowa State University Industry Report A.S. Leaflet R1431
- Hauser N., Mourot J., De Clercq L., Genart C., Remacle C. 1997. The cellularity of developing adipose tissues in Pietrain and Meishan pigs. *Reprod. Nutr. Dev.* 37, 617-625.
- Hausman G.J, Campion D.R., Thomas G.B. 1983. Adipose tissue cellularity and histochemistry in fetal swine as affected by genetic selection for high or low backfat. *J. Lipid. Res.* 24, 223-228.

- HAZEL, L. N. AND E. A. KLINE .1959. ULTRASONIC MEASUREMENT OF FATNESS IN SWINE . *J Anim Sci* 1959. 18:815-819.
- Hedrick, H.B., 1983. Methods of estimating live animal and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 57: 1316-1327.
- Henry Y. 1977. Developpement morphologique et metabolique du tissu adipeux chez le porc, influence de la sèlection de l'alimentation et du mode d'elavage. *Ann Biol Anim Biochem Biophys* 17, 923-952
- Hernández Bautista Jorge, Aquino López Jesica Leticia, Ríos Rincón Francisco Gerardo. 2013. Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *NACAMEH Vol. 7, No. 2*, pp. 41-64
- Herpin P., Le Dividich J., Amaral N. 1993. Effect of selection for lean tissue growth on body composition and physiological state of the pig at birth. *J. Anim. Sci.* 71, 2645-2653.
- Herring, D.S., Bjornton, G. 1985. Physics, facts, and artifacts of diagnostic ultrasound, *Vet. Clin. North Am. (Small Animal Practice)*, 15:1107-1122.
- Herring, W. O., D. C. Miller, J. K. Bertrand, and L. L. Benyshek. 1994. Evaluation of machine, technician, and interpreter effects on ultrasonic measures of backfat and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 72:2216–2226
- Heyer A & Lebret B. 2007. Compensatory growth response in pigs: effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *J. Anim. Sci.* 85, 769–778.
- Hood R.L and Allen C.E. 1977. Cellularity of porcine adipose tissue: effects of growth and adiposity. *J. Lipid. Res.* 18, 275-84.
- Houghton P.L and L. M. Turlington. 1992. Application of ultrasound for feeding and finishing animals: a review. *J Anim Sci* 70:930-941.
- Hovenier, R., Kanis, E., van Asseldonk, Th., Westerink, N.G. 1992. Genetic parameters of pig meat quality traits in a halothane negative population. *Livestock Production Science* 32, 309-321.
- Huang F.R., Zhan Z.P., Luo J., Liu Z.X & Peng J. 2008. Duration of dietary linseed feeding affects the intramuscular fat, muscle mass and fatty acid composition in pig muscle. *Liv. Sci.* 118, 132-139.
- Isabel B., Cordero G., Olivares A., Daza A and López-Bote C.J. 2014. Differential response of Iberian and lean pig crossbreeds to dietary linoleic acid administration. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12: 419-426.
- Izquierdo M., D. Ayuso, F. Hernández, and M.A. Pérez. 2010. Effect of sex and slaughter weight on carcass traits measured in vivo with ultrasound and post-mortem scanning in live Iberian pigs. 7th Internacional Symposium on Mediterranean Pig. Session 5:82-82.
- Izquierdo, M. M., D. E. Wilson. G. H. Rouse, and V. R. Amin., 1996a. Relationship between carcass end points and USDA marbling quality Grades: A progress report. *Iowa State Univ. Anim. Sci Leaflet R1336*, Ames, Iowa.
- Izquierdo, M. M., V. R. Amin, D. E. Wilson, and G.H. Rouse. 1996b. Models to predict intramuscular fat percentage in live beef animals using real-time ultrasound and image parameters: Report on data from 1991 to 1994. *Iowa State Univ. Anim. Sci. Leaflet R1324*, Ames, Iowa
- Jiang A.A., Li M.Z., Liu H.F., Bai L., Xiao J., Li X.W. 2014. Higher expression of acyl-CoA dehydrogenase genes in adipose tissues of obese compared to lean pig breeds. *Genet. Mol. Res.* 13, 1684-1689.

