

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



TESIS DOCTORAL

**Utilización de aceites vegetales en piensos de terneros
cebados según sistema de alimentación pienso y paja:
rendimientos productivos y calidad de la carne tras su
maduración**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA

PRESENTADA POR

Almudena Cabezas Albéniz

DIRECTORES

Teresa Castro Madrigal

Vicente Jimeno Vinatea

Madrid, 2018

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA

Departamento de Producción Animal



TESIS DOCTORAL

Utilización de aceites vegetales en piensos de terneros cebados según sistema de alimentación pienso y paja: rendimientos productivos y calidad de la carne tras su maduración

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR:

Almudena Cabezas Albéniz

Directores:

Dra. Teresa Castro Madrigal

Dr. Vicente Jimeno Vinatea

Madrid, 2017

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA

Departamento de Producción Animal



TESIS DOCTORAL

Utilización de aceites vegetales en piensos de terneros cebados según sistema de alimentación pienso y paja: rendimientos productivos y calidad de la carne tras su maduración

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR:

Almudena Cabezas Albéniz

Directores:

Dra. Teresa Castro Madrigal

Dr. Vicente Jimeno Vinatea

Madrid, 2017

Dña. Teresa Castro Madrigal, Profesora Titular de Universidad del Departamento de Producción Animal (Facultad de Veterinaria) de la Universidad Complutense de Madrid y D. Vicente Jimeno Vinatea, Profesor Titular de Universidad (E.T.S.I.A.A.B) de la Universidad Politécnica de Madrid,

CERTIFICAN:

Que la memoria titulada: “Utilización de aceites vegetales en piensos de terneros cebados según sistema de alimentación pienso y paja: rendimientos productivos y calidad de la carne tras su maduración” presentada por Dña. Almudena Cabezas Albéniz para optar al grado de Doctor por la Universidad Complutense de Madrid, ha sido realizada bajo nuestra dirección, y considerándola concluida, autorizamos su presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente.

Y para que así conste, firmamos el presente certificado en Madrid, Abril de 2017.

Dra. Teresa Castro Madrigal

Dr. Vicente Jimeno Vinatea

Esta Tesis Doctoral ha sido
financiada por el proyecto
CDTI: IDI-20090831.

*A mi Abu, no hay día que
no me acuerde de ti.*

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Teresa Castro Madrigal por el tiempo, el esfuerzo y sobre todo la paciencia que has tenido conmigo, gracias de corazón.

Gracias Vicente por compartir de forma desinteresada tu conocimiento y experiencia, por tus siempre acertados consejos, por enseñarme tanto, por el día a día y sobre todo, por la confianza que siempre has depositado en mí.

Al Departamento de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria, en especial a Jesús, Maite y Cristina, gracias por vuestra ayuda con los análisis de laboratorio.

Gracias al laboratorio de Química y Análisis de la E.U.I.T. Agrícola en especial a Juan y Estrella por dejarnos invadir su espacio y ayudarnos con los análisis cromatográficos.

Jorge y Roberto, gracias por los buenos momentos en el laboratorio.

Gracias Arancha e Ismael por estar siempre ahí aunque pasen los años.

A mis amigos de siempre, gracias por compartir conmigo tanto los malos como los buenos momentos.

Gracias Papá por la comprensión que has tenido durante todos estos años, gracias Mamá por ser como eres, por tu apoyo y por tu forma de entender la vida. A mi cuñada y mi sobrino, gracias por sacarme siempre una sonrisa. Gracias Hermano por tus consejos, por ellos hoy estoy aquí. A mis tíos, padrinos, primos y a mi nueva familia gracias por compartir conmigo el día a día. Y por último, gracias Meli por estar siempre a mi lado.

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| Índices | I |
| Índice general | II |
| Índice de tablas | VI |
| Índice de figuras | IX |
| Abreviaturas | X |
| Resumen general | 1 |
| Summary | 5 |
| 1. Introducción | 9 |
| 2. Objetivos | 14 |
| 3. Revisión bibliográfica | 16 |
| 3.1. Mercado de la carne de ganado bovino en el Mundo, UE-28 y España | 17 |
| 3.2. Lípidos en la nutrición de los rumiantes | 20 |
| 3.2.1. Clasificación, composición y estructura | 20 |
| 3.2.2. Metabolismo de los lípidos en el rumen | 23 |
| 3.2.3. Utilización de grasas en el cebo de terneros | 26 |
| 3.2.3.1. Tipos de grasas utilizadas en alimentación de rumiantes | 26 |
| 3.2.3.2. Rendimientos productivos | 28 |
| 3.2.3.3. Modificación del perfil de ácidos grasos | 29 |
| 3.2.4. Lípidos en la carne de vacuno y salud humana | 32 |
| 3.3. Calidad de la carne | 36 |
| 3.3.1. El pH de la carne | 36 |

| | Pág. |
|--|------|
| 3.3.2. El agua en la carne y la capacidad de retención del agua (CRA) | 37 |
| 3.3.3. El color de la carne | 38 |
| 3.4. La maduración | 40 |
| 3.4.1. Efecto de la maduración de la carne sobre sus características y el perfil de ácidos grasos | 42 |
| 3.5. Aplicación de la tecnología NIRS en la determinación de diferentes parámetros de calidad de carne | 46 |
| 4. Material y métodos | 52 |
| 4.1. Prueba Experimental I: parámetros productivos, calidad de la canal y de la carne | 53 |
| 4.1.1 Manejo de los animales | 53 |
| 4.1.2 Dietas experimentales | 55 |
| 4.1.2.1 Composición química de las dietas experimentales | 56 |
| 4.1.3. Características de la canal | 58 |
| 4.1.3.1. Peso y rendimiento de la canal | 58 |
| 4.1.3.2. Conformación, engrasamiento y pH de la canal | 59 |
| 4.1.4. Calidad instrumental de la carne | 60 |
| 4.1.4.1. Color y pigmentos de la carne | 60 |
| 4.1.4.2. Valores de pH de la carne y capacidad de retención de agua (CRA) | 61 |
| 4.1.5. Análisis químico de la carne | 62 |
| 4.1.5.1. Composición química de la carne | 62 |
| 4.1.5.2. Peroxidación inducida | 62 |
| 4.1.5.3. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular | 63 |

| | Pág. |
|--|------|
| 4.1.6. Análisis estadístico | 64 |
| 4.2. Prueba Experimental II: calidad de la carne a diferentes tiempos de maduración | 65 |
| 4.2.1. Maduración de las muestras | 65 |
| 4.2.2. Calidad instrumental de la carne | 65 |
| 4.2.3. Análisis químico de la carne | 65 |
| 4.2.3.1. Oxidación lipídica de la carne | 66 |
| 4.2.4. Análisis estadístico | 66 |
| 4.3. Prueba Experimental III: calibración NIR para la predicción humedad, proteína, pH y perfil de ácidos grasos de la carne | 67 |
| 5. Resultados | 69 |
| 5.1. Prueba Experimental I: parámetros productivos, calidad de la canal y de la carne | 70 |
| 5.1.1 Parámetros productivos y características de la canal | 70 |
| 5.1.2 Calidad instrumental de la carne | 71 |
| 5.1.2.1. Color y pigmentos de la carne | 71 |
| 5.1.2.2. Valores de pH de la carne y capacidad de retención de agua (CRA) | 72 |
| 5.1.3. Análisis químico de la carne | 73 |
| 5.1.3.1. Composición química de la carne y oxidación lipídica | 73 |
| 5.1.3.2. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular | 74 |
| 5.2. Prueba Experimental II: calidad de la carne a diferentes tiempos de maduración | 78 |
| 5.2.1. Calidad instrumental de la carne | 78 |
| 5.2.1.1. Color y pigmentos de la carne | 78 |

| | Pág. |
|---|------|
| 5.2.1.2. Valores de pH de la carne y capacidad de retención de agua (CRA) | 80 |
| 5.2.2. Análisis químico de la carne | 81 |
| 5.2.2.1. Composición química de la carne y oxidación lipídica | 81 |
| 5.2.2.2. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular | 82 |
| 5.3. Prueba Experimental III: calibración NIR para la predicción humedad, proteína, pH y perfil de ácidos grasos de la carne | 92 |
| 6. Discusión | 95 |
| 6.1. Prueba Experimental I: parámetros productivos, calidad de la canal y de la carne | 96 |
| 6.1.1 Parámetros productivos y características de la canal | 96 |
| 6.1.2 Calidad instrumental de la carne | 98 |
| 6.1.3. Análisis químico de la carne | 100 |
| 6.2. Prueba Experimental II: calidad de la carne a diferentes tiempos de maduración | 106 |
| 6.2.2 Calidad instrumental de la carne | 106 |
| 6.2.3. Análisis químico de la carne | 108 |
| 6.3. Prueba experimental III: calibración NIR para la predicción de humedad, proteína, pH y perfil de ácidos grasos de la carne | 111 |
| 7. Conclusiones | 115 |
| 8. Bibliografía | 118 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 3.1. evolución de la producción de carne de ganado bovino en el Mundo, 2012-2016 (10 ⁶ t, expresadas en kg equivalente canal) | 18 |
| Tabla 4.1. Composición en materias primas y valor nutritivo de las dietas experimentales | 57 |
| Tabla 4.2. Composición química de los tratamientos experimentales (% de MS) | 57 |
| Tabla 4.3. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos identificados) de los aceites incluidos en las dietas experimentales | 58 |
| Tabla 4.4. Equivalencias numéricas de conformación SEUROP y de engrasamiento de las canales (Piedrafito, 2000) | 59 |
| Tabla 5.1. Rendimientos productivos y características de la canal de terneros cruzados alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales | 70 |
| Tabla 5.2. Valor de las coordenadas L*, a*, b*, tono y croma del <i>Longissimus dorsi</i> de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales | 72 |
| Tabla 5.3. Valores de la concentración de hematina (µg/g de carne) y mioglobina (mg/g de carne) del musculo <i>Longissimus dorsi</i> de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales | 72 |
| Tabla 5.4. Valores de pH y capacidad de retención de agua (CRA) expresada como % de jugo exprimible del musculo <i>Longissimus dorsi</i> de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales | 73 |
| Tabla 5.5. Composición química de la carne de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales | 73 |

| | Pág |
|--|-----|
| Tabla 5.6. Valores TBARS expresados en nmoles de MDA/g de carne del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de terneros alimentados con diferentes aceites vegetales a distintos tiempos de incubación (0, 30, 60, 90 y 120 minutos) y la interacción entre ambos (dietas x minutos de incubación) | 74 |
| Tabla 5.7. Composición de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos identificados) de la grasa intramuscular del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales | 76 |
| Tabla 5.8. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el valor de las coordenadas L*, a*, b*, tono y croma del músculo <i>Longissimus dorsi</i> | 79 |
| Tabla 5.9. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la concentración hematina ($\mu\text{g/g}$ de carne) y mioglobina (mg/g de carne) del <i>Longissimus dorsi</i> . | 80 |
| Tabla 5.10. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el pH y la capacidad de retención de agua expresada como % de jugo exprimible del <i>Longissimus dorsi</i> | 81 |
| Tabla 5.11. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la humedad, la grasa bruta y la oxidación de la grasa (expresada como mg de MDA/Kg de carne) del <i>Longissimus dorsi</i> | 83 |
| Tabla 5.12. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la composición de ácidos grasos saturados (SFA) (g/100 g de ácidos grasos identificados) del <i>Longissimus dorsi</i> | 85 |

| | Pág |
|--|-----|
| Tabla 5.13. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la composición de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) (g/100 g de ácidos grasos identificados) del <i>Longissimus dorsi</i> | 86 |
| Tabla 5.14. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la composición de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) (g/100 g de ácidos grasos identificados) del <i>Longissimus dorsi</i> | 88 |
| Tabla 5.15. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre diferentes parámetros calculados del perfil de ácidos grasos del <i>Longissimus dorsi</i> | 91 |
| Tabla 5.16. Humedad, proteína, y pH de las muestras de carne de vacuno utilizadas para obtener las ecuaciones de predicción | 93 |
| Tabla 5.17. Perfil de ácidos grasos (g/100g ácido grasos identificados) de la grasa intramuscular de las muestras de carne de vacuno utilizadas para obtener las ecuaciones de predicción | 93 |
| Tabla 5.18. Calibración NIRS de la humedad, proteína, y pH de la carne de vacuno | 93 |
| Tabla 5.19. Calibración NIRS del perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular de carne de vacuno | 94 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 4.1. Comedero autopesante. Modelo de Utilidad: U201031322 | 54 |
| Figura 4.2. Rampa de temperaturas empleadas en las condiciones cromatográficas de trabajo | 58 |

ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

µg: microgramo

µm: micrómetros

a*: índice de rojo

AAs: aminoácidos esenciales

arcotang: arcotangente

b*: índice de amarillo

C*:croma

CLA: ácido linoleico conjugado

cm: centímetros

cm²: centímetros cuadrados

CRA: capacidad de retención de agua

DFD: carnes oscuras, firmes y secas

DHA: ácido docosahexaenoico

DO: densidad óptica

EPA: ácido eicosapentanoico

FID: detector de ionización a la llama

g: gramos

h*: tono

HCl: ácido clorhídrico

kg: kilogramo

km: kilómetros

L*. luminosidad o claridad

Lys: lisina

m: metros

Mb: mioglobina

MbO₂: oximioglobina

MetMb: metamioglobina

MF: materia fresca

mg/d: miligramos/día

mg: miligramo

min: minuto

mL: mililitro

mm: milímetros

MS: materia seca

MUFA: ácidos grasos monoinsaturados

n-3: ácidos grasos poliinsaturados de la familia omega 3.

n-6/*n*-3: Relación entre ácidos grasos poliinsaturados omega 6 respecto los ácidos grasos omega 3.

n-6: ácidos grasos poliinsaturados de la familia omega 6

NIR: espectroscopia de infrarrojo cercano

nm: nanómetros

°C: grado centígrado

P: probabilidad

PB: proteína bruta

PSE: carnes pálidas, blandas y exudativas

psi: unidad de presión, libra fuerza por pulgada cuadrada

PUFA: ácidos grasos poliinsaturados

RCC: rendimiento de la canal caliente

RPD: desviación estándar datos calibración/SECV

rpm: revoluciones por minuto

RQS: coeficiente de determinación

SECV: error estándar de la validación cruzada

SEP: error estándar de predicción

SFA: ácidos grasos saturados

t: tonelada

TBA: ácido tiobarbitúrico

u.m.a: unidad de masa atómica

UFC: unidad forrajera carne

UI: unidades internacionales

UV: ultravioleta

Zn: zinc

RESUMEN

RESUMEN

La carne de vacuno se ha considerado siempre como un alimento muy apreciado, con un alto valor nutritivo. Sin embargo, contiene altas cantidades de grasa rica en ácidos grasos saturados. Como consecuencia, en los últimos años ha aumentado el interés en producir carne con un perfil de ácidos grasos más saludable desde el punto de vista de la salud humana. El sistema de cebo de terneros más utilizado en España consiste en dietas a base de concentrados ricos en cereales, y paja de cereales como forraje. Como consecuencia, la carne presenta una relación en PUFA/SFA (P/S) desfavorable para el consumidor en relación a la que presentan los animales criados en sistemas extensivos que consumen pasto.

La presente tesis doctoral se llevó a cabo con el objetivo principal de estudiar la posible mejora en el perfil lipídico de la carne de terneros cebados en el sistema de alimentación pienso y paja, al incluir en las dietas aceites vegetales con distinto grado de saturación. Su efecto sobre los rendimientos productivos, la calidad de la carne y su evolución durante la maduración.

Además, mediante la aplicación de la tecnología NIRS se establecieron ecuaciones de predicción para estimar el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular, así como diferentes parámetros de la composición química de la carne.

Se utilizaron doscientos setenta terneros pasteros, procedentes de cruces entre vacas de razas autóctonas y machos de aptitud cárnica. Los animales se agruparon en 27 lotes (corrales) de 10 terneros cada uno, que fueron asignados al azar a los distintos tratamientos experimentales. Las dietas experimentales consistieron en un pienso para cebo de terneros suplementado con un 4 % de aceite de palma (control), soja o linaza. Todos los piensos se formularon para que fuesen isoenergéticos e isoproteicos.

Para el estudio del efecto del tipo de aceite (palma, soja o linaza) sobre el perfil de ácidos grasos y la calidad de la carne (Experimento I), así como para estudiar el efecto del tipo de aceite (palma, soja o linaza) y el tiempo de maduración (0, 5 y 10 días) sobre perfil de ácidos grasos y la calidad de la carne (Experimento II) se seleccionaron al azar dos terneros de cada corral. En estos animales se diseccionó su 6ª costilla, de manera que se utilizaron 27 chuletas (9 por tratamiento) para la prueba Experimental I y otras 27 chuletas para la prueba Experimental II.

El tipo de aceite incorporado en el pienso no influyó sobre el peso vivo final ni la ganancia media diaria (GMD) de los terneros. Sin embargo, los animales del tratamiento linaza, presentaron un consumo de concentrado significativamente menor que los del tratamiento control.

El tipo de aceite incorporado a las dietas no afectó al color de la carne, el pH ni la capacidad de retención de agua. Los valores de TBARS observados, expresados como nmoles de MDA/kg de carne, fueron similares con los tres aceites incorporados a las dietas, sin embargo se observaron valores crecientes a lo largo de los minutos de incubación. La grasa intramuscular de los terneros que consumieron aceites ricos en PUFA (soja o linaza) presentaron un mayor contenido en ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11). El contenido en ruménico aumentó en la grasa de los terneros que consumieron linaza, pero no en la de los terneros del tratamiento con soja, en relación al grupo control. Sin embargo, en los terneros que consumieron aceite de soja aumentó el contenido en *trans*-10, *cis*-12. La grasa intramuscular de los terneros que consumieron aceite de linaza presentó un mayor porcentaje de ácido α -linolénico (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 *n*-3), un mayor contenido en ácidos grasos de la serie *n*-3 y una mejor relación *n*-6/*n*-3. La carne de los terneros que consumieron aceite de soja o linaza presentaron un mejor índice de aterogenicidad.

En el Experimento II no se observaron diferencias estadísticamente significativas por el efecto del tipo de aceite en ninguna de las variables estudiadas relacionadas con la calidad instrumental de la carne (color, pigmentos, capacidad

de retención de agua y pH). Sin embargo la luminosidad (L^*), el tono (h^*) y el contenido de mioglobina aumentaron a los 5 días de maduración mientras que el índice de rojo (a^*) disminuyó a partir de los 5 días de maduración.

La maduración de la carne durante 0, 5 y 10 días produjo cambios en la composición en ácidos grasos de la carne: los ácidos grasos C12:0, C18:1 *cis*-9, C18:1 *cis*-11 y C18:2 *cis*-9, *cis*-12, *n*-6 disminuyeron su concentración con los días de maduración, mientras que el C20:3 *n*-6 y ácido araquidónico (C20:4 *n*-6) aumentaron su concentración con los días de maduración. El C18:2 *cis*-9, *trans*-11 presentó una tendencia ($P=0,07$) a aumentar después de 10 días de maduración. Como consecuencia, la maduración de la carne aumentó el contenido en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), aumentó la relación PUFA/SFA y aumentó en contenido en ácidos grasos de la serie *n*-6.

En el tercer Experimento utilizando la tecnología NIR se establecieron ecuaciones de predicción para estimar el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular así como diferentes parámetros de la composición química de la carne. Para ello se emplearon 100 muestras de carne liofilizada, los espectros se recogieron en la región del infrarrojo cercano en el intervalo de longitudes de onda de 1100 a 2498 nm con un espectrofotómetro de tipo monocromador, NIRSystems 5000. Mediante la tecnología NIR se puede estimar de forma rápida y precisa el contenido en proteína bruta de la carne de vacuno.

SUMMARY

SUMMARY

Beef has always been regarded as a highly valued food with a high nutritional value. However, it contains high amounts of fat rich in saturated fatty acids. As a result, the interest in producing meat with a healthier fatty acid profile in terms of human health has increased in recent years. The most common feeder system for calves in Spain consists of diets based on concentrates rich in cereals, and grain straw such as fodder. As a result, the meat presents an adverse PUFA/SFA (P/S) ratio for the consumer compared to that presented by animals bred in extensive systems that consume grass.

This doctoral thesis was carried out with the main objective of studying the possible improvement in the lipid profile of meat from calves fattened using a feed and straw feed system, by including in the diet vegetable oils with different degrees of saturation. Their effect on the productive yields, the quality of the meat and evolution during aging is studied.

Moreover, by applying near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) technology, prediction equations were established to estimate the fatty acid profile of intramuscular fat, as well as different parameters of the chemical composition of the meat.

Two hundred and seventy grazing calves were used, coming from crosses between cows of autochthonous breeds and meat-production males. The animals were grouped in 27 lots (pens) with 10 calves each, which were randomly allocated to the different experimental treatments. The experimental diets consisted of a feed for calves supplemented with 4% palm (control), soya or linseed oil. All feeds were formulated as isoenergetic and isoprotein diets.

For the study of the effect of the type of oil (palm, soya or linseed) on the profile of fatty acids and the meat quality (Experiment I), as well as to study the effect of the type of oil (palm, soya or linseed) and maturation time (0, 5 and 10 days) on the fatty acid profile and meat quality (Experiment II), two calves from each pen

were randomly selected. The 6th rib of these animals was dissected and 27 were used (9 per treatment) for experimental test I and another 27 for Experimental test II.

The type of oil added to the feed did not affect the final live weight or the average daily gain (ADG) of the calves. However, the animals from the linseed treatment group, presented a significantly lower concentrate consumption than those from the control group.

The type of oil added to the diets did not affect the colour of the meat, the pH or the water retention capacity. The values of TBARS observed, expressed as nmols of MDA/kg of meat, were similar for the three oils added to the diets, however, increased values were observed as the number of minutes of incubation rose. The intramuscular fat of the calves that consumed PUFA-rich oils (soya or linseed) showed a higher content in vaccenic acid (C18:1 *trans*-11). The rumenic acid content in the fat of calves that consumed linseed increased, but not however in the calves subject to the soya treatment in relation to the control group. However, in the calves that consumed soya oil, the content in *trans*-10, *cis*-12 increased. The intramuscular fat of the calves that consumed linseed exhibited a higher percentage of linolenic acid (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 *n*-3), higher content in *n*-3 fatty acids and an improved *n*-6/*n*-3 ratio. The meat of the calves that consumed soya or linseed oil presented a better atherogenic index.

In Experiment II no statistically significant differences were observed for the different oil types on any of the variables related to the instrumental quality of the meat (colour, pigments, water retention capacity and pH). However the lightness (L*), the hue (h*) and the content in myoglobin increased after 5 days of maturation, whereas the redness (a*) decreased as of 5 days of aging.

Meat aging at 0, 5 and 10 days produced changes in the fatty acid composition of the meat: the concentration of fatty acids C12:0, C18:1 *cis*-9, C18:1 *cis*-11 and C18:2 *cis*-9, *cis*-12, *n*-6 decreased with maturation, while the concentration of C20:3 *n*-6 and arachidonic acid (C20:4 *n*-6) increased with maturation. C18:2 *cis*-9, *trans*-11 showed a tendency (P =0.07) to increase after 10 days of maturation.

As a result, the maturation of the meat increased the content in polyunsaturated fatty acids (PUFA), increased the PUFA/SFA ratio and increased the *n*-6 fatty acid content.

In the third experiment, by using NIR technology, prediction equations were established to estimate the fatty acid profile of intramuscular fat as well as different parameters of the chemical composition of the meat. For this purpose, 100 samples of lyophilized meat were used, the spectra were collected in the region of the near infrared in the wavelength range from 1100 to 2498 nm with a NIRSystems 5000 monochromator. With NIRS technology, the crude protein content of beef can be estimated quickly and accurately.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios socioeconómicos ocurridos en nuestra sociedad, como la industrialización, la urbanización y la intensificación de la agricultura y la ganadería, han dado lugar a un aumento en la incertidumbre del consumidor en cuanto a la calidad y el origen de los productos ganaderos. Los consumidores muestran cada vez más interés por las relaciones entre dieta y salud, y demandan productos que sean seguros, pero que también tengan efectos favorables para la salud humana.

La carne de vacuno se ha considerado siempre como un alimento muy apreciado, con un alto valor nutritivo, fuente de proteínas de alto valor biológico y micronutrientes (Vitamina A, B₆, B₁₂, D, E, hierro, zinc, selenio) (Biesalski, 2005). Sin embargo, durante los últimos años, estos atributos positivos se han eclipsado por la importancia que se le ha dado a algunas características negativas, relacionadas con su elevado contenido en grasa y el efecto sobre la salud de algunos de sus ácidos grasos saturados y monoinsaturados de configuración *trans*

La presencia de lípidos en la dieta es considerada globalmente como negativa, y la mayoría de los organismos oficiales de los países desarrollados con responsabilidad en la salud de la población insisten en la recomendación de limitar su consumo. El consumo de grasas en general, y de grasas saturadas en particular, se ha relacionado con la obesidad, la incidencia de problemas cardiovasculares y con algunos tipos de tumores. Como consecuencia, el consumidor de los países desarrollados muestra cierta aversión por el exceso de grasa en todos los alimentos, sobre todo grasas saturadas, y la carne de vacuno no es una excepción. En consecuencia, el consumo de carne de vacuno en las últimas décadas ha experimentado una evolución descendente.

La alimentación de terneros para la producción de carne en la mayor parte de los países de la UE se basa en el pastoreo, y en la suplementación, en épocas del año desfavorables, con forrajes conservados. Sólo al final de sus vidas son

engordados con aportes restringidos de concentrados. En España, el principal sistema de alimentación para el engorde del ganado vacuno se basa en el suministro a voluntad de concentrados a base de cereales, subproductos de cereales y harinas proteicas (soja principalmente), junto con paja de cereales a libre disposición. Como consecuencia, la carne presenta una relación de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA)/ácidos grasos saturados (SFA) y *n-6/n-3* desfavorable para los consumidores, en relación con la de animales criados en los sistemas extensivos mencionados (De La Fuente *et al.*, 2009).

Por estos motivos, existe actualmente mucho interés en aumentar el valor añadido de la carne de vacuno mediante la disminución del contenido de ácidos grasos saturados y el aumento de los PUFA de la serie *n-3*, así como de algunos ácidos grasos bioactivos que se producen durante la biohidrogenación de las grasas a nivel ruminal, como el ácido linoleico conjugado (CLA). El ácido linoleico conjugado (CLA) es un término colectivo que describe una mezcla de isómeros geométricos y posicionales del ácido linoleico (C18:2 *n-6*). Actualmente existe un enorme interés por estos compuestos ya que se ha podido comprobar que presentan importantes efectos beneficiosos para la salud humana. Se ha demostrado que poseen un potente efecto anticancerígeno (Pariza, 2004), reducen la concentración plasmática de lipoproteínas de baja densidad, modifican la distribución de los nutrientes y el metabolismo de los lípidos, y participan en la modulación del sistema inmune (Lee *et al.*, 1994). De ellos, el isómero predominante, y biológicamente más activo es el C18:2 *cis-9, trans-11* CLA (ácido ruménico) (Griinari y Bauman, 1999). El ácido ruménico se produce durante la biohidrogenación del ácido linoleico en el rumen, aunque la fuente principal, es la síntesis endógena en la glándula mamaria y en el tejido adiposo a partir de C18:1 *trans-11* (ácido vaccénico), un intermediario que también escapa a la biohidrogenación completa en el rumen de los ácidos linoleico y α -linolénico, mediante la acción de Δ^9 -desaturasa (Griinari *et al.*, 2000).

El método más común para aumentar el contenido de C18:2 *cis-9, trans-11* (ácido ruménico) y C18:1 *trans-11* (ácido vaccénico) en la carne de rumiantes y

productos lácteos es proporcionar al animal fuentes dietéticas adicionales ricas en ácido linoleico y α -linolénico.

Los piensos comerciales para cebo intensivo de terneros se suelen suplementar con alguna grasa saturada, siendo el aceite de palma el más habitual. Los aceites no protegidos ricos en PUFA se utilizan muy poco en las dietas de rumiantes porque se supone que afectan la fermentación ruminal (Jenkins, 1993; Harfoot y Hazlewood, 1997) y, por consiguiente, disminuyen los rendimientos productivos de los animales. Sin embargo, trabajos recientes en ovejas lecheras (Gómez-Cortés *et al.*, 2008, Castro *et al.*, 2009) y en terneros (Luden *et al.*, 2009, Castro *et al.*, 2016) han demostrado que las dietas suplementadas con cantidades moderadas de aceites ricos en PUFA no protegidos modifican el perfil de ácidos grasos de la leche y de la carne, sin producir efectos adversos sobre la digestión y los rendimientos productivos.

En las dietas de los rumiantes, la fuente principal de α -linolénico son los forrajes y el aceite de la semilla de lino, mientras que el ácido linoleico se encuentra en la grasa de la mayoría de los cereales y en el aceite de las semillas de soja y de girasol. Los aceites vegetales procedentes de estas semillas oleaginosas se pueden incluir en las raciones incorporando la semilla, o bien como aceites libres. De los aceites vegetales, el más utilizado es el de soja por su mayor disponibilidad en el mercado de materias primas, y en menor medida el de girasol y linaza. Se han realizado numerosos estudios con semilla de soja o linaza, pero son muy escasos los estudios realizados con aceite de soja o de linaza incorporado como aceite libre.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que la composición química de la carne está directamente relacionada con su calidad, y si se modifica el perfil de ácidos grasos podríamos alterar la calidad y estabilidad de la carne durante su conservación. Por lo tanto, la aplicación de estrategias nutricionales que tengan como finalidad aumentar el contenido en PUFA de la carne, podrían también influenciar su longevidad, ya que los PUFA son más susceptibles al proceso de oxidación (Gray *et al.*, 1996). El tiempo de maduración de la carne tras el sacrificio, es uno de los factores que en mayor medida determinan su calidad

(Lochner *et al.*, 1980). La maduración de la carne mejora su calidad comestible ya que la hace más tierna (Matthews, 2010). Además, durante la maduración de la carne, se producen cambios de color claramente visibles en la superficie, que influyen en la aceptación de la carne por los consumidores (Cassens *et al.*, 1971, Romans y Norton, 1989). Por otra parte, algunos estudios (Alvarez *et al.*, 2009, Díaz *et al.*, 2011) han demostrado que el perfil de ácidos grasos de la carne podría modificarse durante su maduración por procesos hidrolíticos y oxidativos, y como consecuencia alterar sus propiedades.

