

EFFECTE D'UNA DIETA RICA EN ÀCIDS GRASSOS MONOINSATURATS SOBRE EL CREIXEMENT, LA QUALITAT DE CANAL I CARN I EN EL PERFIL D'ÀCIDS GRASSOS EN PORCÍ

GEMMA MAS I REIXACH

Programa de Doctorat en Producció Animal

Monells, abril de 2011



Dra. CAROLINA EVA REALINI CUJÓ, investigadora del Centre de Noves Tecnologies i Processos Alimentaris, de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA),

Dra. EMMA FÀBREGA I ROMANS, investigadora del Centre d'Avaluació del Porcí, de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA),

Certifiquen,

Que la memòria titulada **“Efecte d’una dieta rica en àcids grassos monoinsaturats sobre el creixement, la qualitat de canal i carn i en el perfil d’àcids grassos en porcí”** presentada per Gemma Mas i Reixach, per optar al grau de Doctor en Veterinària, ha estat realitzada sota llur direcció i, considerant-la acabada, autoritzen la seva presentació per tal que sigui jutjada per la comissió corresponent.

I perquè consti als efectes oportuns, signen el present certificat a Monells, el de de 2011.

Dra. Carolina Realini Cujó

Dra. Emma Fàbrega i Romans

Aquest treball ha estat realitzat per l'empresa UPB amb la col·laboració de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA) dins del programa de finançament CDTI (IDI 2004-683) del govern Espanyol.

AGRAÏMENTS

Vull agrair a meves Directores de tesi, l'Emma i la Carolina, tot el temps i esforç que han dedicat a ajudar-me i formar-me perquè aquest projecte fos avui una realitat. Ha estat un camí molt llarg i dur per mi, i el seu ajut i sobretot els seus ànims i el seu recolzament en els moments més difícils han estat imprescindibles per arribar fins al final.

A tota la gent de l'IRTA- Tecnologia dels Aliments i de l'IRTA- Centre d'Avaluació del Porcí, investigadors i tècnics que han participat en aquest projecte, i en especial a la Marina i en Quim, per la seva ràpida resposta davant de qualsevol problema o el més petit dubte.

A la gent de la UAB, sobretot la Mariola i el Jesús, que em van animar a fer un Doctorat a partir d'un projecte que no estava pensat amb aquesta finalitat. Tot el meu suport a la Mariola.

Al Vicenç, el Leo, el Fernando, el Josep i el Lluís, tots els grangers que van fer tot allò que els varem demanar per aconseguir els animals necessaris per fer aquesta prova. Els varem enredar força a les seves granges i sempre ens van ajudar amb un somriure.

Al Pau, el Joan i en Martí, per totes les hores que varem passar pesant i mesurant porcs a la granja.

Al Rafa, que va participar en el disseny d'aquest projecte i va realitzar tot el programa nutricional, i que malauradament ja no es aquí per veure els resultats de tota la nostra feina.

Al Jaume, per contestar amb una paciència infinita a tots els meus dubtes sobre els requeriments i la formulació de dietes en porcí.

A tota la gent d'UPB, als que encara hi són i tots aquells que hi ha estat, i m'han ajudat durant tot aquest temps i m'han permès portar tot això endavant. Sense ells això tampoc hauria estat possible.

Als meus pares, germanes, cunyats, nebots, tieta, per ajudar-me en allò que han pogut, sobretot en hores de cangur, perquè jo pogués trobar el temps necessari per poder fer la tesi.

Al David, per donar-me sempre el seu suport, per aguantar-me en els moments difícils, i per ser-hi sempre. Gràcies.

A la Paula i el Lluís, per donar-me l'alegria més gran del món en llevar-me cada dia.

A tots els que han estat aquí durant tots aquests anys i que no recordo en aquest moment.

A TOTS, EL MEU MÉS SINCER AGRAÏMENT!

RESUM

Fruit de l'augment de l'interès del consumidors per productes del porc més saludables, s'han dut a terme nombrosos estudis per modificar el perfil d'àcids grassos de la carn emprant dietes amb diferents tipus de greixos afegits, entre ells greixos monoinsaturats o MUFA (de l'anglès *Monounsaturated Fatty Acids*). Cent noranta-dos animals de dos sexes (mascles castrats i femelles) i genotips (creuaments amb Pietrain o York) varen rebre una dieta a base de cereals i soja (CONTROL, amb 28% C18:1) o bé una dieta similar amb un nivell alt d'àcid oleic (HO de l'anglès *High Oleic*, amb 43% C18:1, Greedy-Grass OLIVA[®]). Es va registrar el pes individual dels porcs i es van prendre mesures de profunditat de greix i llom cada tres setmanes i es va avaluar la qualitat de la carn i canal i el seu perfil d'àcids grassos. Els resultats van mostrar que l'ús de la dieta HO no tenia efecte significatiu sobre els paràmetres de creixement ni sobre la profunditat de greix i llom dorsal. Per aquest motiu, es van agrupar les dades d'ambdues dietes per estimar el potencial de creixement dels dos genotips i sexes a partir de les mesures de greix i llom utilitzant una equació de Gompertz. Els mascles castrats creuats amb Pietrain van mostrar un major potencial per créixer en magre. Les femelles Pietrain van mostrar els nivells més baixos de creixement en proteïna i greix. Els animals del genotip York van mostrar un major contingut en greix que els creuats amb Pietrain, amb un creixement més similar entre mascles castrats i femelles. Pel que fa a la qualitat de la carn i canal, l'ús d'una dieta alta en MUFA no va tenir efecte significatiu sobre les peces de la canal ni l'especejament d'aquestes, ni sobre la qualitat de la canal i la carn en cap dels dos genotips. En canvi, es van veure diferències significatives entre sexes, de manera que les femelles van presentar unes canals i unes peces amb un major contingut de magre i un menor nivell de greix que els mascles castrats. El greix intramuscular i subcutani del porcs del creuament amb Pietrain que van rebre la dieta HO van presentar un major percentatge de C18:1 i MUFA que els alimentats amb dieta CONTROL. En el creuament amb York, el greix intramuscular va ser igual en els porcs alimentats amb dieta HO i dieta CONTROL. En ambdós creuaments, el greix subcutani dels porcs alimentats amb la dieta HO va presentar un percentatge major de C18:1 i MUFA. Els resultats d'aquest estudi indiquen que es poden fer servir dietes altes en MUFA per modificar el perfil d'àcids grassos de la carn sense afectar negativament els resultats productius.

ABSTRACT

As a result of the increased interest of the consumers for healthier and more nutritious pork products, much research with pork fat modification has been done using diets containing different fat sources, including diets with high monounsaturated fats (MUFA). One hundred and ninety-two animals from two sexes (barrows and gilts) and two genotypes (Pietrain-sired and York-sired crosses) were fed a grain and soy diet (CONTROL, with 28% C18:1) or a similar diet enriched with oleic acid (HO, with 43% C18:1, Greedy-Grass OLIVA[®]). The animals were weighed and backfat and loin muscle depth were measured every three weeks and meat, carcass and pork fatty acid profile were evaluated. The results showed that the use of a HO diet had no effect on the growth parameters nor on the backfat and loin muscle depth measurements taken. Therefore, pooled data of both diets were used to estimate the growing potential of each sex and genotype using a Gompertz function. Pietrain-sired barrows presented a higher potential for lean tissue gain. Pietrain-sired gilts resulted in the lowest values for protein and fat deposition. York crosses resulted in higher fat content and lower lean gain than Pietrain crosses, with barrows and gilts showing similar growth for fat and lean. The use of a diet high in MUFA had no effect on primal cut yields, composition of major primal cuts, and carcass and meat quality characteristics on any genotype. However, significant differences were seen between sexes, with females showing carcasses and main joints with higher lean and lower fat content than barrows. In Pietrain-sired pigs the fatty acid composition of the diet had significant effects on tissue fatty acid composition of both intramuscular and subcutaneous fat, and HO fed pigs had higher percentage of C18:1 and MUFA compared with CONTROL animals. In York-sired animals, intramuscular fatty acid composition was similar for both dietary treatments. However, in both genotypes subcutaneous fat from HO fed pigs had higher percentage of C18:1 and MUFA compared with CONTROL fed animals. The results of the present study suggest that diets high in MUFA content can modify the fatty acid profile of pork meat without adversely affecting productivity.

RESUM DE RESULTATS

En els darrers anys un seguit de canvis, derivats de les noves demandes dels consumidors que desitgen uns productes més saludables i nutritius, han suposat un nou repte per al sector porcí. Així, s'han dut a terme nombrosos estudis per modificar el perfil d'àcids grassos de la carn emprant dietes amb diferents tipus de greixos afegits, entre ells greixos monoinsaturats. S'ha vist que els àcids grassos monoinsaturats (o MUFA, de l'anglès *Monounsaturated Fatty Acids*) i, especialment, l'àcid oleic són favorables per la salut del consumidor i, a més, presenten un menor risc d'oxidació i alteració després del sacrifici que no pas els àcids grassos poliinsaturats (o PUFA, de l'anglès *Polyunsaturated Fatty Acids*). Per altra banda, és fonamental mantenir els resultats productius i de creixement dels porcs durant la fase d'engreix, així com la qualitat de les canals i la carn obtinguda amb aquest tipus de dietes. Els objectius d'aquest estudi, doncs, foren avaluar l'efecte d'una dieta alta en MUFA en els resultats productius, el patró de creixement i les característiques de les canals i la carn, així com els canvis en el perfil d'àcids grassos del greix intramuscular i subcutani en dos creuaments i dos sexes. Els dos genotips emprats en aquest estudi, Pietrain i York, representen els dos segments més importants del mercat porcí del nostre país, la carn fresca i els productes curats, respectivament.

Un total de cent noranta-dos animals de dos sexes (mascles castrats i femelles) varen rebre una dieta a base de cereals i soja (CONTROL, amb 28% C18:1) o bé una dieta similar amb un nivell alt d'àcid oleic (HO de l'anglès *High Oleic*, amb 43% C18:1, Greedy-Grass OLIVA[®]).

La primera part de l'estudi es va centrar en l'efecte de la dieta alta en MUFA en els resultats productius d'ambdós genotips. Es va registrar el pes individual dels porcs i es van prendre mesures de profunditat de greix i llom cada tres setmanes. Els resultats van mostrar que l'ús de la dieta HO no tenia efecte significatiu ($P > 0.05$) sobre els paràmetres de creixement ni sobre la profunditat de greix i llom dorsal. En canvi, es van veure diferències significatives entre sexes, ja que els mascles al final de l'estudi van presentar un major ($P < 0.05$) pes viu així com un major ($P < 0.05$) nivell de greix dorsal que les femelles. Les femelles van presentar una major profunditat de llom ($P < 0.05$). A més, els porcs del genotip York van ser més pesats ($P < 0.05$) que els del genotip Pietrain al llarg de tot l'estudi i van presentar una major ($P < 0.05$) profunditat de llom en els dos

darrers controls. Els animals del genotip Pietrain van presentar una major ($P<0.05$) profunditat de llom en els dos últims controls.

A la segona part de l'estudi, degut a que la dieta no va mostrar efecte significatiu sobre els resultats productius, es van agrupar les dades d'ambdues dietes per estimar el potencial de creixement dels dos genotips i sexes a partir de les mesures de greix i llom. És conegut que hi ha diferències en el creixement entre genotips i sexes, i per tal de d'aconseguir un creixement més eficient, optimitzant la nutrició i el pes a sacrifici, és fonamental conèixer el patró de creixement de cada tipus de porc. Els mascles castrats creuats amb Pietrain van mostrar un major potencial per créixer en magre, especialment al primer tram de l'avaluació. Les femelles del genotip Pietrain van mostrar els nivells més baixos de creixement en proteïna i greix. Els animals del genotip York van mostrar un major contingut en greix que els creuats amb Pietrain, amb un creixement més similar entre mascles castrats i femelles.

La tercera part de l'estudi va avaluar els resultats de qualitat de canal, carn i perfil d'àcids grassos en els animals creuats amb Pietrain. L'ús d'una dieta alta en MUFA no va tenir efecte significatiu ($P>0.05$) sobre les peces de la canal ni l'especejament d'aquestes, ni sobre la qualitat de la canal i la carn. En canvi, es van veure diferències significatives entre sexes, ja que les femelles creuades amb Pietrain van presentar unes canals amb un major ($P<0.05$) contingut en magre i un menor ($P<0.05$) contingut en greix en comparació amb els mascles castrats del mateix creuament. El greix intramuscular del porcs que van prendre la dieta HO van presentar un major ($P<0.05$) percentatge d'àcids grassos saturats (o SFA, de l'anglès *Saturated Fatty Acids*) i MUFA, i menor ($P<0.05$) percentatge de PUFA i de ràtio $n-6/n-3$ que els alimentats amb dieta CONTROL. El greix subcutani del porcs alimentats amb la dieta HO van tenir un major ($P<0.05$) percentatge de MUFA, i un menor ($P<0.05$) percentatge de SFA i PUFA, i de la ràtio $n-6/n-3$ que el dels alimentats amb dieta CONTROL. L'ús de la dieta HO als animals creuats amb Pietrain va augmentar el nivell de MUFA i va disminuir el de PUFA en ambdós tipus de greix, contribuint a disminuir el risc de produir canals toves i olioses que són inadequades des del punt de vista tecnològic.

En la quarta part de l'estudi, es va estudiar l'efecte de la dieta alta en MUFA en el creuament amb York. Les característiques de les peces principals, l'especejament i les característiques de les canals i la carn va ser similar en els animals alimentats amb dieta HO i dieta CONTROL. Les canals de les femelles creuades amb York van presentar un

major ($P<0.05$) contingut en magre i en l'especejament les peces van presentar un major ($P<0.05$) nivell de magre i menys ($P<0.05$) greix que en els mascles castrats. Tot i així tots els pernills i espatlles obtinguts complien amb les exigències de pes i greix de la indústria dels curats. El greix intramuscular va ser igual en els porcs alimentats amb dieta HO i dieta CONTROL, excepte en el percentatge de C18:3 $n-6$ i la ràtio $n-6/n-3$, que van ser menors ($P<0.05$) en els porcs alimentats amb la dieta HO. Aquest resultat suggereixen que en aquest creuament podria haver estat necessari emprar una dieta amb un nivell més alt de MUFA per modificar el perfil de greix intramuscular. El greix subcutani dels porcs alimentats amb la dieta HO van presentar un percentatge major ($P<0.05$) de MUFA, i menor ($P<0.05$) de SFA i PUFA i una menor ($P<0.05$) ràtio $n-6/n-3$ que els de la dieta CONTROL. L'ús de la dieta HO en els porcs del creuament amb York va modificar el perfil d'àcids grassos del greix subcutani sense afectar a la qualitat de les canals aconseguides i es van aconseguir uns pernills adequats per a la indústria dels curats.

En conclusió, els resultats d'aquest estudi indiquen que es poden fer servir dietes altes en MUFA sense afectar als resultats productius. Els dos genotips utilitzats van respondre diferent a la modificació del perfil d'àcids grassos a través de la dieta. Les diferències en el patró de creixement entre genotips i sexes obtingudes justificarien l'ús de dietes adaptades a cada tipus d'animal per maximitzar l'eficiència productiva.

SUMMARY OF RESULTS

In the past years a number of consumer driven changes have transformed industry approaches to pork production such as the desire for healthier and more nutritious pork products. As a consequence, much research with pork fat modification has been done using diets containing different fat sources, including diets with high monounsaturated fats. Monounsaturated fatty acids (MUFA), and specially oleic acid, have received favourable promotion with regards to human health and they have a lower risk compared to polyunsaturated fatty acids (PUFA) of generating lipid oxidation. Moreover, it is important to maintain the productive results of the animals, in order to ensure the return for the producer, and to maintain the quality of the carcasses and pork achieved. The objectives of this study were to evaluate the effect of using a diet high in MUFA on the productive results, growing pattern, and the characteristics of carcasses and pork, and on the fatty acid profile of both intramuscular and subcutaneous fat in two different pork genotypes and sexes. The two selected genotypes, Pietrain and York, aimed at representing the main market shares of Spanish pork product: fresh meat and dry cured products, respectively. One hundred and ninety-two animals from two sexes (barrows and gilts) were fed a grain and soy diet (CONTROL, with 28% C18:1) or a similar diet enriched with oleic acid (HO, with 43% C18:1, Greedy-Grass OLIVA[®]).

The first research was focused on the effect of a diet high in MUFA on the productive results of both genotypes. Pigs were weighted and backfat and loin muscle depth were measured every three weeks. The results showed that the use of a HO diet had no effect ($P>0.05$) on the growth parameters nor on the backfat and loin muscle depth measurements taken. However, differences were seen between sexes, as barrows resulted in higher ($P<0.05$) live weight and backfat than gilts at the end of the trial. Conversely, gilts showed higher ($P<0.05$) loin depth. Moreover, York-sired pigs were heavier ($P<0.05$) than Pietrain-sired pigs during all the trial and showed higher ($P<0.05$) backfat at the last two measurements. Pietrain-sired pigs had higher ($P<0.05$) loin muscle depth at the last measurements.

As no effect of the diet was seen on performance parameters, in the second part of the study pooled data of both diets were used to estimate the growing potential of each sex and genotype. There are important differences between genotypes and sexes, and it is important to know the between-pig variation for a more efficient pig

production, with an optimization of nutrition and of the slaughter weight. Pietrain-sired barrows presented a higher potential for lean tissue gain, especially at the beginning of the trial. Pietrain-sired gilts resulted in the lowest values for protein and fat deposition. York crosses resulted in higher fat content and lower lean gain than Pietrain crosses, with barrows and gilts showing similar growth for fat and lean.

The third part of the study evaluated the results of carcass characteristics, pork and fatty acid profile in Pietrain-sired pigs. The use of a diet high in MUFA had no effect ($P>0.05$) on primal cut yields, composition of major primal cuts, and carcass and meat quality characteristics. However, differences were seen between sexes, as Pietrain-sired gilts had leaner ($P<0.05$) carcasses with lower ($P<0.05$) fat percentage in major primal cuts compared with barrows of the same genotype. The fatty acid composition of the diet had significant effects on tissue fatty acid composition of both intramuscular and subcutaneous fat. Intramuscular fat from HO fed pigs had higher ($P<0.05$) percentage of saturated fatty acids (SFA) and MUFA, and lower ($P<0.05$) PUFA and $n-6/n-3$ ratio compared with CONTROL animals. Subcutaneous fat from pigs fed HO had greater ($P<0.05$) MUFA percentage, lower ($P<0.05$) SFA and PUFA percentage, and lower ($P<0.05$) $n-6/n-3$ ratio than pigs fed CONTROL diet. Feeding a HO diet to Pietrain-sired pigs increased MUFA and decreased PUFA proportions in both fat depots reducing the risk of production of carcasses that are soft and oily which result in lower technological and processing quality.

In the fourth part of the study, the effect of the diet high in MUFA in York-sired pigs was evaluated. Similar primal cut yields, composition of major primal cuts, and carcass and meat quality characteristics were found for HO and CONTROL fed pigs. The carcasses of the York-sired gilts had higher lean content ($P<0.05$) and provided main cuts with higher ($P<0.05$) lean and lower ($P<0.05$) fat percentage than barrows. However, all hams and shoulders from barrows and gilts were according to the requirements of weight and fat of the dry cured products industry. Intramuscular fatty acid composition was similar for both dietary treatments, except for the percent of C18:3 $n-6$ and the $n-6/n-3$ ratio, that were lower ($P<0.05$) for pigs fed HO diet. These results suggest that a diet with a higher level of MUFA would have been necessary to modify intramuscular fat in this genotype. Subcutaneous fat from HO fed pigs had higher ($P<0.05$) percentage of MUFA, and lower ($P<0.05$) SFA and PUFA and $n-6/n-3$ ratio compared with CONTROL fed animals. The use of a HO diet to York-sired pigs modified fatty acid profile of subcutaneous fat in the desired way without adversely

affecting carcass quality and producing suitable hams for processing by the meat industry.

In conclusion, the results of the present study suggest that diets high in MUFA content can modify the fatty acid profile of pork meat without adversely affecting productivity. However, the level of modification differed between the genotypes. Differences in growing patterns between genotypes and sexes were also corroborated, and, consequently, tailoring diets according to these factors would enhance production efficiency.

GLOSSARI D'ABREVIACIONS

Les abreviacions més freqüents que apareixen en aquest document són les següents:

ADG	<i>Average Daily Gain</i> (Guany Mig Diari)
BF	<i>Backfat</i> (Greix dorsal)
CPER	<i>Covariance Parameter Estimate of the Residual</i> (Estimació del Paràmetre de la Covariança del Resid)
DHA	<i>Acid Docosahexaenoic</i> (Àcid Docosahexaenoic)
EPA	<i>Acid Eicosapentaenoic</i> (Àcid Eicosapentaenoic)
FA	<i>Fatty Acids</i> (Àcids Grassos)
F3/4FOM	Nivell de greix entre la 3 ^a i 4 ^a últimes costelles (en mm)
HDL	<i>High Density Lipoprotein</i> (Lipoproteïna d'Alta Densitat)
HO	<i>High Oleic</i> (Alt Oleic)
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i> (Lipoproteïna de Baixa Densitat)
LT	<i>Longissimus thoracis</i>
LW	<i>Live weight</i> (Pes Viu)
Kg	Kilograms massa
MLOIN	Nivell mínim de greix sobre el <i>Gluteus medius</i> (en mm)
MUFA	<i>Monounsaturated Fatty Acids</i> (Àcid Grassos Monoinsaturats)
M3/4FOM	Nivell de múscul entre la 3 ^a i 4 ^a últimes costelles (en mm)
pH ₄₅	pH als 45 minuts <i>post-mortem</i>
pH _u	pH a les 24 hores <i>post-mortem</i>
PUFA	<i>Polyunsaturated Fatty Acids</i> (Àcids Grassos Poliinsaturats)
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> (Arrel de l'Error Quadràtic Mitjà)
SFA	<i>Saturated Fatty Acids</i> (Àcids Grassos Saturats)
SM	<i>Semimembranosus</i>
VLFOM	Nivell de greix entre la 3 ^a i 4 ^a vèrtebres lumbars (en mm)

INDEX

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ GENERAL	1
1.1. El sector porcí a Espanya	3
1.2. Característiques de les races utilitzades en aquest estudi	5
1.2.1. La raça Pietrain	5
1.2.2. La raça Yorkshire	7
1.3 El creixement del porc	9
1.3.1 Influència de la genètica i sexe en el creixement	9
1.3.2 Models de creixement	10
1.4. Els àcids grassos i els seus efectes sobre la salut	10
1.4.1. Característiques generals dels àcids grassos	10
1.4.2. Àcids grassos saturats	12
1.4.3. Àcids grassos monoinsaturats	13
1.4.4. Àcids grassos poliinsaturats	15
1.5. Paper del lípids en la dieta humana	17
1.5.1. Font d'energia	17
1.5.2. Vitamines liposolubles	17
1.5.3. Àcids grassos essencials	17
1.6. Recomanacions nutricionals actuals	18
1.7. Lípids i qualitat tecnològica de la carn	21
1.7.1. Oxidació	21
1.7.2. Punt de fusió	23
1.7.3. Greix intramuscular i color	24
1.8. Característiques nutricionals de la carn de porc	24
1.9. El greix de la carn de porc	25
1.9.1 Característiques generals	25
1.9.2 Factors que influencien la composició del greix del porc	27
1.10. Modificació del perfil d'àcids grassos	30
1.10.1 Efecte del les fonts de greix de la dieta en el rendiment productiu	30
1.10.2 Canvis en el perfil d'àcids grassos dels teixits	31
1.10.3 Canvis en la qualitat de canal i carn	33
1.10.4 Canvis en productes elaborats i derivats del porc	34
1.11. Implicacions pràctiques	35
Bibliografia	36
 CAPÍTOL 2. OBJECTIUS	 49
2.1. Objectiu general	51
2.2. Objectius parcials	51
 CAPITOL 3. MATERIAL I MÈTODES GENERAL	 53
 CAPITOL 4. PERFORMANCE AND BACKFAT AND LOIN MUSCLE GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS FED AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIETS	 59
4.1. Introduction	61
4.2. Material and methods	62
4.2.1. Animals and diets	62

4.2.2. Weight and ultrasound measurements	66
4.2.3. Statistical analysis	66
4.3. Results	67
4.3.1. Weight performance	67
4.3.2. Loin muscle depth	68
4.3.3. Backfat	69
4.4. Discussion	70
4.4.1. Weight	70
4.4.2. Loin muscle depth	72
4.4.3. Backfat	73
4.5. Conclusions	74
Literature cited	75

CAPÍTOL 5. DEVELOPMENT AND LEAN AND FAT GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS

5.1. Introduction	83
5.2. Material and methods	84
5.2.1. Animals and diets	84
5.2.2. Weight and ultrasound measurements	84
5.2.3. Prediction equations	85
5.3. Results	87
5.3.1. Evolution of protein and lipid accretion in two genotypes	87
5.4. Discussion	91
5.4.1. Protein and lipid accretion in two genotypes	91
5.5. Conclusions	93
Literature cited	93

CAPÍTOL 6. CARCASS AND MEAT QUALITY CHARACTERISTICS AND FATTY ACID COMPOSITION OF TISSUES FROM PIETRAIN-CROSSED BARROWS AND GILTS FED AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET

6.1. Introduction	99
6.2. Materials and methods	100
6.2.1. Animals and diets	100
6.2.2. Carcass measurements	102
6.2.3. Pork quality measurements	103
6.2.4. Fatty acid composition	105
6.2.5. Statistical analysis	105
6.3. Results and discussion	105
6.3.1. Carcass characteristics and primal cut yields	105
6.3.2. Dissection of major primal cuts	108
6.3.3. Pork quality characteristics	109
6.3.4. <i>Longissimus thoracis</i> intramuscular fatty acid composition	112
6.3.5. <i>Semimembranosus</i> subcutaneous fatty acid composition	114
6.4. Conclusions	118
Literature cited	118

CAPÍTOL 7. EFFECT OF AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET ON PORK CARCASS AND MEAT QUALITY TRAITS AND TISSUE FATTY ACID COMPOSITION FROM YORK-CROSSED BARROWS AND GILTS	127
7.1. Introduction	129
7.2. Materials and methods	130
7.2.1. Animals and diets	130
7.2.2. Carcass measurements	132
7.2.3. Pork quality measurements	133
7.2.4. Fatty acid composition	134
7.2.5. Statistical analysis	134
7.3. Results and discussion	135
7.3.1. Carcass characteristics and primal cut yields	135
7.3.2. Dissection of major primal cuts	137
7.3.3. Pork quality characteristics	139
7.3.4. <i>Longissimus thoracis</i> intramuscular fatty acid composition	141
7.3.5. <i>Semimembranosus</i> subcutaneous fatty acid composition	144
7.4. Conclusions	147
Literature cited	147
 CAPÍTOL 8. DISCUSSIÓ GENERAL	 155
8.1. Efecte de la dieta rica en MUFA en els índex productius i composició corporal	157
8.2. Modelització del guany de pes i creixement en proteïna i greix a partir de les mesures <i>in vivo</i> en dos genotips porcíns	159
8.3. Efecte de la dieta rica en MUFA en les característiques de la canal i en el perfil d'àcids grassos en animals creuats amb Pietrain i amb York	160
8.3.1. Qualitat de la canal i especejament	160
8.3.2. Qualitat tecnològica i nutricional de carn	161
8.3.3. Perfil d'àcids grassos del greix intramuscular del <i>Longissimus thoracis</i> i del greix subcutani del <i>Semimembranosus</i>	163
8.4. Implicacions pràctiques i estratègies futures	169
8.4.1. Alimentació durant l'etapa de creixement i engreix per a una millor adequació a les necessitats de cada genotip i sexe	169
8.4.2. Administració d'una dieta rica en MUFA per millorar la qualitat nutricional de la carn de porcí	170
Bibliografia	171
 CAPÍTOL 9. CONCLUSIONS	 179

ÍNDIX DE TAULES

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ GENERAL

Taula 1.1. Evolució de la producció càrnia a Espanya, any 2009	4
Taula 1.2. Descripció d'alguns dels àcids grassos saturats més comuns	13
Taula 1.3. Descripció d'alguns dels àcids grassos monoinsaturats més comuns	14
Taula 1.4. Descripció d'alguns dels àcids grassos poliinsaturats més comuns	16
Taula 1.5. Descripció del contingut en greix i composició d'àcids grassos de talls de llom de vedella, xai i porc	20
Taula 1.6. Canvis bioquímics i conseqüències negatives en el múscul post-mortem	21
Taula 1.7. Conseqüències de l'oxidació dels lípids de la carn	23
Taula 1.8. Punt de fusió de diferents àcids grassos de la carn	24
Taula 1.9. Composició nutricional de la carn de porc	25
Taula 1.10. Perfil lipídic de diferents productes del porc	26

CAPÍTOL 4. PERFORMANCE AND BACKFAT AND LOIN MUSCLE GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS FED AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET

Table 4.1. Ingredients and composition of growing (30-60 kg live weight) and finishing (60 kg live weight –slaughter) experimental diets	64
Table 4.2. Fatty acid composition (%) of the finishing diet (from 60 kg live weight to slaughter)	65
Table 4.3. Least-squares means and standard errors for live weight (LW) and average daily gain (ADG, g/kg) in Pietrain and York-sired barrows and gilts fed two experimental diets	68
Table 4.4. Least-squares means and standard errors for <i>Longissimus thoracis</i> depth (LT, mm) in Pietrain and York-sired barrows and gilts fed two experimental diets	69
Table 4.5. Least-squares means and standard errors for backfat (BF, mm) in Pietrain and York-sired barrows and gilts fed two experimental diets	70

CAPÍTOL 5. DEVELOPMENT AND LEAN AND FAT GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS

Table 5.1. Errors for the estimated % of protein and % of fat with prediction equations for different weight intervals	87
Table 5.2. Gompertz growth parameters for the two genotypes and sexes within each genotype	87

CAPÍTOL 6. CARCASS AND MEAT QUALITY CHARACTERISTICS AND FATTY ACID COMPOSITION OF TISSUES FROM PIETRAIN-CROSSED BARROWS AND GILTS FED AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET

Table 6.1. Ingredient and composition of growing (30-60 kg live weight) and finishing (60 kg live weight-slaughter) experimental diets	101
Table 6.2. Fatty acid composition (%) of the finishing (from 60 kg live weight to slaughter) experimental diets	102
Table 6.3. Least-squares means for carcass characteristics and primal cut yields of Pietrain-sired pigs fed experimental diets	107

Table 6.4. Least-squares means for ham, loin, shoulder and belly dissection into lean, subcutaneous and intermuscular fat and bone of Pietrain-sired pigs fed experimental diets	109
Table 6.5. Least-square means for meat quality characteristics of Pietrain-sired pigs fed experimental diets	111
Table 6.6. Least-squares means for fatty acid composition (%) of <i>Longissimus thoracis</i> intramuscular fat of Pietrain-sired pigs fed experimental diets	113
Table 6.7. Least-squares means for fatty acid composition (%) of <i>Semimembranosus</i> subcutaneous fat of Pietrain-sired pigs fed experimental diets	117

CAPÍTOL 7. EFFECT OF AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET ON PORK CARCASS AND MEAT QUALITY TRAITS AND TISSUE FATTY ACID COMPOSITION FROM YORK-CROSSED BARROWS AND GILTS

Table 7.1. Fatty acid composition (%) of the finishing (from 60 kg live weight to slaughter) experimental diets	131
Table 7.2. Least-squares means for carcass characteristics and primal cut yields of Pietrain-sired pigs fed experimental diets	136
Table 7.3. Least-squares means for ham, loin, shoulder and belly dissection into lean, subcutaneous and intermuscular fat and bone of York-sired pigs fed experimental diets	138
Table 7.4. Least-square means for meat quality characteristics of York-sired pigs fed experimental diets	140
Table 7.5. Least-squares means for fatty acid composition (%) of <i>Longissimus thoracis</i> intramuscular fat of York-sired pigs fed experimental diets	143
Table 7.6. Least-squares means for fatty acid composition (%) of <i>Semimembranosus</i> subcutaneous fat of York-sired pigs fed experimental diets	146

LLISTAT DE FIGURES

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ GENERAL

Figura 1.1. Imatge d'un mascle reproductor de la raça Pietrain (Tipus NN)	6
Figura 1.2. Imatge d'un mascle reproductor de la raça Yorkshire	8
Figura 1.3. Esquema de les formes cis- i trans- de l'àcid ^{9,10} octodecaenoic	11
Figura 1.4. Estructura de la molècula de l'àcid oleic en tres dimensions	14
Figura 1.5. Fases del procés d'oxidació dels lípids	22

CAPÍTOL 3. ORGANIGRAMA GENERAL

Figura 3.1. Organigrama general del disseny experimental i els capítols de cada experiment	57
--	----

CAPÍTOL 5. DEVELOPMENT AND LEAN AND FAT GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS

Figure 5.1. Evolution of lipid/protein ratio for each genotype and sex	88
Figure 5.2. Evolution of daily gain for each genotype and sex	89
Figure 5.3. Evolution of protein gain for each genotype and sex	90
Figure 5.4. Evolution of lipid gain for each genotype and sex	90

CAPÍTOL 1

Introducció

1. INTRODUCCIÓ GENERAL

1.1. EL SECTOR PORCÍ A ESPANYA

Al nostre país, com en molts altres de la Unió Europea, la carn de porc és un dels productes d'origen animal més habitual a la taula dels consumidors i una de les principals fonts de proteïna. Lligat al fort desenvolupament i arrelament de la producció porcina, Espanya presenta un dels consums anuals de carn de porc per persona més alts de la Unió Europea, juntament amb Alemanya i Polònia. El consum aproximat de carn de porc al nostre país l'any 2007, segons la FAO, va ser de 61.66 kg per persona i any, més del doble del consum de carn d'au (27.62 kg) i quatre vegades superior al consum de vedella (15.12 kg) en aquell mateix any, i representa més de la meitat del consum total de carn anual per càpita (110.99 kg). En canvi, a principis de la dècada dels 60 el consum mig de carn de porc a Espanya fou de 7.69 kg per persona i any (FAO, 2010). Així, a dia d'avui, el consum de porc suposa a Espanya aproximadament un 10% de la despesa anual en alimentació de cada individu (MARM, 2009). Cal destacar que el consum de porc a Espanya no és únicament de carn fresca, sinó que té també una gran importància el consum de productes curats de porc, com ara pernils. Segons dades de l'any 2009, cada espanyol consumeix anualment una mitja de 5 kg de pnil curat, i és per això que s'arriben a curar un total de 38.5 milions de peces anuals entre pernils i espatlles (Fundación Jamón Serrano, 2009).

Pel que fa als nivells de producció, el sector ha viscut un gran canvi des de la dècada dels anys 50 del segle passat. En aquella època, la producció porcina era molt reduïda, destinada majoritàriament a les matances tradicionals i en règim semiextensiu. L'alimentació dels animals es basava en l'aprofitament de restes de l'alimentació humana més cereals en zones cerealistes o bé pastures en zones de devesa. A partir de la dècada dels anys 60 i sobretot durant la dècada dels 70 es desenvolupa la indústria dels pinsos compostos i comencen a millorar els resultats productius gràcies a la importació de races millorades des d'Europa. Això va significar una reducció de la cria de races tradicionals, un important augment de la producció de carn de porc i va permetre el desenvolupament de moltes fàbriques de pinso per tot el territori. En aquest període el cens total aproximat era d'uns sis milions de caps de bestiar porcí.

Des dels anys 80 i 90 es consoliden els sistemes d'alimentació amb una millora important de les dietes dels animals i apareixen uns nous plans de millora genètica. Aquests inclouen dins els seus objectius nous aspectes que no s'havien valorat fins aquell moment, com el percentatge de magre i característiques de la canal, per buscar una millor qualitat del producte obtingut. Junt amb l'augment de la producció porcina, que compta amb uns 12 milions de caps l'any 1982 i que supera els 15 milions de caps en tot el país l'any 90, es desenvolupa a Espanya una important indústria de derivats del porc, amb la creació de nombrosos escorxadors i sales de desfer i de transformació.

A partir del segle XXI Espanya es consolida com un gran productor de porcí. A dia d'avui, Espanya és el quart productor mundial de carn de porc, i el segon d'Europa, tot just per darrera d'Alemanya. Hi ha actualment un cens nacional de porcí de més de 25 milions de caps, un cens de truges reproductores de prop de 2.500.000 animals i una producció anual de carn de porc per damunt dels 3.500.000 de Tm. (MARM, 2009) (Taula 1.1). Aquesta producció representava l'any 2008 un 60% del total de carns produïdes al nostre país, molt per davant dels sector de les aus amb un 24%, i significava també un terç de la producció final ramadera i un 12.5% de la producció final agrària. Això fa que al nostre país el sector porcí sigui un sector de primer ordre molt industrialitzat que es caracteritza per una gran atomització, és a dir per l'existència de nombroses petites i mitjanes empreses.

Taula 1.1. Evolució de la producció càrnia (TM) a Espanya (Font: MARM, 2009).

Any	Boví	Oví	Caprí	Equí	Aus	Porcí
2003	706.369	236.155	13.888	4.928	1.333.337	3.189.508
2004	713.886	231.463	13.373	5.001	1.268.319	3.078.120
2005	715.331	224.126	13.621	5.070	1.287.422	3.168.039
2006	670.408	214.179	11.690	5.275	1.260.853	3.235.241
2007	649.139	203.290	10.853	5.135	1.347.113	3.544.005

Actualment el repte principal del sector és oferir productes que s'ajustin a les noves demandes del consumidor. Les tendències dels darrers anys, indiquen que hi ha un major interès dels consumidors per la seva salut, l'efecte de la dieta sobre aquesta i, en general sobre allò que mengen, donant lloc a una exigència a produir uns productes carnis d'un perfil més saludable.

1.2. CARACTERÍSTIQUES DE LES RACES UTILITZADES EN AQUEST ESTUDI

La producció porcina a Europa i a Espanya es basa en un nombre limitat de races i és a través de la selecció genètica d'aquestes que s'ha arribat a la creació d'uns genotips altament productius. Dins dels programes d'hibridació, la majoria fan servir el creuament Landrace x Large White com a línia femella o femella reproductora, aprofitant que aquestes dues races són les millors quant a resultats reproductius. Per produir els porcs comercials, s'escull un tipus de mascle finalitzador, majoritàriament de raça pura, ajustat al segment de mercat on es destinaran els porcs obtinguts, per creuar amb les femelles Landrace x Large White. Això és així perquè el sector porcí exigeix uns tipus d'animals molt específics segons el seu posterior destí per tal d'obtenir el màxim rendiment econòmic.

1.2.1. La raça Pietrain

1.2.1.1. Característiques generals

Es tracta d'una raça que es coneix des de l'any 1920 i que té el seu nom i origen en un poble de Bèlgica. Curiosament, degut a la seva manca de greix, gairebé es va extingir durant la segona guerra mundial. Es creu que aquesta raça prové de porcs de la Normandia molt musculats que després van ser seleccionats, sobretot a Alemanya, per la seva conformació, fent que un 80% dels animals fossin portadors del gen de l'halotà o gen RYR(1) (Fujii et al., 1991). Els animals portadors homozigots recessius per aquest gen (nn) es caracteritzen per ser extremadament musculats i més curts que no pas els portadors heterozigots (Nn) o els homozigots negatius (NN). La presència del gen de l'halotà, però, implica un major risc de mort súbita durant el període d'engreix, associada a la Síndrome d'Hipertèrmia Maligna, i un ràpid deteriorament de la qualitat de la carn després del sacrifici. És per això que en els últims anys s'ha dut a terme un intens procés de selecció genètica en animals lliures d'aquest gen.

Històricament es tractava d'una raça amb uns resultats productius i reproductius dolents, amb un creixement lent, inferior als 550 grams de guany mig diari durant el període d'engreix (20-100 kg) i amb una baixa prolificitat. Tot i així, en els darrers anys hi ha hagut un intens treball de selecció i millora genètica aconseguint una important

millora dels resultats en ambdós aspectes. Així, existeixen avui dia nombrosos animals de la raça Pietrain amb un creixement diari superior als 750 grams, des del seu naixement fins als 100 kg de pes viu (Font pròpia, UPB).

El prototipus racial indica que són animals de capa blanca amb taques negres i un pes adult aproximat de 230 a 260 kg per les truges i de 260 a 300 kg pels verros (veure Figura 1.1). El terç anterior és caracteritza per unes espatlles molt musculades, un dors llarg i molt musculat, amb una lleugera depressió central marcada per dues masses musculars, que són els lloms que estan molt desenvolupats. El terç posterior es caracteritza per un fort desenvolupament muscular, amb uns pernills molt amples, plens i rodons, i que baixen fins al jarret.

Figura 1.1. Imatge d'un mascle reproductor de la raça Pietrain (Tipus NN) (UPB).



1.2.1.2. Mercat de destí

És la raça més apreciada a Espanya com a creuament final pels ramaders que produeixen porcs pel mercat de carn fresca, sigui quina sigui la línia materna emprada. Tant es així, que podem afirmar que a dia d'avui, més d'un 85% de les femelles de línia blanca d'Espanya es cobreixen amb mascle finalitzador Pietrain (Font pròpia, UPB). Els animals creuats amb Pietrain tenen un alt potencial fisiològic per créixer en magre fins a pesos més alts que en altres genotips i produeixen unes canals amb molt bona conformació, un molt bon rendiment, un bon pernil i llom i un alt percentatge de magre

(García-Macías et al., 1996). Es caracteritzen també per un baix nivell de greix, tant de cobertura com a nivell intramuscular. El seu pes mig a sacrifici es troba al voltant dels 105 kg p.v., encara que en els últims anys hi ha hagut un lleuger augment d'aquest pes. En el mercat podem trobar mascles d'aquest creuament sencers i també castrats.

1.2.2. La raça Yorkshire

1.2.2.1. Característiques generals

Es tracta d'animals de la raça Large White seleccionats pel seu desenvolupament muscular. Aquesta és una raça originària del Regne Unit, coneguda ja des del segle XIX i que apareix fruit del creuament d'altres races com la Cumberland, Leicestershire, i les Middle i Small White. En alguns països, com ara el Regne Unit, Yorkshire i Large White es consideren dues races diferents, mentre que a altres com a Espanya encara es consideren una única raça. La raça Large White es caracteritza per les seves excel·lents qualitats maternals, mentre que en la línia Yorkshire s'ha dut a terme una selecció a favor d'un major desenvolupament dels caràcters de creixement i musculars, encara que es manté un contingut moderat en greix.

Els animals del tipus Yorkshire presenten, en general, una velocitat de creixement alta, per damunt de 700 grams diaris des de naixement a 100 kg de pes viu (Font pròpia, UPB), un moderat índex de conversió, fruit d'una ingesta més elevada que en genotips més magres, i una bona qualitat de carn. Els animals Yorkshire presenten un nivell moderat de greix, tant de cobertura com intramuscular, i una capacitat de creixement en magre que arriba al seu màxim a un pes inferior que en altres genotips amb un alt contingut en magre.

El prototip racial indica que es tracta d'animals molt llargs amb un pes mig d'uns 190 -250 kg en mascles i uns 190 kg en femelles, amb capa completament blanca i amb un to lleugerament rosat (veure Figura 1.2). El terç anterior es caracteritza per unes espatlles llargues, amples i ben adherides al tronc i un dors ample i ben musculat. Pel que fa al terç posterior del cos, aquest és llarg, ample i musculat, amb un perfil superior recte, i els pernills són amples i molt arrodonits lateralment i posteriorment, i baixen fins al jarret.

Figura 1.2. Imatge d'un mascle reproductor de la raça Yorkshire (UPB).