- Kempster A., D. Arnall, J. C. Alliston and J. D. Baker. 1982. An evaluation of two ultrasonic machines (Scanogram and Danscanner) for predicting the body composition of live sheep. *Anim. Prod.* 34:249-255.
- Koch, S. Brand, N. Männickae, M. Wicke, D. Mörlein, K. Raum. 2012. Prediction of the intramuscular fat content in loin muscle of pig carcasses by quantitative time-resolved ultrasound. *Meat Sci.* 90:216-225.
- Koots, K. R., J. R. Gibson, C. Smith, and J. W. Wilton. 1994. Analyses of published genetic parameters for beef production traits. 1. Heritability. *Anim. Breed. Abstr.* 62(5):309.
- Kouba M., Enser M., Whitting F.M., Nute G.R & Wood J.D. 2003. Effect of high linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition and meat quality in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 81, 1967-1979.
- Kris-Etherton PM, Shaffer TD, Yu-Poth S, Huth P, Moriarty K, Fishel V, Hargroe RL, Zhao G, Etherton TD 2000 Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 179S-88S. Lakshmanan S., T.
- Lillie R.D., Ashburn L.L. 1943. Supersaturated solutions of fat stains in dilute isopropanol for demonstration of acute fatty degeneration not shown by Herxheimer's technique. *Arch. Pathol.* 36, 432-440.
- Lin C.F., Gray J.J., Asghar A., Buckely D.I., Booren A.M and Flegal C.J. 1989. Effects of dietary oils and α -tocopherol supplementation on lipid composition and stability of broiler meat. *J. Food. Sci.*, 54, 1457-1460.
- Lo, L. L, D. G. McLaren², F. K. McKeith, R. L. Fernando, and J. Novakofski. 1992. Genetic analyses of growth, real-time ultrasound, carcass, and pork quality traits in Duroc and Landrace pigs: 11. Heritabilities and correlations. *J. Anim. Sci.* 70:2387-2396
- Lohss E. 1988. Abdominelle Sonographie beim Kleintier. Teil I: Physikalische Grundlagen, Geràrechnik. *Tierarzti. Prax.* 16: 423-426.
- Lonergan S.M., Huff-Lonergan E., Rowe L.J., Kuhlert D.L & Jungst S.B. 2001. Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *J. Anim. Sci.* 79, 2075-2085.
- Lonergan S.M., Stalder K.J., Huff-Lonergan E., Knight T.J., Goodwin R.N., Prusa K.J., Beitz D.C. 2007. Influence of lipid content on pork sensory quality within pH classification. *J. Anim. Sci.* 85, 1074-1079.
- López- Bote C.J. 1998. Sustained utilization of the Iberian pig breed. *Meat Science* 49: S17-S27.
- López-Bote C. J and A.I. Rey. 2004. Efecto de la alimentación en la composición y características del magro. *Porci.* 84:60-77.
- López-Carrasco C., Contreras J.M., Daza A., Rey A.I & López-Bote C.J. 2003. Fatty acid composition and carcass characteristics of Iberian pigs fed in either free-range or in confinement with acorns and grass or a formulated diet. In: *Proceedings of the 54th EAAP Congress, Rome (Italy), September 2003.*
- Lorenzo, J. M., Montes, R., Purriños, L., Cobas, N. & Franco, D. (2012). Fatty acid composition of Celta pig breed as influenced by sex and location of fat in the carcass. *Journal of the Science and Food Agriculture* 92, 1311-1317.
- Lough, D.S., M.B. Solomon, T.S. Rumsey, T.H. Elsasser, L.L. Styler, S. Kahl, and G.P. Lynch. 1991. Effects of dietary canola seed and soy lecithin in high-forage diets on performance, serum lipids and carcass characteristics of growing ram lambs. *J. Anim. Sci.* 69:3292-3298.
- MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). 2014. Página web: <http://www.mapa.es/es/estadistica/infoestad.html>