La tecnología NIRS o espectroscopia en el infrarrojo cercano es una técnica de análisis muy implantada en las industrias agroalimentarias como herramienta de apoyo para el control de calidad de materias primas y productos (Prieto, 2006). Para obtener información sobre la calidad de la carne se utilizan diferentes técnicas, como los análisis químicos, métodos instrumentales o análisis sensoriales. Sin embargo, estas técnicas son destructivas y requieren cierto tiempo, además de tener, en muchos casos, un elevado coste económico. La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) es una de las técnicas más prometedoras para evaluar la calidad de la carne (Geesink *et al.*, 2003), ya que es un método analítico rápido, fiable y con un bajo coste de mantenimiento.

La hipótesis de partida de esta tesis doctoral es que por medio de la incorporación a los piensos para cebo intensivo de terneros, de aceite de soja o aceite de linaza, se podría aumentar el contenido en ácidos grasos poliinsaturados de la serie *n-3*, así como el contenido en ácido linoleico conjugado (CLA), dando lugar a una carne más saludable desde el punto de vista de la salud humana. Este aspecto resulta importante para poder recuperar el consumo de carne de vacuno, aumentar su valor añadido y por consiguiente la rentabilidad de los cebaderos de terneros que utilizan el sistema de alimentación a base de pienso y paja.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo fue estudiar la posible mejora en el perfil lipídico de la grasa intramuscular de la carne de terneros cebados en el sistema de alimentación pienso y paja, al suplementar las dietas con aceites vegetales. Su efecto sobre los rendimientos productivos, la calidad de la carne y su evolución durante la maduración.

Objetivos específicos:

1. Comparar los rendimientos productivos en terneros cebados en el sistema de alimentación pienso y paja, al suplementar con distintos aceites de origen vegetal (palma, soja y linaza)
2. Estudiar el efecto de suplementar las dietas para cebo de terneros con distintos aceites de origen vegetal (palma, soja y linaza) sobre el perfil de ácidos grasos y la calidad de la carne
3. Estudiar la evolución en el perfil de ácidos grasos y la calidad de la carne durante su maduración, al incluir distintos aceites de origen vegetal (palma, soja y linaza).
4. Establecer ecuaciones de predicción con la tecnología NIR para estimar el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular y diferentes parámetros de la composición química de la carne.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. MERCADO DE LA CARNE DE GANADO BOVINO EN EL MUNDO, UE-28 Y ESPAÑA

En el Mundo se producen 283.887.210 t de carne, de las cuales, la carne de vacuno representa un 21,96 %, la de aves un 28,26 % y la de porcino un 37,67 % (FAOSTAT 2010). El sector vacuno de carne en el mundo se caracteriza por la diversidad de sistemas de producción, la complejidad del comercio internacional, el incremento de la producción y el descenso lento, pero progresivo, en el consumo de carne de vacuno en los países desarrollados. Los diferentes sistemas de producción compiten entre sí en precios y calidades.

En los últimos cinco años (2012-2016), la producción de carne en el Mundo procedente de ganado bovino, ha experimentado un ligero aumento del 1,3 %. En el año 2016 la producción mundial de carne de ganado bovino fue de 60,5 millones de toneladas. Los principales países productores fueron, USA (18,8 %), Brasil (15,3 %), UE-28 (13,0 %), China (11,4 %) y la India (7,0 %). La producción total de carne de vacuno en estos cinco países representó más del 65 % de la producción mundial (Tabla 3.1. USDA, 2016).

El volumen de importaciones a nivel mundial de carne de vacuno durante el año 2016, fue de 7,7 millones de toneladas, siendo los responsables de más del 66 % de estas importaciones siete países: USA, China, Japón, Rusia, Corea del Sur, EU-28 y Egipto. Durante el mismo periodo las exportaciones alcanzaron 9,4 millones de toneladas, y cuatro países; Brasil, India, Australia y USA, exportaron más del 65 % del total (USDA, 2016).

En el año 2016, la producción de carne de vacuno en la UE-28 fue de 7,8 millones de toneladas, un 2,0 % más que en el año 2015. Tres estados miembros, Francia (19,1 %), Alemania (14,8 %) y Reino Unido (11,6 %) producen casi la mitad de la producción europea. Más de las dos terceras partes de la carne producida en la UE-28, se obtiene de animales adultos con más de dos años de edad, novillos

y vacas. La alimentación de estos animales se basa en el pastoreo y en la suplementación en épocas del año desfavorables con forrajes conservados. Solo al final de sus vidas son engordados con aportes restringidos de concentrados. El consumo medio de carne de vacuno en la UE durante el año 2016 fue de 15,3 kg equivalente canal por habitante y año (Institut de L'Élevage, 2017).

Tabla 3.1. Evolución de la producción de carne de ganado bovino en el Mundo, 2012-2016. (10⁶ t, expresadas en kg equivalente canal).

| Producción | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| USA | 11,85 | 11,75 | 11,07 | 10,82 | 11,39 |
| Brasil | 9,31 | 9,68 | 9,72 | 9,42 | 9,28 |
| UE-28 | 7,71 | 7,39 | 7,44 | 7,69 | 7,85 |
| China | 6,62 | 6,73 | 6,89 | 6,70 | 6,90 |
| India | 3,49 | 3,80 | 4,10 | 4,10 | 4,25 |
| Argentina | 2,62 | 2,85 | 2,70 | 2,72 | 2,60 |
| Australia | 2,15 | 2,34 | 2,60 | 2,55 | 2,07 |
| México | 1,82 | 1,81 | 1,83 | 1,85 | 1,88 |
| Pakistán | 1,58 | 1,63 | 1,67 | 1,71 | 1,75 |
| Turquía | 1,12 | 1,21 | 1,24 | 1,42 | 1,59 |
| Rusia | 1,38 | 1,38 | 1,37 | 1,35 | 1,34 |
| Otros | 10,06 | 10,21 | 10,46 | 9,69 | 9,59 |
| Total | 59,71 | 60,78 | 61,09 | 60,02 | 60,49 |

Fuente: USDA 2016.

España es el quinto productor de carne de vacuno en la UE-28, con una producción de 634.000 toneladas (2015), esto es el 8,4 % de la producción europea. A diferencia de lo que sucede en los principales estados miembros productores de carne de vacuno de la UE-28, en España casi la mitad de la carne de vacuno producida, se obtiene del sacrificio de animales jóvenes, de menos de 18 meses de edad, alimentados principalmente con pienso y paja *ad libitum*.

El resto de la carne de vacuno procede del sacrificio de novillos (32,6 %), vacas (17,2 %) y bueyes o toros castrados (0,5 %) (EUROSTAT, 2016).

Durante el año 2015 en España se sacrificaron 2.352.835 cabezas de ganado vacuno, un 7,9 % más que el año 2014. En el mismo periodo España importó 559.277 animales vivos, principalmente de Francia (48,6 %), Alemania (12,5 %) y Portugal (11,5 %), de los cuales la mayor parte eran terneros de menos de 80 kg de peso vivo (65 %), seguido de animales entre 160-300 kg de peso (23 %). También en el año 2015, España exportó 174.390 animales vivos, el 34 % de estos efectivos a la UE y el 66 % restante a países terceros como Líbano, Libia, Marruecos y Egipto (MAGRAMA 2016).

En concreto, en España hay dos subsectores de los que proceden los terneros que posteriormente serán cebados. Por un lado, el de vacas nodrizas o de cría, de razas cárnicas o autóctonas, cuyo objetivo es producir terneros para cebo, denominados pasteros, éstos se destetan en torno a los 6 meses de edad. Y, por otro lado, los terneros procedentes de explotaciones de vacuno de leche o de aptitud mixta, los denominados mamones, adquiridos con edades entre los 7-30 días de vida por cebaderos de mamones donde se hace el proceso de cría, hasta alcanzar los 120-150 kg de peso vivo. Una vez alcanzado esos pesos se destinan a los cebaderos tradicionales donde se engordan.

En España, a diferencia del resto de los países del centro de Europa, el principal sistema de alimentación en el cebo de ganado vacuno es el conocido como pienso y paja, en el cual, los animales reciben una dieta compuesta por concentrados a base de cereales, subproductos de cereales y harinas proteicas (soja principalmente), junto a paja de cereales a libre disposición.

3.2. LÍPIDOS EN LA NUTRICIÓN DE LOS RUMIANTES

3.2.1. CLASIFICACIÓN, COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA

Los lípidos son un grupo heterogéneo de compuestos que tienen la propiedad común de ser relativamente insolubles en agua y solubles en solventes no polares (Murray *et al.*, 2001).

Generalmente, el término grasa se emplea tanto para referirse a grasa, como a aceites y tanto uno como otro son constituyentes de las plantas y de los animales, con la misión principal de aportar energía. Los aceites suelen ser líquidos a temperatura ambiente y más reactivos químicamente, mientras que las grasas tienen consistencia sólida o semisólida.

Las grasas o glicéridos son ésteres de ácidos grasos con el alcohol trihídrico glicerol. Cuando los tres grupos alcohol se esterifican con ácidos grasos, se habla de triglicéridos. Los mono y diglicéridos, con uno o los dos grupos alcohol esterificados respectivamente, también se encuentran naturalmente, pero en menores cantidades. El tipo de ácidos grasos, y la posición en la que se esterifican con el glicerol, determina las características de los triglicéridos (Murray *et al.*, 2001).

Los fosfolípidos están compuestos por una molécula de glicerol, dos ácidos grasos, un grupo fosfato y un grupo hidrófilo, mientras que los glucolípidos contienen azúcares. Ambos forman parte de las membranas celulares y modulan su actividad. Los ésteres de colesterol también son componentes estructurales de las membranas. Están formados por colesterol y un ácido graso. El colesterol, además es precursor de esteroides hormonales, ácidos biliares y vitamina D. Los forrajes contienen mayoritariamente glucolípidos (70-80 %) y fosfolípidos (20-30 %), mientras que las semillas contienen fundamentalmente triglicéridos.

Las grasas y aceites naturales son mezclas de triglicéridos mixtos (tres ácidos grasos diferentes) o simples (los tres ácidos grasos son similares). El aceite de

linaza contiene entre un 6 y un 10 % de ácidos grasos saturados y el resto son insaturados, siendo el mayoritario el ácido α -linolénico (entre un 53,3 y un 57,3 %). Presenta un 75 % de triglicéridos mixtos y un 25 % de triglicéridos simples. El aceite de soja contiene entre un 13 y un 17 % de ácidos grasos saturados y el resto son insaturados siendo el mayoritario el ácido linoleico (54 %). Presenta un 82 % de triglicéridos mixtos y el resto son simples.

Los ácidos grasos (AG) son moléculas formadas por una cadena hidrocarbonada lineal larga con un extremo de la cadena acabado en un grupo carboxilo (-COOH). De manera general, se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios como la longitud de la cadena, su origen, o bien el grado de saturación. La clasificación según la longitud de la cadena o número de átomos de carbono fue establecida por Bloor (1943) en tres categorías:

- AG de cadena corta (AGCC o SCFA): de 4 a 6 carbonos
- AG de cadena media (AGCM o MCFA), de 8 a 14 carbonos
- AG de cadena larga (AGCL o LCFA), de 16 a 24 carbonos

Según el grado de saturación se clasifican como AG saturados (SFA), si no contienen ningún doble enlace, monoinsaturados (AGMI o MUFA), si contienen un doble enlace, o AG poliinsaturados, (AGPI o PUFA) si contienen dos o más.

Los AG saturados abundan en los animales terrestres y en el aceite de palma y coco, los MUFA predominan en el aceite de oliva y en el de colza, y los PUFA en el de girasol, maíz, soja, y linaza.

Cuando existe un doble enlace en la cadena pueden presentarse dos formas en función de la disposición en el espacio de los átomos de hidrógeno unidos a los átomos de carbono del doble enlace. Se habla de configuración *cis*, cuando los dos átomos de hidrógeno se encuentran del mismo lado del doble enlace, y de *trans*, cuando se encuentran uno a cada lado.

La mayoría de los ácidos grasos presentan configuración *cis*. Los isómeros *trans* se encuentran de forma natural en la grasa de la carne y leche de los rumiantes ya que se originan durante la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos insaturados. También se pueden originar por transformación química de los ácidos naturales en determinados procesos tecnológicos. La mayoría de los ácidos grasos de configuración *trans* se consideran negativos para la salud humana, salvo algunas excepciones como el *trans*-11 C18:1 o ácido vaccénico (Chilliard et al., 2001).

Los ácidos grasos poliinsaturados a su vez se pueden clasificar en función de donde se encuentre el primer doble enlace en la cadena, empezando a contar por el extremo del grupo metilo, en tres series principales: *n*-3 (omega-3), *n*-6 (omega-6) y *n*-9 (omega-9).

Los ácidos grasos de la serie *n*-9 no son esenciales ya que el cuerpo humano puede introducir una insaturación a un ácido graso saturado en la posición del carbono 9 y sintetizarlos a partir de una grasa saturada.

No ocurre lo mismo con los ácidos grasos *n*-6 y *n*-3, ya que nuestro organismo no puede introducir insaturaciones en dichas posiciones. De esta forma, los ácidos linoleico (C18:2, *n*-6) y α -linolénico (C18:3, *n*-3) sí son esenciales, y deben ser aportados con la dieta en proporciones bien determinadas ya que su carencia produce serias alteraciones metabólicas (Sanders, 2000). La serie *n*-6, deriva del ácido linoleico y la *n*-3 del α -linolénico. La distinción de los ácidos grasos por la posición de los dobles enlaces determina el tipo de eicosanoides que puede sintetizar el organismo a partir de los ácidos grasos. Para algunas funciones metabólicas y también estructurales, se requieren ácidos grasos poliinsaturados de mayor número de carbonos, como el ácido araquidónico (AA), ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA). Estos ácidos grasos, se forman en el organismo a partir de ácidos grasos precursores, de la serie *n*-6 o de la serie *n*-3, que son sometidos a procesos de elongación y de desaturación. El ácido linoleico se metaboliza a AA (C20:4 *n*-6) y el α -linolénico da lugar al EPA (C20:5 *n*-3) y al DHA (C20:6 *n*-3) (Nakamura y Nara, 2003).

Además de ser una fuente de energía, los PUFA de la serie *n*-6 y *n*-3, se incorporan a las membranas de las células donde son precursores de los eicosanoides, como las prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos que intervienen en numerosos procesos fisiológicos como la coagulación de la sangre o la respuesta inflamatoria e inmunológica.

3.2.2. METABOLISMO DE LOS LÍPIDOS EN EL RUMEN

La única vía metabólica para la utilización de las grasas es la β -oxidación para producir acetil-CoA, y su introducción en el ciclo de Krebs, de donde se obtiene la energía. Pero la extracción de energía en el ciclo de Krebs requiere la presencia de oxígeno, y el carácter anaerobio del rumen impide la utilización de grasas como fuente de energía por parte de las bacterias ruminales. Sin embargo, aunque no los utilizan como fuente de energía, la población microbiana actúa sobre los lípidos, modificándolos.

La digestión de la grasa incluye una fase de hidrólisis o lipólisis y otra de hidrogenación, de modo que los ácidos grasos absorbidos en el intestino son más saturados que los presentes en la ración (Doreau y Chilliard, 1997).

La hidrólisis de los lípidos de la ración se producen por acción de lipasas, galactosidasas y fosfolipasas, producidas por bacterias (principalmente *Anaerovibrio lipolytica*) y protozoos (Harfoot y Hazlewood, 1988). Se ha observado que los antibióticos y valores bajos de pH disminuyen la lipólisis. La velocidad y el grado de lipólisis pueden verse influidos por la fuente de grasa (más alto cuando son puras, que si son jabones cálcicos o integradas en una estructura celular, Doreau y Ferlay, 1994).

Según Salinas *et al.*, (2006), los ácidos grasos que resultan de la hidrólisis de la mayor parte de la grasa de la ración por acción de las enzimas microbianas en el rumen, son fundamentalmente de cadena larga. La abundancia de ácidos grasos de cadena larga altera la fermentación ruminal, cubriendo la fibra y por

tanto deprimiendo su digestión. El producto final del proceso son ácidos grasos libres y glicerol.

Palmquist y Kinsey, (1994) demostraron que la velocidad de hidrólisis ruminal está directamente relacionada con el grado de insaturación. Los aceites son hidrolizados más rápidamente que el sebo. El aceite de pescado es hidrolizado a niveles comparables al sebo (Palmquist, 1996) debido a la disposición especial de los ácidos grasos de cadena larga (C20-C22) insaturados en estos lípidos. Van Nevel y Demeyer (1996) observaron que la lipólisis disminuía para pH ruminales inferiores a 6 y que este proceso era más sensible a valores de pH bajos.

Los ácidos grasos insaturados no esterificados son muy tóxicos para las bacterias gram-positivas o celulolíticas, las bacterias metanogénicas y los protozoos (Doreau *et al.*, 1999)

Tras la hidrólisis o lipólisis, tiene lugar la hidrogenación ruminal, que alcanzan el 60-90 % de los ácidos grasos insaturados (Palmquist y Jenkins, 1980), pero el proceso de saturación depende de la presencia del grupo carboxilo libre, por lo que sólo ocurre después de la lipólisis. El producto final de los ácidos grasos poliinsaturados de 18 átomos de carbono es el ácido esteárico. El proceso de biohidrogenación lo pueden llevar a cabo multitud de bacterias normalmente presentes en el rumen, especialmente ciertas cepas de *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Bacteroides ruminicola*, *Ruminococcus albus*, y *Ruminococcus flavefaciens*, espiroqueto *Borrelia spp*, y protozoos oligótricos (Maczulak *et al.*, 1981).

Previa a la biohidrogenación tiene lugar la isomerización de la forma *cis* a su forma *trans*, un isómero más estable en el rumen. Después de la isomerización tiene lugar la biohidrogenación progresiva de las insaturaciones. Esta hidrogenación no es completa, lo que resulta en un flujo de isómeros intermedios como el ácido linoleico conjugado (CLA) al duodeno.

El balance entre la entrada y la salida de ácidos grasos en el rumen suele ser positivo (Jenkins, 1993), ya que los ácidos grasos no son digeridos en el rumen,

y debido a que las bacterias ruminales sintetizan ácidos grasos a partir de hidratos de carbono y proteínas. Como consecuencia de estos procesos, la composición de los ácidos grasos que llega al duodeno es muy diferente de la de los lípidos ingeridos. Así, mientras que los ácidos grasos ingeridos de origen vegetal contienen un número par de carbonos, son insaturados y los dobles enlaces se encuentran en posición *cis*, los ácidos grasos que alcanzan el duodeno del rumiante contienen cadenas con números pares o impares (procedentes de la síntesis microbiana) y los insaturados pueden encontrarse en configuración *cis* y *trans* (consecuencia de la saturación incompleta de los ácidos grasos insaturados).

El proceso de biohidrogenación ruminal del ácido linoleico se realiza en tres pasos (Jenkins, 1993). En primer lugar ocurre una rápida isomerización del enlace *cis*-12 a *trans*-11 dando como resultado un conjunto de isómeros (C18:2 *cis*-9, *trans*-11; *trans*-9, *cis*-11; *trans*-10, *cis*-12;...) en proporciones variables que recibe el nombre genérico de ácido linoleico conjugado (CLA), siendo el ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11) el isómero mayoritario (Piperova *et al.*, 2002). En una segunda fase, el enlace *cis*-9 es hidrogenado para formar ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11).

La biohidrogenación del ácido α -linolénico comienza igualmente con la isomerización del enlace *cis*-12 a *trans*-11, posteriormente se hidrogenan los enlaces *cis*-9 y *cis*-15 dando lugar a ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11).

El último paso es la reducción del ácido vaccénico para formar ácido esteárico (C18:0). Esta hidrogenación ocurre a una velocidad limitada, lo que tiene como consecuencia la acumulación ruminal de ácido vaccénico y un mayor paso del mismo a intestino delgado en relación al CLA (Doreau *et al.*, 2016). En determinadas circunstancias, la población microbiana se desequilibra y se alteran los patrones de fermentación ruminal, siendo entonces cuando las fermentaciones transcurren por rutas alternativas. Zened *et al.* (2011) indican que estas alteraciones en los procesos de biohidrogenación se producen cuando

se utilizan raciones con alto contenido en concentrado o con alto contenido en PUFA.

3.2.3. UTILIZACIÓN DE GRASAS EN EL CEBO DE TERNEROS

En el sistema de alimentación pienso y paja, la única manera de alcanzar los niveles energéticos necesarios, sin alcanzar niveles de almidón que conlleven riesgo de provocar acidosis, es incluir grasas. Generalmente, el porcentaje de inclusión de grasa se encuentra próximo al 4 % debido a sus efectos adversos sobre la actividad fermentativa de las bacterias ruminales a concentraciones más altas (Jenkins, 1993). También tiene interés, la posibilidad de modificar el perfil de ácidos grasos de la grasa de la carne de los rumiantes, mediante la inclusión de diferentes semillas o aceites

3.2.3.1. Tipos de grasas utilizadas en alimentación de rumiantes

Los suplementos grasos que se utilizan en alimentación animal podemos clasificarlos, según su origen, en vegetales, animales o mezcla. Dentro de las grasas de origen animal tenemos grasas poliinsaturadas, cuyo origen es marino; grasas insaturadas, las procedentes de las aves; moderadamente insaturadas, como es la manteca de porcino; saturadas, del vacuno; y mezcla de todas las anteriores.

Dentro de las grasas vegetales, los aceites de las semillas de girasol, maíz, soja y linaza contienen AG con dobles y triples enlaces y son por tanto más insaturados que los de palma o coco. Un tercer grupo de lípidos es el formado por subproductos de diversas industrias cuya materia prima original es la grasa, como las oleínas (de las grasas comestible), subproductos industriales y los destilados procedentes de las industrias del glicerol y otros.

Además, en el mercado existen las denominadas grasas protegidas o inertes, principalmente los jabones cálcicos y las grasas hidrogenadas. Los jabones cálcicos resultan de la saponificación de los AG libres con iones de calcio. A pH

normales del rumen (>6), estos jabones permanecen sin disociar, son insolubles en el líquido ruminal, y por lo tanto inertes. Sin embargo, en el abomaso, el pH disminuye, por lo que se disocian, dando lugar al calcio y a los AG libres correspondientes, que son entonces digeridos y absorbidos. Las grasas hidrogenadas se obtienen por la hidrogenación parcial de los dobles enlaces de diversas fuentes lipídicas con el fin de elevar su punto de fusión, reduciendo de esta forma su reactividad en el rumen, al ser más insolubles.

El uso de semillas oleaginosas enteras, tiene como fin aportar grasa a los animales e intentar que llegue con su perfil de AG intacto al abomaso, al encontrarse el aceite contenido dentro de las estructuras celulares de las semillas, haciéndolo más inaccesible para las bacterias lipolíticas del rumen, pero esta protección no es del todo efectiva, debido a la masticación del alimento por los animales, que rompe algunas semillas haciendo que el acceso a la grasa sea más fácil para estas bacterias. De todas formas, la inclusión de semillas enteras resulta en una menor tasa de lipólisis y por tanto de biohidrogenación ruminal de los PUFA.

Las grasas de origen animal, tienen un perfil de AG más saturados que los aceites de origen vegetal. El sebo de vacuno es más saturado (C16:0 + C18:0) que la grasa procedente de monogástricos (C18:1 + C18:2 >50%) (FEDNA, 2003), además su uso en alimentación de rumiantes es cada vez menor y su interés como fuente de grasa para incrementar el porcentaje de AG *n*-3 y CLA es nulo.

Los aceites de pescado, ricos en PUFA *n*-3 de cadena larga, AG de más de 20 carbonos, principalmente EPA y DHA tienen repercusiones negativas sobre la digestión ruminal (Kitessa et al., 2001a ; Kitessa et al., 2001b) y por tanto, no son un producto especialmente indicado como fuente suplementaria de grasa, aparte de la posibilidad de transmitir sabores desagradables a la carne.

3.2.3.2. Rendimientos productivos

Durante los últimos 30 años se han realizado numerosas trabajos sobre la suplementación con grasas en las raciones para cebo de terneros. (Zin, 1989, Clinquart *et al.*, 1995, Hess *et al.*, 2008). Los resultados obtenidos muestran una considerable variación en la respuesta según distintos factores, fundamentalmente el tipo y cantidad de la grasa utilizada.

Algunos de los estudios realizados sobre la incorporación de grasa en el cebo de vacuno señalan aumentos en las ganancias de peso con menor consumo de alimentos, lo que se traduce en una mejora entre el 5 % y el 10 % en el índice de transformación (Zinn, 1996). Otros trabajos, realizados con niveles de incorporación de grasa por encima del 5 %, señalan menores rendimientos productivos (Engle *et al.*, 2000, Griswold *et al.*, 2003, Razminowicz *et al.*, 2008). Sin embargo, la mayoría de los trabajos, a niveles de inclusión por debajo del 5 % no muestran ningún efecto sobre los rendimientos productivos del animal (Scollan *et al.*, 1997, Castro *et al.*, 2016).

Generalmente, la suplementación con grasa produce ligeros aumentos en el rendimiento a la canal, pero, por otra parte, las canales suelen presentar una mayor cantidad de grasa (Brand y Anderson, 1990, Zinn, 1996). Clinquart *et al.*, (1995) señalan que la cantidad total de tejido adiposo en la canal aumenta pero no lo hace la proporción de grasa en el músculo. Por otra parte, los trabajos de Tesfa *et al.*, (1992) y Schwarz *et al.*, (1993) observan menores porcentajes de grasa en las canales de añojos suplementados con un 5 y un 8 % de grasa respectivamente.

Zinn, (1989), al suplementar grasa con lecitina de soja no encuentra diferencias significativas en los índices zootécnicos entre los animales que recibieron el suplemento y los que no se alimentaron con grasa incorporada en la dieta. Igualmente Griswold *et al.*, (2003), señalan que añadiendo aceite de soja a la dieta no observan variaciones ni en la digestibilidad ni en la GMD. De la misma manera, otros autores observaron que alimentar a los terneros con diferentes

fuentes de PUFA *n*-3 (aceite de linaza, aceite de pescado) no va a influir en sus índices productivos (Mandell *et al.*, 1997; Scollan *et al.*, 1997).

Beaulieu *et al.*, (2002), no encontraron cambios en la ingestión de MS y la GMD de hembras Angus-Waygu alimentadas en su periodo final de cebo con un suplemento de un 5 % de aceite de soja respecto a los animales que no lo consumieron. De la misma manera, Madron *et al.*, (2002), no observaron diferencias significativas entre animales a los que se les administraron diferentes niveles de soja extrusionada.

3.2.3.3. Modificación del perfil de ácidos grasos

El control nutricional del perfil de ácidos grasos en la grasa de la carne ha recibido una considerable atención en los últimos años. El objetivo se ha centrado en modificar la relación P/S, reduciendo los ácidos grasos saturados de cadena corta y media y aumentando los PUFA; y en aumentar el contenido de los isómeros del CLA, sobre todo el ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11). Con esta finalidad, las fuentes de grasa más interesantes para incluir en las raciones de los rumiantes son las que aportan alguno de los siguientes ácidos grasos: linoleico, linolénico, EPA y DHA. El ácido linoleico se encuentra en la semilla y aceite de girasol y soja, el linolénico en la semilla y aceite de linaza y los ácidos EPA y DHA en los aceites marinos, procedentes de algas o de pescado.

El aceite de girasol y el de soja (ricos en C18:2, *n*-6) pueden aumentar el contenido en C18:1 *trans*-11 y C18:2 *cis*-9, *trans*-11 en los tejidos, pero al contrario que el aceite de linaza, no contribuyen a reducir la relación entre PUFA *n*-6/*n*-3.

Noci *et al.*, (2005), alimentando a terneros con dietas suplementadas con aceite de soja o semilla de soja, observaron un descenso en el músculo de C14:0, C16:0 y el C16:1. Resultados similares fueron obtenidos por Beaulieu *et al.*, (2002) y Madron *et al.*, (2002).

Dhiman *et al.*, (2005), encontraron en músculo una disminución en el porcentaje de C16:0 para los animales alimentados con un tratamiento suplementado con 40 g/kg de aceite de soja respecto a los terneros que recibieron una inclusión menor de aceite de soja (20 g/kg) y los animales que no fueron suplementados con aceite en su dieta. Sin embargo el C18:0 aumentó un 10 % en el tejido muscular de estos animales. Beaulieu *et al.*, (2002), señalan un incremento de C18:0 en el tejido adiposo mesentérico y pélvico-renal, pero no en el tejido subcutáneo de hembras alimentadas con dietas de 50 g/kg de aceite de soja.

Madron *et al.*, (2002), observaron en la grasa de los terneros alimentados con dietas con 19-39 g/kg de aceite de soja un incremento de un 31-40 % en el C18:1 *trans*. Igualmente, otros autores como Beaulieu *et al.*, (2002) o Dhiman *et al.*, (2005) encuentran también un aumento del C18:1 *trans* en la grasa de los terneros que consumieron dietas suplementadas con aceite de soja.

Beaulieu *et al.*, (2002), estudiando las concentraciones de los isómeros del CLA y los ácidos grasos C18:1 *trans* en terneros alimentados con diferentes niveles de inclusión de aceite de soja en las raciones, observaron que el C18:2 *trans*-10, *cis*-12 CLA y los ácidos grasos C18:1 *trans* incrementaban a medida que aumentaba el nivel de aceite de soja en la dieta, mientras que en el C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA no observaron ningún cambio. De la misma manera, Dhiman *et al.*, (2005), suplementando con aceite de soja demostraron que aumentaba el C18:1 *trans* y el C18:2 *trans*-10, *cis*-12 CLA en la carne de ternero.

Griswold *et al.*, (2003), suplementando a los terneros con un 4 % de aceite de soja en el final de cebo con una dieta basada en concentrado-forraje (80:20), observaron un descenso del contenido de CLA (2,5 mg/g de ácidos grasos) en el tejido muscular comparado con la dieta sin aceite de soja (3,1 mg/g de ácidos grasos). Sin embargo en el mismo estudio pero con una dieta basada en un 60:40 concentrado-forraje encontraron un incremento de CLA con la dieta con inclusión de aceite de soja (3,1 mg/g de ácidos grasos) frente a los animales que no recibieron aceite de soja (2,8 mg/g de ácidos grasos). Song *et al.* (2010) no encontraron diferencias significativas en el contenido de *cis*-9, *trans*-11 CLA ni de *trans*-10 *cis*-12 en terneros alimentados con dietas suplementadas con aceite

de soja, pero si vieron aumentado el contenido de PUFA, sin observar un aumento de SFA.

MacNiven *et al.*, (2011) observaron un aumento de la concentración de *cis*-9, *trans*-11 CLA en terneros cruzados alimentados con dietas suplementadas con soja extrusionada y molida y linaza extrusionada y molida, con respecto a los alimentados con semilla de colza, un mayor contenido en C18:2 en los animales alimentados con soja con respecto a los alimentados con semilla de linaza.