1.2.2.2. Mercat de destí

Els animals creuats amb mascles tipus Yorkshire poden ser emprats per mercat de carn fresca, encara que majoritàriament són destinats a l'elaboració de productes curats. El seu pes a sacrifici sol ser alt, per damunt dels 115 kg i pot arribar fins hi tot als 160 kg de pes viu, i és per això que tots els mascles d'aquest creuament es castren durant els primers dies de vida per evitar problemes d'olor i comportament sexual. En el mercat de la carn fresca destaquen per la seva bona qualitat de carn, amb uns nivells moderats de greix intramuscular, al voltant del 2% en el múscul Semimembranós, encara que les seves canals no són tan valorades com aquelles aconseguides en races més musculades. En canvi, és una raça molt apreciada per l'elaboració de pernils i productes curats, ja que les seves peces presenten unes característiques de pes i uns nivells de greix a la canal adequats per l'elaboració i assecat d'aquests, que en el cas dels pernils pot durar fins a 27 mesos. La Fundación del Jamón Serrano (2003) marca com a requisits pels pernils destinats a l'elaboració de pernils de tipus serrà, mitjançant un procés de salaó i rentat seguit de la maduració i un període d'assecat, d'un mínim de 20 mm de greix de cobertura al múscul gluti mig i un pes de les peces de mínim de 8.5 kg en cru. Com a exemple direm que es tracta d'una de les races autoritzades per la producció de pernils tipus "Trevelez" o pel pnil de Parma a Itàlia.

1.3 EL CREIXEMENT DEL PORC

1.3.1. Influència de la genètica i sexe en el creixement.

El creixement és un procés multifactorial que evoluciona en funció del pas del temps i que consisteix en l'evolució de la morfologia de l'animal, de la composició tissular i química de l'organisme (Reeds et al., 1993). El creixement de la massa corporal consisteix en l'acumulació de teixit muscular, teixit adipós i ossos. Durant les primeres fases de vida, els porcs tenen un percentatge de lípids molt baix en el seu cos, però aquest augmenta considerablement durant les quatre primeres setmanes de vida. En animals joves, hi ha un ràpid creixement, sobretot a nivell de múscul i ossos, amb unes diferències mínimes entre sexes, però després d'un període d'engreix semblant, apareixen diferències importants entre sexes i genètiques (Wiseman et al., 2007). El creixement del teixit muscular o magre és el que presenta un major interès en la producció porcina, perquè és el producte més demanat pel consumidor. El màxim creixement muscular depèn tant del sexe com del potencial genètic. El creixement muscular és millor en mascles sencers que en femelles, i en aquestes millor que en els castrats. Alhora, les genètiques millorades i seleccionades per un creixement ràpid i magre presenten un creixement muscular més gran que altres genotips que no han estat seleccionats en aquest sentit.

El coneixement detallat del patró de creixement de cada genotip porcí és important per maximitzar el benefici econòmic del productor, perquè permet adaptar la nutrició per cobrir les necessitats reals dels animals en cada etapa del període d'engreix (King, 1999). D'aquesta manera es poden ajustar millor els costos dels pinsos i es facilita l'elecció del pes de sacrifici adequat d'acord amb els requisits del mercat de destí de cada creuament.

Els diferents canvis que tenen lloc durant el creixement estan estretament relacionats, de manera que la mesura d'un tipus de canvi pot servir com a indicador d'altres tipus de canvis. És per això que s'han realitzat diferents estudis per trobar indicadors corporals per estimar la relació entre el creixement morfològic de determinats paràmetres i la composició tissular i química de l'organisme (Edwards et al., 1981; Hulsegge et al., 2000). En porcí s'ha demostrat que el nivell de greix dorsal, juntament amb diferents mesures del múscul *Longissimus dorsi* són indicadors prou vàlids per establir correlacions amb el percentatge de magre de la canal (Hicks et al.,

1998). És per això que aquestes són dues de les mesures més habituals utilitzades avui pels productors en animals vius per predir el percentatge de magre de les canals (Li et al., 2003).

1.3.2. Models de creixement

Existeixen diferents models de creixement per tal de descriure el potencial de creixement en magre i lípids específics segons els diferents genotips porcins, i es basen en aplicar funcions de creixement a les mesures calculades de pes madur en proteïna i greix en animals vius (Knap et al., 2003).

Les equacions de Gompertz, un dels tipus de funcions de modelització més utilitzades, són algoritmes bàsics amb dos, tres o quatre paràmetres específics per cada genotip, que estimen el seu creixement i les necessitats de nutrients en funció dels requeriments energètics de manteniment, la deposició de proteïna, la deposició mínima o inevitable de greix, més el greix que s'acumula per excés d'energia (Knap et al, 2003). Les divergències entre genotips es deuen bàsicament a diferències fisiològiques per créixer en magre.

L'ús d'aquest tipus de models permet calcular les necessitats a partir de mesures obtingudes a la granja, mitjançant un alt nombre d'individus i permet emprar diferents mesures dels mateixos animals al llarg del temps.

1.4. ELS D'ÀCIDS GRASSOS I ELS SEUS EFECTES SOBRE LA SALUT

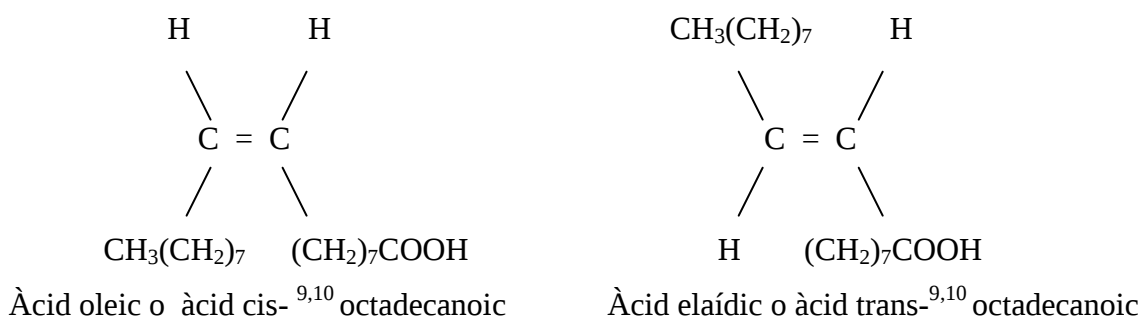
1.4.1. Característiques generals dels àcids grassos

Els greixos o lípids són substàncies orgàniques formades per carboni, hidrogen i oxigen. Es troben en els teixits d'animals i vegetals i no són solubles en aigua però sí en solvents orgànics. Els lípids en els animals es poden classificar en dos tipus principals, els lípids neutres i els lípids polars. Els lípids polars són bàsicament lípids de tipus estructural i es troben principalment a la membrana de les cèl·lules. Els lípids polars es divideixen en glicerofosfolípids, gliceroglicolípid i esfingolípid. Per altra banda els lípids neutres són lípids de reserva i serveixen per emmagatzemar energia. Els lípids neutres són principalment triacil-, diacil- i monoacilgricerols, que són àcids grassos esterificats amb glicerol, colesterol, àcids grassos lliures i ceres.

La unitat bàsica estructural del lípids són els àcids grassos, amb la seva fórmula bàsica: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n \text{COOH}$, és a dir una cadena de carboni curta, un grup carboxil (COOH) en un extrem i en grup metil (CH_3) a l'altre. El valor n pot variar entre 0 i més de 20, i en general tenen un nombre parell de carbonis. La majoria dels que formen part dels greixos de la nostra dieta tenen entre 16 i 20 àtoms de carboni.

Es classifiquen en tres grups: àcids grassos saturats (o SFA de l'anglès *Saturated Fatty Acids*), monoinsaturats (o MUFA, de l'anglès *Monounsaturated Fatty Acids*) i poliinsaturats (o PUFA, de l'anglès *Polyunsaturated Fatty Acids*). La saturació és el resultat de la proporció d'àtoms d'hidrogen a àtoms de carboni. Si totes les valències disponibles d'una cadena bàsica de carboni s'omplen amb hidrogen, aquest àcid gras estarà completament saturat amb hidrogen. Si les valències disponibles s'utilitzen per establir un doble enllaç entre els carbonis de la cadena bàsica, l'àcid gras resultant serà monoinsaturat (o monoenoic, presenta un únic doble enllaç) o poliinsaturat (dienoic si té dos dobles enllaços, trienoic si en té tres, o polienoic si presenta varis dobles enllaços, fins a un màxim de 6). Com més dobles enllaços presenti un àcid gras, més inestable serà ja que tindrà una major facilitat per oxidar-se. Els àcids grassos insaturats s'anomenen $n-3$, $n-6$ o $n-9$ (o bé omega 3, omega 6, o omega 9) indicant el nombre de carbonis que hi ha entre el primer doble enllaç i el grup metil del final de la cadena, que s'anomena omega. A més, els àcids grassos insaturats poden compartir la seva fórmula però reben diferent nom en funció de la posició dels àtoms d'hidrogen units als àtoms de carboni en el doble enllaç, i aquest pot ser *cis*- o *trans*-. Així per exemple podem trobar dues formes per l'àcid amb 18 àtoms de carboni i un doble enllaç entre les posicions 9 i 10: l'àcid oleic (*cis*-) i l'àcid elaídic (*trans*-) (Figura 1.3).

Figura 1.3. Esquema de les formes *cis*- i *trans*- de l'àcid ^{9,10}octadecanoic.



Els àcids grassos més comuns a la natura són de tipus *cis*-, en els quals els dos àtoms d'hidrogen adjacents en el doble enllaç són en el mateix costat, i fa que la molècula formi un angle. En el cas dels enllaços tipus *trans*-, els àtoms de carboni es troben en costats oposats, i la forma de la molècula és recta, com en els àcids grassos saturats.

La longitud de la cadena i el nivell de saturació contribueixen a la temperatura de fusió d'un greix. En general, els greixos de cadena curta o amb molts dobles enllaços són líquids a temperatura ambient, en canvi, els greixos saturats o aquells que presenten llargues cadenes, són sòlids a temperatura ambient.

Les estructures dels àcids grassos poden modificar-se per mecanismes de saturació i elongació per tal de produir nous àcids grassos i molècules amb especials propietats químiques. L'evolució ha fet que els mecanismes per modificar els àcids grassos siguin diferents en animals i plantes, i fa que els animals no siguin capaços de sintetitzar alguns tipus d'àcids grassos, anomenats essencials i que cal que els rebin per la dieta.

Els olis i greixos estan formats per barreges d'aquests tres tipus d'àcids grassos, amb una gran varietat en la seva composició.

1.4.2. Àcids grassos saturats

1.4.2.1. Fonts habituals

Es troben generalment a greixos d'origen animal i es caracteritzen perquè es mantenen sòlids a temperatura ambient. No tenen cap doble enllaç. Aquests àcids grassos permeten als animals emmagatzemar gran quantitat d'energia en poc espai. Entre els SFA, l'àcid palmític és el producte primari per les rutes metabòliques per la síntesi d'altres àcids grassos en animals i plantes.

Els àcids grassos saturats més habituals es descriuen a continuació (Taula 1.2):

Taula 1.2. Descripció d'alguns dels àcids grassos saturats més comuns (Adaptat de Beare-Rogers et al., 2001).

Nom comú	Nom sistemàtic	Abreviatura	Nº dobles enllaços	Font habitual
Butíric	Butanoic	C4:0	0	Greix de la llet
Caproic	Hexanoic	C6:0	0	Greix de la llet
Caprílic	Octanoic	C8:0	0	Oli de coco
Càpric	Decanoic	C10:0	0	Oli de coco
Lauric	Dodecanoic	C12:0	0	Oli de coco o de palma
Mirístic	Tetradecanoic	C14:0	0	Greix de la llet, oli de coco
Palmític	Hexadecanoic	C16:0	0	Oli de palma, greix animal
Esteàric	Octadecanoic	C18:0	0	Mantega de cacau, greix animal
Araquídic	Elcosanoic	C20:0	0	Oli de maní o cacahuet
Behenic	Docosanoic	C22:0	0	Oli de cacahuet

1.4.2.2. Efectes sobre la salut dels àcids grassos saturats

El consum de dietes amb un alt contingut d'àcids grassos saturats està relacionat amb l'aparició de problemes de tipus cardiovascular i aterosclerosi (Rhee et al., 1988). Això sembla degut al fet que una alta ingesta de greixos saturats augmenta els nivells de colesterol conegut popularment com a "dolent", és a dir les lipoproteïnes de baixa densitat (LDL, de l'anglès *Low Density Lipoprotein*) (Beegom & Singh, 1997).

L'anomenat colesterol LDL és un dels tipus de lipoproteïnes que permeten el moviment del colesterol pel torrent sanguini, i la lipoproteïna LDL és l'encarregada del transport del colesterol cap a les artèries afavorint que aquest s'acumuli i l'aparició de l'aterosclerosi.

1.4.3. Àcids grassos monoinsaturats

1.4.3.1 Fonts habituals

Es troben tant a greixos d'origen animal com vegetal, i es mantenen líquids a temperatura ambient. Els podem trobar en aliments com ara nous i alvocats, i en molts

olis vegetals com l'oli d'oliva, oli de gira-sol, de sèsam o de cacauet. També poden ser sintetitzats per l'organisme a partir dels seus homòlegs saturats mitjançant processos d'elongació i dessaturació. El doble enllaç més comú en els àcids grassos monoinsaturats és el tipus *n*-9. Tot i així hi ha certes famílies de plantes, com la família *Eranthis* que es caracteritzen per tenir el doble enllaç en la posició *n*-5.

Els àcids grassos monoinsaturats més habituals es descriuen a continuació (Taula 1.3).

Taula 1.3. Descripció d'alguns dels àcids grassos monoinsaturats més comuns (Adaptat de Beare-Rogers et al., 2001).

Nom comú	Nom sistemàtic	Abreviatura	Nº dobles enllaços	Font habitual
Caproleic	9-Decenoic	C10:1 (<i>n</i> -9)	1	Greix de la llet
Lauroleic	9-Dodecenoic	C12:1 (<i>n</i> -9)	1	Greix de la llet
Miristoleic	9-Tetradecenoic	C14:1 (<i>n</i> -9)	1	Greix de la llet
Palmitoleic	9-Hexadecenoic	C16:1 (<i>n</i> -9)	1	Oli de peix, sagí
Oleic	9-Octadecenoic	C18:1 (<i>n</i> -9)	1	Oli d'oliva
Elaídic	9-Octadecenoic	t-C18:1 (<i>n</i> -9)	1	Greix de la llet
Vaccenic	11-Octadecenoic	C18:1 (<i>n</i> -7)	1	Greix de la llet

L'àcid oleic (C18:1 *n*-9) és el MUFA més abundant en la natura, tot i que hi ha descrits més de 100 tipus d'àcids grassos d'aquest tipus. Com es pot veure en la Figura 1.4, la seva molècula es caracteritza per formar un angle allà on es troba el doble enllaç. Com en el cas d'altres MUFA, l'àcid oleic el pot fabricar el propi organisme dels animals a partir de l'àcid gras saturat homòleg, l'àcid esteàric (C18:0). Al mateix temps, l'àcid oleic funciona com a precursor de molts altres PUFA. Les plantes produeixen àcids grassos tipus *n*-3 i *n*-6 a partir de l'àcid oleic, i els animals poden mitjançant diferents reaccions enzimàtiques elongar i dessaturar l'àcid oleic per crear una àmplia varietat d'àcids grassos tipus *n*-9.

Figura 1.4. Estructura de la molècula d'àcid oleic en 3 dimensions.



1.4.3.2. Efectes sobre la salut dels àcids grassos monoinsaturats

Els últims estudis han demostrat que els MUFA, i especialment l'àcid oleic de l'oli d'oliva, tenen una acció protectora davant de les malalties cardiovasculars, intervenen en certes funcions del sistema immune, i poden baixar els nivells de tensió arterial (Ruiz-Gutierrez, 1996).

Els aliments amb un alt contingut en MUFA disminueixen el LDL colesterol i augmenten el colesterol conegut com a “bo” o colesterol d'alta densitat (HDL, de l'anglès *High Density Lipoprotein*). El colesterol HDL és un altre dels cinc tipus de lipoproteïnes encarregades del transport del colesterol pel torrent sanguini, però en aquest cas les partícules HDL s'encarreguen de retirar el colesterol de les artèries i dels ateromes i transportar-lo cap al fetge. Alguns PUFA també rebaixen la concentració del colesterol transportat per les LDL, però alhora rebaixen també la concentració de l'associat a les HDL, mentre que els olis monoinsaturats rebaixen la fracció de colesterol transportada per les LDL sense afectar o bé augmentant el colesterol lligat a les HDL. Aquest fenomen es produeix perquè l'àcid oleic augmenta l'activitat dels receptors específics situats a la superfície de les cèl·lules per captar el colesterol LDL, retirant-lo de la circulació sanguínia.

1.4.4. Àcids grassos poliinsaturats

1.4.4.1. Fonts habituals

Es troben en olis de tipus vegetal i en alguns productes marins. Són líquids a temperatura ambient. Els aliments rics en àcids grassos poliinsaturats són la majoria de cereals, cacauets i molts peixos i productes de la pesca. Es troben agrupats en famílies en funció de la posició del primer doble enllaç. Alguns d'aquests àcids grassos poliinsaturats del tipus *n*-6 (linoleic, C18:2 *n*-6; i araquidònic, C20:4 *n*-6) es consideren àcids grassos essencials ja des de l'any 1920, degut a que l'organisme dels mamífers no pot sintetitzar-los perquè no és capaç d'introduir dobles enllaços més enllà dels carbonis 9 i 10, i s'han de rebre exògenament a través de la dieta. La seva carència pot conduir a manifestacions clíniques com problemes per controlar la pressió sanguínia, problemes de coagulació o de resposta davant la inflamació (Kruger & Horrobin, 1997). A partir de 1970 es va demostrar que també alguns àcids grassos de la família *n*-3 eren essencials

(linolènic, C18:3 *n*-3). Els àcids grassos essencials també serveixen de precursors per la síntesi d'altres àcids grassos com ara l'eicosapentaenoic (EPA, C20:5 *n*-3) o el docosahexaenoic (DHA, C22:6 *n*-3) a través de la seva elongació i dessaturació, majoritàriament en el fetge, a través de la ruta metabòlica anomenada Spretcher (Spretcher et al., 1995).

Els àcids grassos poliinsaturats més habituals es descriuen a continuació (Taula 1.4).

Taula 1.4. Descripció d'alguns dels àcids grassos poliinsaturats més comuns (Adaptat de Beare-Rogers et al., 2001).

Nom comú	Nom sistemàtic	Abreviatura	Nº dobles enllaços	Font habitual
Àcid linoleic	<i>all-cis</i> -9,12-octadecadienoic acid	18:2 (<i>n</i> -6)	2	Oli de girasol, llavors de cotó
À. Gamma- linolènic	<i>all-cis</i> -6,9,12-octadecatrienoic acid	18:3 (<i>n</i> -6)	3	Llavors de borratja i grosella
À. Alfa linolènic	<i>all-cis</i> -9,12,15-octadecatrienoic acid	18:3 (<i>n</i> -3)	3	Llavors i oli de lli
À. Eicosadienoic	<i>all-cis</i> -11,14-eicosadienoic acid	20:2 (<i>n</i> -6)	2	Olis de peix i llavors de plantes
À. Eicosapentaenoic	<i>all-cis</i> -5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid	20:5 (<i>n</i> -3)	5	Olis de peix

1.4.4.2. Efectes sobre la salut dels àcids grassos poliinsaturats

Els últims estudis indiquen que la ingesta de PUFA pot disminuir la tensió arterial i disminuir el risc de patir malalties cardiovasculars (Lichtenstein et al., 2006). Els PUFA també tenen un efecte positiu sobre la incidència del càncer de mama en dones (Pala et al., 2001) i en l'evolució del càncer de pròstata en homes (Yong et al., 2007). La ingesta de PUFA disminueix els nivells de colesterol LDL, que es pot considerar com un efecte positiu sobre la salut, però també té efectes negatius ja que, a l'hora, també promou una reducció dels nivells de colesterol HDL (Grundy et al., 1996).

1.5. PAPER DELS LÍPIDS EN LA DIETA HUMANA

Els lípids tenen un paper fonamental en la dieta humana amb una triple funció, són una important font d'energia, són portadors de vitamines liposolubles i portadors d'àcids grassos essencials.

1.5.1. Font d'energia

Cada gram de greix aporta 9 kcal. Els greixos funcionen com a reserva d'energia ja que les calories ingerides a través de la dieta no utilitzades s'emmagatzemen en forma de greix a l'organisme.

1.5.2. Vitamines liposolubles

Els greixos ingerits a través de la dieta proporcionen les vitamines liposolubles A, D, E i K a més de precursors d'aquestes mateixes vitamines. La manca de greix a la dieta podria donar lloc a estats de carència degut a una ingesta insuficient de vitamines.

1.5.3. Àcids grassos essencials

Els àcids linoleic, linolènic i l'araquidònic es troben dins d'aquest grup d'àcids grassos essencials, els quals són imprescindibles pel funcionament de l'organisme que no és capaç de sintetitzar-los i han d'arribar a través de la dieta. En els animals, aquests àcids grassos intervenen en una gran varietat de funcions metabòliques, entre altres en la fluïdesa i permeabilitat de la membrana cel·lular. Altres serveixen com a precursors d'hormones i missatgers químics, com els eicosanoids, uns potents missatgers químics amb efecte anti-inflamatori, o les prostaglandines, amb efecte pro-inflamatori, i també tenen un important paper com a font de reserva d'energia.

1.6. RECOMANACIONS NUTRICIONALS ACTUALS

Degut a l'estreta relació entre la ingesta de greixos i la salut, els últims anys han anat apareixent una relació de recomanacions mèdiques sobre el consum de greixos per disminuir els seus efectes sobre la salut humana. Les primeres recomanacions mèdiques oficials respecte als hàbits alimentaris van anar encaminades cap a la disminució del consum de greixos, sobretot els saturats, per evitar els seus efectes negatius. Les recomanacions del Departament de Salut del Regne Unit (Department of Health, 1994) indicaven que menys del 30% de les calories diàries de la dieta han de provenir de greixos, amb un màxim del 10% de calories diàries provinents de greixos de tipus saturat. En el cas de l'Associació Americana del Cor (American Heart Association, 1992), recomanava disminuir la ingesta d'àcids grassos saturats i indicava que un màxim del 7% de les calories diàries provinguessin de greixos de tipus saturat.

A part del contingut de greix de la dieta, el tipus d'àcids grassos de la mateixa també té efectes sobre la salut. Així, altres recomanacions mèdiques tractaven de la relació entre PUFA i SFA de la dieta, que hauria de situar-se per damunt de 0.4 (Wood et al., 2003). En el cas de la carn de porc, aquest valor és adequat i es troba per damunt del valor recomanat, i en alguns estudis el valor en el llom seria de 0.58 (Enser et al., 1996), mentre que en altres espècies com la vedella o el xai aquest no arriba als nivells proposats per a una dieta saludable i es troba al voltant de 0.1. Recentment els nutricionistes han centrat la seva atenció en el tipus de PUFA i el balanç entre els PUFA omega 3 o *n*-3, derivat de l'àcid α -linolènic (C18:3), i els PUFA omega 6 o *n*-6, derivats de l'àcid linoleic (C18:2) (Williams, 2000). S'ha vist que desequilibris en aquesta ràtio entre PUFA *n*-6 i PUFA *n*-3 (*n*-6/*n*-3) són un factor de risc, i ràtios elevades s'associen a processos com càncers i problemes coronaris, especialment relacionat amb la formació de coàguls sanguinis que poden resultar en atacs de cor (Enser, 2001). Valors elevats d'aquesta ràtio elevada també estan relacionats amb problemes d'artritis (Cleland et al., 2003), asma (Prescott & Calder, 2004), o de salut mental (Heude et al., 2003). Les recomanacions actuals aconsellen augmentar el consum d'àcids grassos *n*-3 i parlen d'una ràtio *n*-6/*n*-3 adequada quan és inferior a 4 (Enser, 2001). En el cas de la carn procedent dels remugants que han consumit herba durant el període d'engreix, aquesta presenta de manera natural unes ràtios de PUFA *n*-6/*n*-3 molt baixes mentre que el valor que presenta la carn de porc es situa al voltant de 20 (Enser, 2001). Això es deu al tipus d'alimentació que reben els porcs durant la seva cria, a base de cereals que es

caracteritzen per presentar una ràtio $n-6/n-3$ desfavorable (Wood et al., 2003). En el animals monogàstrics, com el porc, el perfil lípidic de la dieta influeix de manera significativa en el perfil de greixos de la carn ja que durant la digestió els àcids grassos de la dieta no es modifiquen (Miller et al., 1990; Nuernberg et al., 2005). Així, canvis en el perfil d'àcids grassos de la dieta poden modificar també el perfil d'àcids grassos de la canal. És per això que existeixen estudis on s'ha pogut reduir significativament aquesta ràtio $n-6/n-3$ a través de canvis en la dieta dels animals durant l'etapa de creixement i engreix fins a valors com 7.2, més ajustats a les recomanacions nutricionals (Enser et al., 1996).

Existeixen a més estudis mèdics des de la època dels 70 (Keys, 1970) i també posteriors (De Lorgeril et al., 1999), que parlen dels avantatges de dietes del tipus mediterrani, amb l'oli d'oliva ric en àcid oleic com la font principal de greix. En aquests estudis es destaca que aquesta dieta es caracteritza per presentar un menor contingut en SFA, i sobretot uns alts nivells de MUFA amb un efecte protector davant de malalties cardiovasculars i una reducció dels nivells de colesterol.

Taula 1.5. Descripció del contingut en greix i composició d'àcids grassos del greix i múscul del llom de vedella, xai i porc (Font: Enser et al., 1996).

	Vedella	Xai	Porc
Contingut en greix ^a	15.6	30.2	21.1
Àcids grassos del múscul, (% del total)			
C16:0	25.0	22.2	23.2
C18:0	13.4	18.1	12.2
C18:1 <i>n</i> -9	36.1	32.5	32.8
C18:2 <i>n</i> -6	2.4	2.7	14.2
C18:3 <i>n</i> -3	0.70	1.37	0.95
C20:4 <i>n</i> -6	0.63	0.64	2.21
C20:5 <i>n</i> -3	0.28	0.45	0.31
C22:6 <i>n</i> -3	0.05	0.15	0.39
P:S	0.11	0.15	0.58
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	2.11	1.32	7.22
Àcids grassos del greix, (% del total)			
C16:0	26.1	21.9	23.9
C18:0	12.2	22.6	12.8
C18:1 <i>n</i> -9	35.3	28.7	35.8
C18:2 <i>n</i> -6	1.1	1.3	14.3
C18:3 <i>n</i> -3	0.48	0.97	1.43
C20-C22 <i>n</i> -3 PUFA	ND ^b	ND ^b	0.36

^aContingut mig de greix per 100 g de carn en 50 mostres de llom.

^bND: no es detecten en aquestes espècies.

La taula 1.5 on es comparen els diferents perfils de greixos de la vedella, el xai i el porc, mostra com és el xai el que conté més greix total. Per altra banda, en l'anàlisi del perfil dels greixos, destaca el nivell de C18:2 molt més alt en el cas del porc, degut a una dieta basada en els cereals, que deriva en una ràtio *n*-6/*n*-3 alta. Per contra, la carn de porc presenta una ràtio PUFA/SFA d'acord amb les recomanacions nutricionals.

1.7. LÍPIDS I QUALITAT TECNOLÒGICA DE LA CARN

Seguint les recomanacions nutricionals actuals, sembla que l'objectiu per millorar la qualitat nutricional de la carn de porc passi per disminuir-ne el percentatge de SFA i augmentar-ne el percentatge de MUFA i PUFA. Cal tenir en compte però, que a més dels efectes sobre la salut, el perfil d'àcids grassos de la carn, i especialment el nivell de PUFA té també un important efecte sobre la vida útil i la qualitat tecnològica de la carn.

1.7.1. Oxidació

Els àcids grassos insaturats presenten un alt risc d'oxidació, i com més llarga és la cadena dels àcids grassos i major nombre de dobles enllaços presenten, major és aquest risc (Gray & Pearson, 1987). Mentre els animals són vius, l'organisme disposa de diferents sistemes per protegir-se i evitar l'oxidació dels lípids. Entre aquests hi trobem diferents tipus d'enzims, com ara la superòxid dismutasa, les catalases o el glutatió peroxidasa (Morrissey et al., 1998). En altres sistemes hi intervenen algunes proteïnes de transport, com la transferrina, la lactoferrina o la carnosina, que actuen capturant metalls i bloquegen les reaccions. Un altre mecanisme és el del retinol, que limita l'alliberació de ferro lliure altament reactiu a nivell de membranes (Morrissey et al., 1998).

Taula 1.6. Canvis bioquímics i conseqüències negatives en el múscul post-mortem (Adaptat de M. C. Erikson, *Food lipids*, 2008).

Canvi bioquímic	Conseqüència
Descens nivell ATP	Manca d'energia necessària per reduir certs components
Disminució de l'ascorbat i glutatió	Pèrdua d'antioxidants secundaris i cofactors
Augment del nivell de ferro	Inici de l' oxidació
Oxidació de la mioglobina	Pot interactuar amb el peròxid d'hidrogen i iniciar l'oxidació dels lípids
Pèrdua de tocoferol	Pèrdua d'un antioxidant primari
Desintegració de les membranes	Causa la hidròlisi del fosfolípids
Pèrdua de Ca^{2+}	L'augment dels nivells de calci a la fase aquosa pot inactivar diferents processos

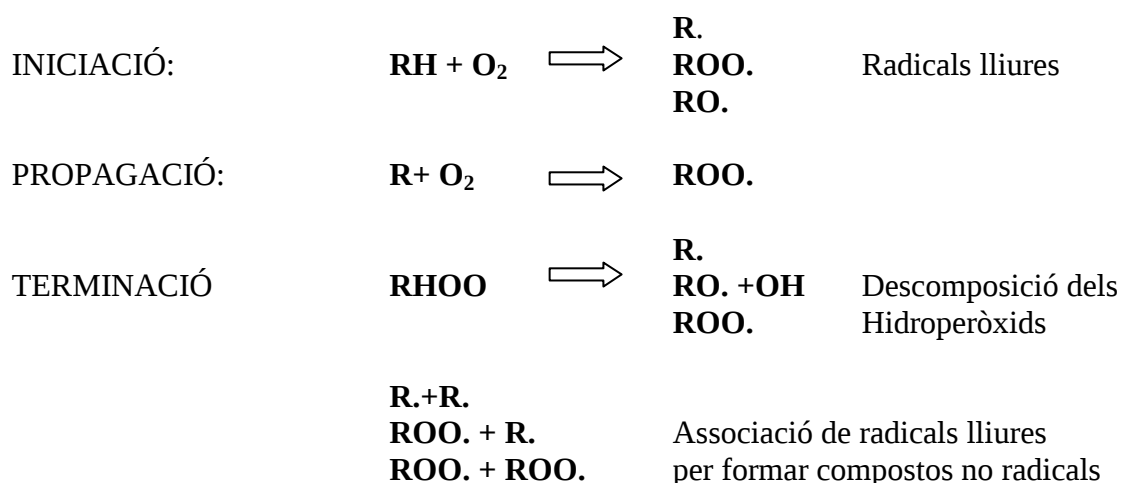
Però una vegada es sacrifiquen els animals i s'interromp la circulació sanguínia, els canvis bioquímics que acompanyen la transformació del múscul en carn, afavoreixen l'aparició de les condicions adequades per l'oxidació dels lípids (Taula 1.6).

Aquestes noves condicions es donen especialment en els fosfolípids insaturats de les membranes de les cèl·lules, que ja no es troben sota el control dels mecanismes antioxidants.

Les reaccions d'oxidació consisteixen en la degradació dels lípids i normalment s'inicien en fosfolípids estructurals de les membranes cel·lulars (Gray & Pearson, 1987). L'oxidació té lloc quan es formen radicals lliures en els lípids de la membrana cel·lular, degut a la reacció entre els àcids grassos i l'oxigen, resultant en una alteració de la cèl·lula. Una vegada es formen els radicals lliures, s'inicia una reacció en cadena, fins a formar un hidroperòxid. Aquests hidroperòxids es degraden formant productes de cadena més curta amb radicals lliures que ataquen altres àcids grassos de manera exponencial. El procés s'acaba mitjançant reaccions de terminació que tenen lloc quan hi ha un alt contingut de radicals lliures, que en aquestes reaccions de terminació xoquen entre ells i combinen els seus electrons per donar lloc a un nou enllaç i formar grups aldehids i cetones, que són els responsables de l'olor de ranci de la carn.

La oxidació es divideix doncs en tres etapes, iniciació, propagació i terminació tal i com es mostra en la Figura 1.5.

Figura 1.5. Fases del procés d'oxidació del lípids.



Diferents estudis han demostrat que l' estabilitat oxidativa de la carn està estretament lligada al grau d'insaturació del múscul (Rhee et al., 1988; Larick et al., 1992). Així, presenten un major risc d'oxidació aquelles carns amb un alt percentatge de PUFA, ja que aquests són molt inestables a nivell oxidatiu. L' oxidació dels lípids és un problema difícil de solucionar i que comporta importants alteracions en la carn (Taula 1.7.), com la disminució de la seva vida útil (Morel et al., 2006) o l'alteració del sabor, degut a la seva gran susceptibilitat a l'enranciment (Wood et al., 2003) o de la seva qualitat nutricional. Les recomanacions tecnològiques indiquen no superar un nivell del 22-23 % de PUFA en greix subcutani per reduir els problemes associats a l'oxidació (Bryhni et al., 2002). Aquests problemes d'oxidació també poden aparèixer en pernills durant el seu període d'assecat.

Taula 1.7. Conseqüències de l'oxidació dels lípids de la carn (Adaptat de M. C. Erikson, Food lipids, 2008).

Aparició del sabor de carn fresca
Aparició de sabors desagradables (de carn reescalfada o de ranci)
Oxidació del colesterol formant compostos potencialment perillosos per la salut
Desnaturalització de les proteïnes i canvis en la seva funcionalitat
Canvis en els pigments
Mioglobina (vermella) $\Longrightarrow$ Metamioglobina (Marró)
Pèrdua de pigmentació vermella (carotenoides)

1.7.2. Punt de fusió

Els diferents àcids grassos presenten diferents punts de fusió, per tant, el perfil d'àcids grassos tindrà efecte sobre la fermesa de la carn i del greix (Taula 1.8). La consistència del greix depèn fonamentalment de la proporció de triglicèrids que es troben de manera líquida o sòlida a una determinada temperatura, és a dir, del nombre d'insaturacions que presenten les cadenes dels àcids grassos. Els SFA són sòlids a temperatura ambient, mentre que els MUFA o PUFA són líquids a temperatura ambient. En conseqüència, els triglicèrids, amb una alta proporció de PUFA, poden ser líquids a temperatures de refrigeració, inclús de congelació, donant problemes en les carns destinades a l'elaboració de productes carnis o curats (Lopez-Bote, 2000).

Taula 1.8. Punt de fusió de diferents àcids grassos de la carn (Adaptat de Dugan, 1994).

Nom comú	Abreviatura	Nº dobles enllaços	Punt de fusió (gr. C)
Caprílic	C8:0	0	16.7
Mirístic	C14:0	0	54
Palmític	C16:0	0	63
Estearic	C18:0	0	70
Palmitoleic	C16:1	1	61
Oleic	C18:1	1	13
Linoleic	C18:2	2	-5
Linolènic	C18:3	3	-11

1.7.3. Greix intramuscular i color

El perfil d'àcids grassos de la carn també dóna diferències en el color i quantitat de greix i en el color de la carn. El greix saturat es veu més blanc i sembla més abundant que no pas el greix insaturat, sobretot aquell que presenta més de dos dobles enllaços. En carns amb un nivell més alt de greix insaturat pot semblar que hi ha menys greix, quan el seu contingut és el mateix però en estat líquid i no visible (Miller et al., 1990). Per altra banda l'oxidació dels àcids grassos pot donar problemes de pèrdua de color a la carn. El canvi en el color de la carn es deu a l'oxidació de l'oximioglobina de color vermell que passa a metamioglobina, de color marró, en paral·lel a la oxidació de la carn. El color de la carn no és un factor determinant pel que fa a la qualitat organolèptica però pot fer que aquesta no sigui atractiva pel consumidor al moment de la compra, ja que aquest prefereix un color vermell brillant.

1.8. CARACTERÍSTIQUES NUTRICIONALS DE LA CARN DE PORC

La carn és vista pels consumidors com una font important de greixos. En el cas concret de la carn de porc s'ha associat tradicionalment a un alt contingut de greixos saturats i amb problemes de salut com ara càncers o malalties cardiovasculars (Mattson & Grundy, 1985). Aquesta relació era parcialment certa fins fa uns anys, però avui en dia, els avenços en la millora genètica i el desenvolupament de la indústria dels pinsos, han portat a un gran canvi en la quantitat de greix en la carn de porc així com el tipus d'àcids grassos que conté. El perfil nutricional actual de la carn de porc, tal i com es

descriu a la taula 1.9, mostra que es tracta d'una carn molt completa, una molt bona font de proteïnes, rica en vitamines, especialment del grup B, i amb un perfil lipídic que es pot ajustar segons el perfil lipídic de la dieta subministrada durant el període d'engreix dels animals.

Taula 1.9. Composició nutricional de la carn de porc (Font: SENC, 2004).

Nutrient	
Calories	310 Kcal
Proteïnes	15.5 g
Hidrats de carboni	-
Greixos	27.5 gr.
AG saturats	11.5 gr.
AG monoinsaturats	12.9 gr.
AG poliinsaturats	2.2 gr.
Colesterol	71 mg.
Fibra	-
Sodi	9.0 mg.
Calci	9.0 mg
Ferro	2.5 mg.
Potassi	300 mg.
Vitamina B1	0.95 mg.
Vitamina B2	0.19 mg.
Vitamina B3	4.25 mg.
Vitamina B6	0.37 mg.
Vitamina B9	3 µg.
Vitamina B12	2 µg.
Vitamina E	-

1.9. EL GREIX DE LA CARN DE PORC

1.9.1. Característiques generals

El greix és el component de la carn de porc més controvertit des del punt de vista de la seva contribució en una dieta equilibrada. El greix es pot localitzar a nivell subcutani o intermuscular, i ser fàcilment eliminable abans de menjar la peça de carn, o bé a nivell intramuscular. El greix intramuscular proporciona sabor i aroma a la carn,

però és molt difícil d'eliminar. Els diferents talls o peces de carn de porc utilitzats per la venda al menor varien en la quantitat de greix extern, intermuscular i intramuscular, així com en la composició d'aquest, que es troba influenciada per nombrosos factors (veure Taula 1.10).

Quant a la seva composició, els lípids de la carn de porc són un barreja complexa dels diferents tipus d'àcids grassos, i es troben agrupats formant majoritàriament triglicèrids (90-95%), diglicèrids i monoglicèrids (1-2 %), àcids grassos lliures (0,5%) i fosfolípids (1-2%).

Taula 1.10. Perfil lipídic de diferents productes del porc (Font: Tablas de composición de alimentos, versió 2.1).

Composició lipídica en 100 g de porció comestible						
	Carn magra promig	Bacó	Llom fresc	Costella	Pernil serrà	Pernil cuit
Total SFA (g)	2.11	14.99	2.45	6.30	12.35	4.74
C14:0 (mg)	80	57	90	153	300	115
C16:0 (mg)	1380	961	1580	3893	7626	2931
C18:0 (mg)	680	460	780	2261	4429	1702
C20:0 (mg)	0	0	0	0	0	0
Total MUFA (g)	2.82	20.04	3.23	7.63	14.95	5.74
C14:1 (mg)	0	0,0	0	0	0	0
C16:1 (mg)	200	127	230	646	1265	486
C18:1 (mg)	2575	1833	2950	6987	13686	5261
C20:1 (mg)	45	34	50	0	0	0
Total PUFA(g)	0.86	5.03	0.75	1.92	3.20	1.44
C18:2 (mg)	545	429	620	1462	2480	1101
C18:3 (mg)	35	213	40	170	162	128
C18:4 (mg)	0	0	0	0	0	0
C20:4 (mg)	289	112	90	289	566	218
C22:5 (mg)	0	0	0	0	0	0
Greix total (gr.)	6.25	45	7.15	17	33.0	12.8

1.9.2. Factors que influencien la composició del greix del porc

1.9.2.1. Dieta

Nombrosos estudis, ja des dels anys 20 del segle passat, han demostrat que el perfil de greixos de la dieta influeix significativament en la composició d'àcids grassos dels lípids d'animals monogàstrics com el porc (Ellis & Isbell, 1926; St. John et al., 1987; Miller et al., 1990; Nuernberg et al., 2005). Això és així perquè la majoria dels àcids grassos no es modifiquen durant la digestió en els animals monogàstrics. Els àcids grassos són absorbits majoritàriament a la part distal del duodè i al jejú, i són transportats formant quilomicrons a través del sistema limfàtic, fins a ser dipositats en el fetge o en el teixit adipós sense modificar-se. A més, la ingesta de greix a través de la dieta redueix la síntesi endògena d'àcids grassos i, en conseqüència, al cap d'unes poques setmanes, el greix de l'animal presenta una composició similar a la del greix de la dieta (Ordóñez & De la Hoz, 1996). Aquest fet ha permès en els últims anys portar a terme nombrosos estudis encaminats a modificar el perfil d'àcids grassos de la carn de porc a través de canvis en la dieta per aconseguir uns perfils més ajustats a les demandes actuals. En els rumugants, en canvi, és molt més difícil, tot i que és possible, modificar el perfil d'àcids grassos a través de la seva dieta, ja que una gran part dels MUFA i PUFA són hidrogenats al rumen i transformats en àcids grassos saturats i àcids grassos tipus trans (Scollan et al., 2001).

A més de la composició, la concentració energètica o l'equilibri entre els nutrients (proteïnes, lípids, carbohidrats) de la dieta també pot afectar al perfil d'àcids grassos de la carn. Comparacions entre grups d'animals alimentats amb diferents nivells d'energia han mostrat que els grups sotmesos a una restricció energètica durant el període d'engreix presenten uns nivells de PUFA més alts i uns nivells més baixos de SFA i MUFA al greix dorsal, greix omental i greix intramuscular que no pas els alimentats d'acord amb els nivells d'energia recomanats habitualment per les dietes dels porcs (Bee et al., 2002). Una dieta rica en proteïna pot fer augmentar la velocitat de creixement dels animals afavorint el desenvolupament del teixit magre en detriment del desenvolupament del teixit adipós, amb el consegüent augment de PUFA com el linoleic (Pascal et al., 1975).

En el següent apartat (1.10), s'explicarà més detalladament com s'han dut a terme diferents modificacions del perfil d'àcids grassos de la carn a través de l'ús de diferents tipus de dietes.

1.9.2.2. Contingut de greix de la canal

Existeix una correlació positiva entre el nivell de greix de la canal i la saturació dels seus àcids grassos. Quan augmenta el contingut en greix a la canal, disminueix la concentració d'aigua del greix i el seu contingut en greixos saturats augmenta (Wood & Enser, 1982). La selecció a favor d'animals amb un alt contingut en magre que s'ha dut a terme en els últims anys ha resultat en unes canals amb un menor contingut de greix i en un augment dels PUFA dels greix d'aquestes canals (Wood & Enser, 1997).

1.9.2.3. Sexe

El sexe és un factor molt important a l'hora de determinar el perfil d'àcids grassos perquè està estretament lligat amb el nivell de greix de la canal. A igual pes a sacrifici, els mascles tenen un menor contingut de greix que les femelles i aquestes, menor que els mascles castrats (Enser, 1991). Aquestes diferències en el nivell de greix a la canal entre els diferents sexes a conseqüència del seu metabolisme, han estat àmpliament estudiades i descrites en nombrosos estudis (Blasco et al., 1994; Hamilton et al., 2003; Latorre et al., 2003). Així, els animals castrats, amb un major contingut de greix, són els que presenten un major nivell de greix saturat, per damunt de les femelles i els mascles sencers, essent aquets darrers els que presenten un menor contingut de SFA (Piedrafita et al., 2001; Nurnberg et al., 2005; Renaudeau & Mouro, 2007).

1.9.2.4. Pes i edat a sacrifici

El pes de sacrifici també pot modificar el perfil d'àcids grassos de la canal, ja que l'augment del pes a sacrifici es relaciona amb un augment del contingut de greix a la canal i un major contingut de SFA (Zhang et al., 2007).

L'edat també té un efecte sobre el grau d'engreixament de la canal, de manera que animals d'edats superiors presenten una major proporció de greixos de tipus saturat. A més, molts dels animals que es sacrifiquen a pesos elevats són de races tradicionals

que ja es caracteritzen per presentar un major contingut de greix a la canal (Serra et al., 1998; Wood et al., 2003).