- Mateos San Juan, A. 2003. El cerdo Ibérico. Factores que influyen en el crecimiento y en las características de la canal. *Ganadería*. 42-47.
- Mattson F., Groundy S. M., Kligman A.M. 1985. Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *Journal of Lipid Research (USA)* v26, 194-202.
- Mayoral A.I., Dorado M., Guillén M.T., Robina A., Vivo J.M., Vázquez C & Ruiz, J. 1999. Development of meat and carcass quality characteristics in Iberian pigs reared outdoors. *Meat Sci.* 52, 315-324.
- Mayoral A.I., Guillén M^a.T., Vivo J.M y Robina A. 2005. Anatomía aplicada a la carnización del Cerdo Ibérico. En: *Las carnes de Extremadura. El Cerdo Ibérico (2^a edición revisada)*. Gómez Nieves J.M^a y Robina A. (editores). Junta de Extremadura. Consejería de Sanidad y Consumo. 41-73.
- McEvoy F.J., Strathe A.B., Madsen M.T and Svalastoga E. 2007. Changes in the relative thickness of individual subcutaneous adipose tissue layers in growing pigs. *Acta Veterinaria Scandinavica* 49.
- McLaren D G, J. Novakofski, D. F. Parrett, L. L. Lo, S. D. Singh, K. R. Neumann, and F. K. McKeith. 1991. A study of operator effects on ultrasonic measures of fat depth and longissimus muscle area in cattle, sheep and pigs *J Anim Sci* 69: 54-66.
- McLaren D.G., F. M. McKeith and J. Novakofski. 1989. Prediction of carcass characteristics at market weight from serial real-time ultrasound measures of backfat and loin eye area in the growing pig. *J. Anim. Sci.* 67:1657-1667.
- McNeil M. D. 1983. Choice of a prediction equation and the use of the selected equation in subsequent experimentation. *J. Anim. Sci.* 57:1328-1336.
- Melgar J., Cid C., Astiasarán I & Bello J. 1991. Influencia de la alimentación del cerdo ibérico en las características de los compuestos relacionados con la grasa del jamón curado. *Grasas y Aceites*, 42 (1), 51-55.
- Menaya C., Benito J., Vazquez C., Ferrera J.L & García Casco, J.M. 1998. Carcasses differences between Iberian pigs slaughtered at 60 and 90 Kg fresh consumption: the primor pig. *International Symposium on Basis of the Wuality of Typical Mediterranean Animal Products (EAAP)* 90, 479-482.
- Mersmann H.J. 1986. Postnatal expression of adipose tissue metabolic activity associated with a porcine genetic obesity. *J. Anim. Sci.* 63, 741-746.
- Mersmann, H. J. 1982. Ultrasonic determination of backfat depth and loin area in swine. *J. Anim. Sci.* 54, 268-275.
- Miller G.J., Field R.A., Medieros L and Nelms G. E .1987. Lipid characteristics in fresh and broiled loin and round steaks from concentrate-fed and pasture-grazed steers. *J. Food. Sci.* 52, 526-529.
- Moeller S.J and L. L. Christian. 1998. Evaluation of the accuracy of real-time ultrasonics measurements of backfat and loin muscle area in swine using multiple statistical analysis procedures. *J. Anim. Sci.* 76:2503-2514.
- Moeller S.J. 2002. Evolution and use of ultrasonic technology in the swine industry. *J. Anim. Sci.* 80:E19-E27.
- Monahan E. J., Buckley D.J., Morrissey R.A., Lynch R.B y Gray J.I. 1992. Influence of dietary fat and α -tocopherol supplementation on lipid oxidation in pork. *Meat Science.* 31, 229-241.
- Monziols M., Bonneau M., Davenel A and Kouba M. 2007. Comparison of the lipid content and fatty acid composition of intermuscular and subcutaneous adipose tissues in pig carcasses. *Meat Science* 76: 54-60.
- Moody W.G and S. E. Zobrisky. 1966. Study of backfat layers of swine. *J. Anim. Sci.* 25:809-813.