La semilla de lino y el aceite de linaza (ricos en C18:3, *n*-3) incorporados en las dietas de los rumiantes pueden incrementar la concentración del C18:3, *n*-3 en los tejidos y ayudar a reducir la relación *n*-6/*n*-3 de los PUFA (Scollan *et al.*, 2001). Además, también dan lugar a un incremento en la deposición de C18:1 *trans*-11 y C18:2 *cis*-9, *trans*-11 en el musculo (Nassu *et al.*, 2011, Alberti *et al.*, 2014, Noosen *et al.*, 2017).

Oliveira *et al* (2011) encontraron que suplementar cebús con semillas de algodón, soja y linaza molidas no aumento el contenido en CLA de la grasa subcutánea, pero si observaron un aumento del contenido de ácido α -linolénico y una disminución de la relación *n*-6/ *n*-3 de la grasa de los animales alimentados con semilla de linaza molida. Terneros alimentados con semilla de linaza (extrusionada o tostada) en el trabajo realizado por McNiven *et al.*, (2011) presentaron mayores concentraciones de C18:3, C20:5, C22:5 que los alimentados con soja o colza, el contenido en CLA fue igual que el de los alimentados con soja y la relación *n*-6/*n*-3 menor que en los otros dos tratamientos debido al mayor contenido de AG *n*-3 con respecto a los alimentados con soja o colza (McNiven *et al.*, 2011). De la Torre *et al.*, (2006), señalan que suplementando con semilla de lino extrusionada la dieta, se produce un incremento de CLA del 22 al 36 % en la grasa intramuscular. En el mismo trabajo observaron que todas las dietas suplementadas con semilla de lino extrusionada aumentaron sus niveles de CLA en el tejido intramuscular, frente a las que no se suplementaron con grasa. En un estudio realizado con terneros alimentados con un concentrado convencional (cereales y soja) y concentrado

suplementado con semilla de lino extrusionada y forraje, Razminowicz *et al.*, (2008) observaron, que los animales alimentados con el concentrado convencional experimentaron un aumento en la concentración de C16:1 y C18:1 *cis*, y vieron reducido su contenido en de C18:3 *n*-3 y C20:5 *n*-3 mientras que , los alimentados con semilla de lino extrusionada, mantuvieron la relación *n*-6/*n*-3 similar al de los alimentados con forraje y el contenido en DHA y EPA no se modificó.

Para conseguir un aumento de la cantidad de EPA, utilizando semilla o aceite de linaza, es necesario comenzar el suministro al inicio del periodo de crecimiento dando tiempo suficiente para la síntesis endógena e incorporación del EPA a los fosfolípidos (Raes *et al.*, 2003). Por otro lado, el incremento del aporte de ácido linolénico no tiene efecto cuantitativamente importante sobre el contenido de DHA (Wachira *et al.*, 2002; Raes *et al.*, 2003; Demirel *et al.*, 2004).

3.2.4. LIPIDOS EN LA CARNE DE VACUNO Y SALUD HUMANA

Los cambios socioeconómicos contemporáneos de nuestra sociedad, como pueden ser la industrialización, la urbanización de la sociedad y la intensificación de la agricultura y la ganadería, han dado lugar a un aumento de la incertidumbre en el consumidor en cuanto a la calidad y el origen de los productos ganaderos. En consecuencia, el consumo de carne de vacuno en las últimas décadas ha experimentado una evolución descendente.

La carne de vacuno es una fuente importante de proteínas de alto valor biológico, ricas en aminoácidos (AAs) indispensables o esenciales. Estas proteínas tienen un elevado contenido en lisina (Lys) (9,1 % PB) y son pobres en AAs azufrados. Contiene entre 3 y 4 veces más hierro hemínico que la carne de porcino o de pollo, y presenta un contenido abundante en zinc (Zn). Además, la carne de vacuno es también una fuente importante de vitaminas del grupo B, fundamentalmente de vitamina B₆ y B₁₂.

Las carnes en general tienen una composición nutricional relativamente homogénea, en lo que se refiere a proteína y micronutrientes. La composición nutritiva del músculo del ganado vacuno, es bastante constante, 75 % de agua, 19-25 % de proteínas, 1-6 % de lípidos, 1-2 % glúcidos, 1-2 % de minerales. Sin embargo, la composición química de la carne es bastante variable en cuanto al contenido en lípidos, 6 % de media y un 12 % en un filete de entrecot. Los lípidos del músculo de los terneros están constituidos por un 50 % de SFA y un 50 % de ácidos grasos insaturados, siendo predominante el ácido oleico (C18:1). Los SFA forman parte sobre todo de la grasa externa del músculo y los ácidos grasos insaturados de la grasa intramuscular. La relación PUFA/SFA es de 0,11 inferior al valor recomendado en nutrición humana, 0,45 (Geay *et al.*, 2002).

La carne de vacuno consumida en los hogares españoles en 2015 fue de apenas 254.000 toneladas (MAGRAMA, 2016), lo que viene a representar un consumo per cápita de 5,47 kg/hab/año. No cabe duda que la actual crisis económica por la que atraviesa nuestro país, juega un papel importante en esta caída del consumo, pero también la mala reputación de las carnes rojas en el sector de la medicina y nutrición humana, relacionada con el elevado contenido en grasa y el efecto de algunos de sus ácidos grasos saturados (SFA) y monoinsaturados (MUFA) de configuración *trans* sobre la incidencia a padecer patologías de tipo cardiovasculares, afectan también negativamente al consumo.

En consecuencia, en los últimos años se han llevado a cabo numerosos trabajos, y esta tesis doctoral es uno de ellos, orientados a reducir la concentración en la grasa de la carne de ganado vacuno en SFA y MUFA *trans* e intentar aumentar la proporción de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de la serie *n*-6, *n*-3 y ácido linoleico conjugado (CLA).

Actualmente parece que está claro que son fundamentalmente los ácidos grasos láurico, mirístico y palmítico los responsables del aumento en la concentración plasmática de colesterol y colesterol LDL, mientras que otros ácidos grasos mayoritarios, como el esteárico no producen estos efectos. Las recomendaciones sugieren reducir la ingestión total de ácidos grasos saturados

como el mirístico (14:0) y palmítico (16:0) y aumentar la proporción de C18 monoinsaturados y C18, 20 y 22 poliinsaturados. También se considera deseable equilibrar la relación entre ácidos grasos poliinsaturados *n*-3 y *n*-6.

Al ácido linoleico conjugado (CLA) se le atribuyen multitud de efectos favorables sobre la salud humana, debido a sus propiedades anticancerígenas, antidiabetes, antiaterogénicas y a sus efectos positivos frente a la obesidad (Pariza, 2004). Los PUFA también presentan efectos favorables sobre la salud humana, debido a su acción preventiva y curativa de ciertas patologías como el cáncer, arterioesclerosis y obesidad. Estudios *in vitro* han demostrado que los PUFA *n*-3 tienen la capacidad de reducir el crecimiento de distintas células cancerígenas humanas. Este efecto es dependiente de la concentración de los ácidos grasos *n*-3 y se relaciona con una disminución de la proliferación y un aumento de la apoptosis (Finstad *et al.*, 1998).

El panel de la EFSA (2010) sobre productos dietéticos, nutrición y alergias, recomienda, como valor dietético de referencia para la ingesta de grasas, un rango que va desde el 20 % del total de la energía consumida para el nivel inferior, hasta el 35 % para el nivel superior, en adultos. Para los niños se propone bajar del 40 % del aporte total de la energía proveniente de la ingesta de grasas, hasta un 35 %, en el tercer año de vida. A nivel de especificación de ácidos grasos, la recomendación es que el consumo de grasas saturadas y *trans* sea tan baja como sea posible, sin establecer valores de referencia para el consumo de ácidos grasos *cis* monoinsaturados o poliinsaturados, ni establecer valores de referencia para la relación ácidos grasos *n*-3/*n*-6, ni para el ácido araquidónico, ni para cualquiera de los ácidos grasos poliinsaturados *n*-6. En cambio sí se establece que el nivel adecuado de ingesta para el ácido linoleico, es del 4 %, y para el ácido α -linolénico, del 0,5 % del total de la energía consumida. También se recomienda en el informe de la EFSA (2010) un consumo de 250 mg para el ácido eicosapentaenoico (EPA) y 100 mg para el ácido decosaexaenoico (DHA) para los adultos, además de un consumo adecuado durante el embarazo y la lactancia de ácidos grasos poliinsaturados

n-3. Para el colesterol se decidió no poner nivel de referencia más allá de la limitación del consumo de grasa saturada.

En España no hay datos fiables sobre el consumo de CLA, pero en Estados Unidos, se estima que es de 150 mg/día en las mujeres y de 200 mg/día en los hombres (Ritzenthaler *et al.*, 2001). En otros países, como en Alemania, el consumo de CLA es más elevado rondando los 309 mg/día (Jahreis, *et al.* 1999). Todos estos datos se encuentran muy alejados de las cantidades diarias recomendadas.

El CLA se encuentra ampliamente distribuido en muchos alimentos, incluyendo productos animales de rumiantes y ciertos vegetales. Se considera que el consumo de CLA al que se le atribuyen propiedades beneficiosas es de 3,0 mg /g (Ramírez, 2004).

La relación entre PUFA *n*-6/*n*-3 recomendada en nutrición humana es de 2, y se considera que una relación muy superior a ésta puede aumentar el riesgo de padecer arterosclerosis y enfermedades coronarias.

En España, el principal sistema de alimentación en el cebo de terneros se basa en el suministro de paja y pienso *ad libitum*. Este sistema de alimentación provoca que la grasa depositada en la carne de estos animales tenga una relación en PUFA *n*-6/*n*-3 más elevada de lo deseable, al contrario que en las carnes producidas en los sistemas de alimentación basados en el suministro de forrajes verdes (Daley *et al.*, 2010). Steen y Porter (2003), reportaron que el contenido en CLA *cis*-9, *trans*-11 en la grasa subcutánea e intramuscular de terneros cebados en pastoreo fue tres veces más alta que en terneros engordados con concentrado.

La suplementación de las dietas con aceites vegetales y semillas de oleaginosas es una buena estrategia para incrementar el contenido en CLA en el musculo. Sin embargo, la cantidad de CLA encontrada en la carne es relativamente pequeña, en relación a la cantidad recomendada (3.500 mg/d) para que surta

efectos beneficios sobre la salud humana. Las razas de ganado vacuno que tienden a depositar mayor cantidad de grasa intramuscular, como Wagyu y sus cruces, proporcionan mayor cantidad de CLA por gramos de carne consumida.

3.3. CALIDAD DE LA CARNE

3.3.1. EL pH DE LA CARNE

El pH muscular de los animales vivos se sitúa en valores comprendidos entre 7,08-7,30. Tras el sacrificio se produce un descenso del mismo hasta alcanzar valores comprendidos entre 5,40-5,70, como consecuencia de la formación de ácido láctico mediante los procesos de glucólisis anaeróbica a partir de las reservas de hidratos de carbono presentes en el musculo (Beltrán *et al.*, 1997). Si la formación de lactato es insuficiente el pH de la carne se sitúa por encima de 5,70 y esto da lugar a lo que se denominan carnes oscuras, firmes y secas (DFD). Por el contrario, un exceso de lactato en el musculo da lugar a un descenso muy rápido del pH y se producen carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE) (Briskey, 1964).

El contenido en hidratos de carbono en el tejido muscular sólo representa el 1 % de la materia fresca. Sin embargo, la cantidad de glucógeno presente en el musculo horas antes del sacrificio, va a determinar la velocidad y la extensión de la glucólisis *post mortem*, lo que a su vez va a provocar la acidificación del musculo (pH<5,8) que influye de forma importante en el color del musculo, la textura, la capacidad de retención del agua y en la conservación de la carne (Prändl *et al.*, 1994).

Las medidas del pH de la canal se realizan a las 24 horas tras el sacrificio del animal, en el musculo *Longissimus Thoracis et Lumborum* de la media canal izquierda, entre la cuarta y quinta vértebras lumbares (Garrido *et al.*, 2005).

3.3.2. EL AGUA EN LA CARNE Y LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA (CRA)

Desde el punto de vista cuantitativo, el agua es el constituyente más importante de la carne, representa el 75 % del peso del musculo. El 70 % del agua del musculo se encuentra en las proteínas miofibrilares, el 20 % en las proteínas del sarcolema y el 10 % restante en el tejido conectivo (Hamm, 1963). Parte del agua que está en la carne puede perderse por evaporación durante los procesos de refrigeración y maduración (un 2 % de media), y también por goteo durante el despique de la canal y el seccionado de las diferentes piezas que la constituyen (hasta un 6 %). Sin embargo, el proceso en el que se pierde más agua es durante el cocinado de la carne, pudiendo representar más del 40 % (Offer y Knight, 1988).

La CRA se define como la capacidad que tienen las proteínas cárnicas para retener el agua del musculo cuando éste se somete a procesos de elaboración. De la CRA dependen otras propiedades de la carne como el color y la textura (Offer *et al.*, 1989). Igualmente, un pH de la carne excesivamente ácido (pH=5,0) provoca que los valores de la CRA sean mínimos, dado que las fibras musculares que han agotado sus reservas de ATP no pueden retener el agua celular, dando lugar a carnes de color claro, textura blando y exudadas (Sellier, *et al.*, 1988). Otros autores, señalan un aumento de la CRA cuando mayor es el pH de la carne (Hamm, 1960, Renerre 1986, Purchas, 1990).

La CRA también puede verse afectada por la temperatura y el tiempo de congelación (Parrish *et al.*, 1969). En algunos trabajos se han observado pérdidas en la CRA durante los procesos de congelación y descongelación de la carne (Añon y Calvelo, 1980), sin embargo otros autores no encontraron diferencias significativas de estos procesos sobre la CRA (Hamm, 1986).

Hamm (1986), propuso cuatro formas para medir la CRA:

- a) Pérdidas por goteo (*Drip loss*). Se mide la cantidad el agua que exuda de la carne sin aplicar fuerzas externas, mediante gravedad.
- b) Pérdidas por descongelación (*Thawing loss*). Determina el agua exudada tras el proceso de congelación y descongelación, sin aplicar ninguna fuerza externa.
- c) Pérdidas por cocinado (*Cooking loss*). Mide el líquido liberado tras calentar la carne, sin aplicar fuerzas externas.
- d) Jugo exprimible. Esta medida se hace sobre carne cruda que previamente ha podido ser descongelada, aplicando fuerzas externas por compresión, centrifugación o succión.

En este trabajo se ha determinado la CRA mediante pérdidas del jugo exprimible por compresión.

3.3.4. EL COLOR EN LA CARNE

A la hora de valorar la calidad de la carne de vacuno, el factor más importante para el consumidor es el color de la misma. El color de la carne depende sobre todo del contenido y naturaleza de la mioglobina en el musculo y de la textura de la carne. La textura de la carne se relaciona ante todo con el pH del musculo.

El contenido en mioglobina en el musculo varía con el sistema de producción, edad, animal y sistema de alimentación. También afectan a la evolución del color otros factores relacionados con las condiciones previas al sacrificio, durante el sacrificio y la maduración de la carne (Abril *et al.*, 2001).

Los diferentes colores observados en la carne se encuentran relacionados con las proporciones relativas en oxymioglobina (rojo brillante), mioglobina (rojo oscuro) y metamioglobina (gris-marrón). La estabilidad del color en la carne depende de que la mioglobina se mantengan en su forma oxido ferrosa. La oxidación de la mioglobina a metamioglobina férrica es un proceso indeseable que tiene lugar durante la conservación en refrigeración de la carne fresca. Los principales factores que afectan a la oxidación de la mioglobina y decoloración

de la carne son: la presión parcial del oxígeno, el consumo de oxígeno tisular, la presencia de iones metálicos multivalentes, la temperatura, la luz, el pH y la microflora de la carne (Carlez *et al.*, 1995).

El almacenamiento de la carne a bajas temperaturas reduce la actividad de las enzimas dependientes del oxígeno en la carne, inhibe la oxidación de la mioglobina y reduce la formación de metamioglobina.

Otros atributos relacionados con el color son el tono, la saturación y la luminosidad. El tono es la propiedad del color definida por el estado químico de la mioglobina. La saturación se refiere a la cantidad de mioglobina presente en el músculo, y la luminosidad depende del estado físico de la superficie de la carne y se refiere al grado de luminosidad de un color con relación a un gris neutro en una escala que va del negro al blanco absoluto.

El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB (CIE, 1986) ya que se presenta más uniforme en la zona de los rojos (Hernández, 1994). Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L^* (luminosidad), a^* (índice rojo) y b^* (índice de amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, intensidad de color o cromaticidad ($C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$) y tono ($h = \arctg(b^*/a^*)$).

La luminosidad o claridad depende del estado físico de la superficie de la carne. Las variaciones en la luminosidad van del blanco ($L^* = 100$) al oscuro ($L^* = 0$).

Según MacDougall (1982), todos aquellos factores que afectan a las propiedades ópticas de la carne, pueden tener influencia significativa en el color. Son numerosos los factores que influyen en el color de la carne, por un lado están los factores previos al sacrificio como son la raza, el sexo, la edad, el tipo de músculo, los sistemas de explotación, la alimentación y los factores *post mortem* como la temperatura de conservación, el enfriamiento y la iluminación en el punto de venta.

Se han llevado a cabo numerosos trabajos que estudian el efecto de la alimentación sobre las coordenadas del color y el contenido en pigmentos de la carne. Yeates *et al.*, (1975) observaron que las dietas ricas en forrajes aportan coloraciones más oscuras a la carne. De igual modo, Realini *et al.*, (2004) analizaron el efecto de alimentar terneros con pastos o con concentrado, observando valores de L* más bajos (carne más oscura) en los animales que consumieron dietas de acabado con pastos frente a los que consumieron el concentrado. Priolo *et al.*, (2001) señalan que existe un efecto claro de la alimentación sobre el color de la carne, obteniendo carnes más oscuras en terneros alimentados con pastos. Les resulta extremadamente difícil de evaluar la causa de este efecto, ya que consideran que están involucrados diversos factores además de la alimentación. Afirman que el efecto directo de la dieta sobre el color de la carne es poco frecuente y que otros factores como la grasa de la canal, el pH final de la carne, la edad animal, el peso de la canal y el contenido de grasa intramuscular presentan un efecto más claro sobre el color de la carne.

Alberti *et al.*, (2014) no encuentran efecto del tipo de alimentación durante la fase de acabado con concentrados (dieta control frente dieta con semilla de lino y dieta con semilla de lino y vitamina E) en las coordenadas del color estudiadas. Suksombat *et al.*, (2016) tampoco encuentra diferencias en las coordenadas del color medidas en la carne de terneros alimentados con piensos con diferentes aceites vegetales (aceite de palma y aceite de linaza).

3.4. LA MADURACIÓN

De todos los atributos relacionados con la textura de la carne, la ternura es la propiedad más importante desde el punto de vista de calidad de la carne para el consumidor. El proceso de ablandamiento de la carne tiene lugar en la fase *post mortem*, consiste en la degradación enzimática de la estructura miofibrilar del músculo y la degradación parcial del tejido conectivo, éste último es el principal responsable de la ternura de la carne. La maduración *post mortem* de la carne

es otro factor importante, que influye positivamente en la terneza de la misma (Campo *et al.*, 2000).

En la actualidad existen dos formas de madurar la carne de vacuno, en húmedo y en seco, en ambos casos esta técnica permite obtener carnes con más sabor, olor y mayor terneza. Durante siglos, la maduración de la carne ha sido un proceso utilizado para conservar y mejorar la terneza de la carne. Hace 50 años, lo habitual era madurar en seco, pero a medida que se desarrollan los procesos de envasado al vacío, procesado y transporte de la carne, la maduración en seco fue perdiendo importancia, aunque actualmente vuelve a estar de moda.

La maduración en húmedo consiste en envasar al vacío, piezas de la canal y almacenarlas durante un tiempo determinado, en condiciones de refrigeración. Mientras que en la maduración en seco se maduran medias canales o piezas de ésta, como pueden ser los lomos, sin envasar, en cámaras de maduración con ambiente controlado durante varios días o semanas.

Durante la maduración de la carne mejora la CRA y se produce una degradación enzimática de las proteínas y la grasa de la carne, mediante enzimas propias del musculo, que dan lugar a una carne de olor y sabor más intenso, y carne más tierna.

Los principales parámetros a tener en cuenta durante la maduración son: el tiempo, la temperatura, humedad y velocidad del viento.

En la bibliografía consultada, el tiempo de maduración es muy variable, entre 7 y 70 días, depende de la raza y sexo del animal, de su edad al sacrificio, del porcentaje de grasa en la canal y del contenido en grasa intramuscular. Para canales jóvenes, con contenido moderado en grasa intramuscular, el tiempo de maduración varía entre 7 y 28 días. En cualquier caso, periodos de maduración superior a los 120 días, no presenten ningún efecto significativo sobre el olor, sabor y terneza de la carne frente a tiempos de maduración entre 35-80 días (Dashdorj *et al.*, 2016).

Las condiciones ambientales más adecuadas para la maduración de la canal o de piezas de la misma, para mantener una buena calidad del color de la carne son: humedad relativa entre al 60-85 %, velocidad del aire entre 0,5-2,0 m/s y

temperaturas entre 0-4 °C (Boakye y Mittal, 1996). Por encima de esta temperatura de maduración, aumenta el riesgo de crecimiento bacteriano y la aparición de olores desagradables en la carne, y por debajo de 0 °C, los procesos enzimáticos de las proteínas del músculo se enlentecen.

La humedad es también un parámetro crucial durante la maduración. Si la humedad es más alta de la recomendada aumenta el riesgo de crecimiento microbiano. Para valores de humedad relativa inferior al 60 %, aumentan las pérdidas de agua por evaporación, dando lugar a carnes secas y menos jugosas (Perry, 2012).

3.4.1. EFECTO DE LA MADURACIÓN DE LA CARNE SOBRE SUS CARACTERÍSTICAS Y EL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Los cambios de color en la carne, desde el rojo cereza hasta el color castaño, son el resultado de la oxidación de la mioglobina y la formación de metamioglobina (Ismail *et al.*, 2008). En consecuencia, la formación de metamioglobina durante la maduración de la carne afecta al color de la misma. En cebo de terneros jóvenes, a medida que aumentó el tiempo de maduración, aumentó también el oscurecimiento de la grasa, probablemente debido a una progresiva oxidación y secado de la grasa de cobertura (Revilla y Vivar-Quintana, 2006).

La lipólisis es una de las principales causas responsables de la degradación lipídica de la carne. Este fenómeno tiene lugar en la carne fresca durante la maduración o el procesado y en él intervienen lipasas y fosfolipasas. La lipólisis se considera como un factor que favorece la oxidación lipídica (Nawar, 1996) sin embargo, se desconoce el mecanismo que lo promueve.

La oxidación lipídica es una de las principales causas de deterioro de la calidad de la carne durante el almacenamiento y el procesado (Asghar *et al.*, 1988; Gray *et al.*, 1996). Este proceso conduce a fenómenos como decoloración, pérdidas

por goteo, desarrollo de mal olor y mal flavor y a la producción de compuestos potencialmente tóxicos (Morrissey *et al.*, 1994; Gray *et al.*, 1996), por lo tanto la oxidación es uno de los principales factores que afectan la aceptabilidad de los productos cárnicos (Franco *et al.*, 2012)

La estabilidad oxidativa de la fracción lipídica está asociada con su composición de ácidos grasos. Algunos autores como (Morcuende *et al.*, 2003, Monin *et al.*, 2003 y Alvarez *et al.*, 2009) han demostrado que el perfil de ácidos grasos de la carne se ve modificado durante la maduración debido a procesos hidrolíticos y oxidativos. Díaz *et al.*, (2011) en su estudio sobre el efecto de la maduración sobre el perfil de ácidos grasos y características sensoriales en carne de cordero enriquecida con ácidos grasos *n*-3, afirman que la maduración refrigerada produjo una reducción en el valor nutritivo de la carne y proponen para evitar el impacto negativo que la maduración tiene en la carne de cordero enriquecida en ácidos grasos *n*-3, incluir antioxidantes en la dieta de los corderos para evitar la oxidación de estos ácidos grasos.

Alvarez *et al.*, 2009 afirman que tanto los lípidos polares como los ácidos grasos libres de la fracción lipídica presentaron grandes cambios durante el almacenamiento en atmosferas modificadas (MAP) durante 0, 14, 21 y 28 días en carne de cordero, además afirman que suplementar las dietas de cebo de corderos con 250 mg de acetato- α -tocoferol/kg previene la oxidación de los PUFA del total de los lípidos y de los lípidos de la fracción polar en carne de cordero almacenada en atmosferas modificadas (MAP) y que son necesarios 500 mg de acetato- α -tocoferol/kg para prevenir la oxidación de los PUFA de los ácidos grasos libres. Sin embargo Insausti *et al.*, (2004) únicamente encuentran pequeños cambios en la composición de ácidos grasos de la carne de vacuno de diferentes razas españolas almacenada en atmosferas modificadas durante 0, 5, 10 y 15 días

La oxidación es el indicador de la conversión del pigmento rojo del musculo (mioglobina) en marrón (metamioglobina) y del desarrollo sabores y olores a rancio debido a la degradación de los PUFA en las membranas de los tejidos (Wood *et al.*, 1997). El efecto de la maduración sobre la oxidación lipídica es

controvertido, algunos autores como Jiang *et al.*, (2010) no encuentran efecto de los días de maduración sobre el valor de TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) en carne de vacuno madurada 14 días, sin embargo otros como, Insausti *et al.*, (2001) en su estudio sobre la maduración de carne de vacuno de diferentes razas españolas encuentran que los valores de TBA aumentaron durante la maduración (0, 5, 10 y 15 días).

Alberti *et al.*, (2014) afirman que las alteraciones en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados no tiene ningún efecto negativo sobre la estabilidad del color durante la maduración. El color es un indicador importante de la calidad de la carne fresca y se determina principalmente por la cantidad y el estado redox de la mioglobina (Fox, 1987). Durante la maduración se producen cambios claramente visibles del color en la superficie muscular que influyen en la aceptación de la carne por parte de los consumidores (Feldhusen *et al.*, 1995).

En la etapa *post-sacrificio* puede variar el estado químico de la mioglobina. Después del sacrificio y durante la glucólisis *post-mortem*, cada músculo de la canal está sujeto a diferentes secuencias de temperatura y pH (Lawrie, 1998). Este hecho condiciona la mayor o menor estabilidad intrínseca del color por verse afectados de forma diferente los músculos en los que tiene lugar la oxidación de mioglobina y reducción a metamioglobina (Hood, 1980).

Según Chasco *et al.*, (1997), la maduración origina un aumento en los parámetros a^* y C^* que determinan la aparición de un color más rojo ($>a^*$) y más intenso ($>C^*$) en la carne. Algunos autores correlacionan positivamente la apreciación del color de la carne por el consumidor con el parámetro a^* , lo que permite afirmar que el color de la carne mejora con la maduración.

Oliete *et al.*, (2006) en su estudio sobre la maduración al vacío de carne de ternera de raza Rubia Gallega encuentran un aumento significativo en las coordenadas a^* y b^* a lo largo de los días de maduración (1, 7, 14 y 21 días) estabilizándose a los 21 días, afirmando que se obtiene carnes más atractivas y apetecibles al consumidor con una alta luminosidad y una tonalidad más rosada

que se van a mantener durante los periodos de maduración. Ruiz de Huidobro *et al.*, (2003) también encuentran cambios en el color durante la maduración de carne de vacuno madurada durante 1, 3 y 6 días. Por el contrario Viera *et al.*, (2006) en su estudio sobre la el efecto de la maduración en carne de terneros de raza rustica y cruces con raza Charolais no encuentran diferencias en las coordenadas del color medidas a los 3, 7, 10 y 14 días en carne almacenada al vacío.

Boakye *et al.*, (1996) encuentran un incremento gradual en el valor de L* en maduraciones de 0, 2, 4, 8, 12 y 16 días y obtiene mayores valores de L* en carnes envasadas al vacío. Del mismo modo Insausti *et al.*, (2001) obtienen valores crecientes de L* durante los días de maduración (0, 5, 10 y 15 días) y afirman que aunque las variaciones en los valores de L* se han atribuido a los cambios en la estructura de la carne durante la maduración, especialmente la desnaturalización de las proteínas, lo que da lugar a una mayor dispersión y, por tanto, a una mayor ligereza, sus resultados pueden ser debidos a que L* puede verse afectada por la pérdida de agua ya que estas variables se correlacionaron positivamente.

Las pérdidas de agua durante la maduración se originan por cambios en las miofibrilolas causadas por el rigor mortis (Honikel, 1997) y tras el sacrificio aumenta el jugo exprimible (Offer *et al.*, 1989). Insausti *et al.*, (2001) en su estudio sobre la vida útil de la carne de vacuno de diferentes razas españolas almacenadas en atmosferas modificadas, encuentran que durante la maduración de la carne en atmosferas modificadas las pérdidas de agua son mayores a los 10 días de maduración (2 %) y permanecen constantes a partir de los 15 días. Zamora *et al* (1996) afirman que la capacidad de retención de agua disminuye durante las 24h *post mortem* y después se mantiene constante y Ruiz de Huidobro *et al.*, (2003) en su estudio sobre los cambios en las características de la carne de ternera y ternero durante 6 días *post mortem*, no encuentran diferencias en la capacidad de retención de agua medida como jugo exprimible al aumentar los días de maduración (1, 3 y 6 días) en carne de terneros, sin embargo encuentran que el jugo exprimible en la carne de ternera disminuyó

significativamente entre el primer y tercer día. Revilla y Vivar-Quintana (2006) no encuentran diferencias significativas en el jugo exprimible en la carne de terneros de raza Charoláis y Limousine durante 3, 5 y 7 días de maduración, los valores que obtienen son menores que los encontrados en otros estudios, hecho que justifican ya que los animales fueron sacrificados muy jóvenes, sin embargo si encuentran diferencias en la capacidad de retención de agua entre las razas estudiadas, presentando menores valores de jugo exprimible en los terneros de raza Limousine a los 3 y 5 días de maduración que en los de raza Charolais.

3.5. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA NIRS EN LA DETERMINACIÓN DE DIFERENTES PARÁMETROS DE CALIDAD DE CARNE

La tecnología NIRS o espectroscopia en el infrarrojo cercano es una técnica de análisis muy implantada en las industrias agroalimentarias como herramienta de apoyo para el control de calidad de materias primas y productos (Prieto, 2006). Forma parte del campo de estudio de la espectroscopia molecular, la cual estudia la interacción de la radiación electromagnética con la materia (Heise y Winzen, 2004) y se basa en la existencia de relaciones entre las características físicas, químicas y sensoriales de un producto con la absorbancia a longitudes de onda específicas en la región del infrarrojo cercano, definida esta, como la zona del espectro magnético que se encuentra entre la radiación visible y la del infrarrojo (700-3000 nm).