1.9.2.5. Localització anatòmica

Ja des de la dècada dels anys 40 existeixen estudis indicant la influència de la localització anatòmica en la composició d'àcids grassos dels diferents teixits (Hilditch, 1944). El grau de saturació augmenta des de l'exterior de la canal cap a l'interior, és a dir que el teixit greixós subcutani té un major contingut de greixos insaturats que no pas el greix perirenal (St. John et al., 1987). Així mateix, el tipus de fibra muscular pot donar diferències en el perfil d'àcids grassos entre músculs. Els músculs considerats vermells presenten una major proporció de fosfolípids que els músculs blancs, i, per tant, els vermells presenten un major percentatge de PUFA (Wood et al., 2003).

1.9.2.6. Raça

Existeixen diferències entre el perfil d'àcids grassos i el contingut de greix de les canals de les diferents races (Pascual et al., 2006; Zhang et al., 2007). El perfil d'àcids grassos del múscul presenta una heretabilitat entre moderada i elevada (Cameron & Enser, 1991). Sembla que part d'aquestes diferències es deuen, entre d'altres motius, als diferents nivells d'enzims tipus dessaturases i elongases que intervenen en el metabolisme dels lípids i que no es troben en igual concentració en les diferents races (Zang et al., 2007). En general però, les races més modernes i que han estat seleccionades durant les últimes dècades a favor de la reducció del contingut en greix, presenten una major proporció de greixos insaturats, que poden afectar negativament la qualitat tecnològica de la carn, amb problemes de separació de teixits i problemes de conservació (Averette Gatlin et al., 2002). En canvi, les races més rústiques es caracteritzen per un major contingut de greixos de tipus saturat (Renaudeau & Mouro, 2007). Una comparativa entre animals de les races Schwerfurter, raça rústica alemanya i Pietrain, altament seleccionada pel creixement en magre, va mostrar que aquests segons, presentaven un menor tamany dels adipòcits així com una major concentració de PUFA i una menor concentració de SFA en el teixit adipós (Nuernberg et al., 1995). Tot i així, el sistema productiu o d'alimentació pot modificar el perfil d'àcids grassos d'aquestes races rústiques com és el cas dels porcs del tronc ibèric. Es tracta d'una raça de les

considerades rústiques però on la seva alimentació a base de glans i pastura durant l'etapa de "Montanera", o bé en base a pinsos amb un perfil lipídic formulat per imitar els efectes d'aquesta, li confereixen al greix d'aquests animals un perfil d'àcids grassos amb un alt nivell d'insaturats, majoritàriament àcid oleic i linoleic (Ventanas et al., 2007).

1.9.2.7. Promotors del creixement

S'ha vist que l'administració d'hormones exògenes com la somatotropina porcina (pST) per afavorir els resultats de creixement i millorar el rendiment alimentari dels porcs, té importants efectes sobre la composició dels àcids grassos. L'administració de pST disminueix considerablement els dipòsits de greix de les canals, i augmenta la concentració de PUFA d'aquestes (Nuernberg et al., 1995).

1.10. MODIFICACIÓ PERFIL D'ÀCIDS GRASSOS EN CARN DE PORC A TRAVÉS DE LA DIETA

1.10.1. Efecte de les fonts de greix en el rendiment productiu

Fruit de les actuals recomanacions nutricionals i demandes dels consumidors, s'han dut a terme diferents estudis dirigits a reduir el contingut en àcids grassos saturats de la carn de porc per aconseguir uns productes amb un perfil més saludable. Tot i així, és important destacar que, a part d'ajustar-se a les demandes del mercat, aconseguir el millor rendiment econòmic i la major productivitat de cada animal són també objectius prioritaris en la producció porcina intensiva. És per això que l'efecte de l'ús de dietes amb diferents fonts de greix sobre els resultats productius ha estat avaluada en diferents estudis. Busboom et al. (1991), i Castell i Falk (1980) i Lauridsen (1999) no van trobar diferències en el creixement entre animals alimentats amb dieta control i aquells alimentats amb dietes altes en MUFA. En canvi, altres estudis han trobat efecte de les dietes altes en MUFA en alguns paràmetres de creixement. Castell (1977) va trobar una disminució de creixement en animals alimentats amb una dieta alta amb MUFA, i va associar aquest fet a una disminució de la ingesta degut a les característiques del pinso ric en MUFA. Busboom et al. (1991) i Myer et al. (1992) també van detectar una disminució de la ingesta en porcs alimentats amb dietes altes en MUFA, però van

associar aquest fet a una major concentració energètica de la dieta, ja que els porcs mengen en funció de les seves necessitats energètiques i la concentració energètica de la dieta que prenen. Corino et al. (2008) i Bee et al. (2002) van trobar resultats similars a aquests en comparar els resultats productius de porcs alimentats amb dietes control i altres amb dietes amb diferents fonts de greix. Aquests autors van destacar que la concentració energètica de la dieta podia afectar als resultats, amb una disminució de la ingesta i un millor índex de conversió, però que la font de greix emprada no tenia efecte sobre els resultats productius. Apple et al. (2009) va determinar que no hi havia diferències en els resultats productius de porcs alimentats amb una dieta control i els alimentats amb diferents fonts de greix al 5%, entre elles una font alta en MUFA, quan les característiques nutricionals de les dietes eren semblants. Així, l'ús de dietes amb una alta concentració energètica fruit de la inclusió de greixos, pot ésser una estratègia positiva per millorar els índex de conversió en el porcí, però per contra, pot resultar en unes canals amb un nivell massa alt de greix (Pettrigrew & Moser, 1991) o amb un greix de característiques inadequades per alguns mercats (Lopez-Bote, 2000).

1.10.2. Canvis en el perfil d'àcids grassos dels teixits

A l'emprar dietes amb diferents fonts de greix per modificar el perfil dels àcids grassos de la carn de porc, cal garantir també que es mantingui la qualitat de la canal, la qualitat tecnològica de la carn i del greix, i la palatabilitat i sabor dels productes obtinguts tant en carn fresca com en els pernills i productes curats (Shackelford et al., 1990). Tots aquests aspectes, estan estretament lligats amb el perfil d'àcids grassos de la carn.

Des de la dècada dels 70, existeixen estudis amb l'objectiu de modificar el perfil d'àcids grassos dels teixits del porc, on s'han utilitzat dietes amb elevats continguts en PUFA, utilitzant com a fonts de greix llavors de soja (Warnants et al., 1999) o llavors de lli (Wahlstrom et al., 1971; Skelly et al., 1975; Sheard et al., 2000). Aquests estudis van aconseguir uns augments significatius en la concentració de PUFA i una disminució del nivell de SFA en els diferents teixits avaluats.

Per tal d'evitar o reduir els problemes tecnològics associats a l'augment del nivells de PUFA a la carn, en alguns estudis es van subministrar a les dietes dels animals antioxidants exògens. Existeixen diferents tipus de productes antioxidants, com les vitamines C i E, substàncies fenòliques com galat de propil o el hidroxianisol butil, o

bé fosfats associats amb metalls (coure o ferro), per tal de protegir a l'organisme de la formació de radicals lliures capaços d'iniciar les reaccions d'oxidació dels lípids (Schaefer et al., 1995). Tot i que en general sembla que aquests productes poden ser efectius, els resultats obtinguts de l'ús d'aquests antioxidants en l'estabilitat oxidativa dels diferents teixits han estat, però, força variables, en funció del sistema emprat per subministrar l'antioxidant (via pinso, aigua, o injecció) i també de la duració del tractament. L'efecte dels productes dels antioxidants està estretament lligat a la concentració que arriba d'aquests productes als teixits, de la seva solubilitat en el greix i també al nombre de dobles enllaços del greix. Monahan et al. (1994) i Hoving-Bolink et al. (1998) van detectar una menor oxidació de la carn d'aquells animals als que se'ls havia subministrat vitamina E durant l'etapa d'engreix. Els nitrits que s'empren per curar la carn tenen també un efecte antioxidant des de concentracions tan baixes com 50 mg/kg de carn (Gray & Pearson, 1994). En el cas dels antioxidants fenòlics, aquests van ser efectius per reduir l'oxidació en productes carnis com salsitxes (Shahindi et al., 1987).

Al mateix temps, va aparèixer un notable interès en l'obtenció de carns amb un alt contingut en MUFA, amb un conegut efecte positiu sobre la salut del consumidor. L'ús de fonts de greix amb un alt contingut en MUFA permet obtenir carns i productes carnis amb una vida útil més llarga i disminuir la possible l'aparició d'anomalies degut a l'oxidació de la carn comparat amb les carns amb alt contingut en PUFA. Això és especialment interessant en el cas de productes de tipus curat, com ara pernils, amb un llarg període d'assecat (Lopez-Bote, 2000).

Així St. John et al. (1987) va portar a terme un estudi amb mascles castrats de creuaments comercials americans, utilitzant dues dietes tractament amb un 10 o 20% d'oli de canola alt en àcid oleic (64%), i una dieta control, i va aconseguir un augment significatiu del nivell d'àcid oleic en greix subcutani. Va destacar també que l'augment en la concentració d'àcid oleic en els dipòsits de greix va ser més important en els animals que van rebre un nivell més alt d'àcid oleic, confirmant que hi ha una relació entre el nivell d'àcid oleic ingerit i la seva deposició en els teixits. Posteriorment, altres estudis han confirmat la relació lineal entre la concentració d'àcids de la dieta i l'efecte sobre els teixits (Rhee et al., 1988; Nuernberg et al., 2005). Myer et al. (1992) utilitzant dietes amb una font de greix amb un 60 % d'àcid oleic va aconseguir augmentar en un 37% els nivells d'àcid oleic i un 31% el nivells de MUFA en greix subcutani. Altres estudis han avaluat l'efecte de la suplementació amb MUFA en diferents teixits. Miller

et al. (1990), Rhee et al. (1988) i Fontanillas et al. (1987) van aconseguir un increment del nivells d'àcid oleic i MUFA en greix intramuscular i també en greix subcutani en porcs que havien rebut dietes amb un alt nivell d'àcid oleic. Tot i així, els increments detectats en greix intramuscular es troben per sota dels aconseguits en el greix subcutani quan es comparen resultats de les mateixes dietes (Miller et al., 1990; Myer et al., 1992). Aquests resultats indiquen un diferent nivell de resposta en els diferents teixits dels porc, així els dipòsits de greix més interns, com ara el greix intramuscular, presenten una menor resposta al perfil d'àcids grassos de la dieta que no pas els dipòsits més externs, com ara el greix subcutani (Fontanillas et al., 1997; Miller et al., 1990). Sembla que aquest fet és degut a les característiques dels dipòsits de greix. En el cas del greix intramuscular hi ha una gran proporció de lípids de tipus estructural, especialment fosfolípids i lípids neutres, que són molt menys susceptibles a modificar-se que no pas els triglicèrids, components majoritaris del greix subcutani (Warnants et al., 1999)

A més de l'efecte lineal de la concentració de la dieta, s'ha detectat un efecte de la duració del tractament. Fontanillas et al. (1988) va detectar que subministrant dietes amb un 4% d'oli de pinyol d'oliva s'augmentava la concentració de MUFA fins al seu nivell màxim a partir dels 17 dies d'inici del tractament i es mantenia així fins als 82 dies. Wiseman i Agunbiade (1998) utilitzant diferents tipus de greix van determinar que els canvis en el perfil d'àcids grassos eren ràpids i que en dues setmanes s'aconseguia ja del 60 al 70% de la capacitat teòrica de canvi. Aquest mateix efecte de la duració del tractament en el perfil d'àcids grassos es va veure en porcs del tronc Ibèric (Cava et al., 1996).

1.10.3. Canvis en la qualitat de canal i carn

L'avaluació del efectes en la qualitat de la carn de la suplementació amb dietes altes en MUFA, ha obtingut resultats divergents. Mentre que alguns autors no han detectat diferències en aquestes determinacions (Engel et al., 2001; Leskanich et al., 1997), altres sí han trobat una alteració en aquests paràmetres. Miller et al. (1990) va detectar una disminució del greix intramuscular i un empitjorament del sabor de la carn en animals alimentats amb una dieta alta en MUFA comparat amb la dieta control. Myer et al. (1992) va detectar també una lleugera disminució de la consistència del greix obtingut, tot i que aquest es trobava dins dels paràmetres d'acceptabilitat i també una disminució dels nivells de greix intramuscular. És important garantir un adequat nivell de

greix intramuscular a la carn, ja que aquest participa a la seva textura, la sucositat i el sabor, de tal manera que una carn amb un baix nivell de greix intramuscular pot ser rebutjada pel consumidor (DeVol et al., 1998). Els autors, però, en aquest cas van suggerir que possiblement el greix continuava present en la carn, però no era visible en augmentar la seva insaturació i trobar-se en estat líquid. St. John et al. (1987) i Myer et al. (1992) van detectar una disminució de la consistència del greix obtingut en comparació amb aquelles amb un major contingut de greixos saturats, tot i que en el cas de Myer et al. (1992) aquest es trobava dins del paràmetres d'acceptabilitat. En canvi, Isabel et al. (2003) va comparar porcs alimentats amb MUFA amb altres que tenien uns nivells de PUFA més alts i va detectar que els animals alimentats amb dietes altes en MUFA presentaven un greix més dur, afavorint la consistència del pernil, i resultant en productes de major qualitat. Alteracions en les característiques del greix de cobertura de la canal i del greix intramuscular s'han de tenir en compte en les canals destinades a l'elaboració de productes curats, ja que aquestes alteracions poden afectar a la qualitat dels pernills i les seves característiques durant el període d'assecat (Bosi et al., 2000). Altres estudis han indicat alteracions en altres característiques de la carn, com ara la seva tendresa. Així Rhee et al. (1998) va detectar una disminució de la tendresa de la carn en animals alimentats amb dietes amb un alt nivell de MUFA.

Per altra banda, sembla que les característiques de la canal i de les peces obtingudes del seu espejament no es veuen alterats per la suplementació de MUFA a través de la dieta. Apple et al. (2009) i Realini et al. (2006) van determinar que les característiques de la canal i les peces obtingudes durant l'espejament de les canals no es veien alterades per la inclusió de greixos de diferent tipus, entre els quals fonts riques en MUFA. Nuernberg et al. (2005) va indicar una manca d'efecte sobre les característiques de les canals de porcs alimentats amb dietes amb l'oli d'oliva alt en MUFA i oli de lli.

1.10.4. Canvis en el productes elaborats i derivats del porc

Altres estudis han avaluat l'efecte de dietes altes en àcid oleic sobre l'acceptabilitat de diferents productes derivats del porc. En pernills cuits, Shackelford et al. (1990) va trobar canvis significatius en el perfil d'àcids grassos del seu greix subcutani però no en les característiques tecnològiques d'aquests pernills. En el cas de la panxeta, Ziprin i Rhee (1990) van trobar augments dels nivells d'àcid oleic al greix

sense alterar les seves característiques, tant crua com un cop cuita. Rhee et al. (1990) va comparar l'acceptabilitat per part dels consumidors de costelles i pernills cuits d'animals control i animals alimentats amb dietes altes en àcid oleic, i, malgrat els canvis en el perfil d'àcids grassos no va trobar diferència en el sabor, olor o en grau d'oliositat de la carn. Aquests estudis van demostrar que el perfil d'àcids grassos de la carn es manté molt igual al de la carn crua un cop es cou el producte (Ziprin & Rhee, 1990; Rhee et al., 1990). Al sud d'Espanya s'ha aconseguit augmentar el nivell d'àcid oleic i MUFA en pernills de porcs del tronc ibèric per a ser assecats (Isabel et al., 2003; Daza et al., 2007), i es va confirmar que els canvis en el perfil d'àcids grassos es mantenen també en els pernills curats (Ruiz et al., 2005; Ventanas et al., 2007).

1.11. IMPLICACIONS PRÀCTIQUES

Tot i els possibles efectes de la composició de la dieta sobre el rendiment productiu, sembla que la composició del perfil d'àcids grassos del porc és fàcilment modificable a través de canvis en el perfil d'àcids grassos de la dieta per ajustar-se a les demanades actuals del consumidors. Tot i així, és important avaluar l'efecte dels productes i de les dietes emprades amb aquesta finalitat, per assegurar que el seu ús no perjudica al rendiment dels animals ni el benefici econòmic dels productors, i que a més les característiques de les canals i carns obtingudes són adequades pels seus mercats de destí. En el nostre país, l'ús de porcs del creuament Landrace x Large White amb mascles del tipus Pietrain té per objectiu obtenir unes canals amb molt bona conformació i la màxima producció de magre pel consum en fresc. El creuament Landrace x Large White amb mascles Large White musculats es destina al mercat de la producció de productes curats on es necessari tant arribar a uns nivells de greix de cobertura òptims com assegurar la qualitat tecnològica del greix.

L'objectiu principal d'aquest projecte era determinar l'efecte d'una dieta alta en MUFA, per aconseguir una carn amb un perfil lipídic més ajustat a les recomanacions actuals, en el perfil d'àcids grassos de dos teixits i en les característiques de la canal i la carn en dos genotips àmpliament utilitzats pel sector porcí del nostre país.

BIBLIOGRAFIA

American Heart Association (1992). Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiac care. *Journal of American Medical Association*, 268, 2171-302.

Apple, J.K., Maxwell, C.V., Galloway, D.L., Hamilton, C.R. & Yancey J.W.S. (2009). Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid composition. *Journal of Animal Science*, 87, 1441-1454.

Averette Gatlin, L., See, M.T., Hansen, J.A., Sutton, D., & Odle, J. (2002). The effects of dietary fat sources, levels and feeding intervals on pork fatty acid composition. *Journal of Animal Science*, 80, 1606-1615.

Beare-Rogers, J., Dieffenbacher, A., & Holm, J.V. (2001). Lexicon of lipid nutrition (IUPAC Technical report). *Pure Applied Chemistry*, 73, 685–744.

Bee, G., Gebert S., & 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.

Beegom, R., & Singh, R.B. (1997). Association of higher saturated fat intake with higher risk of hypertension in an urban population of Trivandrum in south India. *International Journal of Cardiology*, 58, 63–70

Blasco, A., Gou, P., Gispert, M., Estany, J., Soler, Q., Diestre, A., & Tibau, J. (1994). Comparison of five types of pig crosses I. Growth and carcass traits. *Livestock Production Science*, 40, 171-178.

Bosi, P., Cacciavallani, J.A., Casini, L., Macchioni, P., & Mattuzzi, S. (2000). Effect of dietary high oleic sunflower oil, copper and vitamin E on the quality of pork from pigs slaughtered at 160 kg live weight. *Italian Journal of Food Science*, 12, 77-90.

Bryhni, E.A., Kjos, N.P., Ofstad, R., & Hunt, M. (2002). Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acid composition and meat, fat and sausage quality. *Meat Science*, 62, 1-8.

Busboom, J.R., Rule, D.C., Colin, D., Heald, T., & Mazhan, A. (1991). Growth, carcass characteristics, and lipid composition of adipose tissue and muscle of pigs fed canola. *Journal of Animal Science*, 69, 1101-1108.

Cameron, N.D., & 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.

Castell, A.G. (1977). Effects of cultivar on the utilisation of ground rapeseed in diets for growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 57, 111-120.

Castell, A.G., & Falk, L. (1980). Effects of dietary canola seed on pig performance and back fat composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 60, 795-802.

Cava, R., Ruiz, J., Lopez-Bote, C., Martín, L., Gracia, C., Ventanas, J., & Antequera, T. (1996). Influence of finishing diet on fatty acid profiles of intramuscular lipids, triglycerides and phospholipids in muscles of the Iberian pig. *Meat Science*, 45, 263-270.

Cleland, L.G., James, M.J., & Ptoudman, S.M. (2003). Omega-6/Omega-3 fatty acids and arthritis. *World Review of Nutrition and Dietetics*, 92, 152-168.

Corino, C., Musella, M., & Mourot, J. (2008). Influence of extruded linseed on growth, carcass composition, and meat quality of slaughtered pigs at one hundred ten and one hundred sixty kilograms of live weight. *Journal of Animal Science*, 86, 1850-1860.

Daza, A., Lopez-Bote, C.J., Olivares, A., Menoyo, D., & Ruiz, J. (2007). 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.

De Lorgeril, M., Salen, P., Martin, J.L., Monjaud, I., Delaye, J., & Mamelles, N. (1999). Mediterranean diet, traditional risk factors, and the rate of cardiovascular complications after myocardial infarction: final report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation*, 99, 779–785.

Department of Health (1994). Nutritional Aspects of Cardiovascular Disease. *Report of the Cardiovascular Review Group of the Committee of Medical Aspects of Food Policy*, number 46.

DeVol, D.L., McKeith, F.K., Bechtel, P.J., Novakofsky, J., Shanks, R.D., & Carr, T.R. (1998). Variation in composition and palatability traits and relationship between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *Journal of Animal Science*, 66, 385-395.

Dugan, L.R. (1994). Química de los tejidos animales. A: J.F. Price i B.S.S. Schweigert (Eds.), *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Zaragoza: Editorial Acribia.

Edwards, R.L., Smith, G.C., Cross, H.R., & Carpenter, Z.L. (1981). Estimating lean in pork carcass differing in backfat thickness. *Journal of Animal Science*, 52, 703-709.

Ellis, N. R., & Isbell, H. S. (1926). Soft pork studies. II. The influence of the character of the ration upon the composition of the body fat of hogs. *Journal Biological Chemistry*, 59, 219-225.

Engel, J.J., Smith, J.W., II, Unruh, J.A., Goodbank, R.D., O'Quinn, P.R., Tockach, M.D., & Nelssen, J.L. (2001). Effects of choice white grease or poultry fat on growth performance, carcass leanness, and meat quality characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 79, 1491-1501.

Enser, M. (1991). Animal carcass fats and fish oils. A: Rossel, J.B., i Pritchard, J.L.R. (Eds.), *Analysis of oil seeds, Fats and Fatty Foods* (pp. 329-394). London: Elsevier Applied Science.

Enser, M., Hallet, K., Hewett, B., Fursey, G.A.J., & Wood J.D. (1996). Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science*, 42, 443-456.

Enser, M. (2001). The role of fats in animal nutrition. In B. Rossell (Ed.), *Oils and fats* Vol. 2, Animal carcass fats (pp. 77-122). Leatherhead, Surrey, UK: Leatherhead Publishing.

Erickson, M.C. (2008). A: C.C. Akoh i D.B. Min (Eds.), *Food lipid: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology* (pp. 365-382). CRC press.

FAO (2010). Disponible a: <http://faostat.fao.org>

Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M.D., & Codony, R. (1997). Effect of feeding highly cis-monounsaturated, trans-, or n-3 fats on lipid composition of muscle and adipose tissue of pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3070-3075.

Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M.D., & Guardiola, F. (1998). Back fat fatty acid evolution in swine fed diets high in either cis-monounsaturated, trans- on (n-3) fats. *Journal of Animal Science*, 76, 1045-1055.

Fujii, J., Otsu, K., Zorzato, F., de Leon, S., Khanna, V.K., Weiler, J.E., O'Brien, P.J., & McLennan, D.H. (1991). Identification of a mutatin in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 253, 448-451.

Fundación del Jamón Serrano (2003, 2009). *Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano*. Disponible a: <http://www.fundacionserrano.org/etg.asg>.

García-Macías, J.A., Gispert, M., Oliver, M.A., Diestre, A., Alonso, P., Muñoz-Luna, A., Siggins, K., & Cuthbert-Heavens, D. (1996). The effect of cross, slaughter weight and halothane genotype on lean and meat and fat quality in pig carcasses. *Animal Science*, 63, 487-496.

Gray, J.I., & Pearson, A.M. (1994). Lipid-derived off-flavours in meat. A: F. Shahidi (Eds.), *Flavour of Meat and Meat Products*. Glasgow, Scotland: Blackie Academic and Professional.

Gray, J.L., & Pearson, A.M. (1987). Rancidity and warmed-over flavour. A: A.M. Pearson and T.R. Dutson (Eds.), *Advances in meat research*, vol. 3 (pp. 221-270). Nw York, NY: Van Nostrand Reinhold Company.

Grundy, S. M., Lena Vega, G., & Bilheimer, D. W. (1996). Causes and treatment of hypercholesterolemia. A: Grundy, S. M. (Ed.) *Bile Acids and Atherosclerosis* (pp. 13–39). New York: Raven Press

Hamilton, D.N., Ellis, M., Wloter, B.F., Sckinquel, & Wilson, E.R. (2003). The growth performance of the progeny of two swine sire lines reared under different floor space allowance. *Journal of Animal Science*, 81, 1126-1135.

Heude, B., Ducimetiere, P., & Berr, C. (2003). Cognitive decline and fatty acid composition of erythrocyte membranes-The EVA Study-. *American Journal of Clinical. Nutrition*, 77, 803-808.

Hicks, C., Schinckel, A.P., Forrest, J.C., Akridge, J.T., Wagner, J.R., & Chen, W. (1998). Biasses associated with genotype and sex in prediction of fat-free lean mass and carcass value in hogs. *Journal of Animal Science*, 76, 2221-2234.

Hilditch, T. P. (1944). A: *The Chemical Constitution of Natural Fats*. 3rd Ed. John Wiley and Sons Inc., New York.

Hoving-Bolink, A. H., Eikelenboom, G., van Diepen, J. Th. M., Jongbloed, A. W., & Houben, J. H. (1998). Effect of dietary vitamin E supplementation on pork quality. *Meat Science*, 49, 205–212.

Hulsegge, B., Merkus, & Walstra. P. (2000). Prediction of lean meat proportion based on ultrasonic backfat thickness measurements of live pigs. *Animal Science*, 71, 253-257.

Isabel, B. Lopez-Bote, C.J., de la Hoz, L., Timón, M., García, C., & Ruíz, J. (2003). Effects of feeding elevated concentrations of monounsaturated fatty acids and vitamin E to swine characteristics of dry cured hams. *Meat Science*, 64, 475-482.

Keys, A. (1970). Coronary Disease in Seven Countries. *Circulation*, 41, 1-21.

King, R.H. (1999). A review-Nutritional constraints to pig performance and pig variability. A: P.D. Cranwell, (Ed.), *Manipulating Pig Production VII* (pp. 245). Werribee, Victoria, Australia: Australian Pig Science Association.

Knap, P.W., Roche, R., Kolstad, K., Pomar, C., & Luiting, P. (2003). Characterization of pig genotypes for growth modelling. *Journal of Animal Science*, 81, E187-E195.

Kruger, M.C., & Horrobin, D.F. (1997). Calcium metabolism, osteoporosis and essential fatty acids: a review. *Progress in Lipid Research*, 36, 131-51.

Larick, D.K., Turner, B.E., Schoenherr, W.D., Coffey, M.T., & Pilkington, D.H. (1992). Volatile compound content and fatty acid composition of pork as influenced by linoleic acid content of the diet. *Journal of Animal Science*, 37, 205-215.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Gracia, M.I., Nieto, M., & Mateos, G.G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Science*, 65, 1369-1377.

Lauridsen, C., Højsgaard, S., & Sørensen, M.T. (1999). Influence of dietary rapeseed oil, vitamin E and copper on the performance and the antioxidative and oxidative status of pigs. *Journal of Animal Science*, 77, 906-916.

Leskanich, C.O., Matthews, K.R., Warkup, C.C., Noble, R.C., & Hazzledine, M. (1997). The effect of dietary oil containing *n*-3 fatty acids on the fatty acid, physicochemical and organoleptic characteristics of pig meat and fat. *Journal of Animal Science*, 75, 673-683.

Li, N., Preckel, P.V., Foster, K.A., & Schinckel, P. (2003). A nalysis of economically optimal nutrition and marketing strategis for Paylean usage in pig production. *Journal of Agricultural Research and Economics*, 28, 272-286.

Lichtenstein, A.H., Appel, L.J., i Brands, M., Carnethon, M., Daniels, S., Franch, H.A., et al. (2006). Diet and lifestyle recommendations revision 2006: a scientific statement from the American Heart Association Nutrition Committee. *Circulation*, 114, 82–96.

Lopez-Bote, C.J. (2000). Dietary treatment and quality characteristics of Mediterranean meat products. A: E. Decker, C. Faustman, C.J. Lopez-Bote (Eds.), *Antioxidants in Muscle Foods: Nutritional Strategies to Improve Quality* (pp. 345-366). New York: Wiley Interscience,

MARM (Ministerio de Medio Ambiente y medio Rural y marino), 2009. Disponible a: <http://www.marm.es>.

Mattson, F.H., & Grundy, S.M. (1985).Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in man. *Journal of Lipid Research*, 26, 194-202.

Miller, M. F, Shackelford, S.D., Hayden K.D., & Reagan J.O. (1990). Determination of the alteration in fatty acid profiles, sensory characteristics and carcass traits of swine fed elevated levels of monounsaturated fats in diet. *Journal of Animal Science*, 68, 1624-1631.

Monahan, F.J., Asghar, A.,Gray, J.I., Buckey, D.J., & Morrissey, P.A. (1994). Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops. *Meat Science*, 37, 205-215.

Morel, P.C., McIntosh, J.C., & Janz, J.A.M. (2006). Shelf life and quality of pork and pork products with raised n-3 PUFA. *Meat Science*, 55, 213-221.

Morrissey, P.A., Sheehy, P.A.J., Galvin, K., Kerry, J.P., & Buckley, D.J. (1988). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49, 73-86.

Myer, R.O., Johnson, D.D., Knauft, D.A., Gorbet, D.W., Brendemuhl, J.H., & Walker, W.R. (1992). Effect of feeding high-oleic-acid peanuts to growing finishing swine on resulting carcass fatty acid profile and on carcass and meat quality characteristics. *Journal of Animal Science*, 70, 3734-3741.

Nurnenberg, K., Kuhn, G., Nürnberg, G., Rehfeldt, Ch., & Ender, K. (1995). Effect of porcine somatotropin on body composition, meat quality and characteristics of backfat in genetically different pigs. *Fat Science and Technology*, 97, 153-158.

Nuernberg, K., Fischer, K., Nuernberg, G., Kuechenmeister, U., Klosowska, D., Eliminowska-Wenda, G., Fiedler, I., & Ender, K. (2005). Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Science*, 70, 63-74.

Ordoñez, J.A., & De la Hoz, L. (1996). Efecto de la dieta en la composición lipídica de la carne y el pescado. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 3, 58-65.

Pala, V., Krogh, V., Muti, P., Chajès, V., Riboli, E., Micheli, A., Saadatian, M. Sieri, S., & Berrino, F. (2001). Erythrocyte membrane fatty acids and subsequent breast cancer: a prospective Italian study. *Circulation*, 93, 1088-1097.

Pascal, G., Macaire, J.P, Desmoulin, B., & Bonneau, M. (1975). Composition des graisses de porcs femelles: influence du type génétique et évolution au cours de la croissance entre 40 et 100 kg. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 8, 203-214.

Pascual, J.V., Rafecas, M., Canela, M.A., Boatella, J., Bou, R., Baucells, M.D., & Codony, R. (2006). Effect of dietary fat on composition of different pig tissues. Part II: triacylglycerols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 96, 538-548.

Pettigrew, J.E., & Moser, R.L. (1991). Fat in swine nutrition. A: E.R. Miller, D.E. Ullrey, A.J. Lewis (Eds.), *Swine Nutrition* (pp.133-146). Stoneham, MA: Butterworth-Heinemann.

Piedrafita, J., Christian, L.L., & Lonergan, S.M. (2001). Fatty acid profiles in three stress genotypes of swine and relationships with performance, carcass and meat quality traits. *Meat Science*, 57, 71-77.

Prescott, S.L., & Calder, P.C. (2004). n-3 Polyunsaturated fatty acids and allergic disease. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 7, 123-129.

Realini, C.E., Duran-Montgé, P., Lizardo, R., Gispert, M., Oliver, M.A., & Esteve-Garcia, E. (2006). Effect of dietary fatty acid profile on pork carcass fat and distribution. In: *Proceedings 52nd International Congress of Meat Science and Technology* (p 163). Dublin, Ireland.

Reeds, P.J.; Burrin, D.G.; Davis, T.A.; Fiorotto, M.A.; Mershan, H.J.; & Pond, W.G. (1993). A: G.R. Hollis (Eds.), *Growth regulation with particular reference to the pig*, Ch. 1. UK: CAB International.

Renaudeau, D., & Mourot, J. (2007). A comparison of carcass and meat quality characteristics of Creole and Large White pigs slaughtered at 90 kg BW. *Meat Science*, 76, 165-171.

Rhee, K.S., Ziprin, Y.A., Ordóñez, G., & Bohac, C.E. (1988). Fatty acid profiles and of the total lipids and lipid oxidation in pork muscles as affected by canola oil in the animal diet and muscle location. *Meat Science*, 23, 201-210.

Rhee, K.S., Ziprin, Y.A., & Davidson, T.L. (1990). Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet: Part 2-uncured processed products. *Meat Science*, 27, 343-357.

Ruiz, J., De la Hoz, L., Isabel, B., Rey, A., Daza, A., & Lopez-Bote, C.J. (2005). Improvement of dry-cured ham quality characteristics through modifications of dietary fat composition and supplementation with vitamin E. *Food Science and Technology*, 11, 327-335.

Ruiz-Gutierrez, V., Suriana, F.J., Guerrero, A., Cert, A.M., & Villar, J. (1996). Plasma lipids, erythrocyte membrane lipids and blood pressure of hypertensive women after ingestion of dietary oleic acid from two different sources. *Journal of Hypertension*, 12, 1483-1490.

Schackelford, S.D., Reagan, J.O., Haydon, K.D., & Miller, M.F. (1990). Effects of feeding elevated levels of monounsaturated fats to growing –finishing swine on acceptability of boneless hams. *Journal of Food Science*, 55, 1485-1487.

Schaefer, D.M., Liu, Q., Faustman, C., & Yin, M. (1995). Supranutritional administration of vitamins E and C improves oxidative stability of beef. *Journal of Nutrition*, 125, 1792-1798.

Scollan, N.D., Choi N.J., Kurt E., Fisher A.V., Enser M., & Wood J.D. (2001). Manipulating the fatty acid composition of muscle and adipose tissue in beef cattle. *British Journal of Nutrition*, 85, 115-124.

SENC (2004). Guías Alimentarias para la Población Española. Aporte de Grasas. Dr. Mataix.

Serra, X., Gil, F., Perez-Enciso, M., Oliver, M.A., Vazquez, J.M., Gispert, M., Diaz, I., Moreno, F., Latorre, R., & Noguera, J.L. (1998). A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian (Gudayerbas line) and Landrace pigs. *Livestock Production Science*, 56, 215-223.

Shahidi, F., Rubin, L.J., & Wood, D.F. (1987). Control of lipid oxidation in cooked meats by combinations of antioxidants and chelators. *Food Chemistry*, 23, 151-155.

Sheard, P.R., Enser, J.D., Wood, J.D., Nute, G.R., Gill, B.P., & Richardsom, R.I. (2000). Shelf life and pork quality of pork and pork products with raised n-3 PUFA. *Meat Science*, 55, 213-221.

Skelly, G.C., Borgman, R.F., Handlin, D.L., Acton, J.C., McConnell, J.C., Wardlaw, F.B., & Evans, E.J. (1975). Influence of diet on quality, fatty acids and acceptability of pork. *Journal of Animal Science*, 41, 1298-1304.

Sprecher H., Luthria D.L., Mohammed B.S., & Baykousheva S.P. (1995). Reevaluation of the pathways for the biosynthesis of polyunsaturated fatty acids. *Journal of Lipid Research*, 36, 2471-2477.

St. John, L.C., Young, R.C., Knabe, D.A., Thomson, L.D., Schelling G.T., Grundy S.M., & Smith, S.B. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine feed an elevated monounsaturated fat diet. *Journal of Animal Science*, 64, 1441-1447.

Tablas de composición de los alimentos, versió 2.1. Disponible a: <http://www.rlc.fao.org/bases>.

Ventanas, S., Ventanas, J., Tobar, J., García, C. & Estevez, M. (2007). Extensive feeding versus oleic acid and tocopherol enriched mixed diets for the production of Iberian dry-cured hams: Effect on chemical composition, oxidative status and sensory traits. *Meat Science*, 77, 246-256.

Wahlstrom, R.C., Libal ,G.W., & Berns, R.J. (1971). Effect of cooked soybeans on performance, fatty acid composition and pork carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 32, 891-894.

Warnants, M., Van Oeckel, M.J., & Boucqué, C.V. (1999). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues. *Journal of Animal Science*, 77, 2478-2490.

Williams, C. M. (2000). Dietary fatty acids and human health. *Annales de Zootechnie*, 49, 165–180.

Wiseman, J., & Agunbiade, J.A. (1998). The influence of changes in dietary fat and oils on fatty acid profiles of carcass fat in finishing pigs. *Livestock Production Science*, 54, 217-227.

Wiseman, T.G., Mahan, D.C., Peters J.C., Fastinger, N.D., Ching, S., & Kim, Y.Y. (2007). Phenotypic measurements and various indices of lean and fat tissue development in barrows and gilts of two genetic lines from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight. *Journal Animal Science*, 85, 1816-1824.

Wood, J.D., & Enser, M. (1982). Comparison of boars and castrates for bacon production. 2. Composition of muscle and subcutaneous fat, and changes in side weight during curing. *Animal Production*, 35, 65-74.

Wood, J.D., & Enser, M. (1997). Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78, 49-60.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard P.R., & Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

Yong Q. C., Berquin, I.M., Min, Y., Wu, R., Wu, J., Perry, D., et al. (2007). Modulation of prostate cancer genetic risk by omega-3 and omega-6 fatty acids. *Journal of Clinical Investigation*, 117, 1866–1875.

Zhang, S., Knight, T.J., Stalder, K.J., Goodwin, R.N., Lonergan, S.M., & Beitz, D.C., (2007). Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork Longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 85, 583-591.

Ziprin, Y.A, & Rhee, K.S. (1990). Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet: Part 3 – A high –fat cured product. *Meat Science*, 28, 171-180.

CAPÍTOL 2

Objectius

2. OBJECTIUS

Els experiments presentats en aquest treball van formar part d'un projecte CDTI (IDI-2004-683) dut a terme per l'empresa de selecció porcina UPB Genetic World S.L. en col·laboració amb l'IRTA.

2.1. OBJECTIU GENERAL

L'objectiu general del projecte era determinar l'efecte en el perfil d'àcids grassos de dos genotips porcins d'una dieta alta en àcids grassos monoinsaturats destinada a obtenir una carn més ajustada a les recomanacions nutricionals actuals i amb una adequada qualitat i vida útil.

2.2. OBJECTIUS PARCIALS

Per això es va dividir aquest objectiu en diferents objectius parcials, que es presenten en capítols separats, amb objectius específics per cada capítol.

OBJECTIU 1 (Capítol 4): Comparar els rendiments productius en mascles castrats i femelles de dos genotips porcins, un amb un alt potencial de creixement en magre (creuament amb Pietrain) i un amb un potencial mig de creixement en magre (creuament amb York), alimentats amb una dieta rica en MUFA i una dieta Control.

Objectius específics:

- Determinar el creixement de cada tipus genètic i sexe, segons les diferents dietes.
- Determinar la profunditat de greix i l'om dorsal de cada tipus genètic i sexe, segons les diferents dietes.

OBJECTIU 2 (Capítol 5): Modelitzar el creixement en mascles castrats i femelles de dos genotips porcins.

Objectius específics:

- Avaluar la influència del sexe i genètica sobre l'evolució del creixement, creixement en proteïna i en lípids.

OBJECTIU 3 (Capítol 6): Estudiar l'efecte d'una dieta rica en MUFA en la qualitat de canal i carn i en el perfil d'àcids grassos en el creuament amb Pietrain.

Objectius específics:

- Avaluar la qualitat de canal en cada sexe, segons les diferents dietes.
- Avaluar la qualitat de carn en cada sexe, segons les diferents dietes.
- Estudiar el perfil d'àcids grassos en el *Longissimus thoracis* i el *Semimembranosus*.

OBJECTIU 4 (Capítol 7): Estudiar l'efecte d'una dieta rica en MUFA en la qualitat de canal i carn i en el perfil d'àcids grassos en el creuament amb York.

Objectius específics:

- Avaluar la qualitat de canal en cada sexe, segons les diferents dietes.
- Avaluar la qualitat de carn en cada sexe, segons les diferents dietes.
- Estudiar el perfil d'àcids grassos en el *Longissimus thoracis* i el *Semimembranosus*.

CAPÍTOL 3

Material i mètodes general

3. MATERIAL I MÈTODES GENERAL

Els resultats que es presenten en aquesta tesi estan agrupats en quatre capítols segons la seva temàtica.

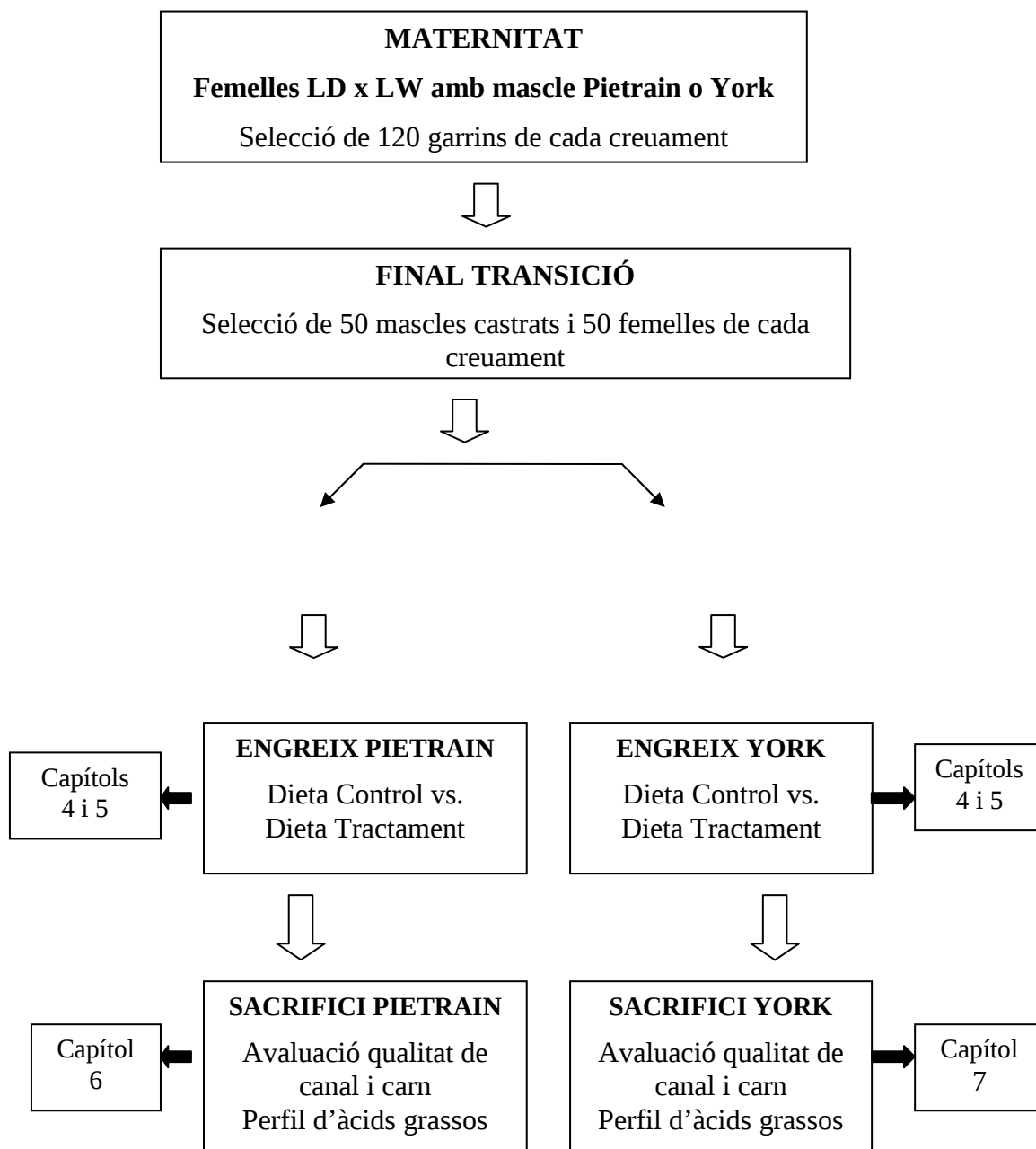
Els experiments van consistir en el control i estudi del creixement de dos grups de porcs de diferent genotip alimentats cada un d'ells amb dues dietes diferents durant la seva etapa de creixement i d'engreix, i l'avaluació de l'efecte d'aquestes dietes durant el posterior sacrifici i especejament al Centre de Tecnologia de la Carn de l'IRTA a Monells. Els animals, de dos dels creuaments comercials més habituals a Espanya, van ser subministrats i allotjats per UPB Genetic World, durant l'etapa de cria dels animals. Com a organisme públic d'investigació hi va participar l'IRTA, i en concret el Centre d'Avaluació Porcina i el Centre de Tecnologia dels Aliments, situats ambdós a Monells. També es va comptar amb la col·laboració del Grupo Omega de Alimentación Animal, en el disseny de les dietes i l'aportació dels suplementes incorporats a les dietes dels animals.