- Mörlein D., Rosner F., Brand S., Jenderka K.V. & Wicke, M. 2005. Nondestructive estimation of the intramuscular fat content of the longissimus muscle of pigs by means of spectral analysis of ultrasound echo signals. *Meat Sci.* 69, 187–199.
- Mourot J, Kouba M and Bonneau M. 1996. Comparative study of in vitro lipogenesis in various adipose tissues in the growing Meishan pig: Comparison with the Large White pig (*Sus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology* 115: 383-388.
- Mourot J. 2001. Mise en place des tissus adipeux souscutanés et intramusculaires et facteurs de variation quantitatifs et qualitatifs chez le porc. *INRA Prod. Anim.* 14, 355-363.
- Nakajima I., Oe M., Ojima K., Muroya S., Shibata M., Chikuni K. 2011. Cellularity of developing subcutaneous adipose tissue in Landrace and Meishan pigs: Adipocyte size differences between two breeds. *Anim. Sci. J.* 82, 144-149.
- Narvaéz-Rivas M., León-Camacho M and Vicario I.M. 2009. Fatty acid and triacylglycerol composition of the subcutaneous fat from iberian pigs fattened on the traditional feed: "Montanera". Effect of anatomical location and length of feeding. *Grasas y Aceites* 60: 238-247.
- Newcom D.W., Baas T.J., Schwab C.R & Stalder K.J. 2005. Genetic and phenotypic relationships between individual subcutaneous backfat layers and percentage of longissimus intramuscular fat in Duroc swine. *J. Anim. Sci.* 83, 316-323.
- Newcom D.W., T. J Baas and J. F. Lampe. 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound. *J. Anim. Sci.* 80:3046-3052.
- Nilzén V., Babol J., Dutta P.C., Lundeheim N., Enfält A.C and Lundström K. 2001. Free range rearing of pigs with access to pasture grazing - effect on fatty acid composition and lipid oxidation products. *Meat Science* 58: 267-275.
- Niñoles L., A. Mulet, S. Ventanas, J. Benedito. 2010. Ultrasonic assessment of the melting behaviour in fat from Iberian dry-cured hams. *Meat Sci.* 85:26-32.
- Niñoles L., Clemente G., Ventanas S and Benedito J. 2007. Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Science* 76: 102-111.
- Nürnberg K, Wegner J, Ender K. 1998. Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. *Liv. Prod. Sci.* 56, 145-156.
- Nürnberg K, Wegner J. 1990. Fatty acid composition and adipocyte diameter of backfat in boars during growth. *Arch. Tierz.* 34, 51-56.
- Pascual JV, Rafecas M, Canela MA, Boatella J, Bou R, Baucells MD, Codony R. 2006. Effect of increasing amounts of a linoleic-rich dietary fat on the fat composition of four pig breeds. Part I: Backfat fatty acid evolution. *Food Chemistry* 96: 538-548.
- Peinado B., Poto A., Gil F y López G. 2004. Characteristics of the carcass and meat of the Chato Murciano pig. *Livestock Production Science.* 90, 285-292.
- Peinado J., Medel P., Fuentetaja A & Mateos G.G. 2008. Influence of castration of females on growth performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined to the dry-cured industry. *J. Anim. Sci.* 86, 1410-1417.
- Pérez, J.L. 2008. Balance del sector porcino Ibérico en el 2007 y proyecciones de futuro. *Mundo Ganadero*, 206, 24-27.
- Pérez-Palacios T, Ruiz J, Tejada JF, Antequera T. 2009. Subcutaneous and intramuscular lipid traits as tools for classifying Iberian pigs as a function of their feeding background. *Meat Science* 81: 632-640.
- Poulos S., Hausman G. 2005. Intramuscular adipocytes-potential to prevent lipotoxicity in skeletal muscle. *Adipocytes* 1, 79-94.