Los equipos NIR están formados por: una fuente de energía radiante, un dispositivo para la discriminación de las longitudes de onda, un sistema de presentación de muestra, un detector para convertir la energía radiante en señal eléctrica y un procesador de la señal.

El fundamento de la espectroscopia en el infrarrojo cercano consiste en la emisión de un haz de luz monocromática sobre la muestra, la cual realizará una absorción de la energía en función de su naturaleza y composición (esta energía de absorción se puede expresar a partir de la reflectancia, y es precisamente esta medida a diferentes longitudes de onda lo que origina un patrón ondulante

conocido como espectro) y reflejará otra cantidad, que será cuantificada por los detectores del NIR y así de forma indirecta se obtendrá la cantidad de energía absorbida, la relación entre la energía absorbida con la composición analítica de las muestras de calibración, permite obtener modelos de predicción para el análisis automático de las muestras (Prieto, 2006).

Los datos espectrales obtenidos pueden ser empleados para análisis cualitativo o para análisis cuantitativo, para ello, es necesario realizar una calibración NIR. La calibración consiste en usar un conjunto de muestras para desarrollar una relación matemática entre los espectros generados por el instrumento y los valores químicos obtenidos por el método de referencia de laboratorio (Windham *et al.*, 1989). La forma usual de medir la relación entre los espectros y los datos obtenidos por el método de referencia, es el análisis de regresión (Hruschka, 1987). Gran parte de la precisión de las ecuaciones obtenidas vendrá condicionada por la calidad de los datos analíticos de referencia.

Para llevar a cabo el proceso de calibración en primer lugar hay que seleccionar el conjunto de muestras a calibrar y luego recoger sus espectros. Además hay que analizar las muestras elegidas por vía húmeda con el método de referencia para posteriormente mediante el uso de diferentes tratamientos matemáticos elegir la mejor ecuación de calibración. Una vez obtenidas las ecuaciones de calibración se realizará la validación del modelo con un conjunto de muestras diferentes a las del grupo de calibración.

Las ecuaciones se juzgan en función de su precisión. La precisión de las ecuaciones se define como la proximidad de los valores predichos a los valores utilizados como referencia. Hay numerosos estadísticos que son de gran ayuda para interpretar los resultados NIR, como el error estándar de calibración (SEC), el error estándar de validación (SECV), el ratio RPD o el coeficiente de determinación (RQS o R^2), este último se define como el porcentaje de varianza existente entre los valores NIRS que puede ser explicado por la varianza de los valores de referencia, por lo que, un valor bajo de RQS podría ser indicativo de una mala elección del grupo de muestras de calibración o de una mala

preparación previa de las muestras o de altos errores de laboratorio en los datos de referencia.

En contraste con las técnicas convencionales de análisis de los parámetros de calidad, la técnica NIR es utilizada en el análisis de los alimentos ya que ofrece algunas ventajas sobre los métodos convencionales, por un lado las muestras no se destruyen y además, nos proporciona medidas rápidas, es también un técnica no contaminante y económica con simplicidad en su manejo y de una forma simultánea, es capaz de valorar numerosas propiedades de la carne (Osborne *et al.*, 1993).

La industria cárnica es un importante sector económico en los países desarrollados que cada vez demandan productos de más calidad. La carne es un producto heterogéneo, su composición química, tecnológica y sensorial está muy influenciada por diferentes factores antes del sacrificio (raza, sexo, edad, sistemas de manejo y peso al sacrificio) y por diferentes factores *post mortem* (tiempo de maduración, temperatura, conservación) (Andrés *et al.*, 2007, Venel *et al.*, 2001). Diferentes técnicas como los análisis químicos, métodos instrumentales o análisis sensoriales se usan para dar información de la calidad de la carne. Sin embargo, estas técnicas son destructivas y precisan de tiempo, no se pueden realizar en el momento además de tener en muchos de los casos un elevado coste económico. La tecnología NIR puede proporcionar información completa sobre los constituyentes químicos en una muestra escaneada, por lo que es, una herramienta conveniente para caracterizar los alimentos (Andrés *et al.*, 2007, Wu *et al.*, 2008). La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) es una de las técnicas más prometedoras para evaluar la calidad de la carne (Geesink *et al.*, 2003), ya que es un método analítico rápido, fiable y con un bajo coste de mantenimiento.

Está demostrado que la técnica NIR es capaz de predecir la composición química de este producto así como algunos de los parámetros que definen su calidad (Alomar *et al.*, 2003, Liu *et al.*, 2003, Prieto *et al.*, 2008). Mediante la construcción de modelos de calibración entre los espectros NIRS y los valores resultantes de

las técnicas tradicionales de análisis químico, sensorial o instrumental, se puede obtener una predicción precisa de algunos atributos complejos de la calidad de la carne (Sierra *et al.*, 2008).

Hay numerosos estudios para la predicción de las propiedades de la carne, particularmente la composición química (Tøgersen *et al.*, 1999, Prieto *et al.*, 2014).

El componente mayoritario en la carne de vacuno es el agua y representa el 75 % del peso de la materia fresca. En cuanto a la estimación del contenido de humedad mediante la tecnología NIRS, la mayoría de los estudios obtienen una buena capacidad de predicción, Tøgersen, *et al.*, (2003) obtienen $R^2=0,92$ y Ripoll *et al.*, (2008) $R^2=0,86$, aunque según Cozzolino *et al.*, (2002), el análisis de la humedad en muestras de carne podría verse obstaculizado por variaciones de la humedad relativa, causando cambios en el contenido de humedad durante la preparación de las muestras.

Las proteínas presentes en la carne representan el 22 % del peso de la materia fresca, en cuanto a calidad de la carne se refiere, interviene en los mecanismos de contracción y relajación así como en los procesos de maduración de la carne.

Mediante la tecnología NIRS en general, se han obtenido resultados aceptables en la estimación del contenido en proteína bruta en muestras de carne de vacuno, Prieto (2006) y Alomar *et al.*, (2003) obtienen $R^2=0,94$ y $R^2=0,82$ respectivamente, sin embargo en otros trabajos este porcentaje de variación explicado por los espectros NIR ha sido inferior (Tøgersen *et al.*, 2003), hecho que los autores justifican en que las variaciones en las predicciones pueden deberse a errores del muestreo, el modo de presentación de las muestras escaneadas o falta de homogeneidad de las muestras. Además Lanza, (1983) afirma que el método de referencia que se utiliza para determinar el contenido de proteína bruta, mide el contenido de nitrógeno, excepto el que se encuentra en forma de nitritos o nitratos mientras que el espectro NIR incluye información sólo del nitrógeno implicado en los enlaces moleculares N-H, por lo tanto, no pueden concordar ambos métodos totalmente.

El pH de la carne es el parámetro de referencia para evaluar la glucólisis muscular tras el sacrificio y las desviaciones de la calidad de la carne, ya que es una característica química cuya evolución *post mortem* influye en los procesos de maduración.

En la predicción del valor de pH los resultados encontrados en la bibliografía consultada son contradictorios, Prieto *et al.*, (2008) no encuentran ecuaciones satisfactorias para predecir valores de pH en carne de terneros y bueyes ($R^2=0,41$ y $0,47$ respectivamente), hecho que justifican en el estrecho rango de los valores de referencia de pH de las muestras utilizadas en su estudio o en la escasa correlación entre el pH y los parámetros químicos. Sin embargo Andrés *et al.*, (2008) y Cozzolino *et al.*, (2002) obtuvieron mejores resultados en la predicción del valor de pH ($R^2=0,97$ y $0,81$) en carne de vacuno, probablemente como consecuencia de un rango más amplio de variabilidad en los datos de referencia de pH y la presentación intacta de las muestras de carne.

Uno de los principales factores que influyen en la calidad tecnológica y sensorial de la carne de vacuno es la calidad de la grasa intramuscular, además la cantidad y la composición de la grasa de la carne, es uno de los criterios de aceptabilidad ya que, un exceso de la misma se asocia con la incidencia de enfermedades cardiovasculares. La técnica NIR se ha utilizado para la determinación de la grasa total y su composición de ácidos grasos en carne de conejo (Pla *et al.*, 2007), pollo (Berzaghi *et al.*, 2005) y cerdo (Pérez-Marín *et al.*, 2009) mientras que en carne de rumiantes, los trabajos son más escasos bien en carne de cordero (Guy *et al.*, 2011) o en carne de vacuno (Sierra *et al.*, 2008).

El método de referencia actual para el análisis de la composición de la ácidos grasos de la carne mediante cromatografía de gases requiere de la extracción y metilación de la grasa, el método funciona bien, pero es contaminante, costoso y requiere mucho tiempo, mientras que el análisis NIRS es simple, rápido y libre de químicos (Guy *et al.*, 2011).

Trabajos previos han demostrado el potencial del NIRS para el análisis y caracterización de diferentes tipos de grasas, tanto animales como vegetales (Pérez-Marín *et al.*, 2009), además esta técnica también se aplica para predecir componentes menores, como los ácidos grasos (Pla *et al.*, 2007 y Prevolnik *et al.*, 2005). Reali *et al.*, (2004) encuentran ecuaciones de predicción aceptables para el total de ácidos grasos saturados ($R^2= 0,85$) y el total de ácidos grasos insaturados ($R^2=0,90$) sin embargo en la determinación individual de los ácidos grasos no obtuvieron ecuaciones tan precisas debido a que todos los ácidos grasos absorben radiación a longitudes de onda similares ya que todos tienen el grupo molecular CH_2 . Igualmente Guy *et al.*, (2011) encuentra modelos de predicción satisfactorios para los grupos de ácidos grasos (SFA, MUFA) y para los ácidos grasos individuales que están presentes en concentraciones altas (16:0, 18:0, 18:1 *cis*-9, 18:1 *trans*-9) pero para los ácidos grasos individuales con concentraciones bajas las ecuaciones de predicción fueron peores en carne de cordero.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. PRUEBA EXPERIMENTAL I: PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE

4.1.1. MANEJO DE LOS ANIMALES.

El experimento se realizó en un cebadero de terneros situado en Castilla y León. El manejo de los animales durante el desarrollo de la prueba experimental se realizó según el real decreto 1201/2005 y directiva del consejo europeo 86/609/EEC sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos.

Para la realización de la prueba experimental se utilizaron 270 terneros pasteros, procedentes de cruces entre vacas de razas autóctonas y machos de aptitud cárnica, con un peso vivo medio inicial de $240,34 \pm 6,026$ kg.

Los animales se agruparon en 27 lotes (corrales) de 10 terneros cada uno que fueron asignados al azar a los distintos tratamientos experimentales, de manera que cada tratamiento se suministró a 9 corrales de la explotación. Todos los lotes se alojaron en naves de cebo semiabiertas con las mismas características constructivas.

Para el control del consumo de pienso se ha desarrollado, dentro del marco de este proyecto, un tipo de comedero que ha sido registrado como modelo de utilidad (U201031322) con el nombre de “comedero autopesante” (Figura 4.1).

En cada corral se colocó un “comedero autopesante”, lo que nos permitió controlar el consumo de pienso en cada lote de terneros. Los comederos se construyeron en chapa galvanizada plegada de 4 mm de grosor, fabricados a medida para ser ajustados a los pesebres existentes, con unas dimensiones de 600x55x35 cm. En cuanto al sistema de pesaje, el comedero de chapa galvanizada se situó sobre dos apoyos colocados perpendicularmente al

sentido del largo del pesebre. Cada apoyo contiene dos células de carga de 1000 kg de capacidad máxima cada una. Las células de carga se conectan mediante cables protegidos, a una caja de operaciones y a un sistema de control que incluye la pantalla de lectura de pesadas y los mandos de control (modelo: IP2 de Wifols S.A).

Para calcular la cantidad de pienso suministrada a los animales en cada corral, se registró en cada comedero la lectura de la cantidad de pienso existente antes del reparto del pienso. Una vez accionado el sistema de reparto automático del pienso, y tras la distribución del mismo en todos los comederos, automáticamente se registró la cantidad de pienso incorporada, para así, por diferencia de pesos determinar la cantidad de pienso consumido en cada lote. Todos los datos quedan registrados en el sistema de control del “comedero autopeseante”.

Figura 4.1. Comedero autopeseante. Modelo de Utilidad: U201031322.



Los corrales disponían de bebederos tipo abrevadero de nivel constante, de materiales porosos y antioxidante provistos de un sistema de vaciado que permitía una fácil y rápida limpieza. El suelo del alojamiento fue de hormigón armado, impermeabilizado con cama de paja.

Los terneros se pesaron siempre a primera hora de la mañana. Las pesadas se realizaron con una báscula marca TRU-TEST provista de una plataforma de aluminio desmontable en dos cuerpos, apoyada sobre unas barras con sensores NP600 con capacidad de pesada de hasta 2000 kg, conectados a un cabezal electrónico marca TRU-TEST modelo XR3000B, que tiene una precisión de ± 100 g.

Se registraron 3 pesos: al comienzo del periodo experimental (día 0), una pesada intermedia (día 100) y antes del sacrificio (día 185). Tras el sacrificio, de cada uno de los lotes se seleccionó al azar 1 ternero, para diseccionar de su canal la 6ª costilla y realizar con ella los análisis de calidad de la carne.

El sacrificio de los animales se realizó en un matadero situado a 70 km de la explotación. El procedimiento de sacrificio fue el usual de trabajo en los mataderos industriales.

4.1.2. DIETAS EXPERIMENTALES.

Las raciones experimentales administradas a los animales fueron: Tratamiento **Control** (4 % de aceite de palma en el concentrado), tratamiento **Soja** (4 % de aceite de soja en el concentrado) y tratamiento **Linaza** (4 % de aceite de linaza en el concentrado). Todos los piensos se formularon para que fuesen isoenergéticos e isoproteicos y para que aportasen la misma cantidad de extracto etéreo. Los piensos experimentales y su composición calculada se presentan en la Tablas 4.1.

Los terneros recibieron como forraje paja de cereales *ad libitum* y dispusieron de agua limpia a voluntad. Los piensos experimentales se suministraron desde el momento en que los animales llegaron a la explotación. Tras un periodo de 15 días de adaptación comenzó el control del consumo de pienso y del peso de los animales.

4.1.2.1. Composición química de las dietas experimentales.

Para determinar la composición química de los piensos suministrados a los animales, se recogieron mensualmente de cada lote 10 muestras aleatorias de 100 g cada una. Estas muestras se mezclaron, para posteriormente determinar su contenido en materia seca (método oficial de la AOAC 934.01), proteína bruta, (método oficial de la AOAC 941.04 para determinación del nitrógeno Kjeldahl), extracto etéreo (método oficial de la AOAC 920.39) y fibra bruta (método oficial de la AOAC 962.09). Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.2.

La composición en ácidos grasos de los aceites incluidos en las dietas experimentales se realizó según el método propuesto por Sukhija y Palmquist (1988), (Método One Step) (Tabla 4.3). Los esteres metílicos de los ácidos grasos se analizaron por cromatografía de gases utilizando un cromatógrafo Hewlett Packard 5890 (Avondale, PA, USA) equipado con un inyector de split (1/50), detector de ionización de llama (FID) y columna capilar marca TEKNOKROMA con fase estacionaria polar de cianosiliconas (100 m x 0.25 mm x 0.22 µm).

Las condiciones de trabajo fueron:

Temperatura del inyector: 230° C; Temperatura del detector: 250° C.

Como gas portador se utilizó Helio, el flujo de columna fue 1 mL/min y la presión 17,9 psi. En el FID se utilizaron como gases Hidrógeno con un flujo de 32 mL/min y Aire sintético con un flujo de 31,7 mL/min. El flujo del Split fue de 32,5 mL/min. Los 2 viales de lavado contenían tolueno. El programa de temperaturas se muestra en la Figura 4.2.

Por último, la identificación individualizada de los ácidos grasos se realizó mediante el empleo de mezclas conocidas de patrones externos, SupelcoTM 37 Component FAME Mix. Los ácidos grasos identificados se expresaron en gramos de ácido graso/ 100g de ácidos grasos identificados en las muestras

Tabla 4.1. Composición en materias primas y valor nutritivo de las dietas experimentales

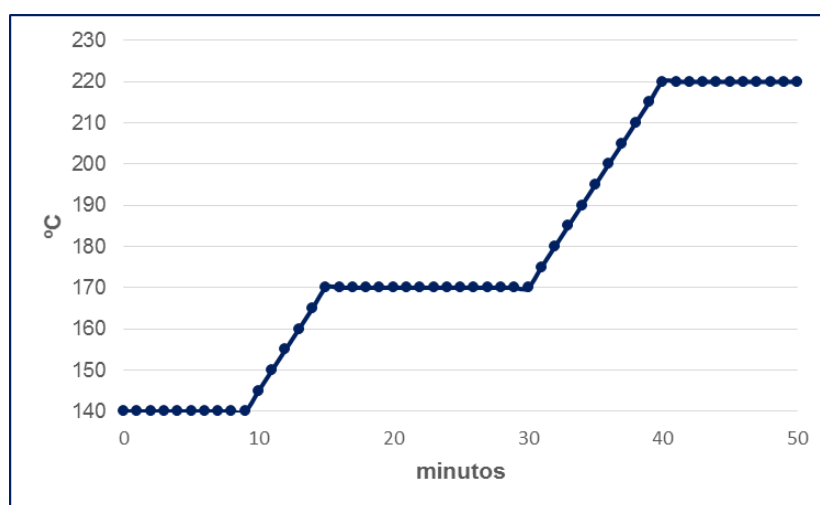
| Materias primas (% MF) | Control | Soja | Linaza |
|---|---------|------|--------|
| Cebada | 37 | 37 | 37 |
| Maíz | 38 | 38 | 38 |
| Harina de Soja 44 | 14 | 14 | 14 |
| Pulpa de Remolacha | 4 | 4 | 4 |
| Aceite de palma | 4 | - | - |
| Aceite de soja | - | 4 | - |
| Aceite de linaza | - | - | 4 |
| Bicarbonato Sódico | 1 | 1 | 1 |
| Corrector Vitamínico Mineral ¹ | 2 | 2 | 2 |
| Valor nutritivo calculado (% MS) | | | |
| MS | 89 | 89 | 89 |
| Proteína Bruta | 14 | 14 | 14 |
| Extracto Etéreo | 6,5 | 6,5 | 6,5 |
| Fibra Bruta | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| Almidón | 42 | 42 | 42 |
| UFC (UFC/kg MS) | 1,07 | 1,07 | 1,07 |

¹ Composición (por kg): 4.000.000 UI Vitamina A; 1.125.000 UI Vitamina D3; 17,5 g Vitamina E; 1 g Vitamina B1; 0,5 g Vitamina B2; 2,5 g Vitamina B12; 1,75 g Cobre; 31,25 g Cinc; 0,05 g Selenio; 10 g Manganeso; 0,25 g Cobalto; 6 g Hierro; 75 g Azufre; 57,5g Magnesio.

Tabla 4.2. Composición química de los tratamientos experimentales (% de MS)

| Nutrientes | Control | Soja | Linaza |
|-----------------|---------|------|--------|
| MS (% MF) | 89,3 | 88,7 | 89,1 |
| Proteína Bruta | 14,2 | 14,7 | 14,6 |
| Extracto Etéreo | 7,4 | 6,9 | 7,1 |
| Fibra Bruta | 4,6 | 4,2 | 4,5 |

Figura 4.2. Rampa de temperaturas empleadas en las condiciones cromatográficas de trabajo



4.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

4.1.3.1. Peso y rendimiento de la canal

Inmediatamente después del sacrificio de los animales se tomó el peso de la canal caliente. El rendimiento de la canal caliente (RCC) se calculó de la siguiente manera:

$$\text{RCC} = (\text{Peso canal caliente} / \text{Peso vivo previo al sacrificio}) * 100$$

Tabla 4.3. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos identificados) de los aceites incluidos en las dietas experimentales.

| | Aceites vegetales | | |
|--|-------------------|----------------|------------------|
| | Aceite de Palma | Aceite de Soja | Aceite de Linaza |
| C12:0 | 0,3 | 0,14 | 0,00 |
| C14:0 | 0,6 | 0,2 | 0,15 |
| C16:0 | 43,0 | 10,5 | 6,0 |
| C16:1 | 0,08 | 0,2 | 0,0 |
| C18:0 | 4,4 | 3,8 | 4,5 |
| C18:1 <i>cis</i> -9 | 37,1 | 21,7 | 20,1 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 | 9,9 | 53,1 | 16,5 |
| C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 <i>cis</i> -15 n-3 | 0,3 | 7,4 | 54,5 |

4.1.3.2. Conformación, engrasamiento y pH de la canal.

La clasificación de las canales en función de la conformación fue realizada por un clasificador profesional, basándose en la normativa europea SEUROP (CE reglamento 2237/91 y su posterior disposición complementaria del 20 de enero de 2006), por medio de patrones fotográficos.

La valoración del estado de engrasamiento se realizó por medio de patrones basados en la apreciación de la grasa de cobertura y la almacenada a nivel interno, especialmente en la cavidad torácica, tal y como se regula en el reglamento CE del 20 de enero de 2006.

Con el fin de poder realizar el análisis estadístico de datos de conformación y engrasamiento, tras la clasificación de las canales, se ha recurrido a la transformación de las clases en equivalencias numéricas que van desde 1 a 18 para la conformación y del 1 al 15 para el engrasamiento (Tabla 4.4)

La medición del pH de la carnal se realizó con un pHmetro portátil marca Eutech instrumentos modelo PH6, provisto de un electrodo de penetración de vidrio marca Hamilton modelo 238400 Double Pore. El calibrado se realizó previamente con tampones de valor 7,0 y 4,0 protegidos de la luz y conservados a baja temperatura. La medición se realizó en el músculo *Longissimus dorsi* a nivel lumbar, entre la cuarta y quinta cotilla lumbar, a las 24 horas tras el sacrificio. Después de cada medida, se procedió al lavado del electrodo con agua destilada.

Tabla 4.4. Equivalencias numéricas de conformación SEUROP y de engrasamiento de las canales (Piedrafita, 2000)

| Clasificación | S+ | S | S- | E+ | E | E- | U+ | U | U- | R+ | R | R- | O+ | O | O- | P+ | P | P- |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|---|----|----|---|----|
| Engrasamiento | | | | 5+ | 5 | 5- | 4+ | 4 | 4- | 3+ | 3 | 3- | 2+ | 2 | 2- | 1+ | 1 | 1- |
| Transformación | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

4.1.4. CALIDAD INSTRUMENTAL DE LA CARNE

Transcurridas 24 horas tras el sacrificio de los animales, se procedió con la ayuda de una sierra eléctrica, a la disección de la 6ª costilla de la media canal izquierda del ternero elegido al azar de cada lote (9 por tratamiento). El corte se realizó perpendicular al eje de la columna vertebral, comenzando por el espacio intercostal hasta llegar a la vértebra, según el método indicado por Robelin y Geay, (1974).

Las chuletas, envasadas en bolsas opacas, se congelaron a -21 °C hasta el momento de su análisis

4.1.4.1. Color y pigmentos de la carne

Las muestras de carne se sometieron a una hora de oxigenación (*blooming*) y posteriormente se midieron las lecturas del color. Para ello se empleó un espectrocolorímetro de la marca Konica Minolta modelo CM-2600d utilizando como iluminante estándar D65, ya que es la más parecida a la luz del día (color de temperatura 6504 K) y el observador patrón CIE1964 de 10 ° y calibrado con la placa de blanco.

Se realizaron tres mediciones sobre la superficie del músculo *Longissimus dorsi* en diferentes zonas, evitando las zonas con grasa y manchas de sangre. Se registró la luminosidad (L^*), índice de rojo (a^*), índice de amarillo (b^*) y se calcularon el croma (C^*) y el tono (h^*) a través de las expresiones:

$$\text{Tono: } h^* = \arctang(b^*/a^*) \text{ (de } 0 \text{ a } 360^\circ)$$

$$\text{Croma: } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Para la determinación de los pigmentos hemínicos se siguió el método utilizado por Hornsey (1956) y recomendado en el ámbito de la CEE por Boccard *et al.* (1981), basado en la medida del contenido en pigmentos hemínicos del músculo.

Para su realización se tomó una muestra homogénea y sin grasa ni tejido conjuntivo de 1 g de carne previamente descongelada y triturada en una picadora Moulinex 320. Se introdujo en un tubo de vidrio y se añadieron 4 ml de acetona, 0,2 ml de agua destilada y 0,1 ml de HCl al 37 %. Las muestras, una vez agitadas, se dejaron reposar en refrigeración a 4 °C durante 24 horas. Transcurrido ese tiempo el contenido de los tubos se filtró con doble papel de filtro y, tras la extracción del pigmento se midió la densidad óptica (DO) en un espectrofotómetro marca Thermoscientific modelo Evolution 220 (UV/Visible) a 512 nm usando, para la lectura, cubetas de cuarzo. La concentración final de pigmento en el sobrante se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$[(\text{Volumen extraco} \times 652 \times 1000\text{g/kg}) / (\epsilon_{512} \times 10^3 \times \text{g muestra})] \times \text{DO} = 342.44 \times \text{DO} \mu\text{g hematina/g músculo}$$

$$\text{DO} \times 8,82 = \text{mg mioglobina / g músculo fresco.}$$

Teniendo en cuenta que:

- Peso molecular de la hematina ácida= 652 u.a.m
- $\lambda=512$
- $\epsilon_{512}=9,52$
- DO=densidad óptica.

4.1.4.2. Valores de pH de la carne y capacidad de retención de agua (CRA)

La medición del pH de la carne se realizó con un pHmetro portátil marca Eutech Instruments modelo PH6, provisto de un electrodo de vidrio de penetración marca Hamilton modelo 238400 Double Pore y una sonda de temperatura. El calibrado se realizó previamente con tampones de valor 7,0 y 4,0, protegidos de la luz y conservados a baja temperatura. Se realizaron tres repeticiones para cada medida en el músculo *Longissimus dorsi* previamente descongelado. Después de cada medida, se procedió al lavado del electrodo con agua destilada.

La capacidad de retención de agua (CRA) se determinó según el método de presión descrito por Grau y Hamm (1953), para ello se pesaron 0,3 g de carne triturada limpia de grasa y tejido conjuntivo y se situaron sobre un papel de filtro Whatman nº1 para introducirlo durante 5 minutos en un prensa de metacrilato de 9x12 cm. Posteriormente se procedió a la medida de las áreas reflejadas en el papel de filtro: área M, es la superficie ocupada por el músculo (área interior) y área T es la superficie ocupada por el agua expulsada de la superficie de la carne o jugo exprimible (área exterior) mediante el programa informático Adobe Photoshop CS3, previo escaneado de los papeles de filtro con un escáner modelo EPSON Stylus 3800®. Finalmente para la determinación de la CRA se usó el factor de conversión de área a peso del agua liberada por el músculo (9,48 mg/cm²) calculado por Wierbicki y Deatherage (1958). La capacidad de retención de agua del músculo se obtiene como la diferencia entre el porcentaje de agua total del músculo y el de agua liberada, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{CRA (\%)} = [1 - ((T - M) \times 9,48) / (\text{g muestra} \times \text{humedad})] \times 100$$

4.1.5. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CARNE

4.1.5.1. Composición química de la carne

La composición química de la carne se determinó en las muestras de músculo *Longissimus dorsi*. Los parámetros analizados fueron: Humedad, (método oficial de la AOAC 950.46), proteína bruta (método oficial de la AOAC 981.10), extracto etéreo (método oficial de la AOAC 960.39) y cenizas (método oficial de la AOAC 920.153).

4.1.5.2. Peroxidación inducida

El método para la determinación de los productos de oxidación de los ácidos grasos, consiste en la cuantificación espectrofotométrica de los complejos formados por la reacción con el ácido tiobarbitúrico (TBA) (Botsoglou *et al.*, 1994).

La técnica utilizada ha consistido en inducir la formación de los compuestos de oxidación de la carne por la acción del hierro. Para ello se homogeneizaron 3 g de carne triturada con 27 ml de KCl (solución al 1,15 %) durante 60 segundos en un Ultraturrax a una velocidad de 13.000 rpm.

Posteriormente se incubaron 1 ml del homogeneizado con 5 ml de un tampón de tris-malato, 2 ml de ácido ascórbico y 2 ml de sulfato ferroso. Además se preparó un blanco, con los mismos reactivos pero con KCl en vez del homogeneizado. Los tubos se incubación a 37°C. Posteriormente se recogió una alícuota de 0,4 ml de cada uno de ellos, a tiempos 0 (antes de meterlos en el baño de incubación), 30, 60, 90 y 120 minutos de incubación que se llevaron a tubos eppendorfs que contenían 0,8 ml de solución TBA-TCA-HCl (75 g de ácido tricloroacético, 1,875 g de ácido 2-tiobarbitúrico y 250 ml de HCl 0,5 N enrasado a 500 ml). Se agitaron fuertemente se mantuvieron a temperatura ambiente hasta que fueron recogidas todas las alícuotas de todos los tiempos. Una vez finalizados los tiempos de incubación, para favorecer la formación de los productos de oxidación con el TBA y que se desarrolle el complejo coloreado rosado, se incubaron todos los eppendorfs nuevamente durante 15 minutos a 90°C. Seguidamente se enfriaron y centrifugaron a 2.500 rpm durante 5 minutos, posteriormente el sobrenadante se recogió en cubetas y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro marca Thermoscientific modelo Evolution 220 (UV/Visible) a 532 nm. Para calcular la concentración de malonaldehído se utilizaron las siguientes fórmulas:

Concentración /nmol de malonaldehído/litro = Absorbancia x 104 x 0,641

Coeficiente de extinción molar = 1,56 x 10⁵ M⁻¹ cm⁻¹

Masa Molecular del Malonaldehído = 144,4 g/mol

4.1.5.3. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular

Para determinar el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular del *Longissimus dorsi*, las muestras de carne se liofilizaron con un liofilizador marca Telstar modelo Lyoquest -55. El método utilizado para la obtención de

los ésteres metílicos de los ácidos grasos de las muestras liofilizadas fue el descrito por Lee *et al.*, (2012).

Los ésteres metílicos de los ácidos grasos se analizaron por cromatografía de gases según el método descrito en el análisis del perfil de ácidos grasos de la dieta experimentales.

4.1.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis de los datos se han llevado a cabo utilizando procedimientos del programa estadístico SAS (Versión 9.1 Inst. Inc., Cary, NC).