Per dur a terme l'estudi durant l'etapa d'engreix es van fer servir un total de 192 porcs de dos creuaments comercials diferents ((Landrace x Large White) x York); (Landrace x Large White) x Pietrain, NN). Els animals van ser seleccionats el dia del seu deslletament d'entre més de 50 garrinades nascudes la mateixa setmana, amb un màxim de 4 animals seleccionats per garrinada. Aproximadament als 7 dies de vida, els mascles havien estat castrats per personal experimental. Tots els animals van ser traslladats a una única transició, i als 61 dies de vida van arribar a una granja d'engreix convencional on van ser distribuïts en corrals en funció del seu genotipus, sexe i la dieta. Durant l'etapa d'engreix es van donar dues dietes, una control i una tractament, que es diferenciava de la control pel seu nivell més elevat d'àcids grassos monoinsaturats, aquestes es descriuen detalladament a les pàgines 64 i 65. Una setmana després de l'entrada dels animals a l'explotació es van iniciar els controls cada tres setmanes. El primer control va ser únicament de pes viu i a partir del segon es va mesurar també el greix dorsal i de profunditat de l'omòfal mitjançant un aparell d'ultrasons. A mesura que els animals arribaven al pes establert pel seu sacrifici (108 ± 6.4 kg en els creuats amb Pietrain, 119 ± 5.7 kg en els creuats amb York), els animals van ser traslladats en grups de 20 a 22, sempre de la mateixa genètica i sense barrejar-los en cap moment, al Centre de Tecnologia de la Carn, a uns 150 km de la granja d'engreix. El

trasllat tenia lloc unes 14 hores abans del seu sacrifici. Després del seu sacrifici es va portar a terme l'avaluació de la qualitat de la canal i de la carn.

Durant l'etapa de producció i en la modelització del creixement, a banda de l'efecte de la dieta i el sexe en els resultats, es va estudiar també les diferències entre genotips per veure les diferències en el patró de creixement de les dues línies. En canvi, un cop sacrificats els animals, no es va fer cap comparació i es va estudiar únicament l'efecte de la dieta i les diferències entre els sexes, ja que aquests dos creuaments s'utilitzen per dos mercats del porcí completament diferents, el de la carn fresca en el cas del Pietrain, i en l'elaboració de productes curats en el cas del York.

Figura 3.1. Organigrama general del disseny experimental i els capítols de cada experiment



CAPÍTOL 4

Performance and backfat and loin muscle growth in Pietrain and York-crossed pigs fed an elevated monounsaturated fat diet

AQUEST CAPÍTOL ESTÀ BASAT EN EL MANUSCRIT:

Mas, G., J. Soler, M. Llavall, J. Tibau, R. Roca, D. Coll, E. Fàbrega. **Performance and backfat and loin muscle growth in high- and medium-lean pig genotypes fed an elevated monounsaturated fat diet.** *Spanish Journal of Agricultural Research* (Sotmès avaluació).

4. PERFORMANCE AND BACKFAT AND LOIN MUSCLE GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS FED AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET

4.1. Introduction

Consumer demands regarding characteristics of food of animal origin are of growing importance for certain societies. Often the presence of fat in pork meat and other pork products has negative connotations for the consumer, because it is associated with a high energy content and pathologic problems such as obesity, cardio-vascular disease or cancer (Lopez-Bote et al., 2005). The American Heart Association (Neville, 1990) recommends a balanced diet, with low lipid, low cholesterol and saturated fatty acid levels, and higher levels of unsaturated fatty acids.

The interest in the fatty acid profile of pork meat and in the way to manipulate it in order to make it healthier for the consumer, has increased in the past years. As a consequence, much research with pork fat modification has been done using diets containing different fat sources, including diets with high monounsaturated fats. Monounsaturated fatty acids (MUFA), and specially oleic acid have received favourable promotion with regards to human health, as they lower the risk of suffering cardiovascular diseases, decrease the blood pressure and are involved with the immune system (Ruiz-Gutierrez, 1996). Moreover, MUFA have an especial interest for pork processors, as they have a lower risk compared to polyunsaturated fatty acids (PUFA) of generating lipid oxidation, a process with adverse effects on the quality of the meat (Wood et al., 2003). During the last decades, different sources of vegetable oil with high oleic acid content have also been used (St. John et al., 1987; Rhee et al., 1988; Miller et al., 1990; Myer et al., 1992). In Spain, where olive oil high in oleic acid is easily available, this could be an interesting way of increasing the level of monounsaturated and unsaturated acids of the diet and of the carcass fat, as it is commonly done in Iberian pigs (Gonzalez et al., 2005). However, previous research has found that formulating diets with added fats high in MUFA may modify parameters such as average daily gain (Castell, 1977) or feed efficiency (Busboom et al., 1991; Myer et al.,

1992). These are key factors to be taken into account when evaluating the effect of the diets on productive results, as they are closely related to the economic benefit of the producers.

As different pork markets require different product specifications, the two genotypes used in the study presented different market orientation. Pietrain-sired pigs, with high lean growth, are optimal for fresh meat production; and York-sired pigs, are adequate for the dry cured product industry as they guarantee an adequate fat cover in the cuts that have to be cured. As a consequence of this, it is important to evaluate the growth for backfat and loin muscle in each genotype in order to ensure that dietary treatment does not modify the growth characteristics of them. Among the different systems to evaluate backfat and loin muscle depth in live animals, ultrasonic measurements have been used since 1950 (Wild, 1950; Hazel & Kline, 1959) and nowadays are still used for many pig producers to measure these traits.

The objective of this study was to evaluate the effect of a diet enriched with monounsaturated fatty acids on growth, level of backfat, and *Longissimus thoracis* depth of barrows and gilts from two genotypes. This study belongs to a broader investigation in which the effect of diets rich in oleic acid on carcass and meat quality (mainly on fat acid profile) has been also evaluated. These results are available in Mas et al. (2010) and Mas et al. (2011) for Pietrain and York-sired pigs, respectively.

4. 2. Material and methods

4.2.1. Animals and diets

Experimental procedures were approved by IRTA's (Institute for Food and Agricultural Research and Technology) ethical committee. One hundred and ninety-two pigs from 2 sexes and two genotypes (York-sired barrows, n= 48; Pietrain-sired barrows, n= 48; and York-sired gilts, n= 48, and Pietrain-sired gilts, n= 48) provided by UPB España S.A. were initially included in the study. Genotypes were crosses of Landrace (LD) x Large White (LW) sows with Pietrain (negative for the halothane gene, NN) or with the commercial line York (highly muscled Large White) boars. All

piglets were born within 1 week and only up to 4 piglets per litter were chosen. At an average age of 61 days, pigs were housed in a grower-finisher unit, with fully slatted floor and were given *ad libitum* access to feed and water. The farm had natural ventilation and was provided with a heater for heat production to maintain the room at an average temperature of 18-20°C. Animals were allocated according to their sex, genetics and dietary treatment, so that there were initially two pens of 12 pigs for each combination of sex, genetics and diet (ie initially 48 pigs of each sex were assigned to each dietary treatment). The study was initiated in December and finished in April. All animals were slaughtered at the end of the study, at an average slaughter weight of 108.9 ± 6.4 kg for the crosses with Pietrain and 119.6 ± 5.7 kg for the crosses with York. A total of 17 animals were removed of the study during the growing-finishing period due to disease or death but not related to treatment.

Animals were fed one of two growing diets from 30 to 60 kg live weight: 1) grain and soy diet (CONTROL), and 2) grain and soy plus high oleic acid supplement (HO). The high oleic (HO) supplement was included at the level of 14g kg^{-1} (1.4%) from 30 to 60 kg animal live weight. From 60 kg to slaughter the level of high oleic supplement for the HO-diet group was increased up to 38 g kg^{-1} (3.8%). The high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]) is a by-product of the olive industry composed of a mixture of calcium-salts rich in oleic acid and contains 83% crude fat, 12% ash, 7% calcium in ashes, and 5% moisture, and provides 6600 kcal kg^{-1} Metabolic Energy. Greedy-Grass OLIVA[®] was provided by Grupo Omega de Nutrición Animal (Arganda del Rey, Madrid, Spain). Ration composition of the growing (from 30 to 60 kg live weight) and finishing (from 60 kg live weight until slaughter) diets and dietary fatty acid composition of the finishing diets are shown in Table 4.1 and Table 4.2, respectively. Dietary treatments were formulated to have similar nutrient and energy content, and to meet the nutritional requirements of the growing-finishing pigs. Growing diets contained 18% crude protein and 1.1% lysine, and finishing diets contained 16.5% crude protein and 1.0% lysine. The high oleic diet was formulated to achieve a higher percentage of oleic acid and monounsaturated fatty acids compared with the CONTROL diet (44.84 vs. 30.14%, respectively). Conversely, the CONTROL diet showed greater percentage of saturated fatty acids (C14:0, C16:0, and C18:0) and polyunsaturated fatty acids (C18:2, C18:3, 20:4, and 20:5) compared with the HO diet.

Table 4.1. Ingredients and composition of growing (30-60 kg live weight) and finishing (60 kg live weight-slaughter) experimental diets¹.

<i>Ingredients, gr kg⁻¹</i>	Growing diet (30-60 kg)		Finishing diet (60 kg-slaughter)	
	Control	HO	Control	HO
Corn	250	85	250	50
Barley	237	393	268	471
Wheat	200	200	200	200
Soy	252	247	222	202
Fat	30	30	29	14
Lysine	3	3	3	3
Threonine	1	1	1	1
Vitamin and mineral premix ²	4	4	4	4
Sodium bicarbonate	1	1	2	-
Bicalcium Phosphate	13	12	11	11
Calcium carbonate	6	7	6	1
Salt	3	3	4	5
Greedy-Grass OLIVA [®]	-	14	-	38
<i>Composition</i>				
Crude protein (%DM)	18	18	16.7	16.5
Crude fat (%DM)	4.6	4.9	4.6	4.9
Crude fibre (%DM)	12.9	13.8	13.1	14.2
Ashes (%DM)	5.1	5.2	4.9	4.9
Lysine (%DM)	1.1	1.1	1.0	1.0
Phosphorus (%DM)	0.6	0.6	0.6	0.6
Calcium (%DM)	0.70	0.70	0.70	0.70
NE ³ , kJ kg ⁻¹	10211.6	10257.6	10243.1	10318.4
ME ³ , kJ kg ⁻¹	13813.8	13813.8	13813.8	13813.8

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

² 40 mg Mn, 1 mg I, 0.25 mg Co, 100 mg Zn, 10 mg Cu, 145 mg Fe, 0.15 mg Se, 10,000 IU vitamin A, 1,000 IU vitamin D₃, 15 mg vitamin E, 1 mg vitamin K₃, 1 mg Vitamin B₁, 2 mg vitamin B₂, 1 mg vitamin B₆, 0.02 mg vitamin B₁₂, 15 mg niacin, and 8 mg d-pantothenate were provided /kg of feed.

³NE: net energy; ME: metabolic energy.

The barrow pens were fed using a feeding trolley fitted with an electronic scale to control feed consumption from the day weight control started (Multi Feeding trolley, VlieboTM, Netherlands). Mean individual feed consumption was calculated in barrows by dividing the total amount of food distributed by the number of pigs in the pen. Feed

conversion rate was calculated by dividing the total food consumption by the weight gain during the period evaluated.

Feed lipids were extracted following the chloroform-methanol procedure of Folch et al. (1957), converted to fatty acid methyl esters using BF₃ and methanolic KOH following the method of ISO 5509-1978 (E), and analyzed using GC (5890 Series II GC, Hewlett Packard, Barcelona, Spain). All samples were methylated in duplicate, and 1 µl was introduced by split injection into a fused silica capillary column (30 m × ID 0.25 mm, BPX 70; 0.25-m film thickness, Texas, USA). Helium was the carrier gas at 30 cm/sec. Column temperature was initially 150°C for 1 min, was increased by 4°C/min to 200°C, and was then held at 200°C for 10 min. Individual FAME were identified by retention time with reference to FAME standards (FA methyl ester mixture #189-19 L-9495; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA).

Table 4.2. Fatty acid composition (%) of the finishing diet (from 60 kg live weight to slaughter)¹

<i>Fatty acid², %</i>	Diet	
	Control	HO
14:0, <i>myristic</i>	0.55	0.28
16:0, <i>palmitic</i>	18.08	15.86
16:1, <i>palmitoleic</i>	1.03	0.71
18:0, <i>stearic</i>	7.77	5.61
18:1, <i>n-9 oleic</i>	27.92	42.82
18:2, <i>n-6 linoleic</i>	37.99	28.59
18:3, <i>n-3 linolenic</i>	3.38	2.97
20:4, <i>n-6 arachidonic</i>	0.07	ND ³
20:5, <i>n-3 EPA</i>	0.18	0.06
SFA ⁴	27.59	23.18
MUFA ⁴	30.14	44.84
PUFA ⁴	42.27	31.98

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²Major selected fatty acids.

³ND: Under detection limit.

⁴SFA: saturated fatty acids (C4:0, C6:0, C8:0, C10:0, C12:0, C13:0, C14:0, C16:0, C18:0, C20:0, C22:0, and C23:0); MUFA: monounsaturated fatty acids (C16:1, C17:1, C18:1, C20:1, C22:1 and C24:1); and PUFA: polyunsaturated fatty acids (C18:2, C18:3, C20:2, C20:3, C20:4, and C20:5).

4.2.2 Weight and ultrasound measurements

Animals were given a 2-week period to adapt to the farm. The first measurement was only a weight control that was carried out when animals were 75 days old (Live weight 1, LW1).

At 110 days measurements of weight (LW 2), and also backfat level and loin muscle (*Longissimus thoracis*) depth were carried out (Backfat 1, BF1; Loin muscle 1, LT1). Subsequently, measurements of weight and of backfat and loin muscle depth were taken at 3- or 4-week intervals. Thus, measurement 3 was carried out at 133 days, measurement 4 at 160 days and the last one at 188 days of age. The ultrasound measurements of backfat and loin muscle depth were performed with a PIGLOG 105® (A-mode scanner, SFK Technology A/S, Helver, Denmark), at the last rib level and 6.5 cm off the midline. All *in vivo* measurements were carried out by the same trained technician. Weight was recorded with electronic scales (Fancom F-Star 125, Digi-star™, the Netherlands). Average daily weight gain was calculated from the difference between the initial weight at the starting day and the final weight at the last control and divided by the number of days between the first and the last controls.

4.2.3. Statistical analysis

Data from weight, backfat (BF) and loin muscle depth (LT) measurements were analyzed using the MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC), specially designed for the analysis of repeated measures, to test differences between sexes, treatment diets, or genotypes. For the variable weight, the fixed effects included in the initial model were diet, sex, genotype, measurement number (time effect), and the interactions between them. As the interactions between diet and genotype and diet and sex showed no effect, they were removed from the model. When analysing the results of backfat and loin muscle depth, the same fixed effects were considered, and live weight measures were included as a covariate. Pen was considered the experimental unit. The covariance structure used was CS (compound symmetry), according to the Schwarz Bayesian Criterion.

Average daily gain of the whole control period was analyzed by analysis of variance using the GLM procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) as a 2 x 2 x 2 factorial design with sex (barrows and gilts), diet (CONTROL, HO) and genotype (Pietrain and York) and the interactions between them in the model. The initial weight was included as a covariate. As the interactions showed no effect, they were removed from the model.

4.3. Results

No significant interaction between diet, sex and genotype were detected for any of the traits studied and therefore only main effects are discussed.

4.3.1. Weight performance

Results for the effects of dietary treatment, sex and genotype on weight performance are presented in Table 4.3. The evolution of weight gain from 76 to 188 days of age showed no differences due to MUFA supplementation at any point of the trial. No differences were found between dietary treatments for the average daily gain during that period. Results for food intake were similar in both dietary treatments (2.472 and 2.505 kg for HO and CONTROL diet respectively, in York-sired pigs; 2.440 and 2.382 kg for HO and CONTROL diet respectively, in Pietrain-sired pigs). Food conversion rates were also similar between dietary treatments (2.81 and 2.86 for HO and CONTROL diet respectively, in York-sired pigs; 2.60 and 2.53 for HO and CONTROL diet respectively, in Pietrain-sired pigs).

Regarding to sex differences in weight performance, barrows were heavier ($P<0.05$) than gilts at the last two measurements carried out. Barrows also resulted in higher values than gilts for the average daily weight gain ($P<0.05$). When genotypes were compared, from the first measurement to the end of the trial, York-sired pigs were heavier ($P<0.05$) than Pietrain-sired pigs and showed higher ($P<0.05$) average daily gain than Pietrain-sired pigs.

Table 4.3. Least-squares means and standard errors for live weight (LW, Kg) and average daily gain (ADG, g kg⁻¹) in Pietrain and York-sired barrows and gilts fed the two experimental diets^A.

	Diet		Sex		Genotype		SE		
	Control	HO	Barrows	Gilts	Pietrain	York	SE diet	SE sex	SE genotype
LW1 ^B	26.14	25.96	26.27	25.83	24.44 ^b	27.67 ^a	1.16	1.16	0.89
LW2 ^B	48.33	47.45	49.72	46.08	44.06 ^b	51.73 ^a	1.73	1.73	1.42
LW3 ^B	66.37	66.53	68.59	64.33	63.63 ^b	70.29 ^a	1.96	1.96	1.56
LW4 ^B	91.20	91.35	94.65 ^a	87.65 ^b	88.19 ^b	94.35 ^a	2.41	2.41	1.86
LW5 ^B	105.23	105.97	108.10 ^c	103.73 ^d	100.07 ^b	111.73 ^a	1.02	1.02	0.79
ADG ^C	0.715	0.723	0.737 ^a	0.701 ^b	0.682 ^b	0.756 ^a	0.10	0.10	0.10

^ACONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^BLive weight measurements (kg) carried out at 76 (LW1), 110 (LW2), 133 (LW3), 160 (LW4) and 188 (LW5) days of age.

^CADG: Average Daily Gain (g kg⁻¹) calculated between 76 and 188 days of age.

^{a,b}Within a row and for each fix factor, means lacking common superscript letter differ at $P < 0.05$ or ^{c,d} at $P < 0.1$.

For LW CPER (covariance parameter estimate of the residual)=5.23 / For ADG RMSE (root mean square error)=0.0189.

4.3.2. Loin muscle depth

Table 4.4 summarizes the effect of diet, sex and genotype on loin muscle depth. No effect of the diet was observed in any of the measurements and both HO and CONTROL groups had a similar loin muscle depth at the end of the trial.

In relation to sex effects, gilts resulted in higher ($P < 0.05$) values for loin muscle depth than barrows at the third (LT3) and fourth (LT4) measurements. When genotypes were compared, Pietrain-sired pigs presented higher ($P < 0.05$) values for loin depth than York-sired pigs from the first control (LT1) to the end of the trial (LT4).

Table 4.4. Least-squares means and standard errors for *Longissimus thoracis* depth (LT, mm) in Pietrain and York-sired barrows and gilts fed the two experimental diets^A.

	Diet		Sex		Genotype		SE		
	Control	HO	Barrows	Gilts	Pietrain	York	SE diet	SE sex	SE genotype
LT 1 ^B	37.65	38.28	37.52	38.41	39.24 ^a	36.70 ^b	0.62	0.66	0.73
LT 2 ^B	43.84	43.69	43.37	44.16	45.95 ^a	41.58 ^b	0.37	0.38	0.30
LT 3 ^B	50.02	49.17	48.64 ^b	50.54 ^a	52.26 ^a	46.93 ^b	0.68	0.75	0.69
LT 4 ^B	54.05	52.84	52.59 ^b	54.24 ^a	54.62 ^a	52.24 ^b	0.68	0.82	1.14

^ACONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^BLongissimus thoracis depth measurements (mm) carried out at 110 (LT1), 133 (LT2), 160 (LT3) and 188 (LT4) days of age.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letter differ at $P < 0.05$.

For LT CPER (covariance parameter estimate of the residual)=2.29.

3.3 Backfat

The influence of diet, sex, and genotype on backfat is reported in Table 4.5. Results showed that dietary treatments did not alter any of the backfat measurements carried out during the growing period and both HO and CONTROL groups had a very similar backfat level at the end of the trial. However, sex was a source of variation for backfat and significant differences appeared, with barrows showing higher ($P < 0.05$) backfat measurements compared to gilts in all controls carried out.

When genotypes were compared, York-sired pigs presented higher ($P < 0.05$) values for backfat at the last two measurements carried out at 160 (LT3), and 188 days (LT4) of age, respectively.

Table 4.5. Least-squares means and standard errors for backfat (BF, mm) in Pietrain and York-sired barrows and gilts fed the two experimental diets^A.

	Diet		Sex		Genotype		SE	SE	SE
	Control	HO	Barrows	Gilts	Pietrain	York	diet	sex	genotype
BF 1 ^B	5.95	5.98	6.45 ^a	5.48 ^b	5.94	5.99	0.20	0.20	0.23
BF 2 ^B	7.89	7.78	8.63 ^a	7.04 ^b	7.57	8.11	0.20	0.20	0.25
BF 3 ^B	11.28	11.01	12.05 ^a	10.24 ^b	10.54 ^b	11.75 ^a	0.26	0.29	0.28
BF 4 ^B	12.26	12.32	13.50 ^a	11.08 ^b	11.61 ^b	12.97 ^a	0.10	0.18	0.36

^ACONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^BBackfat measurements (mm) carried out at 110 (BF1), 133 (BF2), 160 (BF3) and 188 (BF4) days of age.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letter differ at $P < 0.05$.

For BF CPER (covariance parameter estimate of the residual)=0.45.

4.4. Discussion

4.4.1. Weight

The use of a high-oleic source in diets of Pietrain and York-sired pigs did not modify any of the growth parameters evaluated. Feed intake and food conversion rate in either Pietrain or York-sired barrows was found to be similar between the MUFA supplemented group and the control group. Therefore, it seems possible to increase the MUFA content of swine diets with the aim of modifying the fatty acid profile of pork meat without adversely affecting productive results, that are closely related to the economic benefits of the producer. Results of the present experiment agree with previous studies where dietary MUFA supplementation did not have an impact on growth rate in swine. Martin et al. (2008) reported no effect of MUFA supplementation at two levels (low and high) in average daily gain or daily consumption in gilts. Busboom et al. (1991) and Castell and Falk (1980) reported no differences in daily gain between control pigs and those fed a diet with 20% canola high in MUFA. Lauridsen et

al. (1999) reported no influence of dietary treatments on growth performance when evaluating the effect of supplementing pigs with both vitamin E and rapeseed oil high in MUFA from 25 to 100 kg live weight. However, Castell (1977) reported a decrease in daily gain in pigs fed diets with rapeseed high in MUFA and related this to a lower feed intake, probably due to the rapeseed inclusion itself or the size of the grind of the diet. Supplementing swine diets with 5 and 10% canola high in MUFA has been shown to increase weight gain from 57 to 102 kg live weight compared to non-supplemented animals (Myer et al., 1992).

Other studies evaluating the effect of the inclusion of different fats other than MUFA in swine diets in growth parameters have suggested that dietary fat supplementation does not affect growth performance. Apple et al. (2009) compared the performance results of pigs fed control diet and pigs supplemented 5% fat from different sources, including a diet high in MUFA and reported no differences in daily gain, feed intake and feed conversion efficiency between dietary treatments. Corino et al. (2008) reported no effect on growth, food intake or food conversion rate between swine fed either control or a diet high in *n*-3 PUFA up to 110 or 160 kg live weight. Bee et al. (2002) compared the effect of different fat sources and concluded that growth performance parameters were affected by the energy concentration of the diet, whereas fat sources had no effect. The present diets were formulated to have similar energy concentration, and therefore this may explain the lack of differences in growth performance. On the other hand, previous research has found that formulating diets with added fats may enhance other parameters related to weight gain as feed efficiency, but it may also result in carcasses with increased fatness (Pettigrew & Moser, 1991). A review from Pettigrew and Moser (1991) indicated that pigs were likely to increase or decrease their feed intake in response to added dietary fat/oil, but increases in feed intake were less frequent, and had been found to occur in about one in five studies. Thus, our finding that fat supplementation resulted in no effect on feed intake would not be unexpected, although results may be interpreted with caution and should be confirmed measuring individual feed intake when possible.

The expected and well-known differences between sexes for weight gain were confirmed, with barrows showing advantage over gilts at the last two measurements of the trial. The results found are in agreement with previous investigations which have clearly described the performance differences between barrows and gilts, and have

reported better growth in barrows due to their greater feed intake and their higher fat deposition compared to gilts (Blasco et al., 1994; Cisneros et al., 1996; Latorre et al., 2003).

The results of the current study also confirmed differences between genotypes in growth rates, with a higher weight from the beginning to the end and higher average daily gain in York-sired crosses compared to Pietrain-sired pigs. Our results are in line with Hamilton et al. (2003) that indicated that genotypes with leaner carcasses, such as Pietrain crosses, present slower growth rates and lower food intake. Kanis and Koops (1990) evaluated growth differences between high lean and medium lean genotypes and reported a higher daily gain in fatter genotypes.

4.4.2. Loin muscle depth

Supplementation with MUFA resulted in no differences in loin muscle depth in any *in vivo* measurement between animals fed HO and CONTROL diet. This is important in Pietrain-sired pigs, as they are raised for their high lean growth potential. Previous research about the effect of the inclusion of MUFA in pig diets did not study the changes in loin muscle depth in live animals. However, evaluation of *Longissimus* muscle area carried out in carcasses after slaughter has failed to show differences between pigs fed elevated MUFA fat diets and those fed with conventional diets. St. John et al. (1987) and Miller et al. (1990) reported no differences in *Longissimus* area between control animals and those fed elevated levels of MUFA. Busboom et al. (1991) and Myer et al. (1992) failed to detect any difference when comparing *Longissimus* muscle area of 61 pigs fed a diet with or without Canola high in MUFA. This was also confirmed in the second part of the present study in which *Longissimus* muscle area and carcass characteristics including lean percentage were evaluated and no differences were found (Mas et al., 2010). Moreover, Engel et al. (2001) and Apple et al. (2009) evaluated the effect of including different fat sources including a high MUFA fat in *Longissimus* muscle area and reported no differences between control and fat supplemented pigs. However, other researchers have indicated a reduction of leanness in pigs fed diets with added fats compared to pigs fed control diets (De la Llata et al., 2001; Pettigrew & Moser, 1991) and related that to the increased energy of the fat

supplemented diets or lack of balance between energy and protein, that may increase fat deposition or affect protein accretion. Bee et al. (2002) also indicated that the energy content of swine finishing diets impacts lean pork yields, but the dietary fat source has no consequence. In the present study, all diets were balanced and presented similar energy and protein content; therefore, this may explain why the addition of MUFA into the diet resulted in no differences in loin muscle depth in any genotype.

When sexes were compared, gilts showed higher loin muscle depth than barrows. This is in accordance with other previous studies that found higher muscle development in gilts compared to boars (Hamilton et al., 2003; Blasco et al., 1994), as castration reduces the ceiling for protein deposition in barrows (Campbell & Taverner, 1988).

Regarding to differences between genotypes, Pietrain-sired pigs presented higher values at all the measurements carried out. Hamilton et al. (2003) also reported a higher lean growth in animals such as Pietrain crosses that are selected for this trait. A high potential for lean tissue gain is regarded as a common trait of Pietrain pigs, which produce the most valued carcasses for fresh meat production in Spain (García-Macias, 1996).

4.4.3. Backfat

Supplementation with a diet high in MUFA had no effect on backfat thickness, as no differences were seen in any measurement between HO and CONTROL diet fed animals. This is especially important in the York-sired genotype, from which a certain amount of fat in hams and shoulders for their dry curing process is required. No other reports measuring backfat in live animals were found, but other researchers have evaluated the effect of dietary fat on backfat depth of carcasses. Similar to the present study, St. John et al. (1987) and Myer et al. (1992) noted no effect on carcass backfat thickness upon feeding high MUFA diets. Others have reported that formulating finishing diets with different fat sources, such as beef tallow (Eggert et al., 2007), soy bean oil (Morel et al., 2006), or poultry fat (Engel et al., 2001) had no effect on average and individual carcass fatness. These results disagree with the review of Petigrew and Moser (1991) and De la Llata et al. (2001), indicating that added fat in growing-

finishing pig diets increases, generally, carcass fatness. Similarly, Apple et al. (2009) reported that carcass from pigs fed 5% dietary fat, regardless of source, had greater average backfat depths than pigs fed control diets. Stahly et al. (1981) reported a higher carcass fatness and backfat thickness when comparing pigs fed 5% or 0% tallow fat. To explain the discrepancies among studies, it has to be considered that when the dietary treatments used in a study are not balanced, the increased energy supplied by fat addition may lead to an increased deposition of adipose tissue in fat supplemented pigs (Miller et al., 1990). Again, it has to be taken into account that in the present study, all diets were balanced and presented similar energy and protein content; therefore, this may explain why the addition of MUFA into the diet resulted in no differences in backfat.

Barrows had higher backfat measurements than gilts in all controls, which agree with many previous reports (Blasco et al., 1994; Hamilton et al., 2003; Latorre et al., 2004). This higher level of fatness in barrows is favoured by castration, that increases the fat deposition and reduces the ceiling for protein deposition up to 30% (Campbell & Taverner, 1988).

When genotypes were compared York-sired pigs presented higher values than Pietrain-sired pigs for backfat at the end of the trial. Other studies have reported differences in backfat among breeds, with high lean genotypes showing lower backfat levels than other conventional breeds (Langlois et al., 1989; Blasco et al., 1994). Backfat is a very important trait in York-sired crosses, as an adequate fat cover is needed in this genotype for the dry curing process of the main cuts. The backfat level achieved in York-sired barrows and gilts in the present study are within the requirements of the dry cured products industry in Spain.

4.5. Conclusions

Our investigation suggests that the inclusion of a high oleic supplement from the olive oil industry in swine diets would not affect performance, backfat and lean growth, if diets are properly adjusted for energy concentration. The differences between sexes and genotypes were in line with previous research, barrows resulting in higher backfat and heavier weight than gilts at the end of the trial, and gilts showing higher loin muscle

depth than barrows. Differences between genotypes showed that York-sired pigs were heavier during all the trial and had higher backfat at the last two measurements than Pietrain-sired pigs. On the other hand, Pietrain-sired pigs showed higher loin muscle depth from control 2 to the end of the trial than York-sired pigs. Moreover, results showed that the genotypes evaluated would be suitable for their specific pork markets, with Pietrain crosses appropriate for fresh meat production and York crosses for the dry cured product industry.

References

Apple, J.K., Maxwell, C.V., Galloway, D.L., Hamilton, C.R., & Yancey, J.W.S. (2009). Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid compositions. *Journal of Animal Science*, 87, 1441-1454.

Bee, G., Gebert, S., & 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.

Blasco, A., Gou, P., Gispert, M., Estany, J., Soler, Q., Diestre, A., & Tibau, J. (1994). Comparison of five types of pig crosses. I. Growth and carcass traits. *Livestock Production Science*, 40, 171-178.

Busboom, J.R., Rule, D.C., Colin, D., Heald, T., & Mazhan, A. (1991). Growth, carcass characteristics, and lipid composition of adipose tissue and muscle of pigs fed canola. *Journal of Animal Science*, 69, 1101-1108.

Campbell, R.G., & Taverner, M.R. (1988). Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 66, 676-686.

Castell, A.G. (1977). Effects of cultivar on the utilisation of ground rapeseed in diets for growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 57, 111-120.

Castell, A.G., & Falk, L. (1980). Effects of dietary canola seed on pig performance and backfat composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 60, 795-802.

Cisneros, F., Ellis, M., McKeith, F.K., McCaw, J., & Fernando, R.L. (1996). Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of Barrows and gilts b from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74, 925-933.

Corino, C., Musella, M., & Mourot, J. (2008). Influence of extruded linseed on growth, carcass composition, and meat quality of slaughtered pigs at one hundred ten and one hundred sixty kilograms of liveweight. *Journal of Animal Science*, 86, 1850–1860.

De la LLata, M., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., & Loughin, T.M. (2001). Effects of dietary fat on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs reared in a commercial environment. *Journal of Animal Science*, 53, 2643-2650.

Eggert, J.M., Grant, A.L., & Schinkel, A.P. (2007). Factors affecting fat distribution in pork carcasses. *The Professional Animal Scientist*, 23, 42-53.

Engel, J., Smith II, J.W., Unruh, J.A., Goodbank, R.D., O'Quinn, P.R., Tockach, M.D., & Nelssen, J.L. (2001). Effects of choice white grease or poultry fat on growth performance, carcass leanness, and meat quality characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 79, 1491-1501.

Folch, J.M., Lees, M., & Sloane Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biology and Chemistry*, 226, 497-509.

García-Macías, J.A., Gispert, M., Oliver, M.A., Diestre, A., Alonso, P., Muñoz-Luna, A., Siggens, K., & Cuthbert-Heavens, D., (1996). The effect of cross, slaughter weight and halothane genotype on lean and meat and fat quality in pig carcasses. *Animal Science*, 63, 487-496.

Gonzalez, E., Olivares, A., & Tejeda, J.F., 2005. Uso de piensos engrasados ricos en ácido oleico en la alimentación del cerdo ibérico. Comunicación libre. In: *III World congress on dry-cured ham* (pp. 375-377) (In Spanish).

Hamilton, D.N., Ellis, M., Wolter, B.F., Schinckel, A.P., & Wilson, E.R. (2003). The growth performance of the progeny of two swine sire lines reared under different floor space allowance. *Journal of Animal Science*, 81, 1126-1135.

Kanis, E., & Koops, J. (1990). Daily gain, food intake and food efficiency in pigs during the growing period. *Animal Production*, 50, 353-364.

Langlois, A., Minvielle, F. (1989). Comparisons of three-way and backcross swine: II. Wholesale cuts and meat quality. *Journal of Animal Science*, 67, 2025-2032.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Gracia, M.I., Nieto, M., Mateos, G.G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Science*, 65, 1369-1377.

Lauridsen, C., Højsgaard, S., & Sørensen, M.T. (1999). Influence of dietary rapeseed oil, vitamin E and copper on the performance and the antioxidative and oxidative status of pigs. *Journal of Animal Science*, 77, 906-916.

Lopez-Bote, C., Ruiz, J., Rey, A., & Daza, A. (2005). Effect of the feeding in the quality of fat in the Teruel Ham. In: *III Dry cured ham world congress on science, technology and marketing*. Sessions book (pp. 33-38).

Mas, G., Llavall, M., Coll, D., Roca, R., Diaz, I., Oliver, M.A., Gispert, M., & Realini, C.E., 2010. Carcass and meat quality characteristics and fatty acid composition of tissues from Pietrain-sired barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet. *Meat Science*, 85, 707-714.

Mas, G., Llavall, M., Coll, D., Roca, R., Diaz, I., Oliver, M.A., Gispert, M., & Realini, C.E. (2010). Effect of an elevated monounsaturated fat diet on pork carcass and meat quality traits and tissue fatty acid composition from York-crossed barrows and gilts. *Meat Science*, article in press.

Martin, D., Muriel, E., Gonzalez, E., Viguera, J., & Ruiz, J. (2008). Effect of dietary conjugated linoleic acid and monounsaturated fatty acids on productive, carcass and meat quality traits of pigs. *Livestock Science*, 177, 155-164.

Miller, M. F., Shackelford, S.D., Hayden, K.D., & Reagan, J.O. (1990). Determination of the alteration in fatty acid profiles, sensory characteristics and carcass traits of swine fed elevated levels of monounsaturated fats in diet. *Journal of Animal Science*, 68, 1624-1631

Morel, P.C., McIntosh, J.C., & Janz, J.A.M. (2006). Alteration of the fatty acid profile of pork by dietary manipulation. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 19, 413-437.

Myer, R.O., Lamkey, J.W., Walker, W.R., Brandemuhl, J.H., & Combs, G.E. (1992). Performance and carcass characteristics of swine when fed diets containing Canola oil and added copper to alter the unsaturated: saturated ratio of pork fat. *Journal of Animal Science*, 70, 1417-1423.

Neville, J.N. (1990). On matters of the hearth: past, present and future. *Journal of American Dietetic Association*, 90, 211-213.

Pettigrew, J.E., & Moser, R.L. (1991). Fat in swine nutrition. In: E.R. Miller, D.E. Ullrey, A.J. Lewis (Eds.), *Swine Nutrition* (pp. 133-146). Stoneham, MA: Butterworth-Heinemann.

Rhee, K.S., Ziprin, Y.A., Ordóñez, G., & Bohac, C.E. (1988). Fatty acid profiles and of the total lipids and lipid oxidation in pork muscles as affected by canola oil in the animal diet and muscle location. *Meat Science*, 23, 201-210.

Ruiz-Gutierrez, V., Suriana, F.J., Guerrero, A., Cert, A.M., & Villar, J. (1996). Plasma lipids, erythrocyte membrane lipids and blood pressure of hypertensive women after ingestion of dietary oleic acid from two different sources. *Journal of Hypertension*, 12, 1483-1490.

St. John, L.C., Young, R.C., Knabe, D.A., Thomson, L.D., Schelling, G.T., Grundy, S.M., & Smith, S.B. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine feed an elevated monounsaturated fat diet. *Journal of Animal Science*, 64, 1441-1447.

Stahly, T.S., Cromwell, G.L., & Overfield, J.R. (1981). Interactive effects of season of year and dietary fat supplementation, lysine sources and lysine level on the performance of swine. *Journal of Animal Science*, 53, 1269-1277.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., & Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

CAPÍTOL 5

Development and lean and fat growth in Pietrain and York-crossed pigs

AQUEST CAPÍTOL ESTÀ BASAT EN EL MANUSCRIT:

Mas, G., J. Soler, M. Llavall, J. Tibau, R. Roca, D. Coll, E. Fàbrega. **Development and lean and fat growth in high- and medium-lean pig genotypes.** (*Basat en article en preparació per a Spanish Journal of Agricultural Research*).

5. DEVELOPMENT AND LEAN AND FAT GROWTH IN PIETRAIN AND YORK-CROSSED PIGS.

5.1 Introduction

In the past few years, much research with pork fat modification has been done, in order to obtain healthier meat for the consumer. Monounsaturated fatty acids (MUFA) are amongst these different fat sources, with a special interest for pork processors, as they have a lower risk compared to polyunsaturated fatty acids (PUFA) of generating lipid oxidation, a process with adverse effects on the quality of the meat (Wood et al., 2003).

Substantial differences in compositional growth exist among different genetic populations, breeds and sexes (Wiseman et al., 2007). These differences affect the feed efficiency, carcass lean percentage, optimal market body weight and profitability of the different genetic populations and sexes (Schinkel et al., 2008). For the optimization of pork production systems, it is important to know in detail the between-pig variation in body weight and carcass composition (King, 1999). Therefore, it is important to evaluate the components of growth in each genotype by using simple methods, in order to adjust the feed requirements and the market body weight at every stage of the growing and finishing period for a more efficient production of pork. Backfat and loin depth measurements are highly related to carcass lean percentage and carcass cut-out values (Hicks et al., 1998). Currently, many pork processors measure carcass fat depth and loin muscle to predict carcass lean percentage (Li et al., 2003).

In the Spanish market, Pietrain-sired pigs, with a high lean potential is the preferred genotype for fresh meat production, whereas York-sired pigs, with an adequate fat cover in the main cuts, are adequate and appreciated for the dry cured product industry.

The objective of this study was to use a Gompertz function to estimate the protein and lipid growth from the in vivo measurements of backfat, and *Longissimus*

thoracis depth, in two genotypes with different market orientations (Pietrain and York) and sexes (females and castrates).

5.2 Material and methods

5.2.1 Animals and diets

Experimental procedures were approved by IRTA's (Institute for Food and Agricultural Research and Technology) ethical committee. Data from one hundred and seventy-five pigs from 2 sexes and two genotypes (York-sired barrows, $n= 48$; Pietrain-sired barrows, $n= 36$; York-sired gilts, $n= 43$, and Pietrain-sired gilts, $n= 48$) provided by UPB España S.A. have been analysed in this study. Genotypes were crosses of Landrace (LD) x Large White (LW) with Pietrain (negative for the halothane gene, NN) and LD x LW with the commercial line York (highly muscled Large White). Management of the animals during the trial was according to Chapter 4.

Animals were fed a CONTROL diet 1) grain and soy diet or a treatment diet (HO) 2) grain and soy plus high oleic acid supplement (1.4% from 30 to 60 kg live weight, 3.8% from 60 kg to slaughter weight). The HO diet was formulated to achieve a higher percentage of MUFA compared to CONTROL diet (44.84 vs. 30.14%, respectively). Dietary treatments were formulated to have similar nutrient and energy content, and were above the nutritional requirements recommended for growing-finishing pigs to make sure that all animals could show all their growing potential. Growing diets contained 18% crude protein and 1.1% lysine, and finishing diets contained 16.5% crude protein and 1.0% lysine. A full description of the diets and dietary fatty acid composition has been provided in Chapter 4 (pages 64 and 65).

The final weights at the end of the study were 99.2 ± 5.0 kg for the crosses with Pietrain and 109.3 ± 4.7 kg for the crosses with York. A total of 17 animals were removed of the study during the growing-finishing period.

5.2.2. Weight and ultrasound measurements

Animals were given a 2-week period to adapt to the farm. The first measurement was only a weight control that was carried out when animals were 75-days old (Live weight 1, LW1).

At 110 days measurements of weight (LW 2), and also backfat level and loin muscle (*Longissimus thoracis*) depth were carried out (Backfat 1, BF1; Loin muscle 1, LT1). Subsequently, measurement of weight and of backfat level and loin muscle depth were taken at 3- or 4-week intervals. Thus, measurement 3 was carried out at 133 days, measurement 4 at 160 days and the last one at 188 days of age. The ultrasound measurements of back fat level and loin muscle depth were performed with a PIGLOG 105® (A-mode scanner, SFK Technology A/S, Helver, Denmark), at the last rib level and 6.5 cm off the midline. All *in vivo* measurements were carried out by the same trained technician. Weight was recorded with electronic scales (Fancom F-Star 125, Digi-star™, the Netherlands).

5.2.3. Prediction equations

When growing characteristics were evaluated (see Chapter 4) there were no differences for average daily protein gain between diets, which was 0.127 ± 0.003 vs. 0.123 ± 0.003 g/day in York-sired pigs, and 0.134 ± 0.008 and 0.138 ± 0.008 g/day in Pietrain sired pigs, for HO and CONTROL diet, respectively. Moreover, average daily lipid gain did not significantly differ between diets, with values of 0.223 ± 0.003 vs. 0.200 ± 0.003 g/day in York-sired pigs, and 0.190 ± 0.008 vs. 0.200 g/day in Pietrain-sired pigs, for HO and CONTROL diet, respectively. Consequently, pooled data of both diets were used to estimate the growing potential of each sex and genotype. The percent of fat and protein of the body was predicted from the *in vivo* measurements of the backfat (BF) and *Longissimus thoracis* (LT) depth. The values of each equation were adjusted with the following equations that were developed using barrows and gilts of the same genotypes as the two used in the current study (González, 2002):

$$\% \text{ Protein} = 15,416 - 0,18197 \times \text{BF (mm)} + 0,05938 \times \text{LT (mm)}$$

$$\% \text{ Fat} = 1,7634 + 1,00964 \times \text{BF (mm)} + 0,08077 \times \text{LT (mm)}$$

These equations were developed to work with pigs with a range of weight from 20 to 140 kg live weight, with an error between the real value and estimated value between -0.110 and 0.044 for protein percentage and between -1.12 and 0.74 for fat percentage (González, 2002). The different errors found for each weight interval, from 50 to 140 kg live weight are presented Table 5.1. The reliability of these equations for the prediction of protein percentage was found to be $R^2=0.598$ and the residual standard deviation (RSD) = 0.58, whereas reliability parameters for the fat percentage were $R^2=0.84$ and RSD = 2.06. The use of this approach to estimate body composition has the advantage that it can be performed on-farm and on a large number of animals, and the measurements can be repeated in the same subject at different points over time.