- Ragland D., C. R. Thomas, B. G. Harmon, R. Miller and O. Adeola. 1998 .Nutritional Evaluation of Two Agroindustrial By-Products for Ducks and Pigs1. *J. Anim. Science* 76:2845–2852.
- Ragland K. D. 1998. Assessment of intramuscular fat, lean growth, and lean composition using real-time ultrasound. Ph.D. Diss. Iowa State University, Ames.
- Ragland,2 D., C. R. Thomas, B. G. Harmon, R. Miller, and O. Adeola. Nutritional Evaluation of Two Agroindustrial By-Products for Ducks and Pigs1. *J. Anim. Sci.* 1998. 76:2845–2852.
- Raj S, Skiba G, Weremko D, Fandrejowski H, Migdał W, Borowiec F, Poławska E. 2010. The relationship between the chemical composition of the carcass and the fatty acid composition of intramuscular fat and backfat of several pig breeds slaughtered at different weights. *Meat Science* 86: 324-330.
- Ramírez M. R, Cava, R. 2007. Effect of Iberian x Duroc genotype on dry-cured loin quality. *Meat Sci.* 76, 333-341.
- Renaudeau y Mourot.2007. A comparison of carcass and meat quality characteristics of Creole and Large White pigs slaughtered at 90 Kg. *Meat Science* 76.165-171.
- Rey A., López-Bote C.J & Sanz Arias R. 1997. Effect of extensive feeding on α -tocopherol concentration and oxidative stability of muscle microsomes from Iberian pigs. *Anim. Sci.* 65, 515-520.
- Rey A.I., Daza A., López-Carrasco C & López-Bote C.J. 2006. Feeding Iberian pigs with acorns and grass in either free-range or confinement affects the carcass characteristics and fatty acids and tocopherols accumulation in *Longissimus dorsi* muscle and backfat. *Meat Sci.* 73, 66–74.
- Ruiz 2000 Ruiz-Carrascal, J., Ventanas, J., Cava, R., Andre´s, A. I., García, C. 2000. Texture and appearance of dry cured ham as affected by fat content and fatty acid composition. *Food Research International*, 33,91–95.
- Ruíz J, Ventanas J, Cava R, Andrés A.I and García C. 1999. Volatile compounds of dry-cured Iberian ham as affected by the length of the curing process. *Meat Science* 52: 19-27.
- Ruiz J., Cava R., Antequera T., Martín L., Ventanas J & López-Bote C.J. 1998. Prediction of the feeding background of Iberian pigs using the fatty acid profile of subcutaneous, muscle and hepatic fat. *Meat Sci.* 49, 155-163.
- Ruíz J., López Bote C. 2002. Improvement of dry-cured hams quality by lipid modification throgh dietary means. *Advances in the quality of meat and meat products. Research Singpost, Trivandrum, Kerda, India.* 255-271.
- Sánchez L., J.A. González-Carril y M. Otero. 2001. Caracterización etnológica del cerdo Celta. *Archivos de zootecnia* vol. 49, núm. 185-186, p. 177.
- Schwab, C. R., T.J. Baas. 2004. Comparison of serial ultrasonic measurements of loin muscle area, backfat, and intramuscular fat percentage between pigs sired by boars from two different time periods. *Iowa State University Animal Industry Report Leaflet R1945.* Ames, Iowa.
- Selliers P. 1998. Genetics of meat and carcass traits. in *Genetics of the Pig* Eds M F Rothschild and A Ruvinsky CAB Internation.
- Serra X., Gil F., Pérez-Enciso M., Oliver M.A., Vázquez J.M., Gisper M., Díaz J., Moreno F., Latorre R y Noguera J.L. 1998. A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian (Guayerbas line) and Landrace pigs. *Livestock Production Science.* 56, 215-223.
- Serrano M.P., Valencia D.G., Fuentetaja A., Lázaro R. & Mateos, G. 2009. Influence of feed restriction and sex on growth performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared indoors. *J. Anim. Sci.* 87, 1676-1685.

- Serrano M.P., Valencia D.G., Nieto M., Lázaro R y 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 system. *Meat Science*.78, 420-428.
- Silió L. 2000. Iberian pig breeding programme. In *Developing breeding strategies for lower input animal production environments*, Galal S, Boyazoglu J, Hammond K (eds), ICAR Technical Series, Roma, 511-520.
- Smith DR, Knabe DA, Smith SB. 1996. Depression of lipogenesis in swine adipose tissue by specific dietary fatty acids. *J. Anim. Sci.* 74, 975-983.
- Smith S, W. R. Jones, J. D. Hough, D. L. Huffman, W. B. Mikel, and D. R. Mulvaney. 1992 Prediction of carcass characteristics by real-time ultrasound in barrows and gilts slaughtered at three weights *J Anim Sci* 1992 70: 2304-2308.
- Stanford, K., S.D.M. Jones and M.A. Price, 1998. Methods of predicting lamb carcass composition: A review. *Small Rumin. Res.*, 29: 241-254.
- Steffen DG, Chai EY, Brown LL, Mersmann HJ. 1978. Effects of diet on swine glyceride lipid metabolism. *J. Nutr.* 108, 911-918.
- Szabó A, Viski A, Egyházi Z, Házas Z, Horn P, Romvári R. 2010. Comparison of Mangalica and Hungarian Large White pigs at identical bodyweight: 1. Backfat histology. *Arch. Tierz.* 53, 141-146.
- Tait R. G., Jr., D. E. Wilson, and G. H. Rouse. Prediction of retail product and trimmable fat yields from the four primal cuts in beef cattle using ultrasound or carcass data. *J Anim Sci* 2005 83: 1353-1360.
- Tejeda JF, Gandemer G, Antequera T, Viau M and García C 2002. Lipid traits of muscles as related to genotype and fattening diet in Iberian pigs: total intramuscular lipids and triacylglycerols. *Meat Science* 60, 357-363.
- Tejerina D, García-Torres S, Cabeza De Vaca M, Vázquez FM, Cava R. 2012a. Effect of production system on physical-chemical, antioxidant and fatty acids composition of *Longissimus dorsi* and *Serratus ventralis* muscles from Iberian pig. *Food Chemistry* 133: 293-299.
- Tejerina D, García-Torres S, De Vaca Mc, Vázquez FM, Cava R. 2012b. Study of variability in antioxidant composition and fatty acids profile of *Longissimus dorsi* and *Serratus ventralis* muscles from Iberian pigs reared in two different Montanera seasons. *Meat Science* 90: 414-419.
- Terry C.A., J.W. Savell, H.A. Recio and H. R. Cross. 1989. Using Ultrasound Technology to Pork Carcass Composition. *J. Anim. Sci.* 67:1279-1284.
- Teye G.A., Sheard P.R., Whittington F.M., Nute G.R., Stewart A. & Wood, J.D. 2006.. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality. *Meat Sci.* 73, 157-165.
- Tibau, J., Puigvert, X., Soler, J., Trilla, N., Diestre, A., Gispert, M., Fernández, J. y Manteca, X., 1997.- *Anaporc*, 171 : 74 – 91
- Turlington, L. M. 1990. Live animal evaluation of swine and sheep using ultrasonics. M. S. thesis. Kansas State Univ., Manhattan.
- Vargas Giraldo, JD y Aparicio Tovar, MA, 2001. Análisis de la Evolución de los censos y los Sistemas de Producción del cerdo ibérico. En: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Ed.), *Revista Española de Estudios agrosociales y Pesqueros* n ° 193, de Madrid
- Velotto S, Vitale C, Crasto A. 2012. Muscle fibre types, fat deposition and fatty acid profile of Casertana versus Large White pig. *Animal Science Papers and Reports* vol. 30, 35-44.