En primer lugar se realizó la diagnosis del modelo, para ello se utilizó el procedimiento UNIVARIATE, se consideró que los residuos se distribuyeron de forma normal cuando el estadístico Shapiro-Wilk fue igual o mayor de 0,05.

Los datos productivos obtenidos se han analizado según un diseño unifactorial completamente aleatorizado mediante análisis de varianza, utilizando el procedimiento GLM.

Para el estudio de las variables, consumo de pienso e índice de conversión, se consideró como unidad experimental el lote (n=27) y para las variables relacionadas con la calidad de la carne se utilizó el ternero seleccionado de cada lote (n=27).

En el resto de variables que estudian los rendimientos productivos, y las que estudian la calidad de la canal, la unidad experimental considerada fue el ternero (n=270)

En el modelo utilizado con las variables que estudian la evolución del peso de los animales durante el cebo, se incluyó el peso vivo inicial como covariable

Se establecieron diferencias significativas cuando $P < 0,05$. Valores de $P < 0,1$ se discuten como tendencia. Las diferencias entre las medias de los distintos tratamientos se establecieron siguiendo el método LSD.

4.2. PRUEBA EXPERIMENTAL II: CALIDAD DE LA CARNE A DIFERENTES TIEMPOS DE MADURACIÓN

4.2.1. MADURACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se seleccionaron 9 terneros de cada tratamiento ($n=27$), 24 horas tras el sacrificio se diseccionó la 6ª costilla de la media canal izquierda de cada uno de ellos siguiendo el mismo procedimiento empleado en la prueba Experimental I.

Las chuletas de los terneros correspondientes a cada tratamiento se dividieron en tres y se distribuyeron de forma aleatoria a cada tiempo de maduración (0, 5 y 10 días). Para realizar la maduración se colocaron en bandejas y se envolvieron con una película de film permeable al oxígeno y se almacenaron durante 5 y 10 días en una cámara oscura en la que la temperatura fue de $2 \pm 1^\circ\text{C}$ y la velocidad del aire inferior a 0,5 m/s.

4.2.2. CALIDAD INSTRUMENTAL DE LA CARNE

Tanto las lecturas del color y los análisis de pigmentos hemínicos, como las medidas de pH y de capacidad de retención de agua se realizaron según la metodología descrita en la prueba Experimental I.

4.2.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CARNE

Los análisis de humedad, proteína bruta, extracto etéreo, cenizas y el perfil de ácidos grasos de la carne se determinaron según la metodología descrita en la prueba Experimental I.

4.2.3.1. Oxidación lipídica de la carne

Mediante el método del ácido Tiobarbitúrico (TBA) descrito por Botsoglou *et al.* (1994) se determinó el grado de oxidación lipídica de la carne.

Este método se basa en la medición espectrofotométrica de un cromóforo rojo, formado por la reacción del ácido Tiobarbitúrico (TBA) con productos aldehídicos secundarios, provenientes de la oxidación de los ácidos grasos insaturados, utilizando el Malonaldehído (MDA) como un estándar para la calibración.

Para ello se homogeneizaron en un Ultraturrax durante 30 s a 13.000 rpm 20 ml de agua ultra pura con 2,5 g de carne. Seguidamente se incorporaron 5 ml de TCA (ácido tricloroacético al 25 %) y tras agitarlos se dejaron reposar 15 minutos a 4°C para luego centrifugarlos a 1.000 rpm durante 15 minutos. Transcurrido este tiempo se trasvasaron 3,5 ml del sobrenadante resultante previamente filtrado y se añadió 1,5 ml de TBA (ácido Tiobarbitúrico al 0,6 %). Posteriormente las muestras se incubaron a 70°C durante 30 minutos. A continuación se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro marca Thermoscientific modelo Evolution 220 (UV/Visible) a 532 nm comparando los resultados con la curva patrón para obtener así las concentraciones. Los resultados se expresan en mg de MDA presentes en 1 g de carne.

4.2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de calidad de carne obtenidos en los diferentes días de maduración se han analizado mediante un análisis de medidas repetidas, utilizando el procedimiento MIXED del programa estadístico SAS (Versión 9.1 Inst. Inc., Cary, NC). Para obtener estimadores de varianza robustos se eligieron las mejores estructuras de covarianza de las variables respuesta, en función de los criterios de Akaike y de Schwarz.

Los datos se presentan como medias corregidas por mínimos cuadrados. La comparación entre las medias se realizó mediante un test de Tukey. Se

establecieron diferencias significativas cuando $P < 0,05$. Valores de $P < 0,1$ se discuten como tendencia.

4.3. PRUEBA EXPERIMENTAL III: CALIBRACIÓN NIR PARA LA PREDICCIÓN HUMEDAD, PROTEINA, pH y PERFIL DE ACIDOS GRASOS DE LA CARNE

La recogida de espectros en la región del infrarrojo cercano de las muestras de carne fue realizada utilizando un espectrofotómetro de tipo monocromador, NIRSystems 5000 (Foss Tecator). Los espectros fueron recogidos en el intervalo de longitudes de onda de 1.100 a 2.498 nm, con una distancia de 2 nm entre los puntos de medida. Se utilizaron 100 muestras de carne liofilizada, las cuales se escanearon en una capsula rectangular por duplicado y se trabajó con el promedio de los espectros que cumplen el límite de RMS fijado por el software. Todas las operaciones de almacenamiento de datos y manejo de espectros fueron realizados utilizando el software WinISI II Project Manager v.1.50 (Infrasoft International, Port Matilda, PA, USA).

La calibración se realizó utilizando el método *Modified Partial Least Square* (MPLS) (Shenk and Westerhaus, 1993) y se evaluó mediante validación cruzada. Para optimizar la precisión de las calibraciones se han aplicado los siguientes tratamientos matemáticos, *Standar Normal Variant and Detrend* (SNV+D), *Standar Normal Variant* (SNV), *Standar MSC* (S+MSC) y *Weighted MSC*. Los tres primeros se usaron con tratamiento (0,10,4,2), donde la primera cifra indica el orden de sustracción o diferenciación (derivative), la segunda el intervalo de sustracción (gap) y la tercera y cuarta representan los segmentos de suavización 1 y 2 (smooth) de los datos espectrales. El último se utilizó con tratamiento (0,10,10,2) (Infrasoft Internacional, 1992).

La capacidad predictiva de los modelos de calibración de las ecuaciones NIRS fueron seleccionadas teniendo en cuenta los mejores estadísticos: coeficiente de determinación (RQS) y error estándar de la validación cruzada (SECV) (Westerhaus *et al.*, 2004), y el estadístico RPD (*Ratio Performance Desviation*)

para comparar la capacidad de predicción de las ecuaciones (Williams y Sobering, 1993).

Williams *et al.*, (2001) sugirieron que el estadístico RPD debe ser igual o mayor que 2, ya que los valores más bajos de la RPD podrían atribuirse a un rango estrecho de los valores de referencia (dando desviaciones estándar pequeñas) o un gran error en la estimación del error estándar de la validación cruzada (SECV) (Tøgersen, *et al.*, 2003).

5. RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. PRUEBA EXPERIMENTAL I: PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE

5.1.1. Parámetros productivos y características de la canal

En la Tabla 5.1 se presentan los rendimientos productivos y las características de la canal. Como se puede observar, la evolución del peso vivo de los animales y la evolución de su ganancia media diaria no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos. Sin embargo, los terneros alimentados con el tratamiento control registraron mayor consumo medio diario de concentrado (7,39 kg/día) que los que consumieron el tratamiento con aceite de linaza (6,89 kg/día), mientras que los del tratamiento con aceite de soja obtuvieron un valor intermedio (7,11 kg/día).

Tabla 5.1. Rendimientos productivos y características de la canal de terneros cruzados alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales.

| | Dieta | | | EEM ¹ | P |
|---|----------------------|---------------------|---------------------|------------------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | |
| Peso vivo inicial (kg) | 233,57 | 227,33 | 240,00 | 5,799 | 0,33 |
| Peso vivo intermedio (100 días) (kg) | 400,45 | 404,86 | 414,45 | 5,926 | 0,26 |
| Peso vivo final (185 días) (kg) | 507,08 | 486,52 | 518,82 | 11,609 | 0,18 |
| GMD 1 (hasta los 100 días) (kg/día) | 1,67 | 1,71 | 1,81 | 0,058 | 0,22 |
| GMD 2 (de 100 días hasta 185 días) (kg/día) | 1,63 | 1,63 | 1,65 | 0,071 | 0,96 |
| GMD total (kg/día) | 1,65 | 1,69 | 1,74 | 0,061 | 0,56 |
| Consumo medio de concentrado (kg/día) | 7,39 ^a | 7,11 ^{ab} | 6,89 ^b | 0,065 | 0,01 |
| Índice de conversión | 4,56 | 4,32 | 3,98 | 0,116 | 0,13 |
| Peso de la canal (kg) | 293,95 ^{ab} | 277,70 ^b | 302,23 ^a | 6,771 | 0,06 |
| Rendimiento de la canal (%) | 57,89 | 57,02 | 58,39 | 0,439 | 0,10 |
| Conformación SEUROP | R+ | R+ | R+ | | |
| Equivalencia conformación | 8,86 | 8,90 | 9,36 | 0,421 | 0,66 |
| Engrasamiento de la canal | 3- | 3 | 3- | | |
| Equivalencia engrasamiento | 7,35 | 7,50 | 7,18 | 0,367 | 0,83 |
| pH canal | 5,59 | 5,59 | 5,59 | 0,037 | 0,98 |

¹EEM: Error estándar de la media

^{a, b}. Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0,05$)

Los terneros alimentados con aceite de linaza presentaron mejores índices de conversión que los del grupo control y soja, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P=0,13$)

En la Tabla 5.1 también se incluye el peso y rendimiento de la canal de los terneros alimentados con los tres tratamientos: control, aceite de soja y aceite de linaza.

En ninguna de las variables estudiadas relacionadas con las características de la canal se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$). Sin embargo, se observó una tendencia ($P=0,06$) a un mayor peso de la canal en los terneros que consumieron aceite de linaza (302,23 kg) respecto a los terneros que consumieron el tratamiento con aceite de soja (277,70 kg), presentando los del tratamiento control un valor intermedio (293,95 kg).

Los valores observados de conformación, engrasamiento y pH de las canales de los tres tratamientos experimentales (Tabla 5.1.) no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$).

5.1.2. Calidad instrumental de la carne

5.1.2.1. Color y pigmentos de la carne

Como se puede observar en la Tabla 5.2, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en las coordenadas del color estudiadas. Sin embargo, el músculo *Longissimus dorsi* de los animales del tratamiento con aceite de soja presentó una tendencia ($P=0,08$) a un mayor valor de la claridad (L^*) (33,12) que los alimentados con el tratamiento control (29,41), mientras que los alimentados con el tratamiento linaza mostraron un valor intermedio (31,09).

Tabla 5.2. Valor de las coordenadas L*, a*, b*, tono y croma del *Longissimus dorsi* de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales.

| | Dieta | | | EEM ¹ | P |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | |
| Luminosidad (L*) | 29,41 ^b | 33,12 ^a | 31,09 ^{ab} | 1,230 | 0,08 |
| Índice de rojo (a*) | 14,32 | 12,01 | 14,43 | 1,035 | 0,18 |
| Índice de amarillo (b*) | 15,49 | 15,07 | 16,01 | 0,749 | 0,65 |
| Croma (C*) | 21,65 | 19,40 | 21,82 | 1,133 | 0,29 |
| Tono (h*) | 48,80 | 51,53 | 48,65 | 1,645 | 0,31 |

¹EEM: Error estándar de la media

^{a, b} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

En la determinación química del color de la carne mediante la medida del contenido de pigmentos (hematina y mioglobina), no se observan diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en el musculo *Longissimus dorsi* de los terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Valores de la concentración de hematina ($\mu\text{g/g}$ de carne) y mioglobina (mg/g de carne) del musculo *Longissimus dorsi* de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales.

| | Dieta | | | EEM ¹ | P |
|------------------------------|---------|--------|--------|------------------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | |
| Hematina ($\mu\text{g/g}$) | 159,52 | 147,40 | 141,38 | 6,452 | 0,11 |
| Mioglobina (mg/g) | 4,05 | 3,61 | 3,57 | 0,166 | 0,11 |

¹EEM: Error estándar de la media

5.1.2.2. Valores de pH de la carne y capacidad de retención de agua (CRA)

Como se puede observar en la Tabla 5.4, el tipo de aceite incorporado a la dieta no afectó de forma estadísticamente significativa ($P > 0,05$) al valor del pH de la carne, medido en el musculo *Longissimus dorsi*, ni a la capacidad de retención de agua (CRA), expresada en porcentaje de jugo exprimible después de la compresión, utilizando el método de Grau and Hamm (Grau and Hamm, 1963).

Tabla 5.4. Valores de pH y capacidad de retención de agua (CRA) expresada como % de jugo exprimible del musculo *Longissimus dorsi* de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales.

| | Dieta | | | EEM ¹ | P |
|-------------------|---------|-------|--------|------------------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | |
| pH carne | 5,58 | 5,57 | 5,55 | 0,042 | 0,96 |
| % jugo exprimible | 40,37 | 40,04 | 40,58 | 1,678 | 0,97 |

¹EEM: Error estándar de la media

5.1.3. Análisis químico de la carne

5.1.3.1. Composición química de la carne y oxidación lipídica

La Tabla 5.5 muestra la composición química de la carne de los terneros alimentados con las dietas experimentales. El tipo de dieta suministrada a los animales no afectó ($P > 0,05$) al contenido en humedad, proteína, grasa y cenizas.

En la Tabla 5.6 se muestran los valores TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico,) de la peroxidación inducida de la carne de terneros alimentados con diferentes aceites vegetales, el efecto de la dieta, del tiempo de incubación y la interacción entre ambos factores. Los valores TBARS están expresados en nmoles de MDA (malonaldehído)/g de carne. La oxidación de la carne será tanto mayor cuanto más concentración de malonaldehído (MDA) posea la muestra.

Tabla 5.5. Composición química de la carne de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales.

| | Dieta | | | EEM ¹ | P |
|-----------------------|---------|-------|--------|------------------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | |
| Humedad (%) | 74,00 | 74,28 | 74,19 | 0,458 | 0,93 |
| Proteína bruta (% MS) | 23,35 | 23,95 | 23,67 | 1,278 | 0,61 |
| Grasa bruta (% MS) | 4,65 | 4,59 | 4,39 | 0,428 | 0,19 |
| Cenizas (%) | 1,02 | 1,06 | 1,05 | 0,027 | 0,64 |

¹EEM: Error estándar de la media

Ni el tipo de dieta ni la interacción entre el tipo de dieta y los minutos de incubación presentaron valores de P significativos ($P > 0,05$), sin embargo los minutos de incubación sí tuvieron efecto sobre la oxidación lipídica de la carne ($P < 0,0001$).

Tabla 5.6. Valores TBARS expresados en nmoles de MDA/g de carne del músculo *Longissimus dorsi* de terneros alimentados con diferentes aceites vegetales a distintos tiempos de incubación (0, 30, 60, 90 y 120 minutos) y la interacción entre ambos (dietas x minutos de incubación).

| | Dieta | | | | D | IB | DxIB |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|------|---------|------|
| | Control | Soja | Linaza | Media | | | |
| moles de MDA/g de carne | | | | | 0,54 | <0,0001 | 0,98 |
| 0 minutos | 18,85±2,842 | 18,94±2,842 | 21,63±2,842 | 19,81^z±1,640 | | | |
| 30 minutos | 27,90±2,865 | 26,18±2,865 | 29,67±2,865 | 27,91^y±1,654 | | | |
| 60 minutos | 31,164±2,234 | 30,32±2,234 | 34,85±2,234 | 32,11^{xy}±1,289 | | | |
| 90 minutos | 35,19±2,875 | 35,13±2,875 | 39,93±2,875 | 36,75^{xy}±1,660 | | | |
| 120 minutos | 40,59±3,915 | 41,433,915 | 42,36±3,915 | 41,46^x±2,260 | | | |
| Media | 30,74±2,303 | 30,40±2,303 | 33,69±2,303 | | | | |

¹D: efecto de la dieta, IB: efecto de los minutos de incubación, DxIB: efecto de la interacción entre ambos factores
^{x,y,z}Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Como se puede observar en la Tabla 5.6, la oxidación lipídica de las muestras de carne de los tres tratamientos (control, soja y linaza) mostraron valores de MDA crecientes a lo largo de los minutos de incubación, siendo a los 120 minutos cuando mayores índices de oxidación presentaron.

5.1.3.2. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular

En la Tabla 5.7 se presenta la composición de ácidos grasos (g/100 g del total de ácidos grasos identificados) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* para cada uno de los tratamientos experimentales (control, aceite de soja y aceite de linaza).

El ácido palmítico (C16:0) presentó el valor más alto en los animales alimentados con aceite de palma (26,66 %), frente a los alimentados con aceite de soja o aceite de linaza (23,99 % y 23,43 %)

No se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en el contenido de C12:0, C15:0, C17:0 y C18:0.

El contenido de C16:1 en el *Longissimus dorsi* fue mayor en los animales de los tratamientos control (con aceite de palma) y aceite de linaza (2,20 % y 2,12 %) que en los del tratamiento con aceite de soja (1,71 %).

La grasa intramuscular de los animales que consumieron los tratamientos con aceite de soja y con aceite de linaza presentaron un mayor contenido en ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11) (4,17 % y 3,96 %, respectivamente) que los que consumieron el tratamiento control, con aceite de palma (2,51 %).

El contenido de C18:1 *cis*-11 fue significativamente superior ($P<0,0001$) en los animales que consumieron el tratamiento con aceite de linaza (2,17 %) frente a los del tratamiento control (con aceite de palma) (1,59 %), y soja (1,70 %).

No se observan diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en el contenido de C14:1 y C18:1 *cis*-9.

El tipo de aceite incorporado a la dieta no influyó ($P>0,05$) sobre el contenido de C18:2 *cis*-9, *cis*-12 *n*-6, C20:3 *n*-6, C20:4 *n*-6, C20:5 *n*-3, C22:5 *n*-3 y C22:6 *n*-3.

El contenido de C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA (ácido ruménico) de la grasa intramuscular de los terneros alimentados con aceite de linaza fue significativamente mayor ($P<0,05$) que los alimentados con el tratamiento control, con aceite de palma (0,33 % vs 0,23 %) mientras que los del tratamiento soja presentaron un valor intermedio (0,27 %). Sin embargo, los terneros del tratamiento con aceite de soja mostraron un mayor contenido

($P < 0,05$) en C18:2 *trans*-10, *cis*-12 CLA (0,03 %) que los de los tratamientos control o linaza (0,01 % y 0,01%)

Tabla 5.7. Composición de ácidos grasos (g/100 g de ácidos grasos identificados) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* de terneros alimentados con dietas con diferentes aceites vegetales.

| | Dieta | | | EEM ¹ | P |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|---------|
| | Control | Soja | Linaza | | |
| Ácidos grasos saturados (SFA) | 51,42 | 49,74 | 47,74 | 0,895 | 0,30 |
| C12:0 | 0,43 | 0,42 | 0,44 | 0,031 | 0,96 |
| C14:0 | 2,51 | 2,32 | 2,69 | 0,091 | 0,17 |
| C15:0 | 0,46 | 0,53 | 0,43 | 0,044 | 0,61 |
| C16:0 | 26,66 ^a | 23,99 ^b | 23,43 ^b | 0,302 | 0,0005 |
| C17:0 | 0,97 | 1,00 | 1,04 | 0,028 | 0,66 |
| C18:0 | 20,38 | 21,48 | 19,71 | 0,378 | 0,13 |
| Ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) | 33,87 | 35,76 | 37,11 | 0,592 | 0,12 |
| C14:1 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,016 | 0,36 |
| C16:1 | 2,20 ^a | 1,78 ^b | 2,12 ^a | 0,060 | 0,02 |
| C18:1 <i>trans</i> -11 | 2,51 ^b | 4,17 ^a | 3,96 ^a | 0,198 | 0,007 |
| C18:1 <i>cis</i> -9 | 29,46 | 29,54 | 30,64 | 0,550 | 0,61 |
| C18:1 <i>cis</i> -11 | 1,59 ^b | 1,70 ^b | 2,17 ^a | 0,037 | <0,0001 |
| Ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) | 12,51 | 12,71 | 13,03 | 0,823 | 0,97 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 <i>n</i> -6 | 8,27 | 8,99 | 7,97 | 0,506 | 0,67 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 CLA | 0,23 ^b | 0,27 ^{ab} | 0,33 ^a | 0,014 | 0,03 |
| C18:2 <i>trans</i> -10, <i>cis</i> -12 CLA | 0,01 ^b | 0,03 ^a | 0,01 ^b | 0,003 | 0,01 |
| C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 <i>n</i> -3 | 0,45 ^b | 0,56 ^b | 1,80 ^a | 0,052 | <0,0001 |
| C20:3 <i>n</i> -6 | 0,51 ^a | 0,35 ^b | 0,30 ^b | 0,032 | 0,06 |
| C20:4 <i>n</i> -6 | 2,19 | 1,67 | 1,56 | 0,173 | 0,37 |
| C20:5 <i>n</i> -3 | 0,21 | 0,23 | 0,33 | 0,031 | 0,26 |
| C22:5 <i>n</i> -3 | 0,57 | 0,55 | 0,68 | 0,058 | 0,61 |
| C22:6 <i>n</i> -3 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,006 | 0,93 |
| Poliinsaturados/saturados (P/S) | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,020 | 0,81 |
| Total <i>n</i> -6 | 10,96 | 11,02 | 9,83 | 0,701 | 0,72 |
| Total <i>n</i> -3 | 1,30 ^b | 1,39 ^b | 2,87 ^a | 0,138 | <0,0001 |
| Relación <i>n</i> -6/ <i>n</i> -3 | 9,28 ^a | 8,64 ^a | 3,39 ^b | 0,283 | <0,0001 |
| Índice de aterogenicidad ² | 0,77 ^a | 0,68 ^b | 0,67 ^b | 0,016 | 0,03 |
| Δ^9 índice desaturasa ³ | 0,39 | 0,40 | 0,42 | 0,005 | 0,10 |

¹EEM: Error estándar de la media

^{a, b} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

²Índice de aterogenicidad = (C12:0+4xC14:0+C16:0)/(MUFA+PUFA) (Ulbricht and Southgate, 1991)

³ Δ^9 Índice desaturasa = (C14:1 + C16:1 + C18:1)/(C14:1 + C16:1 + C18:1 + C14:0 + C16:0 + C18:0) (Noci *et al*, 2007)

Los animales alimentados con aceite de linaza, presentaron un mayor contenido ($P<0,0001$) en ácido α -linolénico (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 *n*-3) que los alimentados con aceite de soja o con el tratamiento control (palma) (0,56 % y 0,45 %).

La grasa intramuscular de los animales del tratamiento control (con aceite de palma) presento una tendencia ($P=0,06$) a un mayor valor del C20:3 *n*-6 (0,51 %) que los de los tratamientos soja y linaza (0,35 y 0,30 %, respectivamente).

El tipo de aceite empleado, no afecto de forma estadísticamente significativa ($P>0,05$) al contenido total de ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), al total de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), a la relación poliinsaturados/saturados, al total de ácidos grasos de la serie *n*-6 ni al índice desaturasa. Por el contrario, el total de ácidos grasos de la serie *n*-3 presentes en la grasa intramuscular fue mayor en los terneros alimentados con aceite de linaza ($P<0,0001$) (2,87 %) en relación a los tratamientos con aceite de palma o soja (1,30 % o 1,39 %, respectivamente).

La relación *n*-6/*n*-3 presenta un porcentaje significativamente superior ($P<0,0001$) para el caso de los tratamientos control (9,28 %) y soja (8,64 %) comparados con el tratamiento con aceite de linaza (3,39 %).

El Índice de aterogenicidad, calculado a partir de la propuesta de Ulbricht and Southgate, (1991), del tratamiento control (aceite de palma) fue significativamente superior ($P<0,05$) que la de los tratamientos con aceite de soja y aceite de linaza. Los valores observados fueron 0,77 % en el control, 0,68 % en el tratamiento con aceite de soja y 0,67 % en el de aceite de linaza.

5.2. PRUEBA EXPERIMENTAL II: CALIDAD DE LA CARNE A DIFERENTES TIEMPOS DE MADURACIÓN

5.2.1. Calidad instrumental de la carne

5.2.1.1. Color y pigmentos de la carne

En la Tabla 5.8 se presenta el efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el valor de las coordenadas L^* (luminosidad), a^* (índice de rojo), b^* (índice de amarillo), croma (c^*) y tono (h^*) del músculo *Longissimus dorsi*.

En ninguno los parámetros del color estudiados se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) de la interacción entre tipo de dieta (control, soja y linaza) y días de maduración (0, 5 y 10 días)

Como se observa en la Tabla 5.8, el efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza) en la dieta no afectó de forma estadísticamente significativa ($P>0,05$) a ninguno de los parámetros del color medidos.

Sin embargo se observaron diferencias significativas ($P<0,05$) en la evolución de la luminosidad (L^*), el Índice de rojo (a) y el tono (h^*) a lo largo de los días de maduración estudiados (0, 5 y 10 días).

El índice de luminosidad (L^*) fue estadísticamente superior ($P<0,0001$) en la carne madurada 5 días (35,33) seguida de la madurada 10 días (33,32), presentado el valor más bajo la carne sin madurar (31,20).

El Índice de rojo (a^*) alcanzó el valor más alto ($P<0,0001$) en la carne sin madurar (13,54) que en la carne madurada 5 y 10 días (9,62 y 10,46). Sin embargo el tono (h^*) a los 5 y 10 días de maduración fue significativamente mayor ($P<0,05$) (60,04 y 57,55) que a los 0 días (49,65).

Tabla 5.8. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el valor de las coordenadas L*, a*, b*, tono y croma del músculo *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | Media | D | DM | DxDM |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------|---------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | | | |
| Luminosidad (L*) | | | | | 0,33 | <0,0001 | 0,11 |
| 0 días | 29,17±1,230 | 33,21±1,230 | 31,22±1,230 | 31,20^z±0,709 | | | |
| 5 días | 34,91±0,880 | 34,68±0,880 | 36,40±0,880 | 35,33^x±0,508 | | | |
| 10 días | 33,10±1,164 | 33,82±1,164 | 33,03±1,164 | 33,32^y±0,671 | | | |
| Media | 32,39±0,774 | 33,90±0,774 | 33,55±0,774 | | | | |
| Índice de rojo (a*) | | | | | 0,92 | <0,0001 | 0,12 |
| 0 días | 14,29±1,035 | 11,94±1,035 | 14,39±1,035 | 13,54^x±0,597 | | | |
| 5 días | 9,25±0,698 | 10,39±0,698 | 9,21±0,698 | 9,62^y±0,403 | | | |
| 10 días | 10,56±1,035 | 10,67±1,035 | 10,14±1,035 | 10,46^z±0,588 | | | |
| Media | 11,37±0,657 | 11,00±0,657 | 11,25±0,657 | | | | |
| Índice de amarillo (b*) | | | | | 0,62 | 0,12 | 0,22 |
| 0 días | 15,52±0,749 | 15,11±0,749 | 16,08±0,749 | 15,57±0,432 | | | |
| 5 días | 16,68±0,536 | 16,03±0,536 | 16,91±0,536 | 16,54±0,309 | | | |
| 10 días | 15,35±0,719 | 16,96±0,719 | 16,46±0,719 | 16,25±0,414 | | | |
| Media | 15,85±0,474 | 16,04±0,474 | 16,48±0,474 | | | | |
| Croma (C*) | | | | | 0,83 | 0,10 | 0,21 |
| 0 días | 21,36±1,133 | 19,34±1,133 | 21,70±1,133 | 20,80±0,654 | | | |
| 5 días | 19,18±0,706 | 19,22±0,706 | 19,35±0,706 | 19,25±0,407 | | | |
| 10 días | 18,81±0,910 | 20,32±0,910 | 19,59±0,910 | 19,57±0,523 | | | |
| Media | 19,78±0,702 | 19,63±0,702 | 20,21±0,702 | | | | |
| Tono (h*) | | | | | 0,72 | <0,0001 | 0,14 |
| 0 días | 48,70±1,645 | 51,71±1,645 | 48,52±1,645 | 49,65^y±0,949 | | | |
| 5 días | 60,95±1,570 | 57,46±1,570 | 61,69±1,570 | 60,04^x±0,906 | | | |
| 10 días | 55,44±2,489 | 58,88±2,489 | 58,32±2,489 | 57,55^z±1,436 | | | |
| Media | 55,03±1,092 | 56,02±1,092 | 56,18±1,092 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

^{a, b, c} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

^{x, y, z} Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Los días de maduración no afectaron de forma estadísticamente significativa ($P > 0,05$) al valor del índice de amarillo (b*) ni el croma (C*).

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre los pigmentos hemínicos del músculo *Longissimus dorsi*.

Como se puede observar, el efecto de la dieta y la interacción entre el tipo de dieta y los días de maduración de la carne no presentaron efectos estadísticamente significativos ($P>0,05$) sobre el contenido en hematina ni mioglobina de la carne. Sin embargo el contenido en hematina y mioglobina (mg/g) fue significativamente superior ($P<0,05$) en la carne madurada 10 días (162,95 $\mu\text{g/g}$ y 4,21 mg/g, respectivamente) que en la carne sin madurar (148,74 $\mu\text{g/g}$ y 3,82, respectivamente) mientras que a los 5 días se obtuvo un valor intermedio (150,05 $\mu\text{g/g}$ y 3,87 mg/g, respectivamente).

Tabla 5.9. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la concentración hematina ($\mu\text{g/g}$ de carne) y mioglobina (mg/g de carne) del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | Media | D | DM | DxDM |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|------|------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | | | |
| Hematina ($\mu\text{g/g}$) | | | | | 0,24 | 0,02 | 0,70 |
| 0 días | 159,48 \pm 6,452 | 146,24 \pm 6,452 | 140,50 \pm 6,452 | 148,74^y \pm 3,724 | | | |
| 5 días | 160,82 \pm 8,642 | 143,53 \pm 8,642 | 145,78 \pm 8,642 | 150,05^{xy} \pm 4,989 | | | |
| 10 días | 165,44 \pm 8,771 | 159,38 \pm 8,771 | 164,04 \pm 8,771 | 162,95^x \pm 5,063 | | | |
| Media | 161,91\pm5,727 | 149,71\pm5,727 | 150,11\pm5,727 | | | | |
| Mioglobina (mg/g) | | | | | 0,24 | 0,01 | 0,69 |
| 0 días | 4,10 \pm 0,166 | 3,76 \pm 0,166 | 3,61 \pm 0,166 | 3,82^y \pm 0,095 | | | |
| 5 días | 4,15 \pm 0,221 | 3,70 \pm 0,221 | 3,75 \pm 0,221 | 3,87^{xy} \pm 0,127 | | | |
| 10 días | 4,27 \pm 0,226 | 4,12 \pm 0,226 | 4,24 \pm 0,226 | 4,21^x \pm 0,130 | | | |
| Media | 4,17\pm0,147 | 3,86\pm0,147 | 3,87\pm0,147 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

^{a, b, c} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0,05$)

^{x, y, z} Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P<0,05$).