A Gompertz growth function described by Knap et al. (2003) was used to explain the evolution of weight, daily growth, protein and fat growth. It is based on those described by Emmans (1988) for the resource portioning in growing pigs, therefore, it is modelled in terms of body maintenance requirements, potential protein deposition and lipid deposition.

The following growth function explains the evolution of live weight and also protein or lipid weight according to age:

$$(1) \text{ Live weight (kg)} = A * e^{-e^{-B(\text{age}-C)}}$$

Where A is the final weight of an adult animal (mature weight as defined by Taylor, 1980), C denote the x coordinates of the point of inflexion of the curves (in days). And B represents the specific growth rate $(dy/dx)/y$ at this point. Based on the previous equation, the average daily weight gain (DWG), and also protein and lipid accretion according to the age of the animal were predicted as:

$$(2) \text{ DWG (gr/day)} = A * B * e^{-e^{-B(\text{age}-C)}} * e^{-B(\text{age}-C)}$$

Where A, B and C have the same meaning as in the preceding equation.

Live weight, body protein and lipid mass were related to age (in days) using the MODEL procedure of Statistical Analysis System Institute (SAS, 1993) to apply for a maximum likelihood routine to fit this Gompertz function to the date of each sex for each genotype.

Table 5.1. Errors¹ according to weight interval (kg) for the estimations of protein and fat accretion.

Model	Weight interval						Total
	<50	50-70	70-100	100-120	120-140	>140	
% of protein	0.029	-0.030	0.040	-0.057	0.044	-0.111	0.000
% of fat	0.495	-0.5538	-1.12	0.738	0.590	0.111	0.000

¹Error calculated by subtracting the experimental value from the real value.

5.3 Results

5.3.1. Evolution of protein and lipid accretion in two genotypes

Since no effect of dietary treatment on growth, loin muscle depth and back fat evolution was observed and no significant interactions were observed between sex and diet and genotype and sex, the data from both diets were pooled to predict growth and protein and lipid accretion for each genotype and sex according to the equations previously defined. Table 5.2 shows the values for the Gompertz growth parameters.

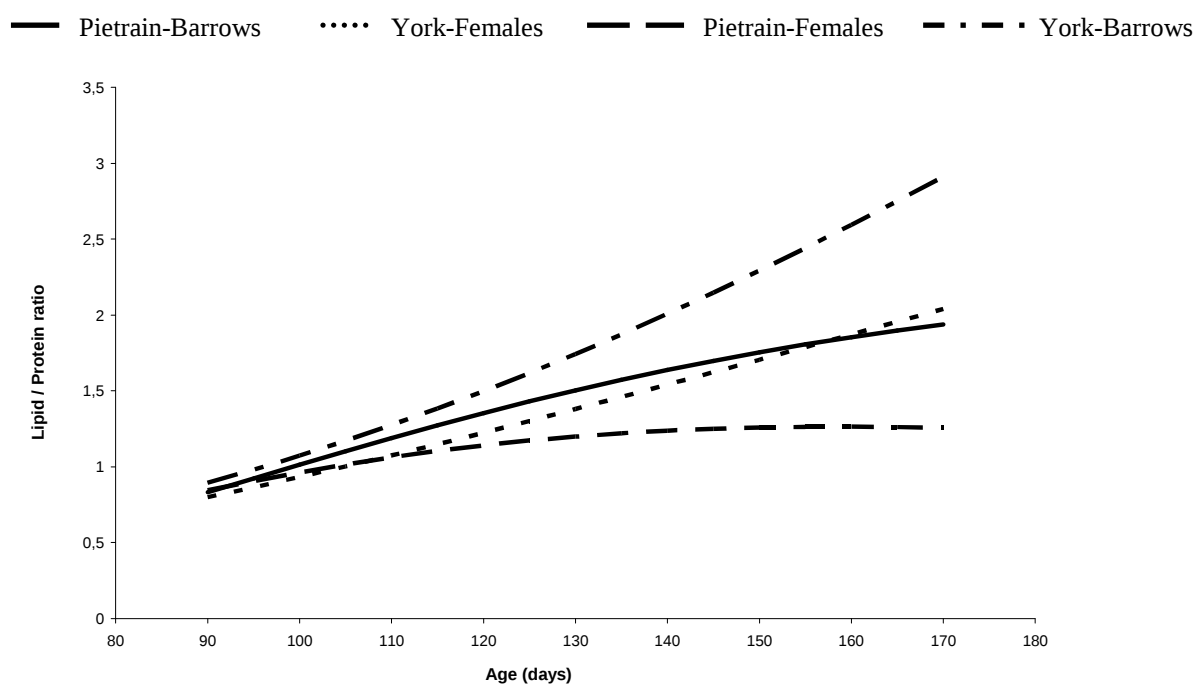
Table 5.2. Gompertz growth parameters for the two genotypes and sexes within each genotype.

Values for live weight gain	York		Pietrain	
	Barrows	Gilts	Barrows	Gilts
A ¹	174	170.4	164.2	165
B ¹	0.0133	0.0127	0.0135	0.0119
C ¹	123.1	125.4	124.4	132.5
Values for protein deposition				
A ¹	22.200	22.898	21.281	25.464
B ¹	0.0177	0.0166	0.0193	0.0128
C ¹	107.7	110	108.6	123.2
Values for lipid deposition				
A ¹	54.116	38.686	29.506	23.506
B ¹	0.0137	0.0141	0.0168	0.0168
C ¹	166.4	157.9	139.5	139.5

¹A: the final weight/ protein, or lipid mass of an adult animal; B: division between daily gain /daily protein growth/ daily lipid growth and weight (dx/dy)y at the point of maximum growth; C: age (in days) at the point of inflexion of the curves (maximum daily gain / maximum protein daily gain / maximum lipid daily gain).

Figure 5.1 shows for both genotypes the evolution of the ratio between lipid and protein accretion. Both genotypes started with a high potential for protein deposition, but as body weight increased, potential for lipid deposition became higher and protein deposition decreased, especially in York-sired crosses. York-sired barrows reached the highest ratio between lipid/protein growth with levels up to 2.8 and a daily lipid deposition at the end of the trial of 0.272 g/day, and only 0.093 g/day of protein deposition. York-sired gilts showed a regular increase of the values of the ratio with a final value of 2 and showed a great capacity for fat deposition after 50 kg live weight. However, it was lower than in barrows as gilts showed a final value of 0.197 g/day for lipid deposition. Pietrain-sired barrows animals resulted in a ratio between protein and lipid of 1.8, and showed a high lean potential, that was maintained up to 60 kg live weight. At the end of the finishing period they showed a high level of fat deposition, with values of 0.1793 g/day for lipid deposition. Pietrain-sired gilts resulted in the lowest ratio of all with only 1.2, with the lowest growth values for both protein and fat during all the trial period, and a final value of 0.1299 g/day for fat deposition and 0.1033 g/day for protein deposition, similar to the initial value, as they maintained a very regular curvature.

Figure 5.1. Evolution of lipid/protein ratio for each genotype and sex.



The curves for daily gain (Figure 5.2) and protein growth (Figure 5.3) presented an increase of those parameters up to 60-65 kg for daily gain and 50-65 kg for protein growth, and from those points the curves decreased as live weight increased. Barrows from both genotypes showed higher values for daily gain than gilts. Pietrain-sired animals maintained their highest level of protein deposition (up to 60 kg in barrows, and up to 65 kg live weight in gilts) for a longer period than York sired animals that showed their maximum at 50 kg live weight in both sexes. The lipid growth curve (Figure 5.4) presented a higher lipid deposition in barrows compared with gilts, and York-sired animals had a higher fat deposition than Pietrain-sired pigs. Fat deposition was maintained close to the maximum level up to 90-100 kg in York-sired barrows, in Pietrain sired animals a slight decrease was seen in fat deposition at 65-70 kg live weight, especially in gilts. Differences among sexes and genotypes increased alongside with body weight.

Figure 5.2. Evolution of daily gain for each genotype and sex.

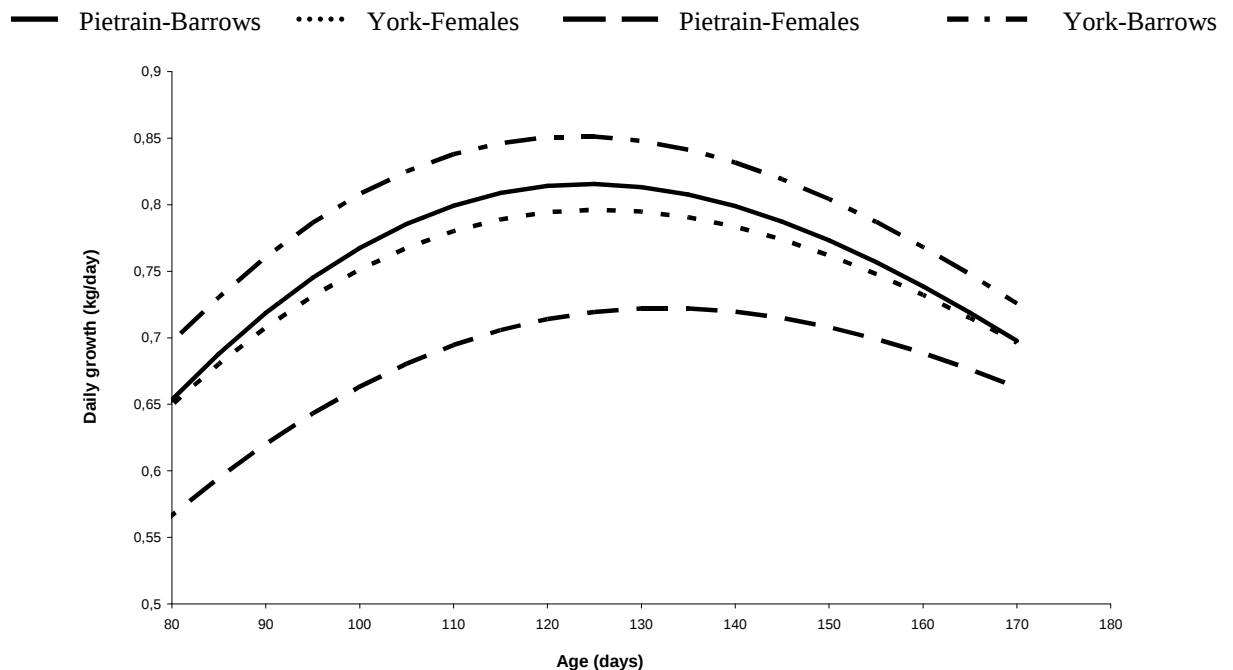


Figure 5.3. Evolution of protein gain for each genotype and sex.

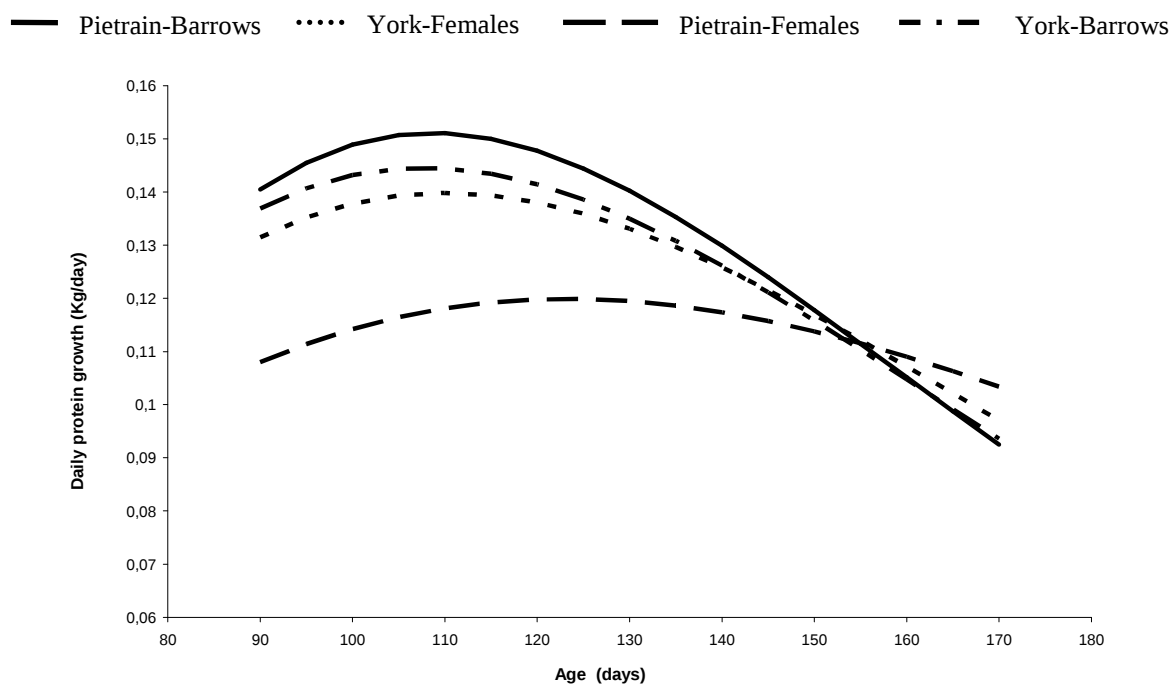
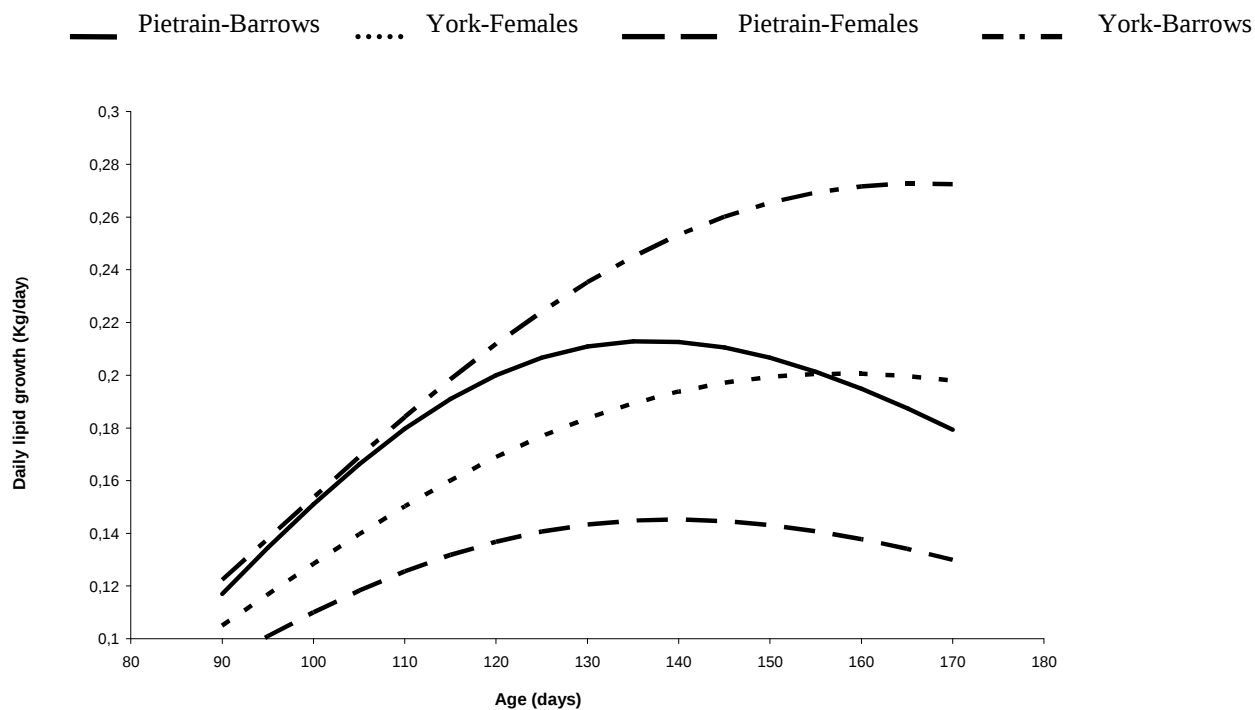


Figure 5.4. Evolution of lipid gain for each genotype and sex.



5.4 Discussion

5.4.1. Protein and lipid accretion in the two genotypes

The genotypes evaluated in this study were from markedly different genetic backgrounds, and exemplify differences between gilts and barrows and high- and medium-lean genotypes. Pietrain-sired barrows presented greater protein accretion than gilts. They also resulted in greater protein accretion than York-sired barrows and gilts, which agrees with previous studies comparing animals selected for high lean growth with conventional lines (Friesen et al., 1994; Hamilton et al., 2003). However, Pietrain-sired pigs presented a slower growth during the overall test period, as genotypes that yield leaner carcasses have usually slower growth rates. In these high-lean animals, when the dietary lysine is adequate and maintenance requirements are fulfilled, energy from the diet is first transformed into lean, and then the exceeding energy is transformed and stored as fat. When body weight increases and the pig matures, the protein accretion decreases and fat deposition increases (Fabian et al., 2003), and this occurs at more rapid rate in medium-lean pigs than in high-lean pigs (Friesen et al., 1994). Pietrain-sired females resulted in the lowest fat and protein growth ratio, and also in the lowest growth during the trial, which is in accordance with Friesen et al. (1994). Growth differences between Pietrain-sired barrows and gilts appeared from early stages of the trial. Desmoulin and Bonneau (1979) also reported that growth differences between barrows and females were higher in high-lean genotypes. In the current study York-sired barrows and gilts grew at a faster rate and presented a lower lean growth than Pietrain-sired pigs. York-sired pigs are characterized for a moderate fat content, are less effective in protein growth relative to appetite and transform higher amounts of energy into fat when fed *ad libitum* high energy and protein diets. In York crosses, both sexes showed similar protein accretion ratio, but barrows resulted in a higher fat growth and in a much higher fat/lean growth.

Campbell and Taverner (1988) compared pigs from selected lines and control lines and reported the effect of genotype on growth and lean and fat development. The present results confirm the importance of genotype and sex on development. As a consequence of this different growth patterns, especially in lean growth, many

researchers have suggested that it would be convenient to use specific diets according to the sex and genotypic background in order to maximise the economic benefit of pig production (Stahly et al., 1991). In relation to genotype, a diet with a lower energy and lysine content or a restriction in feed intake is recommended in medium or low-lean genotypes. On the other hand, pigs of superior lean potential require more energy and dietary protein to support their higher rates of protein growth. Stahly et al. (1991) suggested that the requirements of lysine in high-lean pigs were approximately 3 to 16% greater than for medium lean pigs. Regarding to sex differences, Campbell and Taverner (1988) reported that the castration reduced the ceiling for protein deposition by 30% in barrows. Therefore, in order to avoid excessive fattening of the carcasses, the use of a diet with a lower level of energy in barrows would be advisable, especially after 130 days of age. The use of a diet with high energy and lysine concentration would be advisable to maximise the growth and protein accretion in females from high-lean genotypes. Currently, there are different models such as those described by Rivest et al. (1999) that are used by nutritionists to calculate the adequate energy and protein level for growing –finishing pigs once the protein requirements have been established. However, apart from the diet, other factors such as pen space, health status, or environmental conditions may modify the growth response of the pigs.

Differences found in this study confirm that the growing pattern of each genotype fits well with the market destination of the carcasses. Pietrain-sired animals that are characterised for being very muscular and with a high proportion of lean to fat, and carcass yield with a high proportion of ham and loin, are the breed most commonly used in Spain for fresh meat processing, as in Spain the most valued carcasses are those that are lean and of good conformation (García-Macías et al., 1996). On the other hand, York-sired pigs presented in both sexes an important fat growth ratio, that makes it ideal for the production of dry cured products, such as Spanish ham for which a certain amount of fat is required for the productive process in order to avoid difficulties in the dry curing process.

5.5. Conclusions

Our investigation corroborated differences in growing patterns between sexes and genotypes. Barrows resulted in increased growth performance and protein and fat accretion compared to females. Differences also appeared between genotypes, Pietrain crosses presenting a higher potential for lean tissue gain, and York crosses for fat content. Therefore it would be appropriate to use specific diets for each sex and genotype according to their nutritional requirements in order to maximise productive efficiency. Differences between genotypes also reflected that they are suitable for different markets, Pietrain crosses being adequate for fresh meat production and York crosses for ham industry.

References

- Campbell, R.G., & Taverner, M.R. (1988). Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 66, 676-686.
- Desmoulin, B., & Bonneau, M. (1979). Production des viandes de porcs males entiers ou castrés chez les types Pietrain ou Landrace Belge. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 11, 113-120.
- Emmans, G.C. (1988). Genetic components of potential and actual growth. In: R.B., Land, G., Bulfield, & W.G Hill (Eds.), *Animal Breeding Opportunities* (pp.153-181, Publ.12). Edinburgh, U.K.: British Society of Animal Production.
- Fabian, J., Chibe, L.I., Kuhlert, D.L., Frobish, L.T., Nadarajah, K., & McElhenney, W. (2003). Growth performance, dry matter and nitrogen digestibility, serum profile and carcass and meat quality of pigs with distinct genotypes. *Journal of Animal Science*, 81, 1142-1149.

Friesen, K.G., Nelsen, J.L., Unruh, J.A., Goodbank, R.D., & Tockach, M.D. (1994). Effects of the interrelationship between genotype, sex, dietary lysine on growth performance and carcass composition in finishing pigs fed either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 72, 946-954.

García-Macías, J.A., Gispert, M., Oliver, M.A., Diestre, A., Alonso, P., Muñoz-Luna A, et al. (1996). The effect of cross, slaughter weight and halothane genotype on lean and meat and fat quality in pig carcasses. *Animal Science*, 63, 487-496.

Gonzàlez, F. (2002). L'ús d'aparells d'ultrasons per determinar in vivo la composició corporal de porcs d'engreix. Master thesis. University of Girona.

Hamilton, D.N., Ellis, M., Wolter, B.F., Schinckel, A.P., & Wilson, E.R. (2003). The growth performance of the progeny of two swine sire lines reared under different floor space allowance. *Journal of Animal Science*, 81, 1126-1135.

Hicks, C., Schinckel, A.P., Forrest, J.C., Akridge, J.T., Wagner, J.R., & Chen, W. (1998). Biasses associated with genotype and sex in prediction of fat-free lean mass and carcass value in hogs. *Journal of Animal Science*, 76, 2221-2234.

King, R.H. (1999). A review-Nutritional constraints to pig performance and pig variability. In: P.D. Cranwell (Eds.) *Manipulating Pig Production VI* (pp. 245). Werribee, Victoria, Australia: Australian Pig Science Association.

Knap, P.W., Roche, R., Kolstad, K., Pomar, C., & Luiting, P. (2003). Characterization of pig genotypes for growth modelling. *Journal of Animal Science*, 81, E187-E195.

Li, N., Preckel, P.V., Foster, K.A., & Schinckel, P. (2003). A nalysis of economically optimal nutrition and marketing strategis for Paylean usage in pig production. *Journal of Agricultural Research and Economics*, 28, 272-286.

Rivest, J., Pomar, C., Fillion, R., & Pettigrew, D. (1999). Au Carrefour des connaissances. 20e colloque sur la production porcine du Conseil des Productions Animales du Québec (CPAQ).

Schinckel, A.P., Mahan, D.C., Wiseman, T.G., & Miller, D. (2008). Impact of alternative energy systems on the estimated feed requirements of pigs with varying lean and fat tissue growth rates when fed corn and soybean meal-based diets. *Professional Animal Scientist*, 24, 198-207.

Stahly, T. S., Cromwell, G. L., & Terhune D. (1991). Responses of high, medium and low lean growth genotypes to dietary aminoacid regimen. *Journal of Animal Science*, 69 (Suppl. 1), 364 (Abstr.).

Taylor, C.T. (1980). Genetic size-scaling rules in animal growth. *Animal Production*, 30, 161-165.

Wiseman, T.G., Mahan, D.C., Peters J.C., Fastinger, N.D., Ching, S., & Kim, Y.Y. (2007). Phenotypic measurements and various indices of lean and fat tissue development in barrows and gilts of two genetic lines from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight. *Journal Animal Science*, 85, 1816-1824.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., & Enser, M. (2003) Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

CAPÍTOL 6

**Carcass and meat quality characteristics and fatty acid composition of tissues from
Pietrain –crossed barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet**

AQUEST CAPÍTOL ESTÀ BASAT EN EL MANUSCRIT:

Mas, G., Llavall, M., Coll, D., Roca, R., Díaz, I., Oliver, M.A., Gispert, M., & Realini, C.E. (2010). **Carcass traits and fatty acid composition of tissues from Pietrain-crossed barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet.** *Meat Science* (en premsa).

6. CARCASS AND MEAT QUALITY CHARACTERISTICS AND FATTY ACID COMPOSITION OF TISSUES FROM PIETRAIN –CROSSED BARROWS AND GILTS FED AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET.

6. 1. Introduction

Meat is a rich source of essential nutrients and makes an important contribution to achieving a balanced diet. Modern society is concerned about the importance of meat in the diet for human health, and there is an increasing demand among health professionals as well as the public for meat with less saturated fatty acids (Rhee et al., 1988a).

Research in swine nutrition has shown that the fatty acid profile of pork fat can be altered by feeding diets containing different fatty acid concentrations (Rentfrow et al., 2003). Pork fat has been modified by feeding diets containing fat sources high in polyunsaturated fatty acids (PUFA) such as full-fat soybeans (Warnants et al., 1999), or linseed (Wahlstrom et al., 1971) or high in monounsaturated fatty acids (MUFA), such as canola oil or high-oleic sunflower oil (Miller et al., 1990; Myer et al., 1992; Rhee et al., 1988b; St. John et al., 1987). However, there are a number of other fat sources rich in oleic acid such as by-products of the olive oil industry which may affect swine carcass characteristics, and specially, meat quality and tissue fatty acid composition.

Increases in PUFA concentration risk the generation of lipid oxidation products, leading to off-odours and off-flavours and undesirable colour changes (Wood et al., 2003). High levels of PUFAs may also have an adverse effect on pork belly/bacon quality (St. John et al., 1987; Shackelford et al., 1990). On the other hand, diets high in monounsaturated fat provide meats with a more favourable nutritional profile (Wood & Enser, 1997) than saturated fats, are positively correlated with pork flavour (Cameron & Enser, 1991) and are less susceptible to oxidation than meat from animals fed diets rich in PUFAs (López-Bote et al., 1997). Moreover, there is limited information about the effect of supplementation with a fat source rich in MUFA on carcass and meat quality characteristics in lean genotypes such as Pietrain crosses.

The aim of this study was to evaluate the effect of a diet rich in oleic acid by feeding a by-product of the olive oil industry on carcass characteristics, meat quality

and fatty acid profile of intramuscular and subcutaneous fat of Pietrain-sired barrows and gilts.

6.2. Materials and methods

6.2.1. Animals and diets

Experimental procedures were approved by IRTA's (Institute for Food and Agricultural Research and Technology) ethical committee. Fifty-one pigs from 2 sexes (n=23 barrows, n=28 gilts) from Landrace x Large White with Pietrain (negative for the halothane gene, NN) crosses were provided by UPB España S.A. and raised in a grower-finisher unit, with fully slatted floors and located in pens with an average of 12 pigs per pen. Animals were given free access to food and water until slaughter at 108.9 ± 6.4 kg live weight. Animals were balanced by sex and randomly assigned to one of two dietary treatments: 1) grain and soy diet (CONTROL, n=24 total; n=12 barrows, n=12 gilts), and 2) grain and soy plus high oleic acid supplement (HO, n=27 total; n=13 barrows, n=14 gilts). The high oleic supplement (HO) was fed 1.4% (14 g kg⁻¹ feed) from 30 to 60 kg animal live weight (growing diet), and was increased to 3.8% (38 g kg⁻¹ feed) from 60 kg live weight until slaughter (finishing diet). The high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]) is a by-product of the olive oil industry composed of a mixture of calcium salts of fatty acids rich in oleic acid. Greedy-Grass OLIVA[®] (composed by 83% crude fat, 12% ash, 7% Ca in ashes, and 5% moisture; and provides 6600 kcal kg⁻¹ Metabolic Energy) was provided by Grupo Omega de Nutrición Animal (Madrid, Spain). Ration composition of the growing and finishing diets, and dietary fatty acid composition of the finishing diets are shown in Table 6.1 and Table 6.2, respectively. Diets were formulated to meet the requirements of growing-finishing pigs. Growing diets contained 18% crude protein and 1.1% lysine, and finishing diets contained 16.5% crude protein and 1.0% lysine. The high oleic diet was formulated to achieve a higher percentage of oleic acid and monounsaturated fatty acids (15% higher approximately) compared with the CONTROL diet (42.82% vs. 27.92 C18:1 and 44.84 vs. 30.14% MUFA, respectively). Conversely, the CONTROL diet showed greater percentage of saturated fatty acids (C14:0, C16:0, and C18:0) and polyunsaturated fatty acids (C18:2, C18:3, 20:4, and 20:5) compared with the HO diet.

Table 6.1. Ingredients and composition of growing (30-60 kg live weight) and finishing (60 kg live weight-slaughter) experimental diets¹.

<i>Ingredients, gr kg⁻¹</i>	Growing diet (30-60 kg)		Finishing diet (60 kg-slaughter)	
	Control	HO	Control	HO
Corn	250	85	250	50
Barley	237	393	268	471
Wheat	200	200	200	200
Soy	252	247	222	202
Fat	30	30	29	14
Lysine	3	3	3	3
Threonine	1	1	1	1
Vitamin and mineral premix ²	4	4	4	4
Sodium bicarbonate	1	1	2	-
Bicalcium Phosphate	13	12	11	11
Calcium carbonate	6	7	6	1
Salt	3	3	4	5
Greedy-Grass OLIVA [®]	-	14	-	38
<i>Composition</i>				
Crude protein (%DM)	18	18	16.7	16.5
Crude fat (%DM)	4.6	4.9	4.6	4.9
Crude fibre (%DM)	12.9	13.8	13.1	14.2
Ashes (%DM)	5.1	5.2	4.9	4.9
Lysine (%DM)	1.1	1.1	1.0	1.0
Phosphorus (%DM)	0.6	0.6	0.6	0.6
Calcium (%DM)	0.70	0.70	0.70	0.70
NE ³ , Kj kg ⁻¹	10211.6	10257.6	10243.1	10318.4
ME ³ , kJ kg ⁻¹	13813.8	13813.8	13813.8	13813.8

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

² 40 mg Mn, 1 mg I, 0.25 mg Co, 100 mg Zn, 10 mg Cu, 145 mg Fe, 0.15 mg Se, 10,000 IU vitamin A, 1,000 IU vitamin D₃, 15 mg vitamin E, 1 mg vitamin K₃, 1 mg Vitamin B₁, 2 mg vitamin B₂, 1 mg vitamin B₆, 0.02 mg vitamin B₁₂, 15 mg niacin, and 8 mg d-pantothenate were provided /kg of feed.

³NE: net energy; ME: metabolic energy.

Feed lipids were extracted following the chloroform-methanol procedure of Folch et al. (1957), converted to fatty acid methyl esters using BF₃ and methanolic KOH following the method of ISO 5509-1978 (E), and analyzed using GC (5890 SeriesII GC, Hewlett Packard, Barcelona, Spain). All samples were methylated in

duplicate, and 1 µl was introduced by split injection into a fused silica capillary column (30 m × ID 0.25 mm, BPX 70; 0.25-µm film thickness, Texas, USA). Helium was the carrier gas at 30 cm/sec. Column temperature was initially 150°C for 1 min, was increased by 4°C/min to 200°C, and was then held at 200°C for 10 min. Individual FAME were identified by retention time with reference to FAME standards (FA methyl ester mixture #189-19 L-9495; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA).

Table 6.2. Fatty acid composition (%) of the finishing diet (from 60 kg live weight to slaughter)¹

<i>Fatty acid</i> ² , %	Diet	
	Control	HO
14:0, <i>myristic</i>	0.55	0.28
16:0, <i>palmitic</i>	18.08	15.86
16:1, <i>palmitoleic</i>	1.03	0.71
18:0, <i>stearic</i>	7.77	5.61
18:1, <i>n-9 oleic</i>	27.92	42.82
18:2, <i>n-6 linoleic</i>	37.99	28.59
18:3, <i>n-3 linolenic</i>	3.38	2.97
20:4, <i>n-6 arachidonic</i>	0.07	ND ³
20:5, <i>n-3 EPA</i>	0.18	0.06
SFA ⁴	27.59	23.18
MUFA ⁴	30.14	44.84
PUFA ⁴	42.27	31.98

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA®: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²Major selected fatty acids.

³ND: Under detection limit.

⁴SFA: saturated fatty acids (C4:0, C6:0, C8:0, C10:0, C12:0, C13:0, C14:0, C16:0, C18:0, C20:0, C22:0, and C23:0); MUFA: monounsaturated fatty acids (C16:1, C17:1, C18:1, C20:1, C22:1 and C24:1); and PUFA: polyunsaturated fatty acids (C18:2, C18:3, C20:2, C20:3, C20:4, and C20:5).

6.2.2. Carcass measurements

Pigs were transported to the slaughter facilities of IRTA-Monells, located 150 km away from the farm, approximately 14 h before slaughter and were held off feed and had access to water during lairage. Pigs were humanely harvested using CO₂ stunning following standard procedures of an officially inspected facility. Hot carcasses were

weighed within 1 h post-mortem using the European standard presentation (Council Regulation (EEC) 3513/93). Fat and muscle depth were recorded for each carcass within 1 h post-mortem using the Fat-O-Meat'er probe (SFK Technology, Denmark). Fat depth was measured at 80 mm from the mid-line between the 3rd and 4th lumbar vertebra (VLFOM). Back fat and loin muscle depths were measured at 60 mm from the mid-line between the 3rd and 4th last ribs (F3/4FOM and M3/4FOM, respectively). Carcass lean percentage was predicted using the Spanish official equation (Gispert & Diestre, 1994). Minimum fat depth was also measured over the *Gluteus medius* muscle (MLOIN) using a ruler.

At 24 h post-mortem carcasses were weighed, length was measured for the loin (from the first lumbar vertebrae to the atlas bone) and for the carcass (from the anterior edge of the symphysis pubic to the recess of the first rib), and carcass conformation evaluated based on visual assessment of muscle mass development using the photographic model from the former EC pig grading grid for type of muscularity (1= large muscle development to 4= lack of muscle development, Gispert et al., 2007). *Longissimus* muscle area (LMA) was measured taking a digital image of the exposed surface muscle area between the 3rd and 4th last ribs. Images were standardized using a fixed camera and a couple of rulers also fixed at the loin area, which was calculated using an imaging software (Pomar et al., 2001). Then, left sides from each carcass were commercially cut and all primal cuts (ham, loin, shoulder, belly, and tenderloin) were weighed to obtain cut yields (Walstra & Merkus, 1995). In addition, hams, loins, shoulders, and bellies were dissected into lean, subcutaneous and intermuscular fat and bone following the procedure of Walstra and Merkus (1995).

6.2.3. Pork quality measurements

6.2.3.1. Muscle pH and electrical conductivity

Muscle pH was measured in the left carcass side using a Crison portable meter (Crison, Barcelona, Spain) equipped with a xerolyt electrode in the *Longissimus thoracis* (LT) between the 4th and 5th last ribs and *Semimembranosus* (SM) muscles at 45 min (pH₄₅) and 24 h (pH_u) post-mortem. Electrical conductivity was measured in the

carcass using a Pork Quality Meater (PQM-I, INTEK Aichach, Germany) at the last rib level in the LT and SM muscles at 24 h (EC_u) post-mortem.

6.2.3.2. Instrumental and subjective colour

Instrumental colour measurements were recorded at 24 h post-mortem for L*(lightness), a*(redness), and b*(yellowness) on the exposed cut surface of the LT muscle at the last rib level, using a Minolta Chromameter (CR-400, Minolta Inc., Osaka, Japan) in the CIELAB space (CIE, 1976) using illuminant C and 2° viewing angle after 15 min. of bloom time. Subjective colour was determined on the same muscle and location as the instrumental measure using the Japanese Colour Scale (1: very pale to 6: very dark, Nakai et al., 1975) by two trained technicians and the final score was the average value from both technicians.

6.2.3.3. Tenderness (Warner-Bratzler shear force)

Instrumental tenderness was determined on boneless loin chops taken at the 2nd-3rd last rib level. Pork chops (1.5 cm) were vacuum packaged and frozen at -20°C for subsequent Warner-Bratzler shear force determination. Chops were thawed for 24 h at 2°C and cooked in a convection oven (Spider 5, Novosir, Spain) pre-heated to 110°C until reaching an internal temperature of 75°C monitored using temperature probes. Chops were allowed to come to room temperature during 2 hours before a minimum of six pieces 3x1.5x1.5 cm were removed per chop. All pieces were sheared using an Alliance RT/5 texture analyzer (MTS Systems Corp., Eden Prairie, MN, USA) equipped with a Warner-Bratzler blade with crosshead speed set at 2 mm/s, and peak load (kg) was recorded.

6.2.3.4. Intramuscular fat content

Intramuscular fat content was analysed in the *Longissimus thoracis* muscle. Muscle samples were stored at -20°C until intramuscular fat determination. Samples were thawed over 24 h at 2°C, trimmed of external fat and ground using a Robot-Coupe BLIXER 3 blender (Seysant Atlantic S.L., Soria, Spain). Intramuscular fat of 200 g of

muscle was determined by Near Infrared Transmittance (NIT, Infratec[®] 1265, Tecator, Höganäs, Sweden).

6.2.4. Fatty acid composition

At 24 hours post-mortem, muscle samples of *Longissimus thoracis* from between the 3rd and 4th last ribs of the left side of the carcass were taken for each diet and sex, and samples of subcutaneous fat from *Semimembranosus* muscle were taken from the ham of gilts and barrows, for each dietary treatment. Tissue lipids were extracted following the chloroform-methanol procedure of Folch et al. (1957), converted to fatty acid methyl esters using BF₃ and methanolic KOH (ISO 5509-1978 E), and analyzed by GC (5890 Series II GC, Hewlett Packard, Barcelona, Spain) using the same conditions described for feed lipid analysis.

6.2.5. Statistical analysis

Data were analyzed by analysis of variance using the GLM procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) as a 2 x 2 factorial design with sex (barrows and gilts), diet (CONTROL and HO) and two-way interaction in the model, including carcass weight as a covariate. There were no interactions ($P>0.05$) between sex and diet, and data are presented in tables and discussed as main effects.

6.3. Results and discussion

6.3.1. Carcass characteristics and primal cut yields

Carcass characteristics and primal cut yields of barrows and gilts fed CONTROL and HO diets are shown in Table 6.3. Carcass traits and primal cut yields did not differ ($P>0.05$) between dietary treatments. Results of the present experiment agree with a number of previous studies where dietary fat source did not impact pork carcass traits (Bee et al., 2002; De la Llata et al., 2001; Guillevic et al., 2009; Mitchaothai et al., 2007; Nuernberg et al., 2005). St. John et al. (1987), Miller et al. (1990), Busboom et al.

(1991), and Myer et al. (1992) working with crossbred pigs found no differences between swine fed elevated levels of monounsaturated fat and control animals on first rib fat thickness, ham muscling score, and loin eye area. Fontanillas et al. (1997) also found no effect of dietary treatment on any production or carcass traits in Landrace x Duroc barrows fed diets high in either cis-monounsaturated, trans or *n*-3 fatty acids.

There were no differences ($P>0.05$) between gilts and barrows in carcass kill out percentage, and carcass and loin length (Table 6.3). Barrows showed heavier carcass weight, higher conformation score and more flare fat ($P<0.05$) compared with gilts. These results are in agreement with data reported by Ellis et al. (1996); Lebret et al. (2001); and Latorre et al. (2003), whereas other researchers (Leach et al., 1996) found gilt carcasses to be longer than barrow carcasses. Fat depth measurements (MLOIN, VLFOM and F3/4FOM) were higher for barrows compared with gilts which were leaner ($P<0.05$) showing greater ($P<0.001$) M3/4FOM, loin muscle area and estimated carcass lean percentage. Blasco et al. (1994) observed less fat and higher lean content in gilts compared with barrows when comparing carcass characteristics of five types of pig crosses, and differences between barrows and gilts on carcass characteristics are well documented in other studies (Ellis et al., 1996; Friesen et al., 1994; Latorre et al., 2003; Leach et al., 1996; Lebret et al., 2001; Nuernberg et al., 2005).

The percentages of ham, loin, shoulder, belly and tenderloin were similar ($P>0.05$) among dietary treatments. These results are consistent with the research of Bee et al. (1999), Bee et al. (2002), Realini et al. (2006), and Apple et al. (2009) who evaluated supplementation of swine diets with different fat sources including MUFA enriched diets, and concluded that dietary fat source had no effect on primal cut yields. The heavier muscled and leaner gilts, showed higher percentage of ham, loin and tenderloin, and lower percentage of belly compared with barrows. These results are in agreement with Unruh et al. (1996), who reported that leaner gilts slaughtered at different weights (104 kg and 127 kg) produced higher percentages of ham, loin and tenderloin compared with barrows.

Table 6.3. Least-squares means for carcass characteristics and primal cut yields of Pietrain-sired pigs fed experimental diets¹.

<i>Carcass characteristics</i>	Diet		Sex		RMSE ²
	Control	HO	Barrows	Gilts	
Live weight before slaughter, kg	109.4	108.0	112.8	105.3	5.919
Hot carcass weight, kg	85.8	86.0	88.1 ^a	83.7 ^b	3.890
Killing out, %	79.0	79.2	78.7	79.5	1.284
Flare fat, kg	0.80	0.78	0.91 ^a	0.72 ^b	0.178
Conformation score ³	2.2	2.3	2.3 ^a	2.2 ^b	0.421
Carcass length, cm	81.4	81.3	81.4	81.4	2.028
Loin length, cm	84.1	83.7	84.5	83.4	2.370
MLOIN ⁴ , mm	15.9	15.6	18.1 ^a	13.5 ^b	3.254
VLFOM ⁵ , mm	23.8	21.6	26.5 ^a	18.8 ^b	5.147
F3/4FOM ⁵ , mm	14.5	14.8	16.5 ^a	12.8 ^b	2.477
M3/4FOM ⁵ , mm	59.1	59.5	58.0 ^b	60.1 ^a	5.560
Loin Area, cm ²	50.9	50.3	47.0 ^b	54.0 ^a	4.319
Estimated lean ⁶ , %	58.0	57.9	56.1 ^b	59.8 ^a	2.517
<i>Primal cut yields, % (from cold carcass)</i>					
Ham	24.7	24.8	24.3 ^b	25.3 ^a	0.790
Loin	17.5	17.1	17.6 ^a	19.9 ^b	0.852
Shoulder	13.6	13.7	13.6	13.6	0.541
Belly	9.0	9.0	9.3 ^a	8.7 ^b	0.648
Tenderloin	1.3	1.3	1.3 ^b	1.4 ^a	0.114

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²RMSE: Root mean square error.

³1: large muscle development to 4: lack of muscle development.

⁴MLOIN: Minimum fat depth over the Gluteus medius.

⁵VLFOM: fat depth at ¾ lumbar vertebra, F3/4FOM: fat depth at ¾ last rib, and M3/4FOM: muscle depth at ¾ last rib, determined with the Fat-O-Meat'er probe.

⁶Estimated with the Fat-O-Meat'er probe.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letters differ ($P < 0.05$).

6.3.2. Dissection of major primal cuts

Dissection yields of lean, subcutaneous and intermuscular fat, and bone from hams, loins, shoulders and bellies were not affected ($P>0.05$) in any primal cut by dietary fat source (Table 6.4). Realini et al. (2006) reported no differences in ham and loin dissection into lean, fat and bone in gilts fed 10% of different fat sources, including a source high in MUFA. Apple et al. (2009) reported no effect of dietary fat source on pork primal cut yields or dissected muscle, fat, bone and skin yields from each primal cut, which is in agreement with results from the present study. Dugan et al. (2004) found no differences in body cavity fat or intermuscular fat due to fat/oil type (tallow vs. canola oil), and Kouba et al. (2003) found no effect of feeding a control vs. linseed (6%) diet on foreloin tissue composition in gilts.