- Ventanas J., A. Jurado, F. Bonilla, and E. Muriel. 2001. Panorámica de la investigación acerca de productos del cerdo Ibérico: evolución y perspectivas. *Solo Cerdo Ibérico*, 6:117-121.
- Ventanas S, Tejada JF, Estévez M. 2008. Chemical composition and oxidative status of tissues from Iberian pigs as affected by diets: Extensive feeding v. oleic acid- and tocopherol-enriched mixed diets. *Animal* 2: 621-630.
- Ventanas S, Ventanas J, Jurado A, Estévez M. 2006. Quality traits in muscle biceps femoris and back-fat from purebred Iberian and reciprocal Iberian×Duroc crossbred pigs. *Meat Science* 73: 651-659.
- Ventanas S, Ventanas J, Ruiz J, Estévez M. 2005. Iberian pigs for the development of high-quality cured products. In *Recent Developments in Agricultural and Food Chemistry*; 2005; Singpost, Trivandrum, India. pp. 27-53.
- Ventanas, J., A.I. Andrés, R. Cava, J.F. Tejada y J. Ruiz. 1999. Composición y características de la grasa en el cerdo Ibérico e influencia sobre la calidad del jamón. I Jornadas sobre el cerdo Ibérico y sus productos. Guijuelo. Salamanca. 22-25 Junio, 1999.
- Viera-Alcaide I, Narváez-Rivas M, Vicario IM, Graciani-Constante E, León-Camacho M. 2009. Different fattening systems of Iberian pig according to 1-alkene hydrocarbon content in the subcutaneous fat. *Grasas y Aceites* 60: 68-76.
- Wall B., G. H. Rouse, D. E. Wilson, R. G. Tait, Jr., and W. D. Busby . Use of ultrasound to predict body composition changes in steers at 100 and 65 days before slaughter. *J Anim Sci* 2004 82: 1621-1629.
- Wessels, G.. Weber, P.1983. *Physikalische Grundlagen*. In: Braun, B., Günther, R., Schwerk,W. (ed.): *Uluaschalldiagnostik, Lehrbuch und Atlas*. Ecomed, Augsburg, 1983.
- Whittemore, C.T. (1993) *The science and practice of pig production*. Longman.
- Widmer, W.R., 1993. *Basic Principles of Ultrasound Imaging*. Veterinary Diagnostic Ultrasound. Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.
- Williams, R. E., Bertrand, J. K., Williams, S. E. and Benyshek, L. L. 1997. Biceps femoris and rump fat as additional measurements for predicting percent retail product and trimmable fat in beef carcasses. *J. Anim. Sci.* 75: 7–13.
- Wilson, D. E. 1992. Application of ultrasound for genetic improvement. *J. Anim. Sci.* 70:973–983.
- Wilson, D. E., H. Zhalg, g. H. Rouse, M. M. Izquierdo, D.A. Duello, and P. N. Hinz. 1993a. Using real-time ultrasound to predict intramuscular fat in the longissimus dorsi of live beef animals: A project report. *Iowa State Univ. Anim. Sci. Leaflet R1017*: 29. Ames, Iowa.
- Wilson, D. E., R. L. Willham, S. L. Northcutt, and G. H. Rouse. 1993b. Genetic parameters for carcass traits estimated from Angus field records. *J. Anim. Sci.* 71:2365
- Wilson, D.E., 1994. Real-time ultrasonic evaluation of beef cattle. Iowa State University Real-Time Ultrasound Precertification Training Program
- Wimmers K, Murani E, Te Pas MF, Chang KC, Davoli R, Merks JW, Henne H, Muranovia M, Da Costa N, Harlizius B, Schellander K, Böll I, Braglia S, De Wit AA, Cagnazzo M, Fontanesi L, Prins D, Ponsuksili S. 2007. Associations of functional candidate genes derived from gene-expression profiles of prenatal porcine muscle tissue with meat quality and muscle deposition. *Anim. Genet.* 38, 474-484.
- Wiseman, T. G., D. C. Mahan, S. J., Moeller, J. C. Peters, N. D. Fastinger, S. Ching and Y. Y. Kim. 2007. Phenotypic measurements and various indices of lean and fat