5.2.1.2. Valores de pH de la carne y capacidad de retención de agua (CRA)

En la Tabla 5.10 se muestran los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre los valores de pH y capacidad de retención de agua (CRA) expresada en porcentaje de jugo exprimible después de la compresión, utilizando el método de Grau and Hamm (Grau and Hamm, 1953) del músculo *Longissimus dorsi*

El efecto de la dieta no influyó sobre los valores de pH ni en la capacidad de retención de agua (% de jugo exprimible) ($P>0,05$). La interacción entre dieta y días de maduración tampoco presentó diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$). Por el contrario, los días de maduración modificaron los valores de pH ($p<0,01$) y la capacidad de retención de agua (% de jugo exprimible) ($P<0001$).

Como se observa en la Tabla 5.10 el valor de pH de la carne fue significativamente mayor a los 0 y 5 días de maduración que a los 10 días. (5,59 y 5,58 frente a 5,47).

Los días de maduración disminuyeron los valores de CRA expresada en porcentaje de jugo exprimible después de la compresión (40,33%, 35,49% y 29,25% a los 0, 5 y 10 días de maduración, respectivamente).

Tabla 5.10. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el pH y la capacidad de retención de agua expresada como % de jugo exprimible del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | | D | DM | DxDM |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------|---------|------|
| | Control | Soja | Linaza | Media | | | |
| pH | | | | | 0,96 | 0,0017 | 0,36 |
| 0 días | 5,57±0,042 | 5,59±0,042 | 5,59±0,042 | 5,59^a±0,024 | | | |
| 5 días | 5,59±0,044 | 5,60±0,044 | 5,53±0,044 | 5,58^b±0,025 | | | |
| 10 días | 5,48±0,085 | 5,41±0,085 | 5,51±0,085 | 5,47^c±0,049 | | | |
| Media | 5,55±0,049 | 5,53±0,049 | 5,55±0,049 | | | | |
| % de jugo exprimible | | | | | 0,84 | <0,0001 | 0,59 |
| 0 días | 40,36±1,678 | 40,05±1,678 | 40,61±1,678 | 40,33^x±0,968 | | | |
| 5 días | 35,78±2,808 | 35,86±2,808 | 34,84±2,808 | 35,49^y±1,621 | | | |
| 10 días | 26,21±3,301 | 31,44±3,301 | 30,08±3,301 | 29,25^z±1,905 | | | |
| Media | 34,12±2,014 | 35,78±2,014 | 35,17±2,014 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

a, b, c Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0,05$)

x, y, z Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P<0,05$).

5.2.2. Análisis químico de la carne

5.2.2.1. Composición química de la carne y oxidación lipídica

Los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y

la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la humedad, grasa bruta de la carne, y la oxidación de la grasa del músculo *Longissimus dorsi* aparecen reflejados en la Tabla 5.11.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en los valores de humedad, grasa bruta y mg de MDA/kg de carne de los terneros que consumieron las diferentes dietas (control, soja y linaza). Tampoco se observó un efecto estadísticamente significativo ($P>0,05$) en la interacción de la dieta con los días de maduración. Sin embargo, la maduración de la carne durante 0, 5 o 10 días influyó sobre el contenido en humedad ($P<0,01$) y la oxidación de la grasa ($P<0,0001$).

El contenido en humedad presentó un valor significativamente superior en la carne sin madurar (74,32 %) que a los 5 y 10 días de maduración (73,38 % y 73,34 %, respectivamente) (Tabla 5.11).

Los mg de MDA/kg de carne fueron superiores a los 5 y 10 días de maduración (1,75 y 1,92, respectivamente) que en la carne sin madurar (0,58).

5.2.2.2. Perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular

En la Tabla 5.12 se muestran los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el perfil de ácidos grasos saturados (SFA) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi*

No se observan diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en las interacciones entre los factores analizados (dieta x días de maduración) en ninguno de los ácidos grasos estudiados.

En general, los efectos observados por el tipo de aceite incorporado a la dieta, sobre el contenido en ácidos grasos de la grasa intramuscular, son similares a

los descritos en la prueba Experimental I, aunque se observan algunas diferencias en los niveles de significación encontrados.

Tabla 5.11. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la humedad, la grasa bruta y la oxidación de la grasa (expresada como mg de MDA/Kg de carne) del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | | D | DM | DxDM |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------|---------|------|
| | Control | Soja | Linaza | Media | | | |
| Humedad (%) | | | | | 0,27 | 0,0018 | 0,35 |
| 0 días | 74,19±0,458 | 74,42±0,458 | 74,34±0,458 | 74,32^x±0,264 | | | |
| 5 días | 73,25±0,344 | 73,56±0,344 | 73,33±0,344 | 73,38^y±0,198 | | | |
| 10 días | 72,59±0,406 | 73,96±0,406 | 73,46±0,406 | 73,34^y±0,234 | | | |
| Media | 73,34±0,276 | 73,98±0,276 | 73,71±0,276 | | | | |
| Grasa bruta (% MS) | | | | | 0,81 | 0,63 | 0,74 |
| 0 días | 4,73±0,524 | 4,76±0,524 | 4,38±0,524 | 4,62±0,302 | | | |
| 5 días | 5,07±0,458 | 4,54±0,458 | 5,53±0,458 | 5,05±0,264 | | | |
| 10 días | 4,56±0,639 | 4,82±0,639 | 5,07±0,639 | 4,82±0,368 | | | |
| Media | 4,79±0,324 | 4,71±0,324 | 4,99±0,324 | | | | |
| mg de MDA/Kg de carne | | | | | 0,78 | <0,0001 | 0,32 |
| 0 días | 0,41±0,163 | 0,63±0,163 | 0,70±0,163 | 0,58^y±0,094 | | | |
| 5 días | 1,96±0,422 | 1,71±0,422 | 1,58±0,422 | 1,75^x±0,244 | | | |
| 10 días | 2,03±0,243 | 1,59±0,243 | 2,14±0,243 | 1,92^x±0,140 | | | |
| Media | 1,47±0,187 | 1,31±0,187 | 1,47±0,187 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

a, b, c Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

x, y, z Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

La grasa intramuscular de los animales que consumieron la dieta con aceite de soja presentó una tendencia ($P=0,05$) a un mayor contenido en C12:0 que los que consumieron la dieta control (0,37 % frente a 0,25 %) mientras que los de la dieta con aceite de linaza obtuvieron un valor intermedio (0,29 %).

Los días de maduración también tuvieron un efecto estadísticamente significativo en el contenido de C12:0, mostrando valores significativamente mayores ($P < 0,001$) en la grasa intramuscular de la carne sin madurar (0,39 %) que en la madurada 5 y 10 días (0,28 y 0,24 %, respectivamente).

También se observan diferencias significativas ($P < 0,01$) entre las dietas en el contenido de ácido mirístico (C14:0) presentando valores más altos en la grasa intramuscular de los animales de las dietas control y (2,57 % y 2,64 %, respectivamente) que la de soja (1,99 %).

El tratamiento control presentó un valor de ácido palmítico (C16:0) significativamente ($P<0,001$) mayor que el resto de las dietas (26,88 % frente a 24,59% en el tratamiento soja y 23,73% en el tratamiento linaza).

Ni la incorporación de diferentes aceites a la dieta, ni los distintos días de maduración estudiados tuvieron efecto significativo ($P>0,05$) en el contenido de C15:0, C17:0 y C18:0 (ácido esteárico).

En la Tabla 5.13 se muestran los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el perfil de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi*.

Ni el tipo de dieta incorporado ni los días de maduración tuvieron efecto estadísticamente significativo ($P>0,05$) sobre el contenido en C14:1.

La grasa intramuscular de los animales que consumieron el tratamiento control presento una tendencia ($P=0,05$) a un mayor contenido en C16:1 que los que consumieron la dieta con aceite de soja (2,24 % frente a 1,71 %), mientras que los de aceite de linaza presentaron un valor intermedio (2,09 %)

Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P=0,10$) el ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11) presentó valores más altos en las dietas con aceite de soja o linaza y disminuyó con los días de maduración ($P=0,08$).

El C18:1 *cis*-9 (ácido oleico) presentó una tendencia ($P=0,09$) a un mayor contenido en la grasa intramuscular de los animales que consumieron la dieta con aceite de linaza (32,11 %) que los que consumieron el tratamiento con aceite de soja (28,69 %), mientras que los del tratamiento control (con aceite de palma) obtienen un valor intermedio (30,20 %). El contenido de C18:1 *cis*-9 (ácido oleico) fue significativamente inferior ($P<0,05$) a los 10 días de maduración (29,13 %) que a los 0 y 5 días (31,11 % y 30,76 %).

Tabla 5.12. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la composición de ácidos grasos saturados (SFA) (g/100 g de ácidos grasos identificados) del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | | D | DM | DxDM |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------|--------|------|
| | Control | Soja | Linaza | Media | | | |
| C12:0 | | | | | 0,05 | 0,0005 | 0,45 |
| 0 días | 0,36±0,066 | 0,44±0,066 | 0,37±0,066 | 0,39^x±0,038 | | | |
| 5 días | 0,20±0,032 | 0,39±0,032 | 0,25±0,032 | 0,28^y±0,018 | | | |
| 10 días | 0,18±0,047 | 0,29±0,047 | 0,26±0,047 | 0,24^y±0,026 | | | |
| Media | 0,25^b±0,034 | 0,37^a±0,034 | 0,29^{ab}±0,034 | | | | |
| C14:0 | | | | | 0,0045 | 0,65 | 0,98 |
| 0 días | 2,68±0,199 | 1,97±0,199 | 2,73±0,199 | 2,46±0,115 | | | |
| 5 días | 2,49±0,188 | 1,95±0,188 | 2,57±0,188 | 2,33±0,108 | | | |
| 10 días | 2,54±0,194 | 2,06±0,194 | 2,63±0,194 | 2,41±0,111 | | | |
| Media | 2,57^a±0,133 | 1,99^b±0,133 | 2,64^a±0,133 | | | | |
| C15:0 | | | | | 0,45 | 0,92 | 0,35 |
| 0 días | 0,39±0,117 | 0,57±0,117 | 0,37±0,117 | 0,44±0,067 | | | |
| 5 días | 0,38±0,117 | 0,52±0,117 | 0,40±0,117 | 0,43±0,067 | | | |
| 10 días | 0,38±0,061 | 0,37±0,061 | 0,48±0,061 | 0,41±0,035 | | | |
| Media | 0,38±0,060 | 0,49±0,060 | 0,41±0,060 | | | | |
| C16:0 | | | | | 0,0004 | 0,19 | 0,85 |
| 0 días | 27,43±0,578 | 25,00±0,578 | 23,86±0,578 | 25,43±0,334 | | | |
| 5 días | 26,78±0,533 | 24,64±0,533 | 24,09±0,533 | 25,17±0,308 | | | |
| 10 días | 26,43±0,592 | 24,13±0,592 | 23,23±0,592 | 24,60±0,341 | | | |
| Media | 26,88^a±0,482 | 24,59^b±0,482 | 23,73^b±0,482 | | | | |
| C17:0 | | | | | 0,590 | 0,22 | 0,26 |
| 0 días | 0,95±0,076 | 0,99±0,076 | 1,09±0,076 | 1,01±0,043 | | | |
| 5 días | 0,94±0,051 | 0,88±0,051 | 0,97±0,051 | 0,93±0,029 | | | |
| 10 días | 1,01±0,055 | 1,00±0,055 | 1,02±0,055 | 1,01±0,032 | | | |
| Media | 0,97±0,052 | 0,96±0,052 | 1,03±0,052 | | | | |
| C18:0 | | | | | 0,85 | 0,57 | 0,12 |
| 0 días | 20,10±1,153 | 21,00±1,153 | 20,14±1,153 | 20,41±0,666 | | | |
| 5 días | 20,19±0,882 | 19,29±0,882 | 19,36±0,882 | 19,61±0,509 | | | |
| 10 días | 21,08±1,055 | 20,42±1,055 | 19,57±1,055 | 20,36±0,609 | | | |
| Media | 20,45±0,992 | 20,24±0,992 | 19,69±0,992 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

^{a, b, c} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0,05$)

^{x, y, z} Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P<0,05$).

El contenido de C18:1 *cis*-11 de la grasa intramuscular de los animales que consumieron tratamiento linaza fue significativamente mayor ($P<0,05$) (2,16 %) que los que consumieron aceite de palma (1,73 %) y el tratamiento soja (1,93 %). Los días de maduración tuvieron un efecto significativo ($P<0,05$) en el contenido de C18:1 *cis*-11, mostrando un mayor valor a los 0 y 5 días de maduración (2,03% y 2,02 %) que a los 10 días (1,78 %).

Los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y

la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre el perfil de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* se muestran en la Tabla 5.14

Tabla 5.13. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la composición de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) (g/100 g de ácidos grasos identificados) del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | | D | DM | DxDM |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|---------|------|
| | Control | Soja | Linaza | Media | | | |
| C14:1 | | | | | 0,23 | 0,44 | 0,89 |
| 0 días | 0,36±0,047 | 0,28±0,047 | 0,38±0,047 | 0,34±0,027 | | | |
| 5 días | 0,33±0,047 | 0,26±0,047 | 0,37±0,047 | 0,32±0,023 | | | |
| 10 días | 0,30±0,041 | 0,24±0,041 | 0,35±0,041 | 0,30±0,027 | | | |
| Media | 0,33±0,043 | 0,26±0,043 | 0,37±0,043 | | | | |
| C16:1 | | | | | 0,05 | 0,19 | 0,41 |
| 0 días | 2,40±0,162 | 1,71±0,162 | 2,12±0,162 | 2,07±0,093 | | | |
| 5 días | 2,15±0,159 | 1,66±0,159 | 2,03±0,159 | 1,95±0,091 | | | |
| 10 días | 2,16±0,169 | 1,75±0,169 | 2,12±0,169 | 2,01±0,097 | | | |
| Media | 2,24^a±0,148 | 1,71^b±0,148 | 2,09^{ab}±0,148 | | | | |
| C18:1 <i>trans</i> -11 | | | | | 0,10 | 0,08 | 0,21 |
| 0 días | 2,40±0,379 | 3,71±0,379 | 3,51±0,379 | 3,21^x±0,218 | | | |
| 5 días | 2,41±0,434 | 3,18±0,434 | 3,32±0,434 | 2,97^{xy}±0,250 | | | |
| 10 días | 2,28±0,303 | 3,25±0,303 | 2,78±0,303 | 2,77^y±0,175 | | | |
| Media | 2,37±0,349 | 3,38±0,349 | 3,20±0,349 | | | | |
| C18:1 <i>cis</i> -9 | | | | | 0,09 | <0,0001 | 0,46 |
| 0 días | 30,83±1,094 | 30,03±1,094 | 32,48±1,094 | 31,11^x±0,631 | | | |
| 5 días | 30,84±1,307 | 28,67±1,307 | 32,78±1,307 | 30,76^x±0,754 | | | |
| 10 días | 28,94±0,949 | 27,38±0,949 | 31,08±0,949 | 29,13^y±0,548 | | | |
| Media | 30,20^{ab}±1,047 | 28,69^b±1,047 | 32,11^a±1,047 | | | | |
| C18:1 <i>cis</i> -11 | | | | | 0,0022 | <0,0001 | 0,07 |
| 0 días | 1,82±0,077 | 2,03±0,077 | 2,23±0,077 | 2,03^x±0,054 | | | |
| 5 días | 1,78±0,081 | 2,04±0,081 | 2,24±0,081 | 2,02^x±0,044 | | | |
| 10 días | 1,61±0,095 | 1,73±0,095 | 2,01±0,095 | 1,78^y±0,046 | | | |
| Media | 1,73^b±0,073 | 1,93^b±0,073 | 2,16^a±0,073 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

^{a, b, c} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

^{x, y, z} Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

El contenido en ácido linoleico (C18:2 *cis*-9, *cis*-12 *n*-6) fue significativamente mayor en la grasa intramuscular de los terneros que consumieron la dieta con aceite de soja (11,00 %) que los que consumieron las dietas control o linaza (8,08 %, 7,61 %). A lo largo de los días de maduración la concentración de ácido linoleico fue disminuyendo, siendo significativamente inferior ($P < 0,05$) a los 10 días de maduración.

Los terneros que consumieron la dieta con aceite de linaza presentaron un mayor contenido ($P<0,05$) en ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA) que los que consumieron las dietas control y soja (0,34 % frente a 0,25 y 0,22 %). El C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA (ácido ruménico) presentó una tendencia ($P=0,07$) a un mayor valor a los 10 días de maduración (0,29 % frente a 0,26 y 0,26 registrado a los 5 y 10 días de maduración, respectivamente).

El C18:2 *trans*-10, *cis*-12 CLA fue significativamente mayor en la grasa intramuscular de los terneros que consumieron el tratamiento soja (0,01 %) que los de linaza (0,001 %) mientras que en el control su valor fue intermedio (0,002 %)

El contenido de ácido α -linolénico fue significativamente mayor en la grasa intramuscular de los terneros que consumieron el tratamiento con aceite de linaza (1,69 %) que en la de los que consumieron el tratamiento control y soja (0,42% y 0,58%, respectivamente).

El C20:3 *n*-6 presentó una tendencia ($P=0,07$) a un mayor contenido en la grasa de los terneros alimentados con el tratamiento soja (0,46 %) que en la de los del tratamiento linaza (0,26 %). Los días de maduración también tuvieron un efecto significativo en la concentración de C20:3 *n*-6 siendo significativamente mayor a los 5 días de maduración.

De igual manera, el ácido araquidónico (C20:4 *n*-6) presentó una tendencia ($P=0,06$) a un mayor contenido en la grasa de los terneros alimentados con el tratamiento con aceite de soja (2,10 %) que con aceite de linaza (1,28 %). También se observó que a los 5 días de maduración el contenido de C20:4 *n*-6 fue significativamente mayor (2,06 %) que a los 0 días (1,42 %).

El EPA (C20:5 *n*-3) presentó una tendencia ($P=0,07$) a un menor contenido en la grasa intramuscular de los terneros alimentados con la dieta control (0,13 %) que con la dieta con aceite de linaza (0,28 %).

Tabla 5.14. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre la composición de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) (g/100 g de ácidos grasos identificados) del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | | D | DM | DxDM |
|--|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|--------|------|
| | Control | Soja | Linaza | Media | | | |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 <i>n</i> -6 | | | | | 0,02 | 0,0002 | 0,40 |
| 0 días | 9,29±0,925 | 12,59±0,925 | 8,19±0,925 | 10,02^x±0,534 | | | |
| 5 días | 7,82±1,132 | 11,44±1,132 | 7,79±1,132 | 9,02^x±0,653 | | | |
| 10 días | 7,14±1,023 | 8,97±1,023 | 6,85±1,023 | 7,65^y ±0,059 | | | |
| Media | 8,08^b±0,885 | 11,00^a±0,885 | 7,61^b±0,885 | | | | |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 CLA | | | | | 0,0027 | 0,07 | 0,93 |
| 0 días | 0,23±0,029 | 0,22±0,029 | 0,33±0,029 | 0,26^y±0,016 | | | |
| 5 días | 0,24±0,027 | 0,20±0,027 | 0,34±0,027 | 0,26^y±0,015 | | | |
| 10 días | 0,27±0,027 | 0,25±0,027 | 0,36±0,027 | 0,29^x±0,015 | | | |
| Media | 0,25^b±0,022 | 0,22^b±0,022 | 0,34^a±0,022 | | | | |
| C18:2 <i>trans</i> -10, <i>cis</i> -12 CLA | | | | | 0,04 | 0,28 | 0,25 |
| 0 días | 6·10 ⁻³ ±0,006 | 0,02±0,006 | <0,001±0,006 | 9·10⁻³±0,004 | | | |
| 5 días | <0,001±0,005 | 9·10 ⁻³ ±0,005 | <0,001±0,005 | 3·10⁻³±0,003 | | | |
| 10 días | <0,001±0,003 | 6·10 ⁻³ ±0,003 | <0,001±0,003 | 3·10⁻³±0,002 | | | |
| Media | 2·10^{-3ab}±0,003 | 0,01^a±0,003 | 10⁻³±0,003 | | | | |
| C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 <i>cis</i> -15 <i>n</i> -3 | | | | | <0,0001 | 0,10 | 0,20 |
| 0 días | 0,41±0,084 | 0,55±0,084 | 1,59±0,084 | 0,85±0,048 | | | |
| 5 días | 0,45±0,082 | 0,67±0,082 | 1,83±0,082 | 0,98±0,047 | | | |
| 10 días | 0,41±0,070 | 0,56±0,070 | 1,66±0,070 | 0,87±0,040 | | | |
| Media | 0,42^b±0,617 | 0,58^b±0,617 | 1,69^a±0,617 | | | | |
| C20:3 <i>n</i> -6 | | | | | 0,07 | 0,0003 | 0,47 |
| 0 días | 0,38±0,068 | 0,35±0,068 | 0,23±0,068 | 0,32^y±0,039 | | | |
| 5 días | 0,52±0,062 | 0,57±0,062 | 0,31±0,062 | 0,47^x±0,035 | | | |
| 10 días | 0,40±0,077 | 0,47±0,077 | 0,26±0,077 | 0,37^y±0,044 | | | |
| Media | 0,43^{ab}±0,061 | 0,46^a±0,061 | 0,26^b±0,061 | | | | |
| C20:4 <i>n</i> -6 | | | | | 0,06 | 0,0004 | 0,41 |
| 0 días | 1,56±0,307 | 1,65±0,307 | 1,05±0,307 | 1,42^y±0,177 | | | |
| 5 días | 2,11±0,246 | 2,58±0,246 | 1,48±0,246 | 2,06^x±0,142 | | | |
| 10 días | 1,49±0,277 | 2,08±0,277 | 1,32±0,277 | 1,63^{xy}±0,160 | | | |
| Media | 1,72^{ab}±0,234 | 2,10^a±0,234 | 1,28^b±0,234 | | | | |
| C20:5 <i>n</i> -3 | | | | | 0,07 | 0,13 | 0,54 |
| 0 días | 0,14±0,049 | 0,22±0,049 | 0,25±0,049 | 0,20±0,028 | | | |
| 5 días | 0,16±0,056 | 0,30±0,056 | 0,33±0,056 | 0,27±0,032 | | | |
| 10 días | 0,11±0,043 | 0,19±0,043 | 0,26±0,043 | 0,19±0,024 | | | |
| Media | 0,13^b±0,044 | 0,24^{ab}±0,044 | 0,28^a±0,044 | | | | |
| C22:5 <i>n</i> -3 | | | | | 0,21 | 0,06 | 0,31 |
| 0 días | 0,52±0,109 | 0,47±0,109 | 0,52±0,109 | 0,50^y±0,063 | | | |
| 5 días | 0,50±0,096 | 0,80±0,096 | 0,72±0,096 | 0,67^x±0,055 | | | |
| 10 días | 0,41±0,106 | 0,66±0,106 | 0,72±0,106 | 0,60^x±0,061 | | | |
| Media | 0,48±0,077 | 0,64±0,077 | 0,65±0,077 | | | | |
| C22:6 <i>n</i> -3 | | | | | 0,77 | 0,20 | 0,64 |
| 0 días | 0,03±0,013 | 0,04±0,013 | 0,03±0,013 | 0,03±0,007 | | | |
| 5 días | 0,03±0,016 | 0,04±0,016 | 0,06±0,016 | 0,04±0,009 | | | |
| 10 días | 0,03±0,013 | 0,02±0,013 | 0,04±0,013 | 0,03±0,008 | | | |
| Media | 0,03±0,011 | 0,04±0,011 | 0,04±0,011 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

^{a, b, c} Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

^{x, y, z} Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Ni el tipo de dieta incorporado ni los días de maduración tuvieron ningún efecto estadísticamente significativo ($P>0,05$) en el contenido de C22:5 $n-3$ ni C22:6 $n-3$., únicamente a los 5 y 10 días de maduración el valor de C22:5 $n-3$ en la grasa intramuscular de la carne presento una tendencia ($P=0,06$) a una mayor concentración que en la carne sin madurar (0,67 y 0,60 vs 0,50, respectivamente).

En la Tabla 5.15 se muestran los resultados obtenidos del efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales (palma, soja y linaza), distintos días de maduración (0, 5 y 10 días) y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre diferentes parámetros calculados del perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi*.

La grasa intramuscular de los terneros que consumieron el tratamiento control presentó una tendencia a ($P=0,06$) un mayor contenido en el total de ácidos grasos saturados que los que consumieron el tratamiento linaza (51,52 % frente a 47,83 %, respectivamente).

Ni las distintas dietas ni los días de maduración tuvieron efecto significativo ($P>0,05$) en el contenido total de ácidos grasos monoinsaturados (MUFA).

Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) no mostraron diferencias significativas entre las dietas suministradas a los animales ($P>0,05$) pero si en los días de maduración. Como se puede observar, el contenido de PUFA fue significativamente mayor ($P<0,05$) en la carne madurada 5 días (14,81 %) que en la carne sin madurar (11,28 %), presentando un valor intermedio en la carne madurada 10 días (0,27%).

La relación de ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos saturados (P/S) mostró una tendencia ($P=0,09$) a un mayor contenido en los animales que consumieron la dieta con aceite de soja (0,32) que los que consumieron el tratamiento control (0,22). Entre los diferentes días de maduración aparecieron diferencias significativas ($P<0,05$) en la relación P/S obteniendo un mayor valor

en la grasa intramuscular de la carne madurada 5 días que la carne sin madurar (0,30 frente a 0,22).

El total de ácidos grasos de la serie *n*-6 fue significativamente superior ($P<0,05$) en los animales del tratamiento soja que en los del tratamiento linaza (13,57 % frente a 9,17 %). Los días de maduración también tuvieron un efecto significativo ($P<0,001$) en el contenido total de ácidos grasos de la serie *n*-6, obteniendo un mayor valor a los 5 días de maduración (12,56 %) que en la carne sin madurar (9,39 %).

El contenido total de ácidos grasos de la serie *n*-3 presente en la grasa intramuscular aumento de forma estadísticamente significativa ($P<0,05$) al aumentar el grado de instauración del aceite incorporado en la dieta. Así el contenido más bajo se observó en la dieta control (1,08 %) frente al más alto en la dieta con aceite de linaza (2,68 %).

La relación *n*-6/*n*-3 más baja ($P<0,0001$) se observó en la grasa de los terneros que consumieron aceite de linaza (3,48 frente a 9,84 y 9,26 registrado en los tratamientos control y soja).

El índice de aterogenicidad presentó diferencias significativas ($P<0,05$) entre el tratamiento control (0,77) y los tratamientos con aceite de soja y linaza (0,64 y 0,66). No se observaron diferencias significativas por el tipo de aceite ($P>0,05$) en el índice desaturasa.

Los días de maduración no tuvieron efecto significativo ($P>0,05$) en el contenido total de ácidos grasos de la serie *n*-3, en la relación *n*-6/ *n*-3, en el índice de aterogenicidad, ni en el índice desaturasa

Tabla 5.15. Efecto de la inclusión de diferentes aceites vegetales, distintos días de maduración y la interacción entre ambos (dietas x días de maduración) sobre diferentes parámetros calculados del perfil de ácidos grasos del *Longissimus dorsi*.

| | Dieta | | | Media | D | DM | DxDM |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------|--------|------|
| | Control | Soja | Linaza | | | | |
| Saturados | | | | | 0,06 | 0,33 | 0,64 |
| 0 días | 51,93±1,339 | 49,99±1,339 | 48,59±1,339 | 50,17±0,773 | | | |
| 5 días | 51,00±1,057 | 47,69±1,057 | 47,66±1,057 | 48,78±0,610 | | | |
| 10 días | 51,64±1,213 | 48,30±1,213 | 47,22±1,213 | 49,05±0,700 | | | |
| Media | 51,52^a±1,088 | 48,66^{ab}±1,088 | 47,83^b±1,088 | | | | |
| Monoinsaturados (MUFA) | | | | | 0,10 | 0,16 | 0,63 |
| 0 días | 37,62±1,371 | 37,47±1,371 | 40,52±1,371 | 38,54±0,791 | | | |
| 5 días | 35,65±1,262 | 34,52±1,262 | 39,03±1,262 | 36,40±0,728 | | | |
| 10 días | 37,40±1,510 | 35,99±1,510 | 40,32±1,510 | 37,90±0,871 | | | |
| Media | 36,89±1,302 | 36,00±1,302 | 39,95±1,302 | | | | |
| Poliinsaturados (PUFA) | | | | | 0,10 | 0,0004 | 0,54 |
| 0 días | 10,44±1,501 | 12,52±1,501 | 10,881±1,501 | 11,28^y±0,866 | | | |
| 5 días | 13,34±1,348 | 17,78±1,348 | 13,300±1,348 | 14,81^x±0,778 | | | |
| 10 días | 10,95±1,610 | 15,69±1,610 | 12,454±1,610 | 13,03^{xy}±0,929 | | | |
| Media | 11,58±1,255 | 15,33±1,255 | 12,21±1,255 | | | | |
| Poliinsaturados/saturados (P/S) | | | | | 0,09 | 0,0009 | 0,55 |
| 0 días | 0,20±0,035 | 0,25±0,035 | 0,22±0,035 | 0,22^y±0,020 | | | |
| 5 días | 0,26±0,031 | 0,37±0,031 | 0,28±0,031 | 0,30^x±0,018 | | | |
| 10 días | 0,21±0,037 | 0,33±0,037 | 0,26±0,037 | 0,27^{xy}±0,021 | | | |
| Media | 0,22^b±0,028 | 0,32^a±0,028 | 0,25^{ab}±0,028 | | | | |
| Total n-6 | | | | | 0,03 | 0,0002 | 0,43 |
| 0 días | 9,08±1,351 | 10,97±1,351 | 8,13±1,351 | 9,39^y±0,780 | | | |
| 5 días | 11,96±1,187 | 15,75±1,187 | 9,99±1,187 | 12,56^x±0,685 | | | |
| 10 días | 9,71±1,459 | 13,99±1,459 | 9,39±1,459 | 11,03^{xy}±0,842 | | | |
| Media | 10,24^{ab}±1,139 | 13,57^a±1,139 | 9,17^b±1,139 | | | | |
| Total n-3 | | | | | <0,0001 | 0,10 | 0,57 |
| 0 días | 1,11±0,220 | 1,30±0,220 | 2,41±0,220 | 1,61±0,127 | | | |
| 5 días | 1,16±0,228 | 1,82±0,228 | 2,96±0,228 | 1,98±0,131 | | | |
| 10 días | 0,96±0,209 | 1,44±0,209 | 2,69±0,209 | 1,70±0,120 | | | |
| Media | 1,08^b±0,174 | 1,52^{ab}±0,174 | 2,68^a±0,174 | | | | |
| Relación n-6/ n-3 | | | | | <0,0001 | 0,22 | 0,76 |
| 0 días | 8,84±0,745 | 8,76±0,745 | 3,37±0,745 | 6,99±0,429 | | | |
| 5 días | 10,40±0,575 | 9,14±0,575 | 3,50±0,575 | 7,68±0,332 | | | |
| 10 días | 10,28±0,655 | 9,89±0,655 | 3,57±0,655 | 7,91±0,378 | | | |
| Media | 9,84^a±0,623 | 9,26^a±0,623 | 3,48^b±0,623 | | | | |
| Índice de aterogenicidad | | | | | 0,0044 | 0,12 | 0,97 |
| 0 días | 0,80±0,030 | 0,67±0,030 | 0,69±0,030 | 0,72±0,017 | | | |
| 5 días | 0,76±0,034 | 0,63±0,034 | 0,66±0,034 | 0,68±0,019 | | | |
| 10 días | 0,76±0,036 | 0,64±0,036 | 0,64±0,036 | 0,68±0,020 | | | |
| Media | 0,77^a±0,026 | 0,64^b±0,026 | 0,66^b±0,026 | | | | |
| Δ ⁹ índice desaturasa | | | | | 0,10 | 0,47 | 0,85 |
| 0 días | 0,40±0,012 | 0,40±0,012 | 0,42±0,012 | 0,41±0,006 | | | |
| 5 días | 0,38±0,011 | 0,38±0,011 | 0,42±0,011 | 0,40±0,006 | | | |
| 10 días | 0,39±0,014 | 0,39±0,014 | 0,43±0,014 | 0,41±0,007 | | | |
| Media | 0,39±0,011 | 0,39±0,011 | 0,42±0,011 | | | | |

D: efecto del tipo de dieta; DM: efecto de los días de maduración; DxDM: efecto de la interacción entre ambos factores

a, b, c Superíndices distintos en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

x, y, z Superíndices distintos en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

4.3. PRUEBA EXPERIMENTAL III: CALIBRACIÓN NIR PARA LA PREDICCIÓN DE HUMEDAD, PROTEÍNA, pH y PERFIL DE ACIDOS GRASOS DE LA CARNE

En la Tabla 5.16 y 5.17 se recogen los valores mínimos, máximos, medios y desviaciones estándar de los parámetros de composición química y perfil de ácidos grasos de las muestras de calibración utilizadas para obtener las ecuaciones de predicción globales basadas en los espectros NIR de las muestras del músculo *Longissimus dorsi* de terneros.