Gilts were leaner ($P<0.05$) than barrows with lower ($P<0.05$) percentage of intermuscular and subcutaneous fat in the ham, loin, shoulder and belly. There were no differences ($P>0.05$) in bone percentage between sexes for ham, loin and belly. However, bone percentage of the shoulder was higher ($P<0.05$) for gilts relative to barrows. These results are in agreement with Dugan et al. (2004), who reported lower fat depots (intermuscular and body cavity fat) in gilts compared with barrows, and no differences due to gender in bone content of lean cuts.

Table 6.4. Least-squares means for ham, loin, shoulder and belly dissection into lean, subcutaneous and intermuscular fat and bone of Pietrain-sired pigs fed experimental diets¹.

	Diet		Sex		
<i>Ham dissection, %</i>	Control	HO	Barrows	Gilts	RMSE ²
Lean	68.8	69.2	66.7 ^b	71.4 ^a	2.608
Subcutaneous fat	18.3	17.9	20.0 ^a	16.3 ^b	2.391
Intermuscular fat	4.7	4.8	5.2 ^a	4.4 ^b	0.741
Bone	8.0	8.0	8.1	8.0	0.531
<i>Loin Dissection, %</i>					
Lean	58.9	59.6	55.5 ^b	63.0 ^a	3.355
Subcutaneous fat	25.4	24.3	28.1 ^a	21.6 ^b	3.404
Intermuscular fat	4.4	4.6	5.2 ^a	3.8 ^b	0.927
Bone	11.1	11.5	11.2	11.5	1.125
<i>Shoulder dissection, %</i>					
Lean	62.4	63.6	60.4 ^b	65.7 ^a	2.920
Subcutaneous fat	20.5	19.1	22.2 ^a	17.4 ^b	2.652
Intermuscular fat	7.8	8.1	8.4 ^a	7.6 ^b	1.162
Bone	13.8	13.9	13.4 ^b	14.5 ^a	0.459
<i>Belly dissection, %</i>					
Lean	52.5	54.2	49.1 ^b	57.6 ^a	3.937
Subcutaneous fat	20.5	19.5	21.4 ^a	18.6 ^b	1.761
Intermuscular fat	18.7	17.7	21.2 ^a	15.2 ^b	3.237
Bone	8.2	8.5	8.1	8.5	0.905

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²RMSE: Root mean square error.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letters differ ($P < 0.05$).

6.3.3. Pork quality characteristics

There was no effect ($P > 0.05$) of dietary supplementation with Greedy-Grass OLIVA[®] on meat quality characteristics (Table 6.5). Results from the present study are in agreement with Myer et al. (1992) who reported no effect of dietary treatment on lean colour or amount of marbling when evaluating the effect of feeding diets with high-oleic-acid peanuts on meat quality characteristics. St. John et al. (1987) indicated that MUFA content can be elevated substantially in pork without adversely influencing meat quality. These authors reported similar sensory traits, cooking loss and shear force

values of pork chops from control and pigs fed elevated MUFA levels. On the other hand, Miller et al. (1990) evaluated the effect of supplementing with different fat sources (control, animal fat, safflower oil, sunflower oil and canola oil) on pork quality and sensory traits, and reported that pigs supplemented with sunflower (85% oleic) and canola oil (58% oleic) had lower marbling, colour and texture scores than control pigs. Pietrain-crossed pigs from this study did not show changes in the intramuscular fat levels due to modifications in the fatty acid composition of the diet, which may indicate that lean genotypes could show lower response to dietary fatty acid manipulation than breeds with higher potential for fat deposition. Intramuscular fat levels were low in this study (around 1%) which could negatively affect the eating quality of meat. Miller (2004) reported that consumers prefer meat with higher levels of marbling, and that an increase in intramuscular fat above 1% will have a significant improvement in the eating quality of meat.

There were no differences ($P>0.05$) in pork quality characteristics between barrows and gilts except for muscle colour yellowness (b^*) which was higher ($P<0.05$) for barrows compared with gilts. The least-squares means for L^* in barrows were around 50 indicating that loins from some of these animals would not qualify for the Japanese market which requires fresh pork with L^* values lower than 50 (PIC, 1997). Colour has major impact in consumer purchasing decisions as it affects the initial impression of the consumer from the product, and their perception of meat freshness. Some authors reported no effect of gender on meat colour as determined by visual scores (Ellis et al., 1996) or objective parameters (Leach et al., 1996), whereas other studies have found that meat from barrows was more red (Latorre et al., 2003) or more pale (Unruh et al., 1996) compared to gilts.

There were no differences between dietary treatments in Warner-Bratzler shear force of pork chops from gilts. Results from the present study indicate that feeding a diet rich in oleic acid derived from the olive oil industry do not affect meat quality characteristics including meat tenderness. These results are in accordance with St. John et al. (1987) who reported that shear force values were similar between a control group and swine fed a canola oil diet. However, other authors have found some differences in texture parameters due to dietary manipulation. Rhee et al. (1988a) evaluated the effect of feeding diets containing high-oleic sunflower oil and found higher muscle tenderness and lower shear force values in pigs fed high oleic diets than those fed control diets.

Intramuscular fat percentage was numerically higher ($P>0.05$) for barrows compared with gilts (1.24 vs. 0.95%, respectively) in *Longissimus thoracis* muscle. Differences in intramuscular fat between barrows and gilts were lower in Pietrain-sired pigs from this study compared with results reported by other authors. Leach et al. (1996) found barrows with higher intramuscular level than gilts when comparing meat quality of halothane carriers and negative pigs. Latorre et al. (2003), and Unruh et al. (1996) also reported higher percentage of intramuscular fat in barrows compared with gilts.

Table 6.5. Least-square means for meat quality characteristics of Pietrain-sired pigs fed experimental diets¹.

	Diet		Sex		
	Control	HO	Barrows	Gilts	RMSE ²
<i>Longissimus thoracis muscle</i>					
pH 45 minutes	6.41	6.48	6.43	6.49	0.183
pH 24 hours	5.52	5.54	5.53	5.52	0.110
Electrical conductivity	4.71	4.19	4.62	4.27	0.900
L* (lightness)	49.68	49.30	50.30	48.80	2.956
a* (redness)	5.47	5.77	5.59	5.66	1.218
b* (yellowness)	3.53	3.40	3.79 ^a	3.25 ^b	1.029
Subjective colour, JSC ³	2.80	2.90	2.86	3.10	0.506
Intramuscular fat, %	1.07	1.06	1.24	0.95	0.323
Maximum shear force, kg ⁴	3.73	3.86	-	-	0.692
<i>Semimembranosus muscle</i>					
pH 45 minutes	6.43	6.51	6.45	6.53	0.151
pH 24 hours	5.51	5.51	5.52	5.52	0.082
Electrical conductivity	4.74	4.29	4.48	4.48	1.072

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²RMSE: Root mean square error.

³Japanese visual colour scale (1: pale, 6: very dark).

⁴Carried out in gilts only.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letters differ ($P<0.05$).

6.3.4. *Longissimus thoracis* intramuscular fatty acid composition

Intramuscular fat of *Longissimus thoracis* muscle from pigs fed HO diet had higher ($P<0.05$) proportion of all SFA and C16:0 compared with CONTROL (37.4 vs. 36.8 and 23.0 vs. 22.3%, respectively), with no differences ($P>0.05$) between treatments in myristic (C14:0), stearic (C18:0) and arachidic (C20:0) fatty acids (Table 6.6). The sum of all MUFA, and particularly oleic (C18:1) acid, was approximately 12.5% higher ($P<0.05$) in intramuscular fat from animals fed HO diet compared with those fed CONTROL diet (44.69 vs. 40.05% MUFA and 36.72 vs. 32.62 % C18:1, respectively). St. John et al. (1987), Miller et al. (1990), Shackelford et al. (1990), and Fontanillas et al. (1997) also reported greater proportions of all MUFA and C18:1 in intramuscular fat from pigs fed diets rich in MUFA. Pigs fed the CONTROL diet had higher ($P<0.05$) percentage of all PUFA. More specifically, intramuscular fat from CONTROL fed pigs had greater proportions of *n*-6 PUFA, including linoleic (C18:2), eicosadienoic (C20:2), dihomog- γ -linolenic (20:3), and arachidonic (C20:4) acids than intramuscular fat from HO fed animals. The CONTROL diet had higher percentage of PUFA, particularly linoleic (C18:2) acid, compared with the HO diet (Table 6.2). There were no differences in the proportions of the intramuscular *n*-3 fatty acids (C18:3, C20:3, C20:5, and C22:6) between dietary treatments.

Nutritional recommendations for a healthy diet suggest that the ratio of PUFA-to-SFA (PUFA/SFA) should be 0.40, or higher, and intakes of *n*-3 PUFA should be increased relative to *n*-6 PUFA. A value of 4.0 or less for the diet as a whole is recommended for the *n*-6/*n*-3 ratio (Department of Health, 1994). Considerable attention has been paid to the relative proportion between *n*-6 and *n*-3 fatty acids (FA), as diets with inadequate *n*-6/*n*-3 ratios have been highlighted as risk factors in certain cancers and coronary heart diseases (Enser, 2001). However, it is difficult to reduce this value in pigs due to the high content of C18:2 in the cereal-based diets usually fed to swine which produce an undesirably high *n*-6/*n*-3 ratio (Wood et al., 2003). Enser et al. (1996) reported values of 0.58 for PUFA/SFA and 7.2 for *n*-6/*n*-3 PUFA for intramuscular fat of pork and indicated that the *n*-6/*n*-3 PUFA ratio should be reduced. In the present study, the PUFA/SFA ratio was higher ($P<0.05$) in animals fed the CONTROL diet compared with HO diet (0.64 vs. 0.49, respectively), however, both ratios were above the recommended value of 0.40. Pork is characterized by a high

content of C18:2, which leads to acceptable PUFA/SFA ratios, but the high content in *n*-6 FA usually results in unfavorable *n*-6/*n*-3 FA ratios for a healthy human diet.

Table 6.6. Least-squares means for fatty acid composition (%) of *Longissimus thoracis* intramuscular fat of Pietrain-sired pigs fed experimental diets¹.

<i>Fatty Acids</i> ³ , %	Diet		Sex		RMSE ²
	Control	HO	Barrows	Gilts	
C14:0	1.04	1.12	1.15 ^a	1.02 ^b	0.177
C16:0	22.31 ^b	23.02 ^a	23.13 ^a	22.19 ^b	1.424
C18:0	12.88	12.79	13.02	12.63	0.778
C18:1, <i>n</i> -9	32.62 ^b	36.72 ^a	35.08	34.25	4.624
C18:2, <i>n</i> -6	16.97 ^a	13.29 ^b	14.58	15.67	4.494
C18:3, <i>n</i> -6	0.24 ^a	0.18 ^b	0.19	0.22	0.070
C18:3, <i>n</i> -3	0.47	0.46	0.45	0.47	0.088
C20:0	0.22	0.23	0.22	0.22	0.046
C20:1	0.61	0.65	0.63	0.63	0.110
C20:2, <i>n</i> -6	0.43 ^a	0.35 ^b	0.36 ^b	0.41 ^a	0.046
C20:3, <i>n</i> -6	0.59 ^a	0.43 ^b	0.50	0.51	0.226
C20:4, <i>n</i> -6	4.00 ^a	2.73 ^b	2.92	3.08	1.772
C20:3, <i>n</i> -3	0.13	0.12	0.11 ^b	0.13 ^a	0.030
C20:5, <i>n</i> -3 EPA	0.17	0.14	0.14	0.18	0.087
C22:6, <i>n</i> -3 DHA	0.23	0.17	0.17	0.22	0.099
SFA ⁴	36.77 ^b	37.44 ^a	37.82 ^a	36.40 ^b	2.119
MUFA ⁴	40.05 ^b	44.69 ^a	42.78	41.96	5.145
PUFA ⁴	23.22 ^a	17.86 ^b	19.45	21.63	6.621
PUFA/SFA	0.64 ^a	0.49 ^b	0.52	0.60	0.206
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	21.79 ^a	18.89 ^b	20.72	19.95	4.275

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA®: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²RMSE: Root mean square error.

³Major selected fatty acids.

⁴SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; and PUFA: polyunsaturated fatty acids.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letters differ ($P < 0.05$).

The *n*-6/*n*-3 ratio was lower ($P < 0.05$) in intramuscular fat from animals fed HO diet compared with those fed CONTROL diet (18.9 vs. 21.8, respectively). However, the ratio resulted well above the recommended value of less than 4.0 in intramuscular fat of animals from both dietary treatments. Intramuscular fat levels around 1% in pork

loin may not have a significant impact in the human diet. However, subcutaneous fat levels and composition from the ham could have an impact on human health.

Intramuscular fat from barrows had greater ($P<0.05$) proportions of all SFA, particularly myristic (C14:0) and palmitic (C16:0) acids, compared with intramuscular fat from gilts (Table 6.6). Previous research has shown that the degree of fat saturation depends on the level of fat deposition, and the proportion of SFA increases as the fat content of the carcass increases (Lo Fiego et al., 2005; Zhang, et al., 2007). Barrows showed higher values ($P<0.05$) of fat measurements (flare fat, MLOIN, VLFOM, F3/4FOM) compared with gilts (Table 6.3), resulting in a higher degree of fat saturation (37.8 vs. 36.4% SFA, respectively) associated with the higher level of fatness which is favoured by castration (Bañon et al., 2003). Nuernberg et al. (2005), Zhang et al. (2007) and Alonso et al. (2009) also reported that barrows had greater proportions of C14:0, C16:0 and total SFA in intramuscular fat of *Longissimus* muscle compared with gilts. These authors also reported a lower PUFA concentration in barrows associated with their higher fat content compared with gilts. In the present study, intramuscular fat from gilts had higher ($P<0.05$) percentages of eicosadienoic (C20:2) and eicosatrienoic (C20:3) acids compared with barrows. However, there were no differences ($P>0.05$) between barrows and gilts for total MUFA, PUFA or PUFA/SFA and $n-6/n-3$ ratios in intramuscular fat of *Longissimus thoracis*.

6.3.5. *Semimembranosus* subcutaneous fatty acid composition

Subcutaneous fat from animals fed HO diet had lower ($P<0.05$) proportions of all SFA and C18:0 compared with CONTROL (30.5 vs. 31.9 and 9.1 vs. 10.1 %, respectively), with no differences between treatments in the other SFA (Table 6.7). The sum of all MUFA and oleic acid (C18:1) were higher in subcutaneous fat from animals fed HO than CONTROL diet (51.4 vs. 48.0 and 44.4 vs. 41.2, respectively). Miller et al. (1990) and Myer et al. (1992) reported higher proportions in tissue C18:1 than the percentages found in the present study when feeding MUFA enriched diets to swine. Miller et al. (1990) reported 17.2% C18:1 higher in animals fed sunflower oil rich in MUFA than control animals (60.2 vs. 43.0%), whereas Myer et al. (1992) reported 13% higher C18:1 in animals fed high-oleic-acid peanuts compared with a control group (48 vs. 35%). It is generally accepted that fatty acid composition of porcine adipose tissue is dependent upon the fatty acid profile of the diet (Bee et al., 2002; Kouba et al., 2003;

Miller et al., 1990; Mitchaiothai et al., 2007; Nuernberg et al., 2005;). Fat sources were higher in oleic acid in the studies of Miller et al. (1990) (45 to 81% C18:1) and Myer et al. (1992) (60% C18:1), which can explain in part the higher proportion of oleic acid in tissue compared with the present study where a fat source with lower oleic proportion (43%) was fed to swine. Time on feed may also affect tissue response to feeding diets rich in oleic acid. Busboom et al. (1991) reported an increase of 6.1% C18:1 in subcutaneous fat from animals fed canola high in MUFA (55% of C18:1) compared with a control group. Although animals were fed a diet with a higher percentage of C18:1, the increase in tissue C18:1 was lower than the achieved in the present study due to a shorter time on feed (from 53 to 93 vs. 30 to 109 kg live weight, respectively). Subcutaneous fat from pigs fed HO diet had lower percentage of all PUFA and *n*-6 C18:2 and C20:2 fatty acids compared with animals fed CONTROL diet. There were no differences ($P>0.05$) in the PUFA/SFA ratio of subcutaneous fat between treatments, and both ratios were within the recommended value of > 0.40 . The *n*-6/*n*-3 ratio was lower ($P<0.05$) in subcutaneous fat from animals fed HO diet compared with those fed CONTROL diet (9.8 vs. 11.3, respectively) due to the higher *n*-6 proportion in subcutaneous fat from CONTROL animals. However, both ratios were above the recommended value of < 4.0 .

Subcutaneous fat had a lower proportion of SFA and higher proportion of MUFA showing a lower degree of tissue saturation in comparison with intramuscular fat. Other authors also reported higher saturated fat content in inner tissues such as intramuscular fat and flare fat compared with subcutaneous fat (Duran-Montgé et al., 2008). Intramuscular fat had a greater increase in MUFA percentage (11.6%) in pigs fed HO diet compared with CONTROL animals than subcutaneous fat (7.1%). However, Duran-Montgé et al. (2008) suggested that the fatty acid composition of intramuscular fat, mainly polar and neutral lipids, is less susceptible to change due to dietary fat than the triglycerides of subcutaneous adipose tissue. Fontanilles et al. (1997) also reported that dietary fatty acids were more readily deposited in back fat than in muscle tissue. Differences in dietary and tissue levels of MUFA, as well as animal genetics and degree of carcass fatness may explain the differential tissue response to dietary fatty acid composition among studies.

Altering the fatty acid content in pork, and specially the PUFA content, may have important implications for meat quality characteristics, such as pork firmness (Apple et al., 2009), shelf-life (Morel et al., 2006) and flavor of meat (Wiseman et al.,

2000) due to the greater susceptibility of unsaturated fats to oxidation and the production of volatile compounds during cooking. Miller et al. (1990) reported that subcutaneous fat of pigs fed diets high in MUFA presented higher MUFA content, without increasing the levels of PUFA, which can result in the production of carcasses that are soft, oily and unsuitable for bacon production. Warnants et al. (1999) and Bryhni et al. (2002) proposed thresholds for PUFA in back fat of 22-23% to help reduce oxidation problems indicating lower values for processed pork products. In the present study PUFA percentage in subcutaneous fat was 20.1 and 18.1% for animals fed CONTROL and HO diet, respectively, indicating that supplementation with Greedy-Grass OLIVA[®] as a fat source rich in oleic acid will decrease PUFA and will not alter sensory and technological quality of pork and pork products.

Subcutaneous fat from barrows had higher proportions of all SFA, particularly myristic and palmitic acids, compared with subcutaneous fat from gilts (Table 6.7). There were no differences ($P>0.05$) between sexes in the percentages of total MUFA or oleic acid (C18:1), indicating no effect of gender on the response of back fat composition to supplementation with diets rich in oleic acid. Warrants et al. (1999) also reported that barrows had higher percentage of SFA, C14:0, and C16:0 compared with gilts, with no differences in MUFA and C18:1 between sexes. Gilts had greater proportions of all PUFA and *n*-6 fatty acids C18:2 and C20:2 in subcutaneous fat than barrows, resulting in higher PUFA/SFA and *n*-6/*n*-3 fatty acid ratios. Nuernberg et al. (2005) and Alonso et al. (2009) also found that subcutaneous fat from gilts had lower SFA and higher level of PUFA, and consequently higher PUFA/SFA ratios than barrows, due to the higher back fat thickness and overall higher fat content in barrows.

Table 6.7. Least-squares means for fatty acid composition (%) of *Semimembranosus* subcutaneous fat of Pietrain-sired pigs fed experimental diets¹.

<i>Fatty Acids</i> ³ , %	Diet		Sex		RMSE ²
	Control	HO	Barrows	Gilts	
C14:0	1.34	1.37	1.45 ^a	1.25 ^b	0.150
C16:0	19.83	19.39	20.24 ^a	18.95 ^b	0.929
C18:0	10.14 ^a	9.09 ^b	9.85	9.38	0.959
C18:1, <i>n</i> -9	41.24 ^b	44.44 ^a	42.79	42.90	1.678
C18:2, <i>n</i> -6	16.93 ^a	15.11 ^b	15.18 ^b	16.86 ^a	1.725
C18:3, <i>n</i> -6	0.15	0.12	0.13	0.13	1.222
C18:3, <i>n</i> -3	1.30	1.31	1.25	1.35	0.201
C20:0	0.25	0.23	0.24	0.24	0.107
C20:1	0.95	0.98	0.92	1.01	0.185
C20:2; <i>n</i> -6	0.90 ^a	0.74 ^b	0.78 ^b	0.86 ^a	0.103
C20:3, <i>n</i> -6	0.16	0.13	0.14	0.15	0.092
C20:4, <i>n</i> -6	0.35	0.40	0.37	0.38	0.088
C20:3, <i>n</i> -3	0.27	0.31	0.31	0.26	0.142
C20:5, <i>n</i> -3 EPA	ND	ND	ND	ND	-
C22:6, <i>n</i> -3 DHA	ND	ND	ND	ND	-
SFA ⁴	31.90 ^a	30.46 ^b	32.19 ^a	30.22 ^b	1.556
MUFA ⁴	47.98 ^b	51.40 ^a	49.62	49.75	1.817
PUFA ⁴	20.06 ^a	18.13 ^b	18.18 ^b	20.01 ^a	1.972
PUFA/SFA	0.63	0.60	0.56 ^b	0.66 ^a	0.086
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	11.29 ^a	9.83 ^b	10.19 ^b	10.93 ^a	0.910

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²RMSE: Root mean square error.

³Major selected fatty acids.

⁴SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; and PUFA: polyunsaturated fatty acids.

^{a,b}Within a row, means lacking common superscript letters differ ($P < 0.05$).

6.4. Conclusions

Although the fatty acid composition of the diet has significant effects on tissue fatty acid composition, source of dietary fat in the present study had no effect on primal cut yields, composition of major primal cuts, and carcass and meat quality characteristics of Pietrain-sired pigs. Gilts had leaner carcasses with lower fat percentage in major primal cuts and less saturated fat compared with barrows with no interaction in the response to MUFA supplementation with gender. Addition of about 1.5% (growing) and 4% (finishing) of an enriched source of MUFA derived from the olive oil industry (Greedy-Grass OLIVA[®]) in the diet of swine, increased MUFA and decreased PUFA proportions in fat depots reducing the risk of production of pig carcasses that are soft and oily which result in lower technological and processing quality. Intramuscular fat had higher proportion of saturated and lower proportion of monounsaturated fatty acids showing a higher degree of tissue saturation in comparison with subcutaneous fat. However, intramuscular fat had a higher increase in MUFA percentage in pigs fed HO diet compared with CONTROL animals than subcutaneous fat.

References

- Alonso, V., Campo, M. M., Español, S., Roncales, P., & Beltran, J.A. (2009). Effect of crossbreeding and gender on meat quality and fatty acid composition in pork. *Meat Science*, 81, 209-217.
- Apple, J.K., Maxwell, C.V., Galloway, D.L., Hamilton, C.R., & Yancey, J.W. (2009). Interactive effects of a dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid composition. *Journal of Animal Science*, 87, 1441-1454.
- Bañon, S., Gil, M.D., & Garrido, M.D. (2003). The effects of castration on the eating quality of dry-cured ham. *Meat Science*, 65, 1031-1037.

Bee, G., Messikommer, R., & Gebert, S. (1999). Dietary fats and energy levels differently affect tissue lipogenic enzyme activity in finishing pigs. *Fett-Lipid*, 101, 336-342.

Bee, G., Gebert, S., & 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.

Blasco, A., Gou, P., Gispert, M., Estany, J., Soler, Q., Diestre, A., & Tibau, J. (1994). Comparison of five types of pig crosses. I. Growth and carcass traits. *Livestock Production Science*, 40, 171-178.

Bryhni, E.A., Kjos, N.P., Ofstad, R., & Hunt, M. (2002). Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acid composition and meat, fat and sausage quality. *Meat Science*, 62, 1-8.

Busboom, J.R., Rule, D.C., Colin, D., Heald, T., & Mazhan, A. (1991). Growth, carcass characteristics, and lipid composition of adipose tissue and muscle of pigs fed canola. *Journal of Animal Science*, 69, 1101-1108.

Cameron, N.D., & Enser, M. (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.

Commission Internationale de l'Eclairage (1976). Colorimetry. Vienna, Austria, Bureau Central de la CIE. Publication no. 15.

Council Regulation (EC) n° 3513/93 of December 1993 amending Regulation (EEC) N° 3220/84 determining the Community Scale for Grading Pig Carcasses.

De la Llata, M., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Nelssen, J.L., & Loughin, T.M. (2001). Effects of dietary fat on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs reared in a commercial environment. *Journal of Animal Science*, 79, 2643-2650.

Department of Health (1994). *Nutritional aspects of cardiovascular disease*. Report on Health and Social Subjects No. 46. London: Her Majesty's Stationery Office.

Dugan, M.E.R, Aalhus, J.L., Robertson, W.M., Rolland, D.C., & Larsen, I.L. (2004). Practical dietary levels of canola oil and tallow have differing effects on gilt and barrow performance and carcass composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 661-671.

Duran-Montgé, P., Realini, C., Barroeta, A.C., Lizardo, R., & Esteve-Garcia, E. (2008). Fatty acid tissue distribution in pigs fed different dietary fat sources. *Animal*, 2, 1753-1762.

Ellis, M.A., Webb, A.J., Avery, P.J., & Brown, I. (1996). The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regimen and slaughterhouse on growth performance, and carcass and meat quality in pigs, and on the organoleptic properties of fresh pork. *Animal Science*, 62, 521-530.

Enser, M. (2001). The role of fats in animal nutrition. In B. Rossell (Ed.), *Oils and fats*, Vol. 2, Animal carcass fats (pp. 77-122). Leatherhead, Surrey, UK: Leatherhead Publishing.

Enser, M., Hallet, K., Hewitt, B., Fursey, G.A.J., & Wood J.D. (1996). Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science* 42, 443-456.

Folch, J.M., Lees, M., & Sloane Stanley, G.H.S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biology and Chemistry*, 226, 497-509.

Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M.D., & Codony, R. (1997). Effect of feeding highly cis-monounsaturated, trans, or n-3 fats on lipid composition of muscle and adipose tissue of pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3070-3075.

Friesen, K.G., Nelssen, J.L., Unruh, J.A., Goodbank, R.D., & Tokach, M.D. (1994). Effects of the interrelationship between genotype, sex, dietary lysine on growth performance and carcass composition in finishing pigs fed either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 72, 946-954.

Gispert, M., & Diestre, A. (1994). Classement des carcasses de porc en Espagne: Un pas vers l'harmonisation communautaire. *Techni-Porc*, 17, 29-32.

Gispert, M., Font i Furnols, M., Gil, M., Velarde, A., Diestre, A., Carrión, D., Sosnocki, A.A., & Plastow, G.S. (2007). Relationship between carcass quality parameters and genetic types. *Meat Science*, 77, 397-404.

Guillevic, M., Kouva, M., & Mouro, J. (2009). Effect of linseed diet or a sunflower diet on performances, fatty acid composition, lipogenic enzyme activities and stearoyl-CoA-desaturase activity in the pig. *Livestock Science*, 124, 288-294.

Kouba, M., Enser, M., Whittington, F.M., Nute, G.R., & Wood, J.D. (2003). Effect of a high-linoleic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pigs. *Journal of Animal Science*, 81, 1967-1979.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Gracia, M.I., Nieto, M., & Mateos, G.G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Science*, 65, 1369-1377.

Leach, L.M., Ellis, M., Sutton, S.D., McKeith F.K., & Wilson, E.R. (1996). The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of Halothane carrier and negative pigs. *Journal of Animal Science* 74, 934-943.

Lebret, B., Juin, H., Noblet, J., & Bonneau, M. (2001). The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Animal Science*, 72, 87-94.

Lo Fiego, D.P., Santoro, P., Macchioni, P., & De Leonibus, E. (2005). Influence of genetic type, live weight at slaughter and carcass fatness on fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue of raw ham in the heavy pig. *Meat Science*, 69, 107-114.

López-Bote, C.J., Rey, A., Sanz, M., Gray, J.I., & Buckey, J.D. (1997). Dietary vegetable oils and α -tocopherol reduce lipid oxidation in rabbit muscle. *Journal of Nutrition*, 127, 1176-1182.

Miller, M.F., Shackelford, S.D., Hayden K.D., & Reagan, J.O. (1990). Determination of the alteration in fatty acid profiles, sensory characteristics and carcass traits of swine fed elevated levels of monounsaturated fats in diet. *Journal of Animal Science*, 68, 1624-1631.

Miller, R.K. (2004). Chemical and physical characteristics of meat/Palatability. In W.K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopaedia of Meat Sciences* (pp. 256-266). Amsterdam, London: Elsevier.

Mitchaothai, J., Yuangklang, C., Wittayakun, S., Vasupen, K., Wongsutthavas, S., Srenanul, P., Hovenier, R., Everts, H., & Beynen, A.C. (2007). Effect of dietary fat type on meat quality and fatty acid composition of various tissues in growing-finishing swine. *Meat Science*, 76, 95-101.

Morel, P.C., McIntosh, J.C., & Janz, J.A.M. (2006). Shelf life and quality of pork and pork products with raised n-3 PUFA. *Meat Science*, 55, 213-221.

Myer, R.O., Johnson, D.D., Knauff, D.A., Gorbet, D.W., Brendemuhl, J.H., & Walker, W.R. (1992). Effect of feeding high-oleic-acid peanuts to growing finishing swine on resulting carcass fatty acid profile and on carcass and meat quality characteristics. *Journal of Animal Science*, 70, 3734-3741.

Nakai, H., Saito, F., Ikeda, T., Ando, S., & Komatsu, A. (1975). Report 29. National Institute of Animal Industry, Chiba, Japan.

Nuernberg, K., Fischer, K., Nuernberg, G., Kuechenmeister, U., Klosowska, D., Eliminowska-Wenda, G., Fiedler, I., & Ender, K. (2005). Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Science*, 70, 63-74.

PIC, 1997. Meat Quality. Understanding industry measurements and guidelines. PIC, Spring 1997, Franklin, Kentucky.

Pomar, C., Rivest, J., Jean dit Bailleul, P., & Marcoux, M. (2001). Predicting eye-loin area from ultrasound and grading probe measurements of fat and muscle depths in pork carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*, 81, 429-434.

Realini, C.E., Duran-Montgé, P., Lizardo, R., Gispert, M., Oliver, M.A., & Esteve-Garcia, E. (2006). Effect of dietary fatty acid profile on pork carcass fat content and distribution. In Proceedings 52nd international congress of meat science and technology (Session 1, 163). 13-18 August 2006, Dublin, Ireland.

Rentfrow, G., Sauber, T.E., Allee, G.L., & Berg, E.P. (2003). The influence of diets containing either conventional corn with choice with grease, high oil corn, or high oil high oleic corn on belly /bacon quality. *Meat Science*, 64, 459-466.

Rhee, K.S., Davidson, T.L., Knabe, D.A., Cross, H.R., Ziprin, Y.A., & Rhee K.C. (1988a). Effect of dietary high-oleic sunflower oil on pork carcass traits and fatty acid profile of raw tissues. *Meat Science*, 24, 249-260.

Rhee, K.S., Ziprin, Y.A., Ordóñez, G., & Bohac, C.E. (1988b). Fatty acid profiles of the total lipids and lipid oxidation in pork muscles as affected by canola oil in the animal diet and muscle location. *Meat Science*, 23, 201-210.

Schackelford, S.D., Reagan, J.O., Haydon, K.D., & Miller, M.F. (1990). Effects of feeding elevated levels of monounsaturated fats to growing –finishing swine on acceptability of boneless hams. *Journal of Food Science*, 55, 1485-1487.

St. John, L.C., Young, R.C., Knabe, D.A., Thomson, L.D., Schelling G.T., Grundy S.M., & Smith, S.B. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine feed an elevated monounsaturated fat diet. *Journal of Animal Science*, 64, 1441-1447.

Unruh, J.A., Friesen, K.G., Stuwe, S.R., Dunn, B.L., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., & Tokach, M.D. (1996). The influence of genotype, sex, and dietary lysine on pork subprimal cut yields and carcass quality of pigs fed to either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 74, 1274-1283.

Wahlstrom, R.C., Libal, G.W., & Berns, R.J. (1971). Effect of cooked soybeans on performance, fatty acid composition and pork carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 32, 891-894.

Walstra, P., & Merkus, G. S. M. (1995). Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification. Report ID-DLO 96.014, March, (p. 22).

Warnants, N., Van Oeckel, M.J., & Boucqué, C.V. (1999). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues. *Journal of Animal Science*, 77, 2478-2490.

Wiseman, J., Redshaw, M.S., Jagger, S., Nute, G.R., & Wood, J.D. (2000). Influence of type and dietary fat rate of inclusion of oil on meat quality of finishing pigs. *Animal Science*, 70, 307-315.

Wood, J.D., & Enser, M. (1997). Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *British Journal of Nutrition*, 78 (Suppl. 1), S49-S60.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard P.R., & Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

Zhang, S., Knight, T.J., Stalder, K.J., Goodwin, R.N., Lonergan, S.M., & Beitz, D.C. (2007). Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork Longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 85, 583-591.

CAPÍTOL 7

Effect of an elevated monounsaturated fat diet on pork carcass and meat quality traits and tissue fatty acid composition from York-crossed barrows and gilts

AQUEST CAPÍTOL ESTÀ BASAT EN EL MANUSCRIT:

Mas, G., Llavall, M., Coll, D., Roca, R., Díaz, I., Oliver, M.A., Gispert, M., & Realini, C.E. (2011). **Effect of an elevated monounsaturated fat diet on pork carcass and meat quality traits and tissue fatty acid composition from York-crossed barrows and gilts.** *Meat Science* (en premsa).

7. EFFECT OF AN ELEVATED MONOUNSATURATED FAT DIET ON PORK CARCASS AND MEAT QUALITY TRAITS AND TISSUE FATTY ACID COMPOSITION FROM YORK-CROSSED BARROWS AND GILTS.

7.1. Introduction

In the past decade a number of consumer driven changes have transformed industry approaches to pork production such as the desire for healthier and more nutritious pork products (Mason et al., 2005). The consumption of saturated fatty acids (SFA) has been shown to increase plasma LDL-cholesterol and has been associated with coronary heart diseases in humans (Mattson & Grundy, 1985). There have been studies aimed at reducing SFA and increasing unsaturated fatty acids in pork through the animal diet, as in monogastric animals fatty acid composition of the carcass lipid depots can be easily modified by dietary manipulation (Nuernberg et al., 2005; Realini et al., 2010). However, it has been shown that increasing the polyunsaturated fatty acid (PUFA) content of meat, can have detrimental effects on pork quality since PUFA are particularly susceptible to oxidation, leading to significant quality deterioration (Warnants et al., 1999).

Alternatively, the use of vegetable oils high in monounsaturated fatty acids (MUFA) in swine diets, such as canola oil or high-oleic sunflower oil, could lower plasma cholesterol in humans while reducing the susceptibility to lipid oxidation (Miller et al., 1990; Myer et al., 1992; St. John et al., 1987). In Spain, fat sources high in oleic acid are available from the olive oil industry, and have been used by Iberian pig producers to modify the fatty acid profile of pork products (Gonzalez et al., 2005). Myer et al. (1992) and St. John et al. (1987) also showed that MUFA may offer a mean to increase the level of unsaturated fatty acids in pork fat with limited or no undesirable side effects on carcass and meat quality characteristics. However, Rhee et al. (1988) reported that this feeding strategy could adversely affect some swine carcass characteristics and result in oily and softer carcasses which affect carcass cutting and further processing. Miller et al. (1990) also reported changes in meat quality, as pigs fed diets high in MUFA had lower marbling, colour and texture scores than control pigs. For the production of dry cured products, it is particularly important to maintain carcass

and fat characteristics, as it is needed to guarantee an adequate weight of primal cuts and an optimal quantity and quality of adipose tissue for the production of traditional products (Lopez- Bote, 2000).

The objective of this study was to evaluate the effect of a diet rich in oleic acid by feeding a by-product of the olive oil industry on carcass characteristics, meat quality and fatty acid composition of intramuscular and subcutaneous fat of York-sired barrows and gilts aimed for the production of dry cured products.

7.2. Materials and methods

7.2.1. Animals and diets

Experimental procedures were approved by IRTA's (Institute for Food and Agricultural Research and Technology) ethical committee. Fifty-seven pigs from 2 sexes (barrows, n=30; gilts n=27) from Landrace x Large White with York crosses were provided by UPB España S.A. and raised in a grower-finisher unit, with fully slatted floors and located in 4 pens with 15, 15, 14, and 13 pigs per pen. Animals were given free access to food and water, until slaughter at 119 ± 5.7 kg live weight. Animals were balanced by sex and randomly assigned to one of two dietary treatments: (1) grain and soy diet (CONTROL, n=29 total; n=15 barrows, n=14 gilts), and (2) grain and soy plus high-oleic acid supplement (HO, n=28 total; n=15 barrows, n=13 gilts). The high-oleic (HO) supplement was included at the level of 14 g kg^{-1} feed (1.4%) from 30 to 60 kg animal live weight (growing diet), and was increased to a level of 38 g kg^{-1} feed (3.8%) from 60 kg until slaughter (finishing diet). The high-oleic acid supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]) is a natural by-product of the olive industry composed of a mixture of Calcium salts rich in oleic acid. Greedy-Grass OLIVA[®] (composed by 83% crude fat, 12% ash, 7% Ca in ashes, and 5% moisture; and provides 27.61 MJ kg^{-1} Metabolic Energy) was provided by Grupo Omega de Nutrición Animal (Arganda del Rey, Madrid, Spain). Ration composition of the growing (from 30 to 60 kg live weight) and finishing diets (from 60 kg live weight until slaughter) is described in detail by Mas et al. (2010) and in page 64, and dietary fatty acid composition of the finishing diets is shown in Table 7.1. All diets were formulated to meet the requirements of growing-finisher pigs and had similar energy content. Growing diets contained 18% crude protein and 1.1% lysine, and finishing diets contained 16.5% crude protein and 1.0%

lysine. The HO diet was formulated to achieve a higher percentage of oleic acid and monounsaturated fatty acids (15% higher approximately) compared with the CONTROL diet (42.82 vs. 27.92% C18:1 and 44.84 vs. 30.14% MUFA, respectively). Conversely, the CONTROL diet showed greater percentage of saturated fatty acids (C14:0, C16:0, and C18:0) and polyunsaturated fatty acids (C18:2, C18:3, 20:4, and 20:5) compared with the HO diet.

Table 7.1. Fatty acid composition (%) of the finishing diet (from 60 kg live weight to slaughter)¹

Fatty acid ² , %	Diet	
	Control	HO
14:0, myristic	0.55	0.28
16:0, palmitic	18.08	15.86
16:1, palmitoleic	1.03	0.71
18:0, stearic	7.77	5.61
18:1, n-9 oleic	27.92	42.82
18:2, n-6 linoleic	37.99	28.59
18:3, n-3 linolenic	3.38	2.97
20:4, n-6 arachidonic	0.07	ND ³
20:5, n-3 EPA	0.18	0.06
SFA ⁴	27.59	23.18
MUFA ⁴	30.14	44.84
PUFA ⁴	42.27	31.98

¹CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

²Major selected fatty acids.

³ND: Under detection limit.

⁴SFA: saturated fatty acids (C4:0, C6:0, C8:0, C10:0, C12:0, C13:0, C14:0, C16:0, C18:0, C20:0, C22:0, and C23:0); MUFA: monounsaturated fatty acids (C16:1, C17:1, C18:1, C20:1, C22:1 and C24:1); and PUFA: polyunsaturated fatty acids (C18:2, C18:3, C20:2, C20:3, C20:4, and C20:5).

Feed lipids were extracted following the chloroform-methanol procedure of Folch et al., (1957), converted to fatty acid methyl esters using BF₃ and methanolic KOH following the method of ISO 5509-1978 (E), and analyzed using GC (5890 Series II GC, Hewlett Packard, Barcelona, Spain). All samples were methylated in duplicate, and 1 µl was introduced by split injection into a fused silica capillary column (30 m ×

ID 0.25 mm, BPX 70; 0.25-m film thickness, Texas, USA). Helium was the carrier gas at 30 cm/sec. Column temperature was initially 150°C for 1 min., was increased by 4°C/min to 200°C, and was then held at 200°C for 10 min. Individual FAME were identified by retention time with reference to FAME standards (FA methyl ester mixture #189-19 L-9495; Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA).

7.2.2. Carcass measurements

Pigs were transported to the slaughter facilities of IRTA-Monells, located 150 km away from the farm, approximately 14 h before slaughter and were held off feed and had access to water during lairage. Pigs were humanely harvested using CO₂ stunning following standard procedures of an officially inspected facility. Hot carcasses were weighted within 1 h post-mortem using the European standard presentation (Council Regulation (EEC) 3513/93). Fat and muscle depth were recorded for each carcass within 1 h post-mortem using the Fat-O-Meat'er probe (SFK Technology, Denmark). Fat depth was measured at 80 mm from the mid-line between the 3rd and 4th lumbar vertebra (VLFOM). Back fat and loin muscle depths were measured at 60 mm from the mid-line between the 3rd and 4th last rib (F3/4FOM and M3/4FOM, respectively). Carcass lean percentage was predicted using the Spanish official equation (Gispert & Diestre, 1994). Minimum fat depth was also measured over the *Gluteus medius* muscle (MLOIN) using a ruler.

At 24 h post-mortem carcasses were weighed, length was measured for the loin (from the first lumbar vertebrae to the atlas bone) and for the carcass (from the anterior edge of the symphysis pubic to the recess of the first rib) and carcass conformation evaluated based on visual assessment of muscle mass development using the photographic model from the former EC pig grading grid for type of muscularity (1= large muscle development to 4= lack of muscle development, Gispert et al., 2007). *Longissimus* muscle area (LMA) was measured taking a digital image of the exposed surface muscle area between the 3rd and 4th last ribs. Images were standardized using a fixed camera and a couple of rulers also fixed at the loin area, which was calculated using an imaging software (Pomar et al., 2001). Then, left sides from each carcass were commercially cut and all primal cuts (ham, loin, shoulder, belly, and tenderloin) were weighed to obtain cut yields (Walstra & Merkus, 1995). In addition, hams, loins,

shoulders, and bellies were dissected into lean, subcutaneous and intermuscular fat and bone following the procedure of Walstra and Merkus (1995).

7.2.3. Pork quality measurements

7.2.3.1. Muscle pH and electrical conductivity

Muscle pH was measured in the left carcass side using a Crison portable meter (Crison, Barcelona, Spain) equipped with a xerolyt electrode in the *Longissimus thoracis* (LT) and *Semimembranosus* (SM) muscles at 45 min (pH₄₅) and 24 h (pH_u) post-mortem. Electrical conductivity was measured in the carcass using a Pork Quality Meater (PQM-I, INTEK Aichach, Germany) at the last rib level in the LT and SM muscles at 24 h (EC_u) post-mortem.

7.2.3.2. Instrumental and subjective colour

Instrumental colour measurements were recorded at 24 h post-mortem for L*(lightness), a*(redness), and b*(yellowness) on the exposed cut surface of the LT muscle at the last rib level, using a Minolta Chromameter (CR-400, Minolta Inc., Osaka, Japan) in the CIELAB space (CIE, 1976) using illuminant C and 2° viewing angle after 15 min. of bloom time. Subjective colour was determined on the same muscle and location as the instrumental measure using the Japanese Colour Scale (1: very pale to 6: very dark, Nakai et al., 1975) by two trained technicians and the final score was the average value from both technicians.

7.2.3.3. Tenderness (Warner-Bratzler shear force)

Instrumental tenderness was determined on boneless loin chops taken at the 2nd and 3rd last rib level. Pork chops (1.5 cm) were vacuum packaged and frozen at -20°C for subsequent Warner-Bratzler shear force determination. Chops were thawed for 24 h at 2°C and cooked in a convection oven (Spider 5, Novosir, Spain) pre-heated to 110°C until reaching an internal temperature of 75 °C monitored using temperature probes. Chops were allowed to come to room temperature during 2 h before a minimum of six pieces 3x1.5x1.5 cm were removed per chop. All pieces were sheared using an Alliance

RT/5 texture analyzer (MTS Systems Corp., Eden Prairie, MN, USA) equipped with a Warner-Bratzler blade with crosshead speed set at 2 mm/s, and peak load (kg) was recorded.