- tissues development in barrows and gilts of two genetics lines from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.* 85:1816-1824.
- Wood J.D., Nute G.R., Richardson R.I., Whittington F.M, Southwood O., Plastoe G., Mansbridge R., Da Costa N. & Chang, K.C. 2004. Effects of breed diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Sci.* 67, 651-667.
- Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78: 343-358.
- Yang KX, Ma JW, Guo YM, Guo TF, Zhao YG, Ding NS, Betti M, Plastow GS, Huang LS. 2010. Correlations between fat depot traits and fatty acid composition in abdominal subcutaneous adipose tissue and longissimus muscle: Results from a White Duroc × Erhualian intercross F 2 population. *Journal of Animal Science* 88: 3538-3545.
- Youssao, I., Verleyen, V., Michaux, C., & Leroy, P.L. (2002). Choice of probing site for estimation of carcass lean percentage in Piétrain pig using the real-time ultrasound. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 6, 195-200.
- Zamora-Rojas E, Garrido-Varo A, De Pedro-Sanz E, Guerrero-Ginel JE, Pérez-Marín D. 2013. Prediction of fatty acids content in pig adipose tissue by near infrared spectroscopy: At-line versus in-situ analysis. *Meat Science* 95: 503-511.
- Zhao SM, Ren LJ, Chen L, Zhang X, Cheng ML, Li WZ, Zhang YY, Gao SZ. 2009. Differential expression of lipid metabolism related genes in porcine muscle tissue leading to different intramuscular fat deposition. *Lipids*, 44, 1029-1037.
- Zheng GS, Mei ZS. 2009. Physiology, affecting factors and strategies for control of Pig meat intramuscular Fat. *Recent Pat. Food Nutr. Agric.* 1, 59-74.

LISTADO DE PUBLICACIONES

En esta sección se presenta un listado en el que se recogen todas las publicaciones a las que ha dado lugar esta Tesis doctoral, a nivel nacional e internacional

PUBLICACIONES EN REVISTAS ISI

AUTORES: D. Ayuso, A. González, F. Hernández, F. Peña, M. Izquierdo

TITULO: Effect of sex and final fattening on ultrasound and carcass traits in Iberian pigs.

REFERENCIA: Meat Science, 96 (2014) 562–567.

ISSN: 0309-1740

IF: 2,231 (2º cuartil) 34/123 en Food Science & Technology

AUTORES: D. Ayuso, A. González, F. Hernández, J. M. Corral, M. Izquierdo

TITULO: Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals

REFERENCIA: Journal of Animal Science, 2013.91:1884–1892.

ISSN: 0021-8812

IF: 1,920 (1º cuartil) 6/52 en Agriculture, Dairy & Animal Science

AUTORES: D. Ayuso, A. González, F. Peña, M. Izquierdo

TITULO: Changes in adipose cells of *Longissimus dorsi* muscle in Iberian pigs raised under extensive conditions.