Después de eliminar los valores atípicos y probar diferentes tratamientos matemáticos, con y sin dispersión y corrección detrend, para la obtención de la mejor ecuación de calibración de cada parámetro estudiado, en las tablas 5.18 y 5.19 se resumen los estadísticos de calibración obtenidos en la aplicación de métodos de regresión MPLS y las diferentes combinaciones de transformaciones matemáticas

Las ecuaciones NIRS fueron seleccionadas teniendo en cuenta los mejores estadísticos: coeficiente de determinación (RQS), error estándar de la validación cruzada (SECV) (Shenk & Westerhaus 1996). Además se calculó el cociente entre la desviación estándar de los datos y el SECV (RPD).

El valor del coeficiente de determinación (RQS) de la proteína fue 0,924 y su RPD fue de 2,35, en la humedad el valor de RQS fue inferior (0,611) y su RPD 1,58 y en el pH en valor RPD fue de 1,44.

Los coeficientes de determinación de la calibración (RQS) de los ácidos grasos oscilaron entre 0,109 para el C18:1 *trans*-11y 0,718 para el C18:1 *cis*-11.

Tabla 5.16. Humedad, proteína, y pH de las muestras de carne de vacuno utilizadas para obtener las ecuaciones de predicción.

| | Mínimo | Máximo | Media | DE ¹ |
|----------|--------|--------|-------|-----------------|
| Humedad | 69,19 | 81,07 | 73,33 | 1,588 |
| Proteína | 63,10 | 84,24 | 76,19 | 4,124 |
| pH | 4,79 | 5,90 | 5,54 | 0,211 |

¹DE: desviación estándar

Tabla 5.17. Perfil de ácidos grasos (g/100g ácido grasos identificados) de la grasa intramuscular de las muestras de carne de vacuno utilizadas para obtener las ecuaciones de predicción.

| | n | Muestras de calibración | | | |
|--|-----|-------------------------|--------|-------|-----------------|
| | | Mínimo | Máximo | Media | DE ¹ |
| C12:0 | 121 | 0,05 | 0,91 | 0,30 | 0,172 |
| C14:0 | 121 | 0,03 | 4,11 | 2,55 | 0,593 |
| C14:1 | 121 | 0,16 | 0,91 | 0,34 | 0,133 |
| C15:0 | 121 | 0,02 | 1,92 | 0,44 | 0,257 |
| C16:0 | 121 | 20,04 | 30,50 | 25,18 | 2,240 |
| C16:1 | 121 | 0,90 | 3,58 | 2,16 | 0,520 |
| C17:0 | 121 | 0,68 | 1,69 | 1,05 | 0,201 |
| C18:0 | 121 | 15,07 | 28,10 | 19,53 | 2,740 |
| C18:1 <i>trans</i> -11 | 121 | 0,07 | 8,80 | 3,43 | 1,376 |
| C18:1 <i>cis</i> -9 | 121 | 21,92 | 39,40 | 31,32 | 3,685 |
| C18:1 <i>cis</i> -11 | 121 | 1,17 | 2,90 | 1,90 | 0,317 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 <i>n</i> -6 | 121 | 3,16 | 19,08 | 7,94 | 3,187 |
| C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 <i>n</i> -3 | 121 | 0,14 | 2,37 | 0,78 | 0,628 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> - 11 CLA | 119 | 0,05 | 0,65 | 0,26 | 0,096 |
| C20:3 <i>n</i> -6 | 121 | 0,07 | 1,13 | 0,37 | 0,197 |
| C20:4 <i>n</i> -6 | 121 | 0,06 | 4,30 | 1,61 | 0,857 |
| C20:5 <i>n</i> -3 | 121 | 0,01 | 0,76 | 0,19 | 0,156 |
| C22:5 <i>n</i> -3 | 121 | 0,09 | 1,40 | 0,50 | 0,327 |
| C22:6 <i>n</i> -3 | 71 | 0,01 | 0,16 | 0,06 | 0,032 |

¹DE: desviación estándar

Tabla 5.18. Calibración NIRS de la humedad, proteína, y pH de la carne de vacuno.

| | TTO | RSQ | SEC | SECV | RPD |
|----------|------|-------|-------|-------|------|
| Humedad | SNVD | 0,611 | 0,873 | 1,005 | 1,58 |
| Proteína | WMSC | 0,924 | 1,176 | 1,752 | 2,35 |
| pH | SMSC | 0,679 | 0,112 | 0,147 | 1,44 |

TTO: Tratamiento matemático empleado; RQS: Coeficiente de determinación; SEC: Error estándar de calibración; SECV: error estándar de la validación cruzada; RPD: cociente entre desviación estándar de las muestras y SECV

Los errores estándar de calibración (SEC) oscilaron entre 0,022 del C18:2 *cis*-9,*cis*-12 *n*-6 y 1,913 del C16:0 y fueron ligeramente inferiores a los de la validación cruzada (SECV) que oscilaron entre 0,023 para el C18:1 *cis*-9 y el C22:6 *n*-3 y 1,948 para el C16:0.

Los coeficientes de determinación de la validación (RQS) oscilaron entre 0,038 del C18:1 *trans*-11 y 0,887 del C18:2 *cis*-9,*cis*-12 *n*-6.

Tabla 5.19. Calibración NIRS del perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular de carne de vacuno.

| | TTO | RQS | SEC | SECV | RPD |
|--|------|-------|-------|-------|------|
| C12:0 | SNVD | 0,650 | 0,085 | 0,096 | 1,79 |
| C14:0 | SNVD | 0,390 | 0,389 | 0,392 | 1,51 |
| C14:1 | SNVD | 0,392 | 0,087 | 0,095 | 1,40 |
| C15:0 | SNV | 0,163 | 0,065 | 0,067 | 3,84 |
| C16:0 | WMSC | 0,191 | 1,913 | 1,948 | 1,15 |
| C16:1 | SMSC | 0,585 | 0,315 | 0,385 | 1,34 |
| C17:0 | SMSC | 0,240 | 0,151 | 0,152 | 1,32 |
| C18:0 | WMSC | 0,704 | 1,420 | 1,622 | 1,69 |
| C18:1 <i>trans</i> -11 | SNV | 0,109 | 1,106 | 1,107 | 1,24 |
| C18:1 <i>cis</i> -9 | WMSC | 0,429 | 0,022 | 0,023 | 1,51 |
| C18:1 <i>cis</i> -11 | SMSC | 0,718 | 0,154 | 0,211 | 1,50 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 <i>n</i> -6 | SMSC | 0,674 | 1,700 | 1,937 | 1,70 |
| C18:3 <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 <i>n</i> -3 | SNV | 0,572 | 0,385 | 0,507 | 1,24 |
| C18:2 <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 | | | | | 1,35 |
| CLA | SNV | 0,203 | 0,069 | 0,071 | |
| C20:3 <i>n</i> -6 | SNVD | 0,441 | 0,118 | 0,124 | 1,59 |
| C20:4 <i>n</i> -6 | SNVD | 0,593 | 0,485 | 0,510 | 1,68 |
| C20:5 <i>n</i> -3 | SMSC | 0,529 | 0,086 | 0,092 | 1,70 |
| C22:5 <i>n</i> -3 | SMSC | 0,650 | 0,163 | 0,166 | 1,97 |
| C22:6 <i>n</i> -3 | SNVD | 0,429 | 0,022 | 0,023 | 1,39 |

TTO: Tratamiento matemático empleado; RQS: Coeficiente de determinación; SEC: Error estándar de calibración; SECV: error estándar de la validación cruzada; RPD: cociente entre desviación estándar de las muestras y SECV

6. DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

6.1. PRUEBA EXPERIMENTAL I: PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE

6.1.1. Parámetros productivos y características de la canal

Generalmente, la suplementación de las raciones de rumiantes con aceites altamente insaturados se asocia con una alteración de la fermentación ruminal y con peores rendimientos productivos (Jenkins, 1993). En el presente estudio, a pesar de suplementar las dietas con aceites ricos en ácidos grasos insaturados, como el aceite de soja o de linaza, se registraron parámetros productivos (peso de los animales, ganancia media diaria e índices de conversión) normales para el tipo de terneros utilizados (Tabla 5.1), independientemente del tipo de aceite utilizado.

Tampoco observamos diferencias estadísticamente significativas en el peso vivo final y la ganancia media diaria de los animales. De la misma forma, Castro *et al.*, (2016) y Ludden *et al.*, (2009) tampoco encontraron diferencias estadísticamente significativas al suplementar con un 4 % de aceite de oliva y aceite de soja, y un 5 % de aceite de soja, respectivamente, con una dieta control, con aceite de palma. Por el contrario Engle *et al.*, (2000) observaron un menor peso vivo final y una menor ganancia media diaria en los terneros que consumieron una dieta con un 4 % de aceite de soja frente a una dieta control.

Los animales que consumieron el tratamiento linaza presentaron un menor consumo de concentrado que los del tratamiento control. Sin embargo, como se ha señalado previamente, los tres tratamientos presentaron ganancias de peso similares. Como consecuencia, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P=0,13$), en los terneros del tratamiento con aceite de linaza se registraron menores índices de conversión que en los del tratamiento control, lo que podría indicar una mayor eficiencia energética en los

terneros que consumieron el aceite de linaza. Además, los terneros del tratamiento con linaza, también presentaron un mayor peso ($P=0,06$) y rendimiento ($P=0,1$) de la canal.

Se ha demostrado que los lípidos ejercen un efecto negativo sobre el crecimiento bacteriano, principalmente sobre las especies celulolíticas. Esta acción es tanto más pronunciada cuanto más insaturada es la grasa (Palmquist y Jenkins, 1980, Doreau y Chilliard, 1997). Otro efecto que ejercen las grasas es una disminución de las bacterias metanogénicas y de la población de protozoos (Brodiscou *et al.*, 1994). También en este caso el efecto es mucho más importante con los PUFA. En el caso de la linaza, la defaunación es casi completa (Doreau and Ferlay, 1995). Como consecuencia, el patrón de fermentación ruminal se orienta hacia un aumento en la producción de propionico, una reducción del acético y butírico, y una reducción de la metanogénesis (Demeyer y Van Nevel, 1995, Clinquart *et al.*, 1995).

La bibliografía consultada pone de manifiesto que estos efectos son mucho más pronunciados con aceite de linaza que con aceite de soja. En este sentido, Yang *et al.*, (2009) indican que algunos microorganismos ruminales son muy susceptibles a la suplementación con ácidos grasos insaturados, pero particularmente cuando se suplementan con aceites ricos en ácido α -linolénico. Carvalho *et al.*, (2016) en un experimento realizado con terneros, observaron una reducción de un 30 % en la producción de metano al suplementar con aceite de linaza, mientras que con aceite de soja la reducción observada fue de un 9 %, en relación a una dieta con aceite de palma. Beaulieu *et al.*, (2002) no observan alteración en la proporción de ácidos grasos volátiles (AGV) al suplementar hasta con un 7,5 % de aceite de soja y Erjaei *et al.*, (2012) tampoco encuentra diferencias en la proporción de AGV al comparar una dieta con aceite de palma con otra con semilla de soja tostada. Por otra parte, los resultados que aparecen en la bibliografía sobre los efectos de los PUFA sobre los rendimientos productivos son contradictorios. En ocasiones se observa un efecto negativo (Engle *et al.*, 2000, Griswold *et al.*, 2003, Razminowicz *et al.*, 2008,); numerosos trabajos no muestran ningún efecto (Scollan *et al.*, 1997,

Hristov *et al.*, 2005, Alberti *et al.*, 2013, Castro *et al.*, 2016, Suksombat *et al.*, 2016), mientras que otros indican un efecto positivo (Zinn, 1989). Hay que tener en cuenta, que la comparación de los resultados obtenidos en los distintos estudios es difícil, debido a que se realizan en condiciones muy diferentes en cuanto al tipo de alimentación, nivel de inclusión de aceite, pesos de sacrificio de los terneros, etc. En nuestro estudio es particularmente complejo debido a que la mayoría de los trabajos realizados se llevan a cabo con sistema de alimentación con forrajes. Son muy escasos los estudios realizados con el sistema pienso y paja y con animales sacrificados a pesos tan bajos. En este sentido, Palmquist (1988), indica que la relación forraje:concentrado (F:C) modifica la respuesta a la suplementación con aceite. Además, se sabe que las grasas afectan sobre todo a la degradación de los hidratos de carbono estructurales. Doreau *et al.*, (1997), indican que la reducción que se observa al incorporar grasas insaturadas, en la digestibilidad de la materia orgánica es debida a la fracción fibrosa, sin modificar la digestión del almidón, lo que, unido al patrón de fermentación ruminal mencionado anteriormente, y a los menores efectos que ejerce el aceite de soja frente a la linaza, podrían explicar, en nuestro estudio, la ausencia de efectos negativos y ligera mejora observada con aceite de linaza, sobre los parámetros productivos, a pesar de incorporar aceites tan insaturados como la soja o la linaza.

El pH a las 24 horas *post mortem* (5,59) medido en las canales de los terneros de los tres tratamientos, no fue significativamente diferente (Tabla 5.1). Un pH en torno a 5,5 a las 24 horas del sacrificio es el valor normal que se espera para aquellos terneros que no han sufrido estrés previo al sacrificio (Alberti, 2012). Este pH ácido asegura la correcta conservación de la carne durante el tiempo de maduración y garantiza que la calidad de la carne no se vea alterada (De Smet *et al.*, 2004).

6.1.2. Calidad instrumental de la carne

El tipo de aceite incorporado a las dietas no afectó de forma significativa a las coordenadas del color en el músculo *Longissimus dorsi* (Tabla 5.2).

Únicamente la carne de los animales alimentados con el tratamiento soja mostró una tendencia ($P= 0,08$) a un mayor valor de la luminosidad (L^*).

El color de la carne depende fundamentalmente del contenido en mioglobina y su estado químico (Renerre *et al.*, 1982), y se ve influenciado por la edad, el peso, el ejercicio y la nutrición del animal, y por el pH y la cantidad de grasa intramuscular de la carne (Priolo *et al.*, 2001). En nuestro estudio, todos estos factores, excepto la nutrición, fueron los mismos en los grupos experimentales, por lo que estos resultados sugieren que el aceite de soja podría dar lugar a carne con mayor luminosidad. Los trabajos realizados sobre la influencia de la suplementación con aceites ricos en PUFA sobre el color de la carne son muy escasos y los resultados obtenidos son contradictorios. Franco *et al.*, (2012) coincidiendo con nuestros resultados encuentra que dietas suplementadas con aceite de soja, aceite de linaza y aceite de girasol (todas ellas enriquecidas con Vitamina E) mejoran la luminosidad (L^*) de la carne frente a una dieta control (sin ningún aceite), aunque no justifican este resultado. Por el contrario, Castro *et al.*, (2016) no encuentran diferencias en el valor de la L^* (luminosidad), pero obtienen menores valores de a^* (índice de rojo) y mayores de h^* (tono) en terneros alimentados con acetite de oliva, en relación a dietas suplementadas con aceite de palma o de soja, indicando que la carne de los terneros que habían consumido aceite de oliva presentaba un color rojo pardo más intenso que los alimentados con aceite de soja o palma. Oliveira *et al.*, (2012) no encuentra diferencias en las coordenadas del color en la carne de terneros alimentados durante la fase de acabado (96 días) con aceite de soja y aceite de linaza. Alberti *et al.*, (2014) tampoco encuentran diferencias en las coordenadas del color medidas en la carne de terneros alimentados con un pienso con 5 % de semilla de lino frente a otro sin suplementar.

En nuestro estudio los valores de hematina y mioglobina fueron independientes del tipo de aceite suministrado (Tabla 5.3). Alberti *et al.*, (2014) tampoco encuentra diferencias en el valor de los pigmentos hemínicos analizados en la carne de terneros alimentados con semilla de lino frente a otros sin semilla de lino. Sin embargo, Franco *et al.*, (2012) encuentran que la adición de aceite de

soja y vitamina E a las raciones de terneros causó una ligera disminución en el nivel de mioglobina en las muestras de carne, en comparación con la dieta control (sin aceites vegetales) y dietas con aceites de girasol y de linaza (ambas con vitamina E), debido a que la carne de los terneros alimentados con el tratamiento con aceite de soja sufrió una oxidación temprana, a pesar de que no encontraron ninguna relación significativa entre los niveles de mioglobina y TBARS.

El pH es un factor importante para determinar la calidad de la carne, ya que tiene una influencia directa en las características organolépticas del producto final (Dransfield, 1981). Lawrie (1958) señaló como normales para el músculo *Longissimus* en canales bovinas valores de pH comprendidos entre 5,40 y 5,69, rango en el que se encuentran los valores obtenidos en nuestro estudio, independientemente del tipo de aceite utilizado. Resultados similares obtiene Alberti (2012) en terneros alimentados con dietas con semillas de lino.

Según Hamm (1986), la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne se puede medir como *Drip loss* (pérdidas por goteo), *thawing loss* (pérdidas por descongelación), *cooking loss* (pérdidas por cocinado) y *expressible juice* (jugo exprimible), según la forma en la que el agua está presente en el músculo, y los diferentes mecanismos que la retienen en él. Kauffman *et al.*, (1986) indican que el valor absoluto de la CRA depende del método de medida utilizado. En nuestro estudio no se observan diferencias estadísticamente significativas en la capacidad de retención de agua (CRA) medida como *expressible juice* (jugo exprimible) (Tabla 5.4), obteniéndose un valor medio de 40,33 %. Suksombat *et al.* (2016) tampoco encuentran diferencias en la capacidad de retención de agua en la carne de terneros suplementados con aceite de palma o de linaza.

6.1.3. Análisis químico de la carne

En nuestro estudio no se observaron diferencias en la composición química de la carne entre los tratamientos experimentales. Algunos trabajos señalan que la inclusión de grasas en las dietas de cebo da lugar a un mayor contenido en

grasa de la carne (Zinn, 1989, Clinquart *et al.*, 1995). Sin embargo, Castro *et al.* (2016) y Manso *et al.* (2006) no observaron cambios en el contenido en grasa de la carne de terneros y corderos, respectivamente, al suplementar con distintos tipos de aceite. La bibliografía sugiere que el contenido en proteína es muy poco variable, con valores cerca del 20 % en el músculo *Longissimus dorsi* y es independiente de la alimentación, la raza, y el estado fisiológica (Marques *et al.*, 2006). Los niveles de grasa utilizados en nuestro estudio (4 %), la ausencia de diferencias significativas en el peso de los animales y la velocidad de crecimiento, junto con el sacrificio de los animales a pesos bajos, podrían explicar la falta de diferencias en la composición química de la carne.

En el presente trabajo, los valores de TBARS observados, expresados como nmoles de MDA/kg de carne, fueron similares con los tres aceites incorporados a las dietas, pero se observaron valores crecientes a lo largo de los minutos de incubación. MacNiven *et al.*, (2004) observaron una mayor oxidación en la carne de animales alimentados con soja extrusionada respecto a los terneros que consumieron aceite de palma, de igual modo Castro *et al.*, (2016) encuentran valores mayores de TBARS a lo largo de los minutos de incubación, obteniendo una mayor concentración en la carne de terneros alimentados con aceite de oliva y aceite de soja que con aceite de palma, hecho que justifican por el mayor contenido en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, que son más susceptibles a la oxidación que los ácidos grasos saturados (Wood *et al.*, 2003). En nuestro estudio no se observan diferencias en el contenido en MUFA ni en PUFA de la carne de los terneros alimentados con aceite de palma, soja o linaza, lo que indicaría una capacidad de oxidación similar.

Los ácidos grasos mayoritarios presentes en la grasa intramuscular de los terneros alimentados con los diferentes tratamientos fueron en todos los casos, el ácido oleico (C18:1 *cis*-9), ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0). Rule *et al.*, (1994), afirman que debido a la síntesis de novo de ácidos grasos y a la síntesis en el tejido adiposo a partir de ácido esteárico por parte

de la enzima Δ^9 -desaturasa, se puede considerar el ácido oleico como el más abundante de todos los ácidos grasos en la carne de ternero.

No se han observado diferencias en el total de ácidos grasos saturados (SFA) de la grasa intramuscular de los terneros alimentados con diferentes aceites vegetales. Sin embargo como era de esperar, los terneros alimentados con el tratamiento control, con aceite de palma, acumulan un mayor porcentaje en su grasa intramuscular de ácido palmítico (C16:0) como consecuencia de la mayor ingestión de este ácido graso. McNiven *et al.*, (2004), Ludden *et al.*, (2009) y Castro *et al.*, (2016) también encontraron mayores porcentajes de ácido palmítico en la grasa intramuscular de terneros alimentados con aceite de palma comparados con animales que consumieron soja extrusionada o aceite de soja, respectivamente.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido en ácido esteárico (C18:0) y ácido oleico (C18:1 *cis*-9). Suksombat *et al.*, (2016) tampoco obtienen diferencias en el contenido en C18:0 y C18:1 al suplementar con aceite de palma o linaza, ni McNiven *et al.*, (2011) comparando aceite de soja y linaza.

La grasa intramuscular de los terneros que consumieron aceites ricos en PUFA (soja o linaza) presentaron un mayor contenido en ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11) que la de la grasa de los terneros que consumieron aceite de palma (grupo control). El ácido vaccénico (C18:1 *trans*-11) es el último paso en la biohidrogenación ruminal del ácido linoleico (C18:2 *cis*-9, *cis*-12) y del ácido α -linolénico (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15), a esteárico (C18:0) (Harfoot y Hazlewood, 1997), muy abundantes en los pienso con aceite de soja y linaza. Cuando la actividad de la población microbiana se ve alterada (dietas con alto contenido en cereales que inducen un bajo pH, o elevadas cantidades de PUFA, como sucede en nuestro trabajo) el último paso de la biohidrogenación (de C18:1 *trans*-11 a C18:0) es el más afectado, dando lugar a una acumulación de este isómero en el rumen, que llega en mayor cantidad al

intestino delgado para su absorción y deposición en el tejido adiposo, a expensas del C18:0 (Doreau *et al.*, 2016).

El contenido en ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11) aumentó de forma estadísticamente significativa en la carne de los terneros que consumieron linaza. De acuerdo con nuestros resultados, otros estudios observan un aumento en el contenido en El C18:2 *cis*-9, *trans*-11 al suplementar con aceite o semilla de lino (Nassu *et al.*, 2011, Albertí *et al.*, 2014, Gómez *et al.*, 2015, Noosen *et al.*, 2017). El C18:2 *cis*-9, *trans*-11 procede de la biohidrogenación ruminal del ácido linoleico, pero no del α -linolénico. Sin embargo, el ácido ruménico (C18:2 *cis*-9, *trans*-11) procede también de la síntesis endógena en el tejido adiposo por la desaturación del C18:1 *trans*-11 (ácido vaccénico) por acción de la encima Δ^9 -desaturasa. La desaturación del ácido vaccénico se considera la primera fuente de ácido ruménico en los tejidos (Bauman *et al.*, 1999; Griinari *et al.*, 2000, Piperova *et al.*, 2002).

A pesar de que el C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA es el principal producto de la desaturación del C18:1 *trans*-11, el mayor contenido en C18:1 *trans*-11 de la dieta con soja, no se reflejó en el contenido en C18:2 *cis*-9, *trans*-11 de la carne, que no presentó diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento palma, a diferencia de lo que observamos en los animales suplementados con linaza. Sin embargo, el grupo suplementado con soja presentó un mayor contenido en C18:2 *trans*-10, *cis*-12. Nuestros resultados coinciden con Beaulieu *et al.*, (2002) y Dhiman *et al.*, (1999) quienes al suplementar con aceite de soja no observaron un aumento en el contenido en C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA, pero registraron un mayor contenido en C18:2 *trans*-10, *cis*-12. Engle *et al.*, (2000) y Castro *et al.*, (2016) no observan diferencias en el contenido en C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA ni el contenido en C18:2 *trans*-10, *cis*-12 al suplementar con aceite de soja. Sin embargo, McNiven *et al.*, (2011) obtienen un mayor contenido en C18:2 *cis*-9, *trans*-11 CLA suplementando, tanto con aceite de soja como de linaza. En el mencionado estudio, a diferencia de nuestro trabajo, los terneros se alimentaron con raciones completas (forraje y concentrado), suplementadas con aceite. Los mecanismos que determinan las rutas que sigue la biohidrogenación ruminal de los ácidos grasos en el

rumen y los factores que lo afectan no están todavía suficientemente establecidos. La ruta descrita por Harfoot y Hazlewood, (1997), da lugar principalmente a ruménico y vaccénico como principales intermediarios en la hidrogenación del linoleico (Griinari *et al.*, 1999). En nuestro trabajo, el sistema de alimentación a base de pienso y paja, junto con la incorporación de aceites ricos en PUFA, pudo dar lugar a un ambiente ruminal que se asocia con alteraciones en la población microbiana. Estas modificaciones pudieron alterar la biohidrogenación del ácido linoleico, prevaleciendo otra ruta que da lugar a *trans*-10, *cis*-12, en lugar de *cis*-9, *trans*-11. Zened *et al.*, (2011) indican que con dietas altas en almidón y ácido linoleico la biohidrogenación ruminal del linoleico aumenta el *trans*-10, *cis*-12 y disminuye el *trans*-9, *cis*-11, mientras que en la biohidrogenación del ácido α -linolénico no aumenta el *trans*-10, *cis*-12.

Debido a la capacidad de la Δ^9 -desaturasa en el tejido humano para transformar el ácido vaccénico en ruménico (Turpein *et al.*, 2002), el aumento en el contenido en C18:1 *trans*-11 de la carne supone una mejora de su perfil lipídico. Se sabe que el consumo de otros isómeros *trans* monoenoicos como el *trans*-10 pueden resultar perjudiciales para la salud. En este sentido, Jakobsen (2006) indica que el consumo de ácidos grasos *trans* de origen ruminal no supone un factor de riesgo en la aparición de enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, Brouwer *et al.*, (2010) después de evaluar 39 trabajos científicos, concluyeron que todos los ácidos grasos *trans*, tanto de origen industrial como animal, aumentar la relación del colesterol LDL/ HDL. Se necesitan más investigaciones para evaluar con precisión los isómeros *trans* de origen animal como un factor de riesgo para la salud humana.

Los terneros alimentados con aceite de linaza presentan un mayor porcentaje en su grasa intramuscular de ácido α -linolénico (C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 *n*-3) respecto a los animales que consumieron las dietas control y aceite soja, debido a un mayor contenido en este ácido graso de la dieta suplementada con aceite de linaza. Resultados similares obtuvieron Alberti *et al.*, (2014) en dietas suplementadas con semilla de lino.

El ácido linoleico se metaboliza a araquidónico (C20:4 *n*-6) y el α -linolénico da lugar al EPA (C20:5 *n*-3) y al DHA (C22:6 *n*-3) (Nakamura y Nara, 2003). En nuestro estudio no encontramos diferencias en el contenido en ácido linoleico ni araquidónico entre los tratamientos. Sin embargo, a pesar de obtener un valor mayor de ácido α -linolénico en los terneros alimentados con el tratamiento con aceite de linaza no observamos mayores valores de EPA y DHA en la grasa intramuscular de los terneros de dicho tratamiento. No obstante, algunos trabajos indican que el incremento del aporte de ácido α -linolénico no tiene efecto cuantitativamente importante sobre el contenido de EPA (C20:5 *n*-3) y DHA (C22:6 *n*-3) (Wachira *et al.*, 2002; Raes *et al.*, 2003a; Demirel *et al.*, 2004).

Uno de los objetivos principales de este trabajo fue evaluar los efectos de distintos tipos de aceites vegetales sobre la composición de la grasa, con el fin de obtener carne más saludable desde el punto de vista de la salud humana. En este sentido, la carne de los animales alimentados con aceite de linaza presenta una mejora en el perfil de ácidos grasos en relación a la de los animales del grupo soja y control, ya que además de presentar un mayor contenido en ácido ruménico y vaccénico, se observa un mayor contenido en ácidos grasos de la serie *n*-3 y una mejor relación *n*-6/*n*-3.