7.2.3.4. Intramuscular fat content

Intramuscular fat content was analysed in the LT and SM muscles. Muscle samples were stored at -20°C until intramuscular fat determination. Samples were thawed during 24 h at 2°C, trimmed of external fat and ground using a Robot-Coupe BLIXER 3 blender (Seysant Atlantic S.L., Soria, Spain). Intramuscular fat of 200 g of muscle was determined by Near Infrared Transmittance (NIT, Infratec® 1265, Tecator, Höganäs, Sweden).

7.2.4. Fatty acid composition

At 24 hours post-mortem, muscle samples of LT from between 3rd and 4th last ribs of the left side of the carcass were taken for each diet and sex, and samples of subcutaneous fat from SM muscle were taken from the ham of gilts and barrows, for each dietary treatment. Tissue lipids were extracted following the chloroform-methanol procedure of Folch et al. (1957), converted to fatty acid methyl esters using BF₃ and methanolic KOH (ISO 5509-1978 E), and analyzed by GC (5890 Series II GC, Hewlett Packard, Barcelona, Spain) using the same conditions described for feed lipid analysis.

7.2.5. Statistical analysis

Data were analyzed by analysis of variance using the GLM procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) as a 2 x 2 factorial design with sex (barrows and gilts), diet (CONTROL, HO) and two-way interaction in the model, including carcass weight as a covariate. There were no interactions ($P>0.05$) between diet and gender, and data are presented in tables and discussed as main effects.

7.3. Results and discussion

7.3.1. Carcass characteristics and primal cut yields

Carcass characteristics and primal cut yields of barrows and gilts fed CONTROL or HO diets are shown in Table 7.2. Carcass characteristics did not differ ($P>0.05$) between HO and CONTROL fed animals with the exception of live weight before slaughter and carcass weight. Animals fed HO were heavier ($P<0.05$) at slaughter and yielded heavier carcasses ($P<0.05$) than those fed CONTROL diet (120.8 vs. 117.9 kg and 92.4 vs. 94.7 kg, respectively). Carcass evaluation showed that carcasses from both dietary treatments reached the minimum level of 20 mm of fat at MLOIN required in Spain for the production of dry cured hams to guarantee an optimal curing process (Fundación Jamón Serrano, 1998). Results of the current study are in accordance with previous research where feeding high MUFA diets to swine did not adversely affect carcass characteristics (Busboom et al., 1991; Fontanillas et al., 1997; Mas et al., 2010; Myer et al., 1992; Nuernberg et al., 2005; Realini et al., 2010). Miller et al. (1990), Myer et al. (1992), and St. John et al. (1987) evaluated swine carcass traits and found that feeding a diet high in MUFA produced no differences in first rib fat thickness, ham muscling score and loin eye area compared with swine fed control diets.

There were no differences ($P>0.05$) between barrows and gilts in carcass conformation, carcass length and loin length. Gilts had lower ($P<0.05$) live weight before slaughter and carcass weight, and had higher ($P<0.05$) carcass dressing and lean percentage than barrows, which is in agreement with results reported by Friesen et al., (1994) and Unruh et al. (1996). Carcass length was similar between sexes, which is in accordance with Cisneros et al. (1996) and Latorre et al. (2003), whereas Leach et al. (1996) found gilt carcasses to be longer than barrow carcasses. Fat depth measurements (MLOIN, VLFOM and F3/4FOM) were higher ($P<0.05$) for barrows compared with gilts which showed greater ($P<0.05$) loin muscle area and estimated carcass lean percentage. Although gilts were leaner than barrows, carcasses from both sexes reached the minimum of 20 mm of fat thickness (MLOIN) required for the production of Spanish dry cured ham (Fundación Jamón Serrano, 1998). Blasco et al. (1994) observed less fat and higher lean content in gilts compared with barrows when comparing carcass characteristics of five types of pig crosses, and differences between barrows and gilts on

carcass characteristics are well documented in previous studies (Cisneros et al., 1996; Friesen et al., 1994; Leach et al., 1996; Mas et al., 2010).

Table 7.2. Least-squares means for carcass characteristics and primal cut yields of York-sired pigs fed experimental diets^A.

Carcass characteristics	Diet		Sex		RMSE ^B	Signif. ^C	
	Control	HO	Barrows	Gilts		P Diet	P Sex
Live weight before slaughter, kg	117.9	120.8	120.3	118.5	4.919	*	*
Hot carcass weight, kg	92.4	94.7	94.0	93.0	4.022	*	*
Killing out, %	78.5	78.4	78.2	78.6	1.370	ns	*
Flare fat, kg	1.1	1.1	1.2	1.0	0.270	ns	***
Conformation score ^D	2.8	2.8	2.8	2.8	0.409	ns	ns
Carcass length, cm	85.1	84.2	84.8	84.4	4.247	ns	ns
Loin length, cm	88.3	87.8	87.9	88.8	2.112	ns	ns
MLOIN ^E , mm	23.8	21.9	25.5	20.2	4.712	ns	***
VLFOM ^F , mm	30.7	28.6	32.0	27.3	6.587	ns	***
F3/4FOM ^F , mm	20.0	18.9	21.5	17.4	3.968	ns	***
M3/4FOM ^F , mm	53.9	56.4	54.8	55.6	5.365	ns	ns
Loin Area, cm ²	43.7	44.4	42.0	46.0	5.220	ns	***
Estimated lean ^G , %	52.4	53.8	51.3	55.0	3.826	ns	***
<i>Primal cut yields, % (from cold carcasses)</i>							
Ham	23.8	23.5	23.5	23.8	0.822	ns	ns
Loin	17.9	17.5	17.8	17.5	0.986	ns	ns
Shoulder	13.3	13.2	13.2	13.3	0.425	ns	ns
Belly	9.5	9.4	9.6	9.3	0.635	ns	*
Tenderloin	1.2	1.3	1.2	1.3	0.107	ns	***

DIET*SEX ($P>0.05$).

^A CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high-oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^B RMSE: root mean square error.

^C ns, not significant ($P>0.05$); *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$.

^D 1: large muscle development to 4: lack of muscle development.

^E MLOIN: minimum fat depth over the Gluteus medius.

^F VLFOM: fat depth at $\frac{3}{4}$ lumbar vertebra, F3/4FOM: fat depth at $\frac{3}{4}$ last rib, and M3/4 FOM: muscle depth at $\frac{3}{4}$ last rib, determined with the Fat-O-Meat'er probe.

^G Estimated with the Fat-O-Meat'er probe.

There were no differences ($P>0.05$) between dietary treatments in the percentage of ham, loin, shoulder and belly (Table 7.2). This is consistent with Bee et al. (2002), Dugan et al. (2004), Mas et al. (2010), and Realini et al. (2010), who evaluated supplementation of swine diets with different fat sources including MUFA enriched diets and reported no effect of dietary fat source on cut yields. Gilts with leaner carcasses had higher ($P<0.05$) percentage of tenderloin, and lower ($P<0.05$) percentage of belly compared with barrows. There were no differences ($P>0.05$) in the percentage or weight (data not shown) of the ham, loin and shoulder between sexes. However, Cisneros et al. (1996) and Latorre et al. (2003) reported heavier hams in gilts compared with barrows due to their higher carcass lean content. In the present study, hams from both sexes and diets were above the required weight and fat thickness for the production of dry cured products (9.5 kg; Fundación Jamón Serrano, 1998), indicating that feeding the HO diet does not alter carcass and primal cut yields. Shoulders also showed desirable characteristics for processing, although in this case, minimum requirements for weight and subcutaneous fat thickness are not specified.

7.3.2. Dissection of major primal cuts

Dissection of the major primal cuts into lean, intermuscular and subcutaneous fat and bone showed that there was no effect ($P>0.05$) of MUFA supplementation on any of the parameters measured with the exception of bone percentage in the ham (Table 7.3). Control fed animals showed a lower ($P<0.05$) bone percentage of the ham compared with animals fed HO diet (8.2 vs. 7.9%, respectively). These results are in agreement with Mas et al. (2010) and Realini et al. (2010) who reported no differences in ham and loin dissection into lean, fat and bone of gilts fed different fat sources, including MUFA supplementation. Apple et al. (2009) reported no effect of different fat sources on dissection of primal cut yields or dissected muscle, bone, fat and skin yields from each primal cut in swine; and Kouba et al. (2003) found no effect of feeding a control vs. linseed (6%) diet in foreloin tissue composition in gilts.

Gilts resulted in higher ($P<0.05$) lean percentage and lower ($P<0.05$) percentage of both subcutaneous and intermuscular fat depots in ham, loin, shoulder and belly, with the exception of the percentage of intermuscular fat in the shoulder which did not differ ($P>0.05$) between barrows and gilts. These results are in agreement with Dugan et al. (2004) who reported higher fat depots (intermuscular and body cavity fat) in barrows

than gilts fed 5% or 2% canola oil. Gilts resulted in higher ($P<0.05$) bone percentage of the loin and shoulder, while bone percentage of the ham and belly did not differ ($P>0.05$) between both sexes. Blasco et al. (1994) also found differences in bone percentage between sexes, and reported lower values in ham and loin for gilts compared with barrows.

Table 7.3. Least-squares means for ham, loin, shoulder and belly dissection into lean, subcutaneous and intermuscular fat and bone of York-sired pigs fed experimental diets^A.

	Diet		Sex		RMSE ^B	Signif. ^C	
<i>Ham dissection, %</i>	Control	HO	Barrows	Gilts		P Diet	P Sex
Lean	63.1	64.2	61.3	66.0	3.634	ns	***
Subcutaneous fat	24.4	23.2	26.0	21.7	3.525	ns	***
Intermuscular fat	4.5	4.3	4.7	4.1	0.743	ns	**
Bone	7.9	8.2	7.9	8.2	0.468	*	ns
<i>Loin dissection, %</i>							
Lean	51.6	52.5	49.2	54.9	4.654	ns	***
Subcutaneous fat	32.7	31.8	35.2	29.4	4.712	ns	***
Intermuscular fat	5.0	4.8	5.2	4.5	0.923	ns	*
Bone	10.6	10.8	10.3	11.1	1.077	ns	**
<i>Shoulder dissection, %</i>							
Lean	59.5	60.7	58.1	62.1	3.546	ns	***
Subcutaneous fat	23.7	22.5	25.2	21.1	3.523	ns	***
Intermuscular fat	7.5	7.5	7.8	7.2	1.138	ns	ns
Bone	12.9	13.1	12.4	13.7	0.520	ns	***
<i>Belly dissection, %</i>							
Lean	48.7	49.5	46.1	52.2	5.635	ns	***
Subcutaneous fat	23.5	22.8	24.2	22.0	3.170	ns	**
Intermuscular fat	19.9	20.3	22.1	18.1	4.463	ns	***
Bone	7.8	7.3	7.6	7.6	2.776	ns	ns

DIET*SEX ($P>0.05$).

^A CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high-oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^B RMSE: root mean square error.

^C ns, not significant ($P>0.05$); *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$.

7.3.3. Pork quality characteristics

Feeding the HO diet did not alter ($P>0.05$) any of the pork quality traits measured, which indicate that LT and SM muscles from both diets are suitable for the fresh and the dry cured ham markets, respectively (Table 7.4). Sheeder et al. (2000) also reported no effect of MUFA supplementation on meat quality traits, including colour, pH and cooking losses. Myer et al. (1992) and St. John et al. (1987) indicated that MUFA content can be elevated substantially in pork without adversely influencing meat quality, and reported similar sensory traits, cooking loss and shear force values of pork chops from control and pigs fed elevated MUFA levels. However, Miller et al. (1990) evaluated the effect of supplementing five fat sources (control, animal fat, safflower oil, sunflower oil and canola oil) on pork characteristics and reported no differences in marbling or colour between control and pigs fed safflower oil (75% oleic), but pigs supplemented with sunflower (85% oleic) and canola oil (58% oleic) had lower marbling, colour and texture scores than control pigs. Rhee et al. (1988) also showed an effect of MUFA supplementation on texture parameters reporting higher muscle tenderness, lower shear force values and softer fat from pigs fed high-oleic diets than those fed control diets. Results from the present study show that feeding the HO diet had no effect ($P>0.05$) on shear force values of the LT muscle from gilts. Texture properties of raw hams used for the production of dry cured products strongly affects the texture and mechanical properties of the final product and these parameters are decisive factors influencing its acceptability by the consumer (Guerrero et al., 1999). According to Bosi et al. (2000), changes in muscle softness may also modify the ripening time of cured hams.

Meat quality characteristics were similar for barrows and gilts with the exception of LT colour lightness, SM electrical conductivity and intramuscular fat percentage of LT and SM. Loin colour L^* values were higher ($P<0.05$), indicating a lighter colour for gilts compared with barrows. Previous studies reported no effect of gender on colour values (Renaudeau & Mourot, 2007), while other authors have found that meat from barrows was darker (Cisneros et al., 1996; Latorre et al., 2003), or more pale (Unruh et al., 1996) compared with gilts. Intramuscular fat percentage was higher ($P<0.05$) for barrows than gilts in both LT and SM muscles (1.44 vs. 1.13% and 2.16 vs. 1.6%, respectively), in agreement with the higher degree of carcass fatness from barrows. Intramuscular fat values from the present study are comparable to those from pigs

currently used by the industry for the production of dry cured products. Oliver et al. (1994) evaluated barrows and gilts from five pig crosses and reported intramuscular fat values from 0.95 to 1.88% in LT and from 1.92 to 3.83% in SM muscle. Hams from barrows may result in higher sensory quality than gilts due to the positive role of intramuscular fat in the curing process (Arnau et al., 2001). However, Oliver et al. (1994) did not find differences between barrows and gilts in the trained panel and consumer assessment of dry cured hams.

Table 7.4. Least-square means for meat quality characteristics of York-sired pigs fed experimental diets^A.

	Diet		Sex		RMSE ^B	Signif. ^C	
	Control	HO	Barrows	Females		P Diet	P Sex
<i>Longissimus thoracis</i> muscle							
pH 45 minutes	6.55	6.52	6.51	6.54	0.145	ns	ns
pH 24 hours	5.51	5.48	5.50	5.47	0.110	ns	ns
Electrical conductivity	3.65	3.84	3.95	3.64	0.777	ns	ns
Minolta L* (lightness)	47.31	48.0	47.2	48.4	2.632	ns	*
Minolta a* (redness)	6.32	6.51	6.95	6.30	0.964	ns	ns
Minolta b* (yellowness)	3.34	3.57	3.58	3.59	0.837	ns	ns
Subjective colour, JSC ^D	2.94	2.99	2.98	2.82	0.472	ns	ns
Intramuscular fat, %	1.30	1.27	1.44	1.13	0.110	ns	**
Maximum shear force, kg ^E	4.32	4.02	-	-	0.531	ns	-
<i>Semimembranosus</i> muscle							
pH 45 minutes	6.56	6.53	6.51	6.56	0.149	ns	ns
pH 24 hours	5.54	5.51	5.53	5.51	0.122	ns	ns
Electrical conductivity	4.69	4.84	5.29	4.50	1.309	ns	*
Intramuscular fat, %	1.92	1.89	2.16	1.60	0.610	ns	***

DIET*SEX ($P>0.05$).

^A CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high-oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^B RMSE: root mean square error.

^C ns, not significant ($P>0.05$); *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$.

^D Japanese visual colour scale (1: pale, 6: very dark).

^E Carried out in gilts only.

7.3.4. *Longissimus thoracis* intramuscular fatty acid composition

The fatty acid composition of *Longissimus thoracis* intramuscular fat of pigs fed the experimental diets is shown in Table 7.5. There were no differences ($P>0.05$) in the intramuscular fatty acid composition between dietary treatments with the exception of the gamma-linolenic $n-6$ (C18:3) fatty acid, which was lower ($P<0.05$) for HO compared with CONTROL fed pigs (0.16 vs. 0.20%, respectively). Although all MUFA and oleic acid (C18:1) were numerically higher in fat from pigs fed HO compared with CONTROL (42.1 vs. 39.2 and 34.5 vs. 31.6, respectively), feeding the HO diet did not result in a significant increase in all MUFA or oleic acid in intramuscular fat. Previous studies using higher levels of oleic acid in the diet compared with the current study (43% of C18:1), reported greater proportions of all MUFA and C18:1 in intramuscular fat from pigs fed diets rich in MUFA compared with control animals. Miller et al. (1990) used a MUFA source with levels of C18:1 from 45% to 81%, and Fontanillas et al. (1997) and Myer et al. (1992) used sources with 57% and 60% of C18:1, respectively. Eder et al. (2001) evaluated the effect of swine diets with different oleic acid levels and confirmed that increasing the dietary supply of oleic acid caused the concentration of oleic acid to rise significantly in the intramuscular fat of *Longissimus dorsi*. A previous trial carried out with the same diets as the current study using a high-lean genotype ((Landrace x Large White) x Pietrain) during a similar feeding time, resulted in a significant increase in the C18:1 and MUFA level in intramuscular fat from animals fed HO diet compared to those fed CONTROL diet (Mas et al., 2010). Other factors than C18:1 level in the diet and time on feed may affect the response of fat tissues to MUFA enriched diets such as slaughter weight, level of carcass fatness and animal genetics. Pietrain-crossed pigs produced for the fresh meat market were slaughtered at around 110 kg of live weight (Mas et al., 2010), while York-crossed pigs produced for the processing of dry cured products were slaughtered at approximately 120 kg of live weight resulting in loins with higher intramuscular fat in the present study (1.05 vs. 1.3%, respectively). Results suggest that higher levels than 43% of C18:1 in the diet would be necessary to achieve a significant increase of oleic acid in intramuscular fat tissues from York-crossed pigs fed the HO diet from 30 kg liveweight until slaughter.

Nutritional recommendations for a healthy diet suggest that the ratio of PUFA-to-SFA (PUFA/SFA) for the diet as a whole should be 0.40 or higher, while the $n-6/n-3$

ratio should be 4.0 or lower and the intake of *n*-3 PUFA should be increased relative to *n*-6 fatty acids (Department of Health, 1994). There were no differences ($P>0.05$) in the PUFA/SFA ratio of intramuscular fat from animals fed the different diets and both ratios were above the recommended value of 4.0. Pork is characterized by a high content of linoleic acid, which leads to acceptable PUFA/SFA ratios, but the high content in *n*-6 fatty acids usually results in unfavourable *n*-6/*n*-3 fatty acid ratios for a healthy human diet (Wood et al., 2003). Intramuscular fat from animals fed HO diet resulted in a lower ($P<0.05$) *n*-6/*n*-3 ratio compared with CONTROL (19.70 vs. 23.33, respectively), however, both ratios were high and well above the recommended value of less than 4.0. Nuernberg et al. (2005) reported *n*-6/*n*-3 ratios of 9.5 for barrows and 9.6 for gilts fed diets high in MUFA with 5% olive oil; and Fontanillas et al. (1997) reported ratios of 6.71 for barrows fed 4% fat high in MUFA, which are more favourable values and closer to the recommended level of less than 4.0.

Intramuscular fatty acid composition did not differ ($P>0.05$) between barrows and gilts resulting in similar values for individual fatty acids, all SFA, MUFA and PUFA and similar PUFA/SFA and *n*-6/*n*-3 ratios (Table 7.5). These results differ from previous studies where gender resulted in a significant source of variation with barrows showing a higher SFA content, lower PUFA content and higher PUFA/SFA ratio than females (Nuernberg et al., 2005; Zhang et al., 2007). Warnants et al. (1999) indicated that the difference in fatty acid composition of intramuscular fat between barrows and gilts was due to the higher degree of fatness in barrows, as the proportion of SFA increases with the fat content of the carcass. In the present study, barrows had higher ($P<0.05$) intramuscular fat content and showed higher ($P<0.05$) values for fat measurements (flare fat, MLOIN, VLFOM) and lower ($P<0.05$) values for lean percent and loin muscle area (Table 7.3). However, intramuscular fat from barrows and gilts had similar fatty acid composition.

Table 7.5. Least-squares means for fatty acid composition (%) of *Longissimus thoracis* intramuscular fat of York-sired pigs fed experimental diets^A.

Fatty Acids ^D , %	Diet		Sex		RMSE ^B	Signif. ^C	
	Control	HO	Barrows	Gilts		P Diet	P Sex
14:0	1.08	1.07	1.12	1.03	0.194	ns	ns
16:0	22.37	22.75	22.66	22.47	2.198	ns	ns
18:0	12.63	12.93	12.66	12.90	1.089	ns	ns
18:1, <i>n</i> -9	31.61	34.46	33.79	32.38	5.361	ns	ns
18:2, <i>n</i> -6	17.30	14.92	15.64	16.58	5.825	ns	ns
18:3, <i>n</i> -6	0.20	0.16	0.16	0.19	0.058	*	ns
18:3, <i>n</i> -3	0.43	0.45	0.44	0.43	0.130	ns	ns
20:0	0.19	0.20	0.20	0.19	0.055	ns	ns
20:1	0.59	0.65	0.62	0.61	0.156	ns	ns
20:2, <i>n</i> -6	0.40	0.37	0.37	0.39	0.075	ns	ns
20:3, <i>n</i> -6	0.64	0.55	0.57	0.61	0.285	ns	ns
20:4, <i>n</i> -6	4.80	3.69	3.96	4.54	2.487	ns	ns
20:3, <i>n</i> -3	0.13	0.11	0.12	0.12	0.043	ns	ns
20:5, <i>n</i> -3 EPA	0.20	0.21	0.19	0.21	0.117	ns	ns
22:6, <i>n</i> -3 DHA	0.24	0.21	0.21	0.24	0.153	ns	ns
SFA ^E	36.46	37.20	36.80	36.86	3.228	ns	ns
MUFA ^E	39.16	42.10	41.51	39.79	6.014	ns	ns
PUFA ^E	24.35	20.67	21.68	23.34	9.006	ns	ns
PUFA/SFA	0.69	0.59	0.60	0.66	0.289	ns	ns
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	23.33	19.70	20.77	22.23	3.075	**	ns

DIET*SEX ($P>0.05$).

^A CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high-oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).

^B RMSE: root mean square error.

^C ns, not significant ($P>0.05$); *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$.

^D Major selected fatty acids.

^E SFA: saturated fatty acids, MUFA: monounsaturated fatty acids, PUFA: polyunsaturated fatty acids.

7.3.5. *Semimembranosus* subcutaneous fatty acid composition

Subcutaneous fat from pigs fed HO diet had lower ($P<0.05$) proportions of all SFA (32.47 vs. 34.32%, respectively), palmitic (C16:0, 20.10 vs. 21.22%, respectively), and arachidic fatty acids (C20:0, 0.16 vs. 0.29%, respectively) compared with CONTROL diet. Feeding the HO diet increased the proportion of C18:1 *n*-9 and MUFA in *Semimembranosus* subcutaneous fat compared with CONTROL fed animals (44.78 vs. 41.58% and 51.63 vs. 48.30%, respectively) (Table 7.6). These results are in agreement with Mas et al. (2010) who fed the same diets to a high-lean genotype and reported a percentage of increase of C18:1 in subcutaneous fat of 7.6%. Other authors feeding higher levels of oleic acid in the diet compared with the present study, reported greater increases in the deposition of oleic acid in subcutaneous fat. Myer et al. (1992) reported a percentage of increase of 37% for C18:1 and 31% for MUFA, and Fontanillas et al. (1998) reported 34% for C18:1 and 29% for MUFA. Results from the present study indicate that different tissues may differ in their degree of response to dietary modifications, as feeding the HO diet resulted in an increase in C18:1 and MUFA percentage in subcutaneous fat without a significant increase in intramuscular fat. Fontanillas et al. (1997) and Miller et al. (1990) reported a lower response to dietary treatment of fatty acid composition in intramuscular fat compared with subcutaneous fat. Warnants et al. (1999) indicated that the lipids of the intramuscular fat contain a relatively high proportion of structural lipids that are less susceptible to the type of dietary fat than the triglycerides of the adipose tissue. However, results from Mas et al. (2010), feeding the same diets to a high-lean genotype, showed that intramuscular fat had a greater percentage of increase in MUFA (11.6%) in pigs fed HO diet compared with CONTROL animals than in subcutaneous fat (7.1%). These results indicate that other factors, such as genotype, carcass fatness or slaughter weight can modify the response of fat tissues to dietary supplementation.

Subcutaneous fat from pigs fed HO diet resulted in lower ($P<0.05$) percentage of all PUFA and the *n*-6 fatty acids C18:2 (linoleic), C18:3 (gamma-linolenic), and C20:3 compared with animals fed the CONTROL diet. There were no differences ($P<0.05$) in the PUFA/SFA ratio of subcutaneous fat between dietary treatments, and both ratios were above the recommended value of greater than 0.40 (Department of Health, 1994). Subcutaneous fat from animals fed HO diet had a lower ($P<0.05$) *n*-6/*n*-3 ratio than fat from CONTROL fed animals. However, both ratios (10.78 and 12.05, respectively)

were above the recommended value of less than 4.0 for a healthy diet (Department of Health, 1994).

It is important to restrict the PUFA content of fat when altering the fatty acid profile of fresh pork and especially when pork is aimed for the production of dry cured products. High levels of PUFA in pork may have negative implications for meat quality, such as pork texture (Apple et al., 2009), shelf-life (Morel et al., 2006), and flavour characteristics of meat (Wiseman et al., 2000) due to their greater susceptibility to oxidation, especially in dry cured hams which require a long period of processing. Bryhni et al. (2002) and Warnants et al. (1996) proposed thresholds for PUFA in back fat of 22-23% to help reduce oxidation problems indicating lower values for processed pork products. In the present study PUFA percentages in ham subcutaneous fat were 17.4 and 15.9 for CONTROL and HO fed animals, respectively. Subcutaneous fat from pigs fed the HO diet resulted in higher MUFA percentage, without increasing the levels of PUFA which may result in the production of soft and oily carcasses that are unsuitable for the production of dry cured products.

There were no differences in fatty acid composition of SM muscle between barrows and gilts except for the percentage of myristic acid (C14:0) which was higher ($P<0.05$) for barrows compared with gilts (1.38 vs. 1.26%, respectively) (Table 7.6). There were no differences between sexes in the percentages of total MUFA or oleic acid (C18:1), indicating no effect of gender on back fat composition. However, other studies have reported a higher percent of SFA and lower percent of PUFA on back fat of barrows compared with gilts and related these differences to a higher back fat thickness in males, as the proportion of SFA increases with the increase in carcass fatness (Nuernberg et al., 2005; Warnants et al., 1999; Zang et al., 2007). Animal genetics may also modify the effect of gender on the response to dietary manipulation. Mas et al. (2010) reported higher proportions of SFA in intramuscular and subcutaneous fat and lower percentages of PUFA, *n*-6 fatty acids and PUFA/SFA ratio in subcutaneous fat from barrows compared with gilts fed the same diets as the present trial using Pietrain-crossed animals.

Table 7.6. Least-squares means for fatty acid composition (%) of *Semimembranosus* subcutaneous fat of York-sired pigs fed experimental diets^A.

Fatty Acids ^D , %	Diet		Sex		RMSE ^B	Signif. ^C	
	Control	HO	Barrows	Gilts		P Diet	P Sex
14:0	1.30	1.35	1.38	1.26	0.130	ns	**
16:0	21.22	20.10	20.65	20.67	1.190	**	ns
18:0	11.10	10.50	10.83	10.72	1.169	ns	ns
18:1, <i>n</i> -9	41.58	44.78	43.38	42.98	1.276	***	ns
18:2, <i>n</i> -6	14.70	13.30	13.69	14.30	1.701	*	ns
18:3, <i>n</i> -6	0.19	0.07	0.09	0.17	0.174	*	ns
18:3, <i>n</i> -3	1.04	1.10	1.07	1.07	0.170	ns	ns
20:0	0.29	0.16	0.24	0.21	0.136	**	ns
20:1	1.04	1.07	1.08	1.03	0.164	ns	ns
20:2, <i>n</i> -6	0.82	0.77	0.78	0.80	0.115	ns	ns
20:3, <i>n</i> -6	0.14	0.07	0.09	0.11	0.042	***	ns
20:4, <i>n</i> -6	0.26	0.38	0.35	0.30	0.223	ns	ns
20:3, <i>n</i> -3	0.23	0.19	0.21	0.21	0.102	ns	ns
20:5, <i>n</i> -3, EPA	ND	ND	ND	ND	-	-	-
22:6, <i>n</i> -3, DHA	ND	ND	ND	ND	-	-	-
SFA ^E	34.32	32.47	33.48	33.31	1.922	**	ns
MUFA ^E	48.30	51.63	50.23	49.70	1.615	***	ns
PUFA ^E	17.38	15.90	16.28	16.98	1.975	*	ns
PUFA/SFA	0.51	0.49	0.49	0.51	0.084	ns	ns
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	12.05	10.78	11.27	11.60	0.629	***	ns

DIET*SEX ($P>0.05$).^A CONTROL: grain and soy; HO: grain and soy plus high-oleic supplement (Greedy-Grass OLIVA[®]: 1.4% growing and 3.8% finishing diet).^B RMSE: root mean square error.^C ns, not significant ($P>0.05$); *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$.^D Major selected fatty acids.

ND: Under detection limit.

^E SFA: saturated fatty acids, MUFA: monounsaturated fatty acids, PUFA: polyunsaturated fatty acids.

7.4. Conclusions

Feeding a diet high in oleic acid (Greedy-Grass OLIVA®: 1.4 and 3.8% for growing and finishing diets, respectively) from 30 to 120 kg live weight, modified the fatty acid composition of subcutaneous fat with minor changes in intramuscular fatty acid composition of York-crossed pigs. Feeding the HO diet did not alter carcass or meat quality traits, and major primal cuts from animals fed both diets were suitable for the production of dry cured products. Subcutaneous fat of hams from HO fed pigs had a 6.9% increase in total monounsaturated fatty acids, and a 9.3% reduction in total polyunsaturated fatty acids ($P<0.05$) compared with CONTROL fed animals. Subcutaneous fat from pigs fed the HO diet had higher monounsaturated fatty acids, while decreasing the levels of polyunsaturated fatty acids, without adversely affecting carcass quality and producing suitable hams for processing by the meat industry.

References

- Apple, J.K., Maxwell, C.V., Galloway, D.L., Hamilton, C.R., & Yancey, J.W.S. (2009). Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid composition. *Journal of Animal Science*, 87, 1441-1454.
- Arnau, J., Guerrero, L., Gou, P., & Montfort, J.M. (2001). Tecnología, microbiología y principales problemas tecnológicos del jamón curado. In S. Martín Bejarano (Eds.), *Enciclopedia de la Carne y de los Productos Cárnicos* (pp. 1177-1204). Plasencia, Spain: Ediciones Martín & Macias.
- Bee, G., Gebert, S., & 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.
- Blasco, A., Gou, P., Gispert, M., Estany, J., Soler, Q., Diestre, A., & Tibau, J. (1994). Comparison of five types of pig crosses. I. Growth and carcass traits. *Livestock Production Science*, 40, 171-178

Bosi, P, Cacciaviallani, J.A., Casini, L., Macchioni, P., & Mattuzzi, S. (2000). Effect of dietary high oleic sunflower oil, copper and vitamin E on the quality of pork from pigs slaughtered at 160 kg live weight. *Italian Journal of Food Science*, 12, 77-90.

Bryhni, E.A., Kjos, N.P., Ofstad, R., & Hunt, M. (2002). Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acid composition and meat, fat and sausage quality. *Meat Science*, 62, 1-8.

Busboom, J.R., Rule, D.C., Colin, D., Heald, T., & Mazhan, A. (1991). Growth, carcass characteristics, and lipid composition of adipose tissue and muscle of pigs fed canola. *Journal of Animal Science*, 69, 1101-1108.

Cisneros, F., Ellis, M., McKeith, F.K., McCaw, J., & Fernando, R.L. (1996). Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74, 925-933.

Commission Internationale de l'Eclairage (1976). *Colorimetry*. Vienna, Austria, Bureau Central de la CIE. Publication no. 15.

Council Regulation (EC) n° 3513/93. (1993) Amending Regulation (EEC) N° 3220/84 determining the Community Scale for Grading Pig Carcasses.

Department of Health. (1994). *Nutritional aspects of cardiovascular disease*. Report on health and social subjects no. 46. London: Her Majesty's Stationery Office.

Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., Robertson, W.M., Rolland, D.C., & Larsen, I.L. (2004). Practical feeding levels of canola oil and tallow have differing effects on gilt and barrow performance and carcass composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 661-671.

Eder, K., Nonn, H., & Kluge, H. (2001). The fatty acid composition of lipids from muscle and adipose tissues of pigs fed various oil mixtures differing in their ratio between oleic acid and linoleic acid. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103, 668–676.

Folch, J.M., Lees, M., & Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biology and Chemistry*, 226, 497-509.

Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M.D., & Codony, R. (1997). Effect of feeding highly cis-monounsaturated, trans, or n-3 fats on lipid composition of muscle and adipose tissue of pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3070-3075.

Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M.D., & Guardiola, F. (1998). Backfat fatty acid evolution in swine fed diets high in either cis-monounsaturated, trans or (n-3) fats. *Journal of Animal Science*, 76, 1045-1055.

Friesen, K.G., Nelssen, J.L., Unruh, J.A., Goodbank, R.D., & Tockach, M.D. (1994). Effects of the interrelationship between genotype, sex, dietary lysine on growth performance and carcass composition in finishing pigs fed either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 72, 946-954.

Fundación Jamón Serrano. (1998). *Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano*, from Fundación Jamón Serrano Web site: <http://fundacionserrano.org/etg.asp>

Gispert, M., & Diestre, A. (1994). Classement des carcasses de porc en Espagne: un pas vers l'harmonization communautaire. *Techniporc*, 17, 29-32.

Gispert, M., Font i Furnols, M., Gil, M., Velarde, A., Diestre, A., Carrión, D., Sosnocki, A.A., & Plastow, G.S. (2007). Relationship between carcass quality parameters and genetic types. *Meat Science*, 77, 397-404.

Gonzalez, E., Olivares, A., & Tejeda, J.F. (2005). Uso de piensos engrasados ricos en ácido oleico en la alimentación del cerdo ibérico. In: *III Word Congress on Dry-cured Ham, Comunicación libre* (pp. 375-377). Teruel, Spain.

Guerrero, L., Gou, P., & Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.

Kouba, J., Enser, M., Whittington, F.M., Nute, G.R., & Wood, J.D. (2003). Effect of a high-linoleic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *Journal of Animal Science*, 81, 1967-1979.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Gracia, M.I., Nieto, M., & Mateos, G.G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Science*, 65, 1369-1377.

Leach, L.M., Ellis, M., Sutton, S.D., McKeith, F.K., & Wilson, E.R. (1996). The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of halothane carrier and negative pigs. *Journal of Animal Science*, 74, 934-943.

Lopez-Bote, C.J. (2000). Dietary treatment and quality characteristics of Mediterranean meat products. In E. Decker, C. Faustman, & C.J. Lopez-Bote (Eds.). *Antioxidants in Muscle Foods: Nutritional Strategies to Improve Quality* (pp. 345-366). New York: Wiley Interscience.

Mas, G., Llavall, M., Coll, D., Roca, R., Díaz, I., Oliver, M.A., Gispert, M., & Realini, C.E. (2010). Carcass traits and fatty acid composition of tissues from Pietrain-crossed barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet. *Meat Science*, 85, 707-714.

Mason, L.M., Hogan, S.A., Lynch, A., O'Sullivan, K., Lawlor, P.G., & Kerry, J.P. (2005). Effects of restricted feeding and antioxidant supplementation on pig performance and quality characteristics of Longissimus dorsi muscle from Landrace and Duroc pigs. *Meat Science*, 70, 307-317.

- Mattson, F.H., & Grundy, S.M. (1985). Comparison of effects of dietary saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids on plasma lipid and lipoproteins in man. *Journal of Lipid Research*, 26, 194-202.
- Miller, M.F., Shackelford, S.D., Hayden, K.D., & Reagan, J.O. (1990). Determination of the alteration in fatty acid profiles, sensory characteristics and carcass traits of swine fed elevated levels of monounsaturated fats in diet. *Journal of Animal Science*, 68, 1624-1631.
- Morel, P.C, McIntosh, J.C., & Janz, J.M.A. (2006). Shelf life and quality of pork and pork products with raised *n*-3 PUFA. *Meat Science*, 55, 213-221.
- Myer, R.O., Johnson, D.D., Knauff, D.A., Gorbett, D.W., Brendemuhl, J.H., & Walker W.R. (1992). Effect of feeding high-oleic-acid peanuts to growing finishing swine on resulting carcass fatty acid profile and on carcass and meat quality characteristics. *Journal of Animal Science*, 70, 3734-3741.
- Nakai, H., Saito, F., Ikeda, T., Ando, S., & Komatsu, A. (1975). Report 29. National Institute of Animal Industry, Chiba, Japan.
- Nuernberg, K., Fischer, K., Nuernberg, G., Kuechenmeister, U., Klosowska, D., Eliminowska-Wenda, et al. (2005). Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Science*, 70, 63-74.
- Oliver, M.A., Gou, P., Gispert, M., Diestre, A., Arnau, J., Noguera, J.L., & Blasco, A. (1994). Comparison of five types of pig crosses. II. Fresh meat quality and sensory characteristics of dry cured ham. *Livestock Production Science*, 40, 179-185.
- Pomar, C., Rivest, J., Jean dit Bailleul, P., & Marcoux, M. (2001). Predicting loin-eye area from ultrasound and grading probe measurements of fat and muscle depths in pork carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*, 81, 429-434.

Realini, C.E., Duran-Montgé, P., Lizardo, R., Gispert, M., Oliver, M.A., & Esteve-Garcia, E. (2010). Effect of source of dietary fat on pig performance, carcass characteristics, and carcass fat content, distribution and fatty acid composition. *Meat Science*, 85, 606-612.

Renaudeau, D., & Mouro, J. (2007). A comparison of carcass and meat quality characteristics of Creole and Large White pigs slaughtered at 90 kg BW. *Meat Science*, 76, 165-171.

Rhee, K.S., Davidson, T.L., Knabe, D.A., Cross, H.R., Ziprin, Y.A., & Rhee, K.C. (1988). Effect of dietary high-oleic sunflower oil on pork carcass traits and fatty acid profile of raw tissues. *Meat Science*, 24, 249-260.

Scheeder, M.R.L., Gläser, K.R., Eichenberger, B., & Wenk, C. (2000). Influence of different fats in pig feed on fatty acid composition of phospholids and physical meat quality characteristics. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102, 391-401.

St. John, L.C., Young, C. R., Knabe, D.A., Thomson, L.D., Schelling, G.T., Grundy, S.M., & Smith, S.B. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine feed an elevated monounsaturated fat diet. *Journal of Animal Science*, 64, 1441-1447.

Unruh, J.A., Friesen, K.G., Stuewe, S.R., Dunn, B.L., Nelssen, J.L., Goodband, & R.D, Tokach, M.D. (1996). The influence of genotype, sex, and dietary lysine on pork subprimal cut yields and carcass quality of pigs fed to either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 74, 1274-1283.

Walstra, P., & Merkus, G. S. M. (1995). *Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification*. Report ID-DLO 96.014, March, p. 22.

Warnants, M., Van Oeckel, M.J., & Boucqué, C.V. (1996). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues and its implications for the quality of the end products. *Meat Science*, 44, 125-144.

Warnants, M., Van Oeckel, M.J., & Boucqué, C.V. (1999). Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues. *Journal of Animal Science*, 77, 2478-2490.

Wiseman, J., Redshaw, M.S., Jagger, S., Nute, G.R., & Wood, J.D. (2000). Influence of type and dietary fat rate of inclusion of oil on meat quality of finishing pigs. *Animal Science*, 70, 307-315.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., & Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

Zhang, S., Knight, T.J., Stalder, K.J., Goodwin, R.N., Lonergan, S.M., & Beitz, D.C. (2007). Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork Longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 85, 583-591.

8. DISCUSSIÓ GENERAL

La producció porcina ha d'adaptar-se als requeriments dels consumidors apareguts en els darrers anys sense perdre competitivitat ni eficiència. Així, l'objectiu principal d'aquest projecte era determinar l'efecte d'una dieta alta en MUFA (dieta HO, de l'anglès *High Oleic*) en el perfil d'àcids grassos de dos creuaments de porcs molt habituals en el mercat del nostre país per aconseguir un producte més saludable i satisfer les noves exigències del mercat. En aquest treball es va contemplar també la modelització del creixement d'ambdós creuaments a partir de les mesures *in vivo* fetes a l'explotació.

A continuació es discutiran els aspectes més importants a partir dels resultats descrits en els capítols anteriors. La primera part es centrarà en l'efecte de la dieta HO sobre els paràmetres productius. A continuació es parlarà de la modelització del creixement en el dos genotips emprats en aquest estudi. En la tercera part es descriurà l'efecte de la dieta HO sobre els paràmetres de qualitat de canal i carn i en el perfil d'àcids grassos. Finalment es parlarà de les implicacions pràctiques i propostes de futur a partir d'aquest estudi.

8.1. EFECTE DE LA DIETA RICA EN MUFA EN ELS ÍNDEXS PRODUCTIUS I COMPOSICIÓ CORPORAL

La inclusió de Greedy-Grass OLIVA[®] com a font de MUFA a la dieta no va tenir efecte sobre el creixement, la deposició de greix, ni la profunditat de llom en els dos genotips estudiats. La comparació d'aquests resultats amb experiències prèvies suggereix que el principal motiu pel qual no es van observar diferències significatives fou perquè les dietes emprades, tot i presentar diferències en composició, foren formulades per a presentar nivells d'energia i proteïna iguals.

Altres estudis previs han aportat resultats coincidents amb aquest, on no es van observar diferències en creixement (Busboom et al., 1991; Castell & Falk, 1980; Lauridsen et al., 1999), profunditat de llom (Engel et al., 2001), o de deposició de greix dorsal (St. John et al., 1987; Myer et al., 1992). Per contra, existeixen altres estudis previs on sí s'han trobat canvis en els resultats productius en l'ús de dietes altes en MUFA. Castell (1977) va detectar una disminució del guany mig diari en porcs

alimentats amb dietes altes en MUFA, que aquest autor va relacionar a una disminució de la ingesta degut a les característiques del pinso tractament, amb una palatabilitat disminuïda per la inclusió de la font de greix alta en MUFA. En canvi, Myer et al. (1992) i Petigrew i Moser (1991) van descriure una millora en el guany mig de pes, en aquest cas, però, deguda a una major concentració energètica de la dieta amb MUFA. Igualment, altres investigacions han indicat un augment en el nivell de greix dipositat i una disminució de proteïna en animals alimentats amb dietes amb greixos afegits (Apple et al., 2009; Stahly et al., 1991). Aquestes diferències serien atribuïbles a la major concentració energètica de les dietes riques en MUFA que s'utilitzaren en aquests estudis, i no a la pròpia inclusió d'una font de greix.

Pel que fa a les diferències entre sexes, els resultats d'aquesta prova són semblants als resultats aconseguits en estudis previs (Leach et al., 1996; Langlois & Minvielle, 1989; Latorre et al., 2003), i indiquen un major pes final i un millor guany de pes diari en els mascles castrats que no en les femelles. Així mateix, coincidint amb altres estudis, les femelles presentaren un major creixement en magre que els castrats, degut als canvis hormonals associats a la castració que afavoreixen una major ingesta i una limitació de fins al 30% en la capacitat de créixer en magre (Blasco et al., 1994; Luangpruksachai et al., 2000; Hamilton et al., 2003; Latorre et al., 2003).

Quan es van comparar els genotips, els resultats obtinguts coincidiren amb els esperats, de manera que els animals creuats amb Pietrain mostraren un creixement més lent, i una major capacitat de dipòsit proteic que els creuats amb York. Durant els darrers anys, els objectius de selecció d'aquests dos genotips han anat en aquest sentit, la línia Pietrain per a creixement en magre, mentre que la línia York ha buscat com a objectiu aconseguir un nivell de greix suficient per garantir el correcte assecat de les peces que s'obtinguin de les seves canals. Tot i així, cal destacar que els resultats de guany mig diari de pes en els animals creuats amb Pietrain, han millorat en els últims anys gràcies a l'intens treball de selecció i millora genètica per incrementar el rendiment productiu d'aquest creuament. En l'estudi de la modelització dels genotips (apartat 8.2) es discutiran més detalladament les diferències en el creixement entre genotips i sexes.

8.2. MODELITZACIÓ DEL GUANY DE PES I CREIXEMENT EN PROTEÏNA I GREIX A PARTIR DE LES MESURES IN VIVO EN DOS GENOTIPS PORCINS

Com s'ha esmentat en l'apartat anterior, l'efecte de la dieta no fou significatiu en els paràmetres productius i, per aquest motiu, la modelització del creixement es va fer basant-se en els factors raça i sexe.