REFERENCIA: Anais da Academia Brasileira de Ciências, accept (01-Mar-2016).

ISSN: 0001-3765

IF: 0,734 (3º cuartil) 30/57 en Multidisciplinary Science

AUTORES: D. Ayuso, A. González, F. Peña, A. Martínez, M. Izquierdo

TITULO: Effect of duration of fattening on fatty acid profile of adipose tissues in Iberian pigs reared under free-range conditions

REFERENCIA: Anais da Academia Brasileira de Ciências. Artículo actualmente sometido a revisión.

ISSN: 0001-3765

IF: 0,734 (3^{er} cuartil) 30/57 en Multidisciplinary Science

OTRAS PUBLICACIONES en revistas de divulgación

AUTORES: García-Gudiño, Javier; Izquierdo, Mercedes; del Rosario, Ana I; Duarte, Juan Luis; Ayuso, Dolores; Hernández. Francisco I.

TITULO: Efecto del peso de sacrificio y del sexo en el rendimiento de las piezas nobles del Cerdo Ibérico

REFERENCIA: Sólo Cerdo Ibérico 31:8-17

ISSN:

CONGRESOS INTERNACIONALES

AUTORES: Duarte J.L; M. Izquierdo, J. Bazán, D. Ayuso; F.I. Hernández; J.M. Corral and García J.

TITULO: Effect of litter size on post-weaning growth of Iberian piglets

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig.

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 153-156

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: D. Ayuso; M. Izquierdo; Hernández F.I; J. Bazán; J.M Corral.

TITULO: Determination of back fat depth and *longissimus dorsi* area by ultrasound scanning in live Iberian pigs

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig.

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium

on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 73

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: Paniagua Breña, M.; Izquierdo Cebrián, M., Ayuso Carrizosa, D., Hernández-Matamoros, A. and González Sánchez, E.

TITULO: The fiber in the diet of Iberian pigs and ability to limit growth.

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig.

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 175-179

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: Izquierdo M., Ayuso D., Hernández F.I., Pérez M.A.

TITULO: Effect of sex and slaughter weight on carcass traits measured in vivo with ultrasound and post-mortem in the carcass in Iberian pigs Determination of back fat depth and *longissimus dorsi* area by ultrasound scanning in live Iberian pigs

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 335-339

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: Corral J.M., González C., Izquierdo M., Ayuso D., Hernández F., Padilla J.A.

TITULO: Effect of feeding system on the FABP gene expression in the Iberian pig

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 15

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: Izquierdo M., Ayuso D., Hernández-García F.I., Duarte J. L., Corral J. M., García-Casco J.

TITULO: Effect of feeding system on carcass traits measured *in vivo* with Ultrasound and *post-mortem* in the carcass in Iberian pigs

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 79

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba

FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: D. Ayuso, M. Izquierdo, F.I. Hernández, J. Bazán, J.M. Corral

TITULO: Ultrasonographic *in vivo* estimation of back fat depth and Longissimus dorsi area in Iberian pigs

CONGRESO: 7th International Symposium on Mediterranean Pig

ENTIDAD ORGANIZADORA: Faculty of Agricultural and Forestry Engineering, University of Cordoba

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): 7th International Symposium on the Mediterranean Pig (1016-121-X/2-85352-488-4)

VOLUMEN/PÁGINAS: 309-313
TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster
LUGAR DE CELEBRACIÓN: Córdoba
FECHA: 14-16 de Octubre de 2010

AUTORES: García-Gudiño, J., Mercedes Izquierdo, Dolores Ayuso, Ana I. Del Rosario, Juan L. Duarte, Miguel A. Pérez, Francisco I. Hernández-García.

TITULO: Effect of pre-slaughter weight and sex on commercial meat cut yields of Iberian pigs

CONGRESO: 8th International Congress on Mediterranean Pig

ENTIDAD ORGANIZADORA:

PUBLICACIÓN (ISSN/ISBN): Acta Argiculturae Slovenica

VOLUMEN/PÁGINAS: Supplement 4, 101–104,

TIPO DE PARTICIPACIÓN: Póster

LUGAR DE CELEBRACIÓN: Ljubljana (Slovenia),

FECHA: October 10th–12th, 2013