Els resultats d'aquest estudi mostraren que els animals creuats amb Pietrain tenen un creixement més lent que en els genotips creuats amb York, però presentaren un major creixement en proteïna, mentre que els York van presentar un major ritme de creixement i una major capacitat per dipositar lípids. Altres estudis anteriors amb aquestes races han mostrat resultats similars (Campbell et al., 1990). S'argumenta que la selecció a favor del creixement en magre està correlacionada negativament amb al ingesta de pinso (Webb, 1996), fruit de la disminució de la capacitat del sistema digestiu i de la variació en el nivell d'hormones relacionades amb la sacietat, com la CCK-8 (colecistoquinina) (Houpt & Houpt, 1991).

Les corbes de creixement van coincidir amb investigacions prèvies que consideraven que a partir del 50-65 kg de pes viu la capacitat de dipositar magre disminueix i augmenta el creixement en greix. Els resultats d'aquest estudi, però, van posar de manifest diferències visibles entre els diferents tipus genètics, de manera que per genotips com el Pietrain aquesta capacitat de créixer en proteïna fou més mantinguda fins a pesos més elevats (60 kg en mascles castrats, 65 kg en femelles), mentre que els genotip York mostrà aquesta limitació en el creixement proteic a partir dels 50 kg (Friesen et al., 1994; Wagner et al., 1999).

La disminució del creixement proteic fou més important en mascles castrats que en femelles, ja que es calcula que la castració limita la deposició de magre al voltant del 30% (Prescott & Lamming, 1964). A més, Desmoulin i Bonneau (1979) van indicar que l'efecte de la castració és diferent segons els genotips, afectant més als genotips amb un major contingut en magre. Les femelles van presentar un creixement inferior al dels mascles castrats. Tot i que en aquest estudi no es va fer la comparació, altres estudis mostren un menor consum en femelles que en mascles castrats (Kanis & Koops, 1990; Cisneros et al., 1996). Per tant, es pot suggerir que una menor ingesta seria una de les causes que limiten el creixement de les femelles respecte als mascles castrats. En línia

amb Desmoulin i Bonneau (1979) les diferències en el creixement entre sexes van ser més evidents en els genotips amb un alt contingut en magre.

Un dels objectius de la modelització és poder ajustar les dietes administrades a les necessitats específiques de cada genotip i sexe. Tot i així, cal tenir en compte que a nivell pràctic, el programa d'alimentació pot canviar i ajustar-se en funció d'altres criteris que es considerin prioritaris, com pot ser buscar el millor rendiment econòmic, o bé el màxim creixement, el millor índex de conversió, o per maximitzar el percentatge de magre de la canal, o bé si es tracta d'alimentació restringida o *ad libitum*. En l'apartat de recomanacions pràctiques (pàgina 169), es proposaran possibles ajustaments de la dieta basats en els resultats de modelització obtinguts en aquest estudi combinats amb recomanacions actuals d'experts en nutrició (SETNA Nutrición SA).

8.3. EFECTE DE LA DIETA RICA EN MUFA EN LES CARACTERÍSTIQUES DE LA CANAL I EN EL PERFIL D'ÀCIDS GRASSOS EN ANIMALS CREUATS AMB PIETRAIN I AMB YORK

8.3.1. Qualitat de la canal i especejament

L'estudi de les característiques de les canals i de les peces nobles en ambdós genotips no va mostrar diferències significatives entre la dieta HO i la dieta CONTROL. En el creuament amb Pietrain, en tots els paràmetres avaluats es van obtenir uns resultats molt similars en ambdós tractaments i d'acord amb els resultats esperats en un genotip amb un alt contingut en magre.

En el cas del creuament (Landrace x Large White) x York fou un objectiu prioritari assegurar que tot i emprar una dieta alta en MUFA les característiques de les canals i de les peces obtingudes resultaven adequades per a la producció de productes curats, com ara pernils i espatlles. Els resultats aconseguits en l'avaluació de les canals van mostrar que no hi havia diferències significatives entre els dos grups estudiats i un nivell de greix en el punt MLOIN superior als 20 mm en ambdós grups. Segons la Fundación Jamón Serrano (2003), el nivell mínim de greix en aquest punt, just damunt del múscul *Gluteus medius* ha de ser superior als 20 mm per assegurar un bon assecat dels pernils.

Els percentatges de pes de les peces nobles obtingudes de la dissecció de les canals en ambdós genotips tampoc foren significativament diferents entre dietes.

Aquests resultats es sumarien als observats prèviament en altres estudis on la inclusió d'una font de greix alta en MUFA no va afectar a les característiques de les canals aconseguides (Bee et al., 2002; Nuernberg et al., 2005) ni al percentatge de les peces nobles més valuoses (Apple et al., 2009; Realini et al., 2010). En el cas del creuament amb York, cal destacar que tant els pernills com les espatlles obtingudes presentaven un pes adequat pel procés de curat segons indicat per la Fundación del Jamón Serrano (2003).

Pel que fa a la composició de les peces nobles en magre, greix subcutani, greix intramuscular i os, tampoc va haver-hi diferències significatives entre els porcs alimentats amb dieta HO i els alimentats amb dieta CONTROL, excepte en l'os del pernil en el creuament amb York, que va ser superior en el grup alimentat amb dieta HO. Aquests resultats coincideixen amb els d'altres estudis previs amb porcs alimentats amb diferents fonts de greix, entre elles una de rica en MUFA (Apple et al., 2009).

En línia amb el que ja ha estat descrit àmpliament (Nuernberg et al., 2005; Lebre et al., 2001; Realini et al., 2010; Dugan et al., 2004), en aquest estudi es van corroborar les diferències importants associades al sexe dels animals en l'avaluació de les característiques de la canal, el percentatge de les peces nobles i en la dissecció d'aquestes en els seus components. En aquest estudi es va treballar únicament amb femelles i mascles castrats (condició per optimitzar la qualitat sensorial del producte). En ambdós creuaments, les femelles van presentar un contingut de magre significativament major, un menor contingut de greix en les diferents nivells on es va mesurar el greix de la canal, i un major percentatge de peces nobles amb un alt contingut en magre i menor de panxeta en comparació amb els mascles castrats que varen presentar a més un nivell més elevat de greix subcutani e intramuscular. Tot i aquestes diferències, en el creuament amb York tant mascles com femelles van presentar un nivell superior a 20 mm a l'MLOIN.

8.3.2. Qualitat tecnològica i nutricional de la carn

En relació a la qualitat tecnològica i nutricional de la carn, l'estudi va mostrar un efecte estadísticament no significatiu entre els animals alimentats amb la dieta HO i la dieta CONTROL en ambdós genotips.

Tant en els porcs del creuament Pietrain, que van presentar un nivell de greix intramuscular considerat com a baix, com en els York, amb valors superiors, no es va

observar un efecte de la inclusió de MUFA en la dieta sobre el nivell de greix intramuscular (1.06 i 1.07% pels Pietrain , i 1.92 i 1.89% pels York, pel grup HO i grup CONTROL, respectivament).

En el creuament amb York, la textura representa un altre dels paràmetres importants a valorar a l'hora de seleccionar la matèria primera per l'elaboració de productes curats. En el present estudi i coincidint amb els resultats d'altres estudis previs (St. John et al., 1987), no es van trobar diferències en la textura entre femelles alimentades amb una dieta alta en MUFA i dieta CONTROL. En canvi, Rhee et al. (1988) sí que va detectar un augment de la tendresa en la carn de porcs alimentats amb la dieta HO. Una possible explicació a aquest canvi en la tendresa pot ser el tipus de font de MUFA emprada o el seu nivell d'inclusió a la dieta. En el cas dels pernills, és molt important mantenir la textura dels pernills en cru ja que aquesta té una estreta relació amb la textura final i propietats mecàniques del pernil curat i aquests són dos dels aspectes més valorats pels consumidors (Guerrero et al., 1999). A més, segons Bosi et al. (2000) canvis en la textura dels pernills, com l'augment de la tendresa, poden fer que el període d'assecat d'aquests s'allargui.

Quant a la diferència entre sexes en els paràmetres de qualitat tecnològica de la carn, en el creuament amb Pietrain només es van trobar diferències significatives pel paràmetre b^* (índex de groc), que presentà un valor més elevat en mascles castrats. En el creuament amb York, les femelles van obtenir uns valors L^* significativament més elevats que els mascles. Aquest resultat posa de manifest la variabilitat en l'avaluació del color en els diferents sexes. En el cas dels animals creuats amb Pietrain alimentats amb les mateixes dietes, van ser els mascles castrats els que van obtenir una carn més clara, amb uns valors L^* més elevats. Per contra, Cisneros et al. (1996) i Latorre et al. (2003) van obtenir pels mascles castrats una carn més fosca que les femelles, mentre que els resultats de Unruh et al. (1996) indicaren que no hi havia diferències significatives de color entre la carn de mascles castrats i femelles. Així, altres aspectes com el genotip o el pes a sacrifici s'han de tenir en compte en avaluar el color de la carn. Les característiques del color de la carn són importants ja que segons un estudi de Ngapo et al. (2007), és el factor prioritari pels consumidors en el moment de fer la seva compra, per davant del nivell de greix de cobertura o el greix intramuscular, perquè el perceben com un indicador de la frescor de la carn. Tot i així, el mateix estudi indica diferències importants entre països pel que fa a les preferències sobre el color de la carn. En mercats com el japonès, es prefereix la carn fosca i s'aprecien les carns amb un

índex de lluminositat (L^*) baix, per sota de 50 (PIC, 1997). La carn d'alguns dels mascles castrats del creuament amb Pietrain d'aquesta prova seria doncs inadequada per aquest mercat, perquè va presentar uns valors mitjos per L^* per damunt de 50. En canvi, segons Ngapo et al. (2007) altres països com Austràlia prefereixen la carn més clara amb valors L^* per damunt de 60. A Espanya sembla que la preferència no està tan marcada, tot i que guanyen aquells que prefereixen la carn fosca (Ngapo et al., 2007).

El nivell de greix intramuscular és un altre aspecte que pot influir als consumidors en el moment de fer la seva compra, perquè està relacionat amb la sucositat i palatabilitat de la carn, tot i que també hi ha diferències importants entre països i consumidors pel que fa a la seva preferència (Ngapo et al., 2007). Els nivells de greix intramuscular recomanats per millorar la palatabilitat de la carn es troben per damunt dels nivells trobats en aquest estudi, tot i que varien segons els autors. Miller (2004) parla d'un nivell mínim d'1%, Bejerholm i Barton-Grade (1986) parlen d'un 2%, mentre que DeVol et al. (1988) recomana d'un 2 a un 5% de greix intramuscular. Tenint en compte aquestes recomanacions, en el creuament amb Pietrain seria desitjable un augment en el nivell de greix intramuscular per millorar-ne la palatabilitat. En el creuament amb York els nivells de greix intramuscular obtinguts en el present estudi van ser similars a aquells que presenten altres creuaments emprats avui dia per la indústria dels curats industrials a Espanya. En aquest genotip els mascles castrats, amb un contingut superior de greix a tota la canal, van resultar amb uns nivells significativament més alts de greix intramuscular tant al múscul *Longissimus thoracis* com en el *Semimembranosus* comparat amb les femelles.

8.3.3. Perfil d'àcids grassos del greix intramuscular del *Longissimus thoracis* i del greix subcutani del *Semimembranosus*

En el creuament amb Pietrain, es va obtenir un efecte estadísticament significatiu en els nivells d'àcids grassos del greix intramuscular del *Longissimus*, i en general, els animals alimentats amb la dieta HO van presentar uns nivells més alts de MUFA i SFA, i uns nivells més baixos de PUFA que no els alimentats amb la dieta CONTROL.

L'anàlisi de la composició del greix va mostrar un augment significatiu d'un 12.5% dels nivells d'àcid oleic (C18:1) i d'un 11.6% del total de MUFA en els animals alimentats amb una dieta HO en comparació amb aquells alimentats amb una dieta

CONTROL, i, per tant, l'objectiu de modificar el perfil d'àcids grassos de la dieta per augmentar el nivell de MUFA de la carn fou aconseguit.

En el cas del creuament amb York, el perfil d'àcids grassos del greix intramuscular dels animals alimentats amb la dieta HO i amb la dieta CONTROL van ser iguals, amb l'excepció de l'àcid gamma-linolènic, amb un valor més baix ($P < 0.05$) en els animals alimentats amb la dieta HO en comparació amb els alimentats amb dieta CONTROL. No es van detectar diferències significatives entre els nivells de C18:1 ni en els de MUFA entre els dos tractaments, encara que aquests dos valors van ser numèricament més elevats en el grup alimentat amb HO en comparació amb el grup alimentat amb dieta CONTROL.

En canvi, es va obtenir un efecte estadísticament significatiu en els àcids grassos del teixit subcutani en ambdós genotips, i, en general, els animals alimentats amb dieta HO van presentar uns nivells més baixos de SFA i PUFA que els alimentats amb dieta CONTROL.

En relació als MUFA, l'avaluació del greix subcutani del pernil va mostrar un augment significatiu d'un 7.7% i 7.6% del nivell de C18:1 i d'un 7.1% i 6.8% del nivell del total de MUFA, en el creuament amb Pietrain i York respectivament, en els animals alimentats amb la dieta HO, respecte al grup CONTROL.

Els increments detectats en aquest estudi tant en greix intramuscular com subcutani, són menors a aquells detectats en altres estudis previs on s'havien emprat dietes, amb altres fonts de greix riques en MUFA, amb una concentració superior a la utilitzada en el present estudi (de 45 a 81% en Miller et al., 1990; 60% en Myer et al., 1992; vs. 43% en el present estudi). En els monogàstrics, existeix una estreta relació entre la composició d'àcids grassos de la dieta i el perfil lipídic del greix de la canal (Bee et al., 2002; Kouba et al., 2003). Així, diferències en la concentració de MUFA entre les diferents fonts pot explicar la diferent resposta en els teixits, obtenint-se en una menor resposta en aquells casos on la concentració d'àcids grassos de la dieta és menor. Busboom et al. (1991) van obtenir un increment de C18:1 similar a l'aconseguit en aquest estudi, tot i fer servir una font de greix amb un nivell de C18:1 del 55%. En aquest sentit, el percentatge de canvi en el perfil dels teixits no només depèn de la concentració de la dieta sinó també de la durada del tractament (temps superiors d'administració s'associen a una major resposta i major possibilitat d'aconseguir els nivells màxims). En el present estudi, aquesta dieta es va començar a administrar a partir dels 30 kg a una concentració de l'1.4%, mentre que Busboom et al. (1991)

iniciaren la seva inclusió posteriorment (a 53.3 kg de pes viu) i això podria explicar la resposta globalment inferior obtinguda per aquests autors.

Els resultats d'aquesta prova, on en el creuament amb Pietrain, utilitzant la mateixa dieta i durant un període de temps similar es van obtenir canvis significatius en els nivell de C18:1 i MUFA a nivell intramuscular mentre que no es van detectar canvis en el creuament amb York, posen de manifest que existeixen altres aspectes que poden afectar a la resposta del teixits i donar diferències entre estudis. Entre aquests aspectes podem incloure el pes a sacrifici, el nivell de greix de la canal i la genètica. Els animals del creuament amb Pietrain van ser sacrificats als 110 kg de pes viu, mentre que els creuats amb York es van sacrificar a 120 kg de pes viu aproximadament, i van presentar un major nivell de greix intramuscular. En aquest creuament, degut a l'efecte genètic, i a un major pes de sacrifici que suposa un major nivell de greix total a la canal, hi ha un efecte menor del greix de la dieta sobre el perfil d'àcids grassos de la canal. A més, els diferents genotips poden presentar diferents perfils d'àcids grassos, i aquests perfils presentar més o menys facilitat per modificar-se a través de la dieta en funció del genotip (Serra et al., 1988).

L'estratègia per aconseguir un major increment de MUFA en el greix de l'animal, podria ser iniciar la seva inclusió a la dieta abans en el període de creixement del porc. En aquesta prova, tot i que entre els 30 i els 60 kg de pes viu ja es va administrar una dieta enriquida amb l'1.4 % de greix ric en MUFA no fou fins als 60 kg que s'incorporà un nivell del 3.89 % de greix ric en MUFA. Cal tenir en compte les limitacions per incorporar determinats nivells de greixos en pinsos de fins a 30 kg i en pinsos de 30 a 60 kg de pes viu. En aquest tipus de pinsos es sol treballar amb un màxim de greix del 4-5% degut a temes tecnològics, ja que un nivell massa elevat de greix en dificulta la fabricació. Una altra opció fora emprar fonts de greix més riques en MUFA, per aconseguir un bon nivell de MUFA a la dieta sense augmentar massa el nivell total de greix. En el cas de Fontanilles et al. (1997) es va aconseguir una dieta amb una concentració del 54.5 % de C18:1 amb un 4% de greix afegit utilitzant oli de pinyolada.

Pel que fa a altres paràmetres relacionats amb la ingesta de greixos i la salut, en el greix intramuscular del creuament amb Pietrain es van detectar diferències significatives entre la dieta HO i la CONTROL en la ràtio PUFA/SFA, tot i que en ambdós grups els valors aconseguits es van trobar dins del nivell recomanat (>0.40; Wood et al., 2003). En el greix subcutani, no es van detectar diferències significatives

entre dietes, però la ràtio PUFA/SFA, es va situar en ambdós grups en els nivells recomanables. En la ràtio $n-6/n-3$ es van detectar diferències estadísticament significatives entre dietes en el greix intramuscular i subcutani i en ambdós casos, els animals alimentats amb la dieta HO van presentar uns nivells inferiors als dels alimentats amb dieta CONTROL. Tot i així en ambdós teixits la ràtio $n-6/n-3$ va resultar massa elevada, amb valors superiors a 4.0, establert com a nivell adequat per a una dieta saludable (Enser, 2001).

La ràtio PUFA/SFA en el creuament amb York no va diferir significativament entre les dues dietes ni en el greix intramuscular ni en el subcutani i tots els valors aconseguits es trobaren dins dels nivells recomanats (> 0.4 ; Wood et al., 2003). La ràtio $n-6/n-3$ va resultar significativament més baixa en els animals alimentats amb la dieta HO en el greix intramuscular i subcutani, però amb nivells de 19.70 i 10.78 respectivament, molt superiors al recomanat de 4. Existeixen estudis previs on s'ha aconseguit, mitjançant l'ús de dietes amb un alt contingut en MUFA, nivells més favorables de la ràtio $n-6/n-3$ tant en greix subcutani (6.71, Fontanillas et al., 1997; 9.5 en mascles castrats i 9.6 en femelles, Nuernberg et al., 2005) com en el greix intramuscular (7.2, Enser et al., 1996).

En aquest sentit, cal destacar que els cereals de la dieta, amb un elevat contingut en C18:2 $n-6$, fan que el greix del porc sigui també ric en C18:2 $n-6$, obtenint-se una ràtio PUFA/SFA favorable. Aquest mateix fet però, fa que la ràtio $n-6/n-3$, considerada un factor de risc en alguns tipus de càncers i malalties cardiovasculars, es trobi en el porc i en ambdós grups en aquest estudi, molt per damunt del valor màxim recomanat. Per aconseguir una carn amb ràtio $n-6/n-3$ més saludable, caldria augmentar els nivells de PUFA $n-3$ a la dieta i disminuir el nivell de PUFA $n-6$, sense augmentar el contingut total de PUFA, i controlant els ingredients de la dieta. Una opció seria tenir en compte els cereals a utilitzar en les dietes, limitant en el possible aquells que tenen un alt contingut en C18:2 $n-6$ (fins a un 60% en el blat o l'ordi). Tot i així, la majoria dels cereals emprats a dia d'avui en les dietes tenen un alt contingut en C18:2. Una altra opció fora utilitzar una font de greix alta en àcids grassos $n-3$, sense que es superi el nivell de greix recomanable per cada tram de pes del animals, ni el nivell de PUFA màxim recomanable al pinso ni a la carn aconseguida. Fontanilles et al. (1997) utilitzant oli de llinosa ric en C18:3 $n-3$ va aconseguir abaixar la ràtio $n-6/n-3$ fins a 1.14 en el greix subcutani. Actualment, no és habitual treballar amb restriccions a nivell d'àcids grassos en la formulació de dietes per porcs, a excepció del linoleic. En aquest cas, es

limita la seva inclusió en els pinsos fins a un nivell màxim de 1.2% en pinsos d'iniciació o de 0.8% als pinsos d'engreix (SETNA Nutrición SA). Fruit de les alteracions conegudes en la qualitat del greix i l'oxidació de la carn, existeixen a dia d'avui superfícies comercials del nostre país que exigeixen per contracte als seus proveïdors de carn de porc, complir amb uns límits màxims de nivells de linoleic.

Els resultats obtinguts en els dos genotips mostren que el greix subcutani és més insaturat que no pas l'intramuscular, ja que el subcutani presenta uns nivells més baixos de SFA i uns nivells més alts de MUFA comparat amb l'intramuscular. Aquest fet ha estat descrit prèviament per diferents autors, els quals van mostrar una major saturació del greix en els teixits més interiors del cos en comparació amb aquells que es troben a nivell més extern (Duran-Montgé et al., 2008). Segons Monziols et al. (2007) la disminució de la saturació del greix subcutani pot estar relacionada amb l'augment de la temperatura corporal i ser una adaptació del teixit adipós a la temperatura, amb l'objectiu de mantenir la fluïdesa dels lípids en els diferents teixits adiposos. Els resultats de Fontanillas et al. (1997) i Duran-Montgé et al. (2008) van indicar que els àcids grassos del teixit subcutani, bàsicament lípids de reserva, eren més fàcils de modificar que no pas els del greix intramuscular, de tipus estructural, i que, per això, es detectaven més modificacions a nivell de greix subcutani que no pas en el greix intramuscular. En el nostre estudi això va ser cert en el creuament amb York, però no en el creuament amb Pietrain, on es va observar una major resposta a la dieta en el perfil d'àcids grassos del greix intramuscular. Una explicació per aquest fet podria ser la genètica dels animals emprats en els diferents estudis. Tot i així, caldria fer noves proves amb genotips amb un alt contingut en magre per veure si s'obtenen resultats similars. Un nou repte per al futur seria també avaluar més exhaustivament el control genètic sobre mecanismes com l'expressió d'enzims lipogènics, que podria diferenciar-se segons la genètica, com s'està estudiant en el cas dels remugants (Ward et al., 2010). Doran et al. (2006) va determinar que una dieta baixa en proteïna administrada a una genètica (Landrace x Large White) x Duroc augmentava l'expressió i l'activitat de l'stearoyl-CoA desaturasa, un enzim lipogènic encarregat de catalitzar la síntesi biocel·lular dels MUFA.

Pel que fa a les diferències entre sexes en el perfil d'àcids grassos, en la genètica Pietrain no es van observar diferències en els nivells de MUFA o C18:1 ni en el greix intramuscular ni en el greix subcutani. En canvi, els mascles castrats, amb un nivell superior de greix a la canal, van presentar un nivell més alt de SFA. Aquests resultats

estan en línia amb altres estudis previs on s'ha detectat un augment del nivell de SFA al teixit adipós associat a un augment en el nivell de greix de la canal (Lo Fiego et al., 2005; Zang et al., 2007).

En el creuament amb York no es van detectar diferències significatives entre el perfil d'àcids grassos de mascles castrats i femelles (excepte en el percentatge de C14:0 del greix subcutani, que va ser significativament superior en mascles castrats), tot i que els mascles van presentar unes canals amb un contingut de greix significativament major. En aquest cas la genètica i el pes alt a sacrifici poden influir en els resultats aconseguits en el nostre estudi.

Com ja s'ha destacat a la introducció, modificar el perfil d'àcids grassos dels teixits pot tenir com a conseqüència una alteració a la vida útil de la carn o la qualitat del greix de la canal, si els nivells de PUFA són massa elevats. Els resultats del present estudi mostren que en el creuament amb Pietrain va ser possible aconseguir l'objectiu d'augmentar el nivell de MUFA i, paral·lelament, mantenir en els dos tractaments i en els dos teixits avaluats uns nivells de PUFA per sota dels nivells màxims acceptables per evitar problemes de qualitat de carn (22-23%, Bryhni et al., 2002). En el creuament amb York, tot i no aconseguir-se l'objectiu de modificar el perfil d'àcids grassos del greix intramuscular, els nivells de PUFA en ambdós teixits i dietes es van situar dins dels nivells aconsellats per evitar problemes d'oxidació de la carn.

8.4. IMPLICACIONS PRÀCTIQUES I ESTRATÈGIES FUTURES

A partir dels resultats obtinguts en aquest estudi, es podrien proposar les següents recomanacions.

8.4.1. Alimentació durant l'etapa de creixement i engreix per a una millor adequació a les necessitats de cada genotip i sexe.

- Determinar quin és l'objectiu prioritari (màxim creixement en magre, mínim cost en alimentació, màxim guany mig diari, ...) i el sistema d'alimentació (*ad libitum*, restringit) disponible per ajustar el nivell d'alimentació i obtenir el màxim benefici.

- Modelitzar per cada genètica els diferents creixements per tal d'ajustar al màxim la dieta a cada creuament, ja que dins de cada raça o línia d'una mateixa raça i / o sexe de cada empresa de genètica poden aparèixer diferències importants en el creixement i desenvolupament dels animals. D'aquesta manera s'aconseguiria un millor ajustament als requeriments de cada sector del mercat i una màxima valoració de les canals a l'escorxador.

- Les recomanacions de formulació en els animals creuats amb Pietrain, serien subministrar dietes amb una concentració energètica i de lisina elevada per maximitzar el creixement i la deposició de proteïna, especialment a l'inici de l'engreix. En els mascles castrats, a partir dels 60 kg de pes viu caldria disminuir aquests paràmetres per limitar la deposició de greix. En les femelles, es podrien mantenir uns nivells més elevats fins a pesos més alts (65-70 kg) o fins al final de l'engreix, segons el pes de sacrifici. En aquest sentit, es podria suggerir una concentració energètica similar a la utilitzada en aquest estudi (2.400 kcal d'energia neta, E.N.) i un nivell de lisina digestible al voltant del 0.95% (equivalent al 1.07 % de lisina total), i disminuir a partir dels 60 kg de pes viu aquests valors (especialment en els castrats) (2.350 kcal E.N., 0.85% lisina, tenint en compte recomanacions també utilitzades per SETNA Nutrición S.A..

- En el creuament amb York, les recomanacions per evitar un engreixament excessiu de la canal, serien aportar dietes amb un contingut moderat d'energia i proteïna, o bé en el cas d'usar dietes amb concentracions més elevades, restringir la ingesta diària o baixar la concentració de la dieta, a partir dels 50-55 kg de pes viu, en els mascles castrats, i si fos possible diferenciar per sexes, a partir de 55-60 kg en les

femelles. Els nivells recomanats en mascles castrats i femelles es trobarien per sota dels emprats en aquest estudi, situant-se al voltant de 2.350 kcal E.N., i un 0.85% de lisina digestible (equivalent a un 0.97 % de lisina total), i podrien disminuir cap a 2.325 kcal E.N. i 0.75% de lisina digestible (0.86% de lisina total) en augmentar el pes viu (SETNA Nutrición SA).

8.4.2. Administració d'una dieta rica en MUFA per millorar la qualitat nutricional de la carn de porcí

- Els resultats d'aquest estudi indiquen que caldria augmentar la inclusió de MUFA de la dieta a uns nivells superiors als aportats, per tal d'aconseguir un increment en els nivells de la MUFA en el greix i la carn de porc amb un efecte més notori sobre la qualitat nutricional pel consumidor.

- L'estratègia per aconseguir l'objectiu anterior podria ser iniciar l'administració de dietes riques en MUFA a nivell alt abans dels 60 kg de pes viu utilitzats en aquest estudi, o bé emprar fonts de greix més riques en MUFA com l'oli de pinyolada.

- Per aconseguir una carn més saludable caldria també reduir els valors de la ràtio $n-6/n-3$, que en aquest estudi es va situar molt per damunt dels nivells considerats adequats de menys de 4. Per a aconseguir-ho, s'hauria de tenir en compte el nivell d'àcids grassos $n-3$ i $n-6$ de la dieta o afegir una font de greix rica en àcids grassos $n-3$.

- Un nou repte de futur seria l'estudi detallat del control genètic de la deposició de greix i l'expressió d'enzims lipogènics i les diferències entre genètiques en aquests mecanismes.

- Finalment, assegurar sempre la supervivència econòmica del productor i avaluar si els beneficis obtinguts en la valoració del producte final aconseguit fent servir una dieta d'aquest tipus compensen el seu cost afegit i els consumidors estan disposats a pagar-ne el preu. Si és així, el productor podria oferir un producte de qualitat, més valorat per els consumidors i diferenciat de la resta de productes que existeixen al mercat i obtenir un marge de benefici econòmic superior.

BIBLIOGRAFIA

Apple, J.K., Maxwell, C.V., Galloway, D.L., Hamilton, C.R., & Yancey J.W.S. (2009). Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid composition. *Journal of Animal Science*, 87, 1441-1454.

Bee, G., Gebert S., & 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., & Barton-Grade, P.A. (1986). Effect on intramuscular fat level on eating quality of pig meat. A: *Proceedings 32nd European Meeting Meat Research Workers* (pp. 389-391). Ghent, Belgium.

Blasco, A., Gou, P., Gispert, M., Estany, J., Soler, Q., Diestre, A., & Tibau, J. (1994). Comparison of five types of pig crosses. I. Growth and carcass traits. *Livestock Production Science*, 40, 171-178.

Bosi, P., Cacciavallani, J.A., Casini, L., Macchioni, P., & Mattuzzi, S. (2000). Effect of dietary high oleic sunflower oil, copper and vitamin E on the quality of pork from pigs slaughtered at 160 kg live weight. *Italian Journal of Food Science*, 12, 77-90.

Bryhni, E.A., Kjos, N.P., Ofstad, R., & Hunt, M. (2002). Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: effects on fatty acid composition and meat, fat and sausage quality. *Meat Science*, 62, 1-8.

Busboom, J.R., Rule, D.C., Colin, D., Heald, T., & Mazhan, A. (1991). Growth, carcass characteristics, and lipid composition of adipose tissue and muscle of pigs fed canola. *Journal of Animal Science*, 69, 1101-1108.

Campbell, R.G., Johnson, R.J., King, R.H., & Taverner, M.R. (1990). Effects of gender and genotype on the response of growing pigs to exogenous administration of porcine growth hormone. *Journal of Animal Science*, 68, 2674-2681.

Castell, A.G. (1977). Effects of cultivar on the utilisation of ground rapeseed in diets for growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 57, 111-120.

Castell, A.G., & Falk, L. (1980). Effects of dietary canola seed on pig performance and back fat composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 60, 795-802.

Cisneros, F., Ellis, M., McKeith, F.K., McCaw, & Fernando, R.L. (1996). Influence of Slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of Barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74, 925-933.

Desmoulin, B., & Bonneau, M. (1979). Production des viandes de porcs males entiers ou castrés chez les types Pietrain ou Landrace Belgique. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 11, 113-120.

DeVol, D.L., McKeith, F.K., Bechtel, P.J., Novakofsky, J., Shanks, R.D., & Carr, T.R. (1998). Variation in composition and palatability traits and relationship between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *Journal of Animal Science*, 66, 385-395.

Doran, O., Moule, S.K., Teye, G.A., Whittington, F.M., Hallet, K.G., & Wood, J.D. (2006). A reduced protein diet induces stearyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formation. *British Journal of Nutrition*, 95, 609-617.

Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., Robertson, W.M., Rolland, D.C., & Larsen, I.L. (2004). Practical feeding levels of canola oil and tallow have differing effects on gilt and barrow performance and carcass composition. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 661-671.

Duran-Montgé, P., Realini, C., Barroeta, A.C., Lizardo, R., & Esteve-Garcia, E. (2008). Fatty acid tissue distribution in pigs fed different dietary fat sources. *Animal*, 2, 1753-1762.

Engel, J.J., Smith, J.W., II, Unruh, J.A., Goodbank, R.D., O'Quinn, P.R., Tockach, M.D., & Nelssen, J.L. (2001). Effects of choice white grease or poultry fat on growth performance, carcass leanness, and meat quality characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 79, 1491-1501.

Enser, M., Hallet, K., Hewett, B., Fursey, G.A.J., & Wood J.D. (1996). Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science*, 42, 443-456.

Enser, M., 2001. The role of fats in animal nutrition. A: B. Rossell, Oils and fats, Vol. 2, *Animal carcass fats* (pp. 77-122). Leatherhead, Surrey, UK: Leatherhead Publishing.

Fontanillas, R., Barroeta, A., Baucells, M.D., & Codony, R. (1997). Effect of feeding highly cis-monounsaturated, trans-, or n-3 fats on lipid composition of muscle and adipose tissue of pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3070-3075.

Friesen, K.G., Nelsen, J.L., Unruh, J.A., Goodbank, R.D., & Tockach, M.D. (1994). Effects of the interrelationship between genotype, sex, dietary lysine on growth performance and carcass composition in finishing pigs fed either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 72, 946-954.

Fundación Jamón Serrano (2003, 2009). *Pliego de condiciones para la elaboración del Jamón Serrano*. Disponible a: <http://www.fundacionserrano.org/etg.asp>.

Guerrero, L., Gou, P., & Arnau, J. (1999). The influence of meat pH on mechanical and textural properties of dry-cured ham. *Meat Science*, 52, 267-273.

Hamilton, D.N., Ellis, M., Wloter, B.F., Sckinquel, & Wilson, E.R. (2003). The growth performance of the progeny of two swine sire lines reared under different floor space allowance. *Journal of Animal Science*, 81, 1126-1135.

Houpt, D.H., & Houpt, T.R. (1991). Appetite and feeding behaviour. A: E.R. Miller, D.E. Ullrey, & A. J. Lewis (Eds.), *Swine Nutrition* (pp. 361-372). Stoneham, MA: Butterworth-Heinemann.

Kanis, E., & Koops, W.J. (1990). Daily gain, food intake and food efficiency in pigs during the growing period. *Animal Production*, 50, 353-364.

Kouba, M., Enser, M., Whittington, F.M., Nute, G.R. & Wood, J.D. (2003). Effect of a high-linoleic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pigs. *Journal of Animal Science*, 81, 1967-1979.

Langlois, A., & Minvielle, F. (1989). Comparisons of three-way and backcross swine: II. Wholesale cuts and meat quality. *Journal of Animal Science*, 67, 2025-2032.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Gracia, M.I., Nieto, M., & Mateos, G.G. (2003). Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Science*, 65, 1369-1377.

Lauridsen, C., Højsgaard, S., & Sørensen, M.T. (1999). Influence of dietary rapeseed oil, vitamin E and copper on the performance and the antioxidative and oxidative status of pigs. *Journal of Animal Science*, 77, 906-916.

Leach, L.M., Ellis, M., Sutton, S.D., McKeith F.K., & Wilson, E.R. (1996). The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of halothane carrier and negative pigs. *Journal of Animal Science*, 74, 934-943.

Lebret, B., Juin, H., Noblet, J., & Bonneau, M. (2001). The effects of two methods of increasing age at slaughter on carcass and muscle traits and meat sensory quality in pigs. *Animal Science*, 72, 87-94.

Lo Fiego, D.P., Santoro, P., Macchioni, P., & De Leonibus, E. (2005). Influence of genetic type, live weight at slaughter and carcass fatness on fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue of raw ham in the heavy pig. *Meat Science*, 69, 107-114.

Luangpruksachat, J., Jaturasitta, S., Jirarut, R., & Pongpiachan, P. (2000). Effects of dietary vitamin E and C on the quality of pork. *Kasetsart Journal Natural Science*, 34, 343-354.

Mas, G., Llavall, M., Coll, D., Roca, R., Díaz, I., Oliver, M.A., Gispert, M., & Realini, C.E., 2010. Carcass traits and fatty acid composition of tissues from Pietrain-crossed barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet. *Meat Science*, 85, 707-714.

Miller, M.F, Shackelford, S.D., Hayden K.D., & Reagan J.O. (1990). Determination of the alteration in fatty acid profiles, sensory characteristics and carcass traits of swine fed elevated levels of monounsaturated fats in diet. *Journal of Animal Science*, 68, 1624-1631.

Miller, R., K. (2004). Palatability. A: W. K. Jensen, C. Devine, M. Dikeman (Eds.), *Encyclopaedia of Meat Sciences* (pp. 256-266, Vol. 1). Elsevier Academic Press.

Monziols, M., Bonneau, M., Davenel, A, & Kouba, M. (2007). Comparison of the lipid content and fatty acid composition of intermuscular fat and subcutaneous adipose tissues in pig carcasses. *Meat Science*, 76, 54-60.

Myer, R.O., Johnson, D.D., Knauff, D.A., Gorbett, D.W., Brendemuhl, J.H., & Walker W.R., 1992. Effect of feeding high-oleic-acid peanuts to growing finishing swine on resulting carcass fatty acid profile and on carcass and meat quality characteristics. *Journal of Animal Science*, 70, 3734-3741.

Ngapo, T.M., Martin, J.-F., & Dransfield, E. (2007). International preferences for pork appearance: I. Consumer choices. *Food Quality and Preference*, 18, 26-36.

Nuernberg, K., Fischer, K., Nuernberg, G., Kuechenmeister, U., Klosowska, D., Eliminowska-Wenda, G., Fiedler, I., & Ender, K. (2005). Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. *Meat Science*, 70, 63-74.

Pettigrew, J.E., & Moser, R.L. (1991). Fat in swine nutrition. A: E.R. Miller, D.E. Ullrey & A.J. Lewis (Eds.), *Swine Nutrition* (pp. 133-146). Stoneham, MA: Butterworth-Heinemann.

PIC, 1997. Meat Quality. Understanding industry measurements and guidelines. PIC, Spring 1997, Franklin, Kentucky.

Prescott, J.H.D., & Lamming, G.E. (1964). The effects of castration on meat production in cattle, sheep and pigs. *Journal of Agricultural Science*, 63, 341-357.

Realini, C.E., Duran-Montgé, P., Lizardo, R., Gispert, M., Oliver, M.A., & Esteve-Garcia, E. (2010). Effect of source of dietary fat on pig performance, carcass characteristics, and carcass fat content, distribution and fatty acid composition. *Meat Science*, 85, 606-612.

Rhee, K.S., Davidson, T.L., Knabe, D.A., Cross, H.R., Ziprin, Y.A., & Rhee K.C. (1988). Effect of dietary high-oleic sunflower oil on pork carcass traits and fatty acid profile of raw tissues. *Meat Science*, 24, 249-260.

Serra, X, Gil, F., Pérez-Enciso, M., Oliver, M.A., Vázquez, J.M., Gispert, M., Díaz, I., Moreno, F., Latorre, R., Noguera, J.L. (1988). A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian (Guadyerbas line) and Landrace pigs. *Livestock Production Science*, 56, 215-223.

SETNA Nutrición S.A. (2010). Disponible a: www.setna.com

Stahly, T. S., Cromwell, G. L., & Terhune, D. (1991). Responses of high, medium and low lean growth genotypes to dietary aminoacid regimen. *Journal of Animal Science*, 69 (Suppl. 1), 364 (Abstr.).

St. John, L.C., Young, R.C., Knabe, D.A., Thomson, L.D., Schelling G.T., Grundy S.M., & Smith, S.B. (1987). Fatty acid profiles and sensory and carcass traits of tissues from steers and swine feed an elevated monounsaturated fat diet. *Journal of Animal Science*, 64, 1441-1447.

Unruh, J.A., Friesen, K.G., Stuewe, S.R., Dunn, B.L., Nelssen, J.L., Goodband, R.D., & Tokach, M.D. (1996). The influence of genotype, sex, and dietary lysine on pork subprimal cut yields and carcass quality of pigs fed to either 104 or 127 kilograms. *Journal of Animal Science*, 74, 1274-1283.

Wagner, J.R., Schinckel, A.P., Chen, W., Forrest, J.C., & Coe, B.L. (1999). Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *Journal of Animal Science*, 77, 1442-1466.

Ward, R.E., Woodward, B., Otter, N., & Doran, O. (2010). Relationship between the expression of key lipogenic enzymes, fatty acid composition, and intramuscular fat content of Limousin and Abredeen Angus cattle. *Livestock Science*, 127, 22-29.

Webb, A.J. (1996). Future challenges in pig genetics. *Pig News Information*, 17, 11-16.

Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard P.R., & Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*, 66, 21-32.

Zhang, S., Knight, T.J., Stalder, K.J., Goodwin, R.N., Lonergan, S.M., & Beitz, D.C. (2007). Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork Longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 85, 583-591.

9. CONCLUSIONS

a) En relació amb l'objectiu 1: Comparar els rendiments productius en mascles castrats i femelles de dos genotips porcins, un amb un alt potencial de creixement en magre (creuament amb Pietrain) i un amb un potencial mig de creixement en magre (creuament amb York), alimentats amb una dieta alta en MUFA i una dieta CONTROL.

- 1) No es van detectar diferències en els principals paràmetres productius: pes viu final, en el guany mig de pes diari, ni en la profunditat de greix o llom, entre els animals alimentats amb una dieta alta en MUFA i els alimentats amb dieta CONTROL en cap dels dos genotips avaluats.
- 2) Les femelles van presentar una major profunditat de llom mentre que els mascles castrats van presentar un major dipòsit de greix dorsal.
- 3) Els animals del creuament amb York van presentar un major pes viu final i un major guany mig diari que els del creuament amb Pietrain.
- 4) La profunditat de llom va ser superior en el creuament amb Pietrain, mentre que els animals creuats amb York van presentar un major espessor de greix dorsal.

b) En relació a l'objectiu 2: Modelitzar el creixement en mascles castrats i femelles de dos genotips porcins.

- 5) En els animals creuats amb Pietrain, els mascles castrats van mostrar una capacitat per créixer en magre fins a pesos elevats, amb el seu màxim al voltant dels 60 kg de pes viu. A partir d'aquest pes va augmentar la deposició de greix. Les femelles van presentar un menor creixement en magre i greix però es va mantenir més constant en augmentar el pes viu.
- 6) El creixement en magre en mascles castrats i femelles del creuament amb York va ser similar, i van mostrar el seu màxim al voltant dels 50 kg de pes viu. A partir d'aquest pes la deposició de greix va augmentar en ambdós sexes, però a un major nivell en els mascles castrats.

c) En relació a l'objectiu 3: Estudiar l'efecte d'una dieta rica en MUFA en la qualitat de canal i carn i en el perfil d'àcids grassos en el creuament amb Pietrain.

7) Els paràmetres que defineixen la qualitat de canal, dissecció de peces nobles i qualitat de carn no varen ser estadísticament significatius per l'efecte dieta estudiat.

8) El contingut en magre i percentatge de peces nobles va ser superior en les femelles, mentre que els mascles castrats presentaren un major contingut en greix a la canal i en les peces nobles.

9) L'ús d'una dieta alta en MUFA va evidenciar un increment significatiu dels nivells de C18:1 i MUFA tant en greix subcutani com en greix intramuscular. L'increment de C18:1 i MUFA en el greix intramuscular va ser més alt que en el greix subcutani.

10) El greix intramuscular i subcutani dels mascles castrats va presentar un nivell més elevat de SFA que el de les femelles, i el greix subcutani de les femelles va presentar un nivell més elevat de PUFA.

d) En relació a l'objectiu 4: Estudiar l'efecte d'una dieta rica en MUFA en la qualitat de canal i carn i en el perfil d'àcids grassos en el creuament amb York.

11) No es van observar diferències significatives en les característiques de les canals, en la dissecció de les peces nobles en els seus components principals, ni en la qualitat de la carn entre els animals alimentats amb una dieta alta en MUFA i dieta CONTROL.

12) Els mascles castrats van presentar un major contingut de greix a la canal i en l'especejament de les peces nobles, mentre que les femelles van presentar un major contingut en magre a la canal i a les peces nobles.

13) L'ús d'una dieta alta en MUFA no va donar cap diferència significativa en el nivell de C18:1 ni de MUFA en el greix intramuscular. En el greix subcutani, es va detectar un augment significatiu del nivell de C18:1 i MUFA en els animals alimentats amb una dieta alta en MUFA.

14) En aquest genotip no es van observar diferències entre mascles castrats i femelles pel que fa al perfil d'àcids grassos tant del greix intramuscular com del subcutani.