Ulbricht y Southgate (1991), establecieron el índice de aterogenicidad, que relaciona el contenido de los ácidos grasos capaces de aumentar los niveles de colesterol sérico (ácidos láurico, mirístico y palmítico) con los ácidos grasos de acción protectora (mono y poliinsaturados). Según los valores observados en el índice de aterogenicidad, la grasa de los terneros que consumieron aceite de soja o linaza fue mejor que la de los que consumieron aceite de palma. Numerosos trabajos obtienen resultados similares con aceites ricos en ácido linoleico y α -linolénico (Alberti *et al.*, 2014, Clinquart *et al.*, 1991, Scollan *et al.*, 2006).

6.2. PRUEBA EXPERIMENTAL II: CALIDAD DE LA CARNE A DIFERENTES TIEMPOS DE MADURACIÓN

6.2.1. Calidad instrumental de la carne

De la misma forma que en la prueba Experimental I, en ninguna de las variables estudiadas relacionadas con la calidad instrumental de la carne (color, pigmentos y pH) observamos diferencias estadísticamente significativas por el efecto del tipo de aceite incorporado al pienso. Sin embargo, si se observan diferencias estadísticamente significativas por el tiempo de maduración. La interacción entre ambos factores tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas. Como consecuencia, se discutirán los resultados del efecto de los días de maduración.

La luminosidad (L^*) y el tono (h^*) aumentaron a los 5 días de maduración. Insausti *et al.*, (2001) obtuvieron valores de (L^*) que fueron aumentando progresivamente con los días de maduración (0, 5, 10 y 15 días). Según MacDougall (1982) el aumento progresivo que se produce en la luminosidad (L^*) con la maduración de la carne se debe a modificaciones en las proteínas. El aumento en los valores de tono (h^*) observado coincide con los presentados por Boakye, *et al.*, (1996) quienes encuentran valores del tono (h^*) significativamente superiores a partir del segundo día de maduración, manteniéndose constante a partir de los 4 días a lo largo del periodo estudiado (8, 12 y 16 días).

El índice de rojo (a^*) disminuyó a partir de los 5 días de maduración, mientras que los pigmentos hemínicos aumentaron (Tablas 5.8 y 5.9). Numerosos estudios muestran una correlación negativa entre la concentración de pigmentos hemínicos y el valor de la coordenada a^* (Demos & Mandigo, 1995; Insausti *et al.*, 1999; Renerre, *et al.*, 1996). Insausti, *et al.* (2001) en un estudio sobre la evolución de la carne de vacuno de diferentes razas autóctonas españolas, almacenada en atmosferas modificadas, observaron que a partir de los 5 días de maduración la coordenada a^* disminuyó de forma significativa. Del mismo modo Beriain, *et al.* (2011) en su estudio sobre la calidad de la

carne de toro en España en el que compararon maduraciones de 2, 7 y 14 días observan valores de a^* significativamente menores a los 7 días de almacenamiento que a los 2 días.

La maduración de la carne es un proceso decisivo en el descenso del pH, ya que se relaciona con los procesos bioquímicos implicados en la conversión del músculo en carne después del sacrificio. Durante este periodo de tiempo el pH desciende desde valores comprendidos entre 7,08-7,30 hasta valores de 5,4-5,8 a las 48 horas post mórtem (Beriaín y Lizaso, 1998). En este sentido, Ruiz de Huidobro *et al.* (2003) observaron en vacuno un descenso significativo en el pH del músculo *Longissimus thoracis y lumborum* desde 6,5 a los 45 minutos *post mórtem*, hasta 5,5 a las 24 horas, valor que se mantuvo estable a lo largo de los siguientes cinco días de maduración.

En nuestro estudio, la capacidad de retención de agua aumentó (menores valores en el porcentaje de jugo exprimible) con los días de maduración. Esta disminución fue debida posiblemente a la desintegración de las estructuras miofibrilares durante la maduración (Oliete *et al.*, 2006). La bibliografía consultada pone de manifiesto que generalmente la CRA mejora ligeramente durante el periodo de maduración. Así lo reflejaron Daszkiewicz *et al.* (2003), quienes observaron que la carne de vacuno madurada durante 10 días presentaba una CRA (medida también como porcentaje de jugo exprimible) superior que esa misma carne a los 3 y 7 días de maduración y, esa CRA mejoraba aún más a los 14 días del periodo de maduración. En este sentido, Ruiz de Huidobro *et al.* (2003) observaron un incremento significativo de la CRA en un trabajo realizado con carne de hembras de vacuno a lo largo del periodo de maduración, de modo que el porcentaje de jugo exprimible disminuyó significativamente entre el primer y tercer día de maduración, y permaneció prácticamente invariable hasta el sexto día. Los trabajos de Oliete *et al.* (2006), Carballo *et al.* (2002) y Revilla, *et al.* (2006) también obtienen un aumento en la CRA con la maduración de la carne

6.2.2. Análisis químico de la carne

La oxidación lipídica es una de las principales causas de deterioro de la carne (Gray *et al.*, 1996; Sarraga *et al.*, 2000) provocando la alteración de sus características nutricionales, sensoriales y tecnológicas (Kanner, 1994). Wood *et al.*, (2003), señalan que la oxidación de la grasa de la carne va a provocar una mayor ranciedad y un deterioro temprano de la carne durante su almacenaje.

En nuestro estudio, la oxidación lipídica expresada en mg de MDA/kg fue aumentando con los días de maduración. Partiendo de 0,58 mg de MDA /kg de carne registrados el día 0 a 1,75 mg/kg de carne a los 5 días, para subir ligeramente hasta 1,92 m/kg a los 10 días, valor próximo a las 2 mg/kg que se indican como límite de aceptabilidad por el consumidor (Campo *et al*, 2006). El valor alcanzado a los 5 días (1,75 mg/kg) es alto, ya que Allen y Cornforth (2010) obtuvieron 1,12 mg/kg de carne tras 14 días de maduración. Alberti *et al.*, (2014) obtuvieron valores de TBARS de 1,5 mg/kg a los 4 días.

La influencia del tipo de aceite incorporado sobre el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular fue similar al que observamos en la prueba Experimental I. Como se comentó al principio de la discusión, no se ha observado efecto de la interacción entre tipo de aceite y los días de maduración. Como consecuencia se discutirá el efecto de los días de maduración sobre el perfil de ácidos grasos.

Hasta nuestro conocimiento, son muy escasos los trabajos que estudian la evolución del perfil lipídico de la carne durante su maduración, y son particularmente escasos los realizados con carne de ternero.

En nuestro estudio, la maduración de la carne durante 5 y 10 días produjo cambios notables en la composición en ácidos grasos de la carne.

Los ácidos grasos saturados totales no disminuyeron su proporción a pesar de que el C12:0, a los 5 días de maduración, presentó valores significativamente menores que en la carne sin madurar.

Los MUFA totales tampoco presentaron diferencias en su concentración durante los días de maduración a pesar de que tanto el ácido oleico (C18:1 *cis*-9) como el C18:1 *cis*-11 disminuyeron significativamente su concentración a los 10 días de maduración. Insausti *et al.*, (2004) obtuvieron una disminución del contenido de ácido oleico (C18:1 *cis*-9) a partir del quinto día de maduración de la carne de terneros de diferentes razas españolas almacenada en atmosfera modificada, hecho que justifican por la transformación del ácido oleico en compuestos volátiles por las reacciones de oxidación. Por el contrario, Beriain *et al.*, (2011) no encontraron diferencias en el valor de C18:1 *cis*-9 en la carne de toro madurada 2 y 7 días.

Todos los PUFA, excepto el ácido linoleico (C18:2 *cis*-9, *cis*-12, *n*-6) aumentaron su concentración durante la maduración de la carne, lo que resulta difícil de explicar. Generalmente los ácidos grasos con más de dos dobles enlaces son más susceptibles al proceso de oxidación, por lo tanto, la concentración de PUFA debería disminuir con la maduración de la carne. Majewska *et al.* (2016) obtiene también un mayor contenido en PUFA en carne de cordero refrigerada y almacenada durante 1, 3 y 6 meses, que habían sido suplementados con aceite de girasol. Estos autores no justifican este resultado, pero indican, que los procesos hidrolíticos de los lípidos musculares que tienen lugar durante la refrigeración, hay que tenerlos en cuenta para poder explicar los cambios que sufren los ácidos grasos durante la maduración de la carne. Zymon *et al.*, (2007) también observaron un aumento en el contenido en algunos PUFA en carne de ternero almacenada durante 3 meses a -18° C. Estos autores sugieren que además de cambios oxidativos, durante el almacenamiento de la carne se producen otros fenómenos responsables de las modificaciones que sufren los ácidos grasos, incluyendo la inhibición en la actividad de enzimas y microorganismos. A diferencia de nuestros resultados, Alvarez *et al.*, (2009) observaron una disminución significativa en la

concentración de PUFA del *Longissimus dorsi* de corderos almacenado a 0°C y Beriain *et al.*, (2011) no encontraron diferencias en este ácido graso en carne de toro de lidia madurada 7 y 14 días. Díaz *et al.*, (2011) en su estudio sobre los cambios en el perfil de ácidos grasos durante la refrigeración (7 días) de la carne de cordero enriquecida con ácidos grasos *n*-3 encuentran que el contenido en ácidos grasos de la fracción polar de los lípidos disminuyó a excepción del C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15 *n*-3 y el C18:2 *cis*-9, *trans*-11 hecho que justifican porque algunas enzimas específicas del tejido adiposo y de las fibras musculares (lipasas, esterasas, fosfolipasas y lisofosfolipasa) están involucradas en los procesos de hidrólisis de la grasa muscular, que liberan ácidos grasos libres (Alasnier *et al.*, 2000).

La concentración de C18:1 *trans*-11 disminuyó y el contenido en C18:2 *cis*-9, *trans*-11 aumentó durante la maduración lo que sugiere que la actividad de la Δ^9 -desaturasa se mantuvo durante algún tiempo. En nuestro estudio, la actividad de la Δ^9 -desaturasa no cambió a lo largo de los días de maduración. En el estudio de Majewska *et al.*, (2016) la actividad de la Δ^9 -desaturasa tampoco cambio en muestras de carne de cordero refrigerada durante un mes, mientras que con tiempos de almacenamiento mas prolongados (3 y 6 meses) la actividad fue disminuyendo significativamente. Klingenberg *et al.*, (1995) sugieren que la Δ^9 -desaturasa se mantiene activa durante cierto tiempo, incluso en carne congelada. Kouba *et al.*, (1997) observaron una reducción en la actividad de la Δ^9 -desaturasa de aproximadamente un 50 % durante la primera semana de almacenamiento en refrigeración, y después de ese tiempo, la encima fue perdiendo actividad.

Como consecuencia de los cambios ocurridos en le perfil de ácidos grasos durante la maduración de la carne, se produjo un aumentó en la relación Poliinsaturados/Saturados (P/S), sin modificar la relación *n*-3/*n*-6 ni el índice de aterogenicidad.

Como se comentó anteriormente, son muy escasos los trabajos que estudian los cambios que se producen en los ácidos grasos durante la maduración de la

carne. Estos cambios dependen de las condiciones en que se realiza, fundamentalmente del tiempo y temperatura a la que se almacena. Como consecuencia, resulta difícil establecer comparaciones con resultados obtenidos en otros estudios. Serían necesarios más estudios para poder conocer con exactitud la evolución en el contenido en ácidos grasos de la carne en distintas condiciones de conservación.

6.3. PRUEBA EXPERIMENTAL III: CALIBRACIÓN NIR PARA LA PREDICCIÓN DE HUMEDAD, PROTEINA, pH y PERFIL DE ACIDOS GRASOS DE LA CARNE

Según Shenk & Westerhaus (1996) ecuaciones NIRS con un coeficiente de determinación (RQS) entre 0,50 y 0,90 poseen una buena precisión.

La habilidad de la tecnología NIRS para predecir la composición química de la carne ha sido estudiada por numerosos autores como Prieto *et al.*, (2006) o Ripoll *et al.*, (2008) y la mayoría obtiene altos coeficientes de determinación (alrededor de 0,80).

Ripoll *et al.*, (2008) obtienen ecuaciones de calibración para el contenido de humedad muy precisas (RQS=0,86) en muestras de carne de vacuno homogeneizadas. En nuestro estudio las muestras de carne fueron liofilizadas antes del análisis NIR, Viljoen *et al.*, (2005) afirman que la liofilización de las muestras puede dar lugar a una mejor interpretación de los espectros ya que hay menos interferencia de las moléculas de agua. Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 5.18, tanto el coeficiente de determinación de la calibración de la humedad como su RPD fueron menores de lo esperado (0,61 y 1,58 respectivamente), y a pesar de que el coeficiente de determinación de la calibración sería aceptable (RQS=0,61) la ecuación obtenida para la predicción del valor de humedad no sería del todo fiable. Cozzolino *et al.*, (2002) encuentran ecuaciones de calibración para el contenido en humedad con valores de RQS de 0,41 en muestras de carne de vacuno homogeneizadas,

hecho que justifican por las variaciones que se producen en el valor de la humedad relativa, causando cambios en el contenido de humedad de la muestra durante la preparación, por lo que sugieren que el análisis de la humedad y la recolección de espectros NIR se deben realizar al mismo tiempo para evitar pérdidas por evaporación. Errores en los datos de referencia podrían reducir la previsibilidad del NIR (Prieto *et al.*, 2009).

El coeficiente de determinación de la calibración del contenido de proteína bruta en las muestras de carne, es adecuado (RQS=0,92), y el valor del estadístico RPD fue indicativo de la exactitud de la ecuación (2,35). Esto puede ser debido a los buenos datos químicos de referencia. Williams *et al.*, (2001) sugirieron que el estadístico RPD debe ser igual o mayor que 2, ya que valores más bajos de RPD podrían atribuirse a un rango estrecho del error estándar de la validación cruzada (SECV) en comparación con la desviación estándar de los datos de referencia (Tøgersen, *et al.*, 2003).

Algunos autores como Ripoll *et al.*, (2008) no encuentran buenas correlaciones entre los valores de proteína bruta y los espectros NIR, hecho que justifican por el estrecho rango de variación de los valores de la proteína bruta en la carne y por las diferencias analíticas entre la determinación del nitrógeno Kjeldahl y la medida de la proteína mediante el NIR. Sin embargo otros como De Marchi *et al.*, (2007) obtienen valores de RQS similares a los de nuestro estudio (RQS= 0,99) utilizando para la obtención de los espectros NIR carne liofilizada. Esta falta de acuerdo entre los estudios podría deberse a varios factores, principalmente a la falta de homogeneidad de las muestras de carne para la obtención de los espectros NIR y al estrecho rango de variabilidad en los datos de referencia (desviaciones estándar pequeñas) que afectan a la predictibilidad del NIR de cualquier parámetro.

El RQS obtenido en la calibración de la ecuación para la predicción del pH tiene un valor aceptable (RQS=0,68). Sin embargo el estadístico RPD no fue el esperado (1,44 por lo que, la ecuación obtenida será menos fiable, probablemente como consecuencia de un rango poco amplio de variabilidad en

los datos de referencia del pH. Como se menciona anteriormente valores bajos de RPD se pueden atribuir a un estrecho rango de los valores de referencia (dando un desviación estándar muy pequeña) o a un gran error en la estimación del error estándar en la validación cruzada (SECV) en comparación con la desviación estándar de las muestras analizadas (Tøgersen *et al.*, 2003).

Prieto *et al.*, (2008) tampoco encontraron una ecuación satisfactoria para predecir el valor del pH en carne de terneros y bueyes (RQS<0,47 y RPD<1,27), hecho que justifican por la baja correlación de los valores del pH y los datos de absorbancia del NIR, además de la falta de correlación entre el pH y la grasa intramuscular o el contenido de humedad. Sin embargo, Andres *et al.*, (2008) encuentran una ecuación precisa (RQS=0,97 y RPD=3,17) para la predicción del valor de pH en carne de vacuno (24 horas *post mortem*), hecho que justifican en la buena repetitividad del método de referencia y en las propiedades de dispersión de la luz en el tejido muscular.

Los estudios sobre la capacidad de predicción del contenido en ácidos grasos mediante la tecnología NIR son muy diversos. En nuestro caso los mejores coeficientes de determinación de la calibración fueron los del C18:1 *cis*-11 y C18:0 mientras que los del C18:2 *cis*-9, *cis*-12, *n*-6, C12:0, C22:5, C20:4 *n*-6, C16:1, C18:3 *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, *n*-3 y C20:5 obtuvieron un coeficiente de determinación de la calibración aceptable mientras que el valor del estadístico RPD en todos los casos fue inferior a 2. De igual modo algunos autores como Prieto (2006) en su estudio sobre la aplicación de la tecnología NIR para predecir el contenido de ácidos grasos de carne de buey y de ternero encuentran que la mayoría de los coeficientes de correlación entre el contenido de los ácidos grasos y los valores de absorbancia de los espectros NIR fueron inferiores a 0,5, obteniendo una baja exactitud en las ecuaciones de predicción (RQS <0,40, RPD <1) hecho que justifican en que los datos de referencia están expresados (al igual que en nuestro estudio) como porcentaje de ácidos grasos sobre el total y podría cometerse un error ya que, dependerían del contenido total de grasa intramuscular de las muestras.

Sin embargo otros autores como Pla *et al.*, (2007) encuentran buenas ecuaciones de predicción para algunos ácidos grasos como el linoleico (RPD=3,29) o el ácido oleico (RPD=2,49) en carne de conejo.

La forma de presentación de las muestras para la obtención de los espectros es también condicionante para la obtención de buenas ecuaciones de predicción, Guy *et al.*, (2011) encuentran modelos de predicción satisfactorios para los grupos de ácidos grasos y para los ácidos grasos individuales mayoritarios, mientras que para los ácidos grasos presentes en bajas concentraciones los modelos de predicción son deficientes en carne picada de vacuno, mientras que en carne intacta los modelos de predicción no fueron satisfactorios. Berzaghi *et al.*, (2005) señalaron que se pueden obtener buenas relaciones entre la información espectral y química en ácidos grasos con concentraciones superiores a 0,5 g /100 g materia seca. De Marchi *et al.*, (2007) en su estudio sobre el uso del NIR para la evaluación de rasgos de calidad en carne de vacuno utilizando muestras liofilizadas, también encuentran que en general, las calibraciones fueron más precisas para los grupos de ácidos grasos y para los ácidos grasos individuales mayoritarios, tales como SFA total y MUFA, C16:0, C18:0, y C18:1.

En nuestro caso, la determinación de los ácidos grasos precisará de una estrategia orientada a ampliar el rango de dichos constituyentes, ya que las muestras elegidas para la obtención de los modelos de predicción presentaron una cierta homogeneidad con rasgos de variación de la composición de ácidos grasos más estrechos. Esto dificulta su predicción a partir de la tecnología NIR por lo que, sería conveniente, introducir nuevas muestras de calibración que abarquen una amplia variedad en cuanto a raza, peso a sacrificio y alimentación se refiere para obtener así un amplio rango de variación en el perfil lipídico.

7.CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

En las condiciones en las que se han realizado las pruebas experimentales, y a partir de los resultados obtenidos, se pueden establecer las siguientes conclusiones

- 1) La suplementación del pienso para cebo intensivo de terneros en el sistema de alimentación pienso y paja, con aceite de palma, aceite de soja o aceite de linaza, no modificó el peso vivo final ni la ganancia media diaria. Sin embargo, el consumo de concentrado se redujo con la incorporación de aceite de linaza.
- 2) La suplementación con aceite de palma, soja o linaza no influyó sobre las coordenadas del color de la carne (luminosidad, índice de rojo (a^*), índice de amarillo (b^*), croma (C^*) y tono (h^*); sobre el contenido en hemoglobina y hematina, el pH, la capacidad de retención de agua y la composición química de la carne.
- 3) La suplementación con aceite de soja y de linaza permitió aumentar el contenido en algunos ácidos grasos bioactivos en la carne que se producen durante la biohidrogenación de las grasas a nivel ruminal. El aceite de linaza fue la mejor estrategia para aumentar el contenido en ácido ruménico y ácido vaccénico de la carne. La suplementación con aceite de soja no aumentó el contenido en ácido ruménico pero aumentó el contenido en vaccénico y C18:2 *trans*-10, *cis*-12, lo que podría cuestionar la mejora de su valor nutricional.
- 4) La maduración de la carne durante 0, 5 y 10 días aumentó la luminosidad (L^*) y el tono (h^*), y disminuyó el índice de rojo (a^*); aumentó el contenido en mioglobina, hematina y la oxidación lipídica, y disminuyó el pH y el % de jugo exprimible
- 5) La maduración de la carne durante 0, 5 y 10 días modificó el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular, independientemente del tipo de

aceite utilizado en la dieta. Aumentó el contenido en PUFA y la relación Poliinsaturados/Saturados (P/S) sin modificar la relación n-3/n-6 ni el índice de aterogenicidad.

- 6) Mediante la tecnología NIR se puede estimar de forma rápida y precisa el contenido en proteína bruta de la carne de vacuno.

8.BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abril, M., Campo, M. M., Önenç, A., Sañudo, C., Albertí, P., Negueruela, A. I.** (2001). Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Science*, 58(1), 69-78.
- Akaike, H.** (1973). Information theory and the extension of the maximum likelihood principle. In: 2nd International Symposium on Information Theory (B.N. Petrov y F. Csaki, ed). Akailseoniani-Kimdo, Budapest, 267-281.
- Alasnier, C., David-Briand, E., Gandemer, G.** (2000). Lipolysis in muscles during refrigerated storage as related to the metabolic type of the fibres in the rabbit. *Meat Science*, 54(2), 127-134.
- Alberti, P.** (2012). Influencia de la alimentación con altos niveles de ácidos grasos insaturados en la calidad de la canal y de la carne de terneros sacrificados a dos niveles de acabado, linoleico, alpha linolenico. Tesis Doctoral. Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Universidad de Zaragoza
- Albertí, P., Beriain, M. J., Ripoll, G., Sarriés, V., Panea, B., Mendizabal, J. A., Sañudo, C.** (2014). Effect of including linseed in a concentrate fed to young bulls on intramuscular fatty acids and beef color. *Meat Science*, 96, 3, 1258-1265.
- Albertí, P., Gómez, I., Mendizabal, J. A., Ripoll, G., Barahona, M., Sarriés, V. and Realini, C.** (2013). Effect of whole linseed and rumen-protected conjugated linoleic acid enriched diets on feedlot performance, carcass characteristics, and adipose tissue development in young Holstein bulls. *Meat Science*, 94, 2, 208-214.
- Allen, K., Cornforth, D.** (2010). Comparison of spice-derived antioxidants and metal chelators on fresh beef color stability. *Meat Science*, 85(4), 613-619.
- Alomar, D., Gallo, C., Castaneda, M., Fuchslocher, R.** (2003). Chemical and discriminant analysis of bovine meat by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Meat Science*, 63(4), 441-450.

- Álvarez, I., De La Fuente, J., Cañeque, V., Lauzurica, S., Pérez, C., Díaz, M. T.** (2009). Changes in the fatty acid composition of m. longissimus dorsi of lamb during storage in a high-oxygen modified atmosphere at different levels of dietary vitamin E supplementation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(1), 140-146.
- Andrés, S., Murray, I., Navajas, E. A., Fisher, A. V., Lambe, N. R., Bünger, L.** (2007). Prediction of sensory characteristics of lamb meat samples by near infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, 76(3), 509-516.
- Andrés, S., Silva, A., Soares-Pereira, A. L., Martins, C., Bruno-Soares, A. M., Murray, I.** (2008). The use of visible and near infrared reflectance spectroscopy to predict beef M. longissimus thoracis et lumborum quality attributes. *Meat Science*, 78(3), 217-224.
- Añón, M. C., Calvelo, A.** (1980). Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Science*, 4(1), 1-14.
- AOAC.** Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis.
- Asghar, A., Gray, J. I., Buckley, D. J., Pearson, A. M., Booren, A. M.** (1988). Perspectives on warmed-over flavor. *Food Technology*, 42(6), 102-108.
- Bauman, D.E., Baumgard, L.H., Corl, B.A., Griinari, J.M.** (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *Proceedings of the American Society of Animal Science*.
- Beaulieu, A.D., Drackley, J.K., Merchen, N.R.** (2002). Concentrations of conjugated linoleic acid (cis-9, trans-11 octadecadienoic acid) are not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. *Journal of Animal Science*, 80, 847-861.
- Beltrán, J. A., Jaime, I., Santolaria, P., Sanudo, C., Alberti, P., Roncales, P.** (1997). Effect of stress-induced high post-mortem pH on protease activity and tenderness of beef. *Meat Science*, 45(2), 201-207.
- Beriain, M. J., Horcada, A., Lizaso, G., Insausti, K., Purroy, A.** (2011). Meat quality from fighting bulls in Spain. *Revista Científica*, 21(1).
- Beriain, M. J., Lizaso, G.** (1998). Calidad de la carne de vacuno. En vacuno de carne: aspectos claves. Buxadé, C., Ed. Mund-prensa. Madrid
- Berzaghi, P., Dalle Zotte, A., Jansson, L. M., Andrighetto, I.** (2005). Near-Infrared Reflectance Spectroscopy as a Method to Predict Chemical

- Composition of Breast Meat and Discriminate Between Different n-3 Feeding Sources. *Poultry Science*, 84,128-136
- Biesalski, H. K.** (2005). Meat as a component of a healthy diet—are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet?. *Meat Science*, 70(3), 509-524.
- Bloor, W. R.** (1943). Biochemistry of the Fatty Acids and their compounds, the lipids. *American Chemical Society Monograph* No. 93, p. 128. Reinhold Publishing Corp., New York
- Boakye, K., Mittal, G. S.** (1996). Changes in colour of beef M. longissimus dorsi muscle during ageing. *Meat Science*, 42(3), 347-354.
- Boccard, R., Buchter, L., Casteels, E., Cosentino, E., Dransfield, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., Magdougat, D., B., Rhodes, D.N., Schön, I., Tinbergen, B. J., and Touraille, C.**(1981). Procedures for measuring meat characterisc in beef production experiments. Report of a working group in the Commission of European Communities (CEC) Beef Production Research Programme. *Livestock Production Science*, 8, 385-397.
- Botsoglou, N.A., Ftouris, D.J., Papageorgiu, G.E., Vassilopoulos, V.N., Mantis, A.J., Trakatellis, A.G.** (1994). Rapid, sensitive, and specific thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in animal tissue, food, and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1931-1937
- Brandt, R. T., Anderson, S. J.** (1990). Supplemental fat source affects feedlot performance and carcass traits of finishing yearling steers and estimated diet net energy value. *Journal of Animal Science*, 68(8), 2208-2216.
- Briskey, E. J.** (1964). Etiological status and associated studies of pale, soft, exudative porcine musculature. *Advances in food research*, 13, 89-178.
- Broudiscou, L., Pochet, S., Poncet, C.** (1994). Effect of linseed oil supplementation on feed degradation and microbial synthesis in the rumen of ciliate-free and refaunated sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 49,189-202.

- Brouwer, I. A., Wanders, A. J., Katan, M. B.** (2010). Effect of animal and industrial trans fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans - a quantitative review. *Plos One*, 5 (3), 1-10.
- Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., Richardson, R. I.** (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303-311.
- Campo, M. M., Santolaria, P., Sañudo, C., Lepetit, J., Olleta, J. L., Panea, B. y Albertí, P.** (2000). Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*, 55(4), 371-378.
- Carballo, J. A., Oliete, B., Moreno, T., Varela, A., Monserrat, L., Sánchez, L.** (2002). Maduración de la carne de ternero de clase suprema acogibles a la I.G.P. "Ternera Gallega" medidos en tres músculos. Efecto del tiempo de conservación y del sexo. XII Congreso de Zootecnia, 604-608.
- Carlez, A., Veciana-Nogues, T., Cheftel, J. C.** (1995). Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *LWT-Food Science and Technology*, 28(5), 528-538.
- Carvalho, I. P. C. D., Fiorentini, G., Berndt, A., Castagnino, P. D. S., Messana, J. D., Frighetto, R. T. S., Berchielli, T. T.** (2016). Performance and methane emissions of Nellore steers grazing tropical pasture supplemented with lipid sources. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45(12), 760-767.
- Cassens, R.G.** (1971). Microscope structure of animal tissues. En: *The Science of Meat and Meat Products* 2ª ed. Eds. J.F. Price y B.S. Schweigert. W.H. Freeman and Company, San Francisco
- Castro, T., Cabezas, A., De la Fuente, J., Isabel, B., Manso, T., Jimeno, V.** (2016). Animal performance and meat characteristics in steers reared in intensive conditions fed with different vegetable oils. *Animal*, 10:03, 520-530.
- Castro, T., Manso, T., Jimeno, V., Del Alamo, M., Mantecón, A. R.** (2009). Effects of dietary sources of vegetable fats on performance of dairy ewes and conjugated linoleic acid (CLA) in milk. *Small Ruminant Research*, 84(1), 47-53.

- Chasco J., G. Lizaso, M.J. Beriaín, A. Horcada, C. Gorraiz, B. Hernández, F.J Mendizábal y A. Purroy.** (1995). Efecto de la maduración a vacío en el color de la carne de ternera de raza Pirenaica. *ITEA*, 16: 621-623.
- Chasco, J.** (1997). Calidad de la carne de terneros machos de raza Pirenaica y su evolución durante la maduración. VII Jornadas sobre Producción Animal. *ITEA*. 772-774.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Doreau, M.** (2001). Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. *Livestock Production Science*, 70(1), 31-48.
- CIE.** Comission Internacionale de l'Eclairage. (1986). *Colorimetry*, 2nd Ed. Vienna.
- Clinquart, A., Eenaeme, C. V., Dufrasne, I., Gielen, M., Istasse, L.** (1995). Soya oil in the diet of growing-fattening bulls. II. Effects on metabolism in the rumen, apparent digestibility, plasma hormones and metabolites. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 74, 1-5, 15-23.
- Clinquart, A., Istasse, L., Dufrasne, I., Mayombo, A., Van Eenaeme, C., Bienfait, J. M.** (1991). Effects on animal performance and fat composition of two fat concentrates in diets for growing-fattening bulls. *Animal Production*, 53(03), 315-320.
- Cozzolino, D., De Mattos, D. Martins, V.** (2002). Visible/near infrared reflectance spectroscopy for predicting composition and tracing system of production of beef muscle. *Animal Science*, 74, 477-484.
- Daley, A.C., Abbot, A., Doyle, S.P., Nader, A.G., Larson, S.** (2010). A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutrition Journal*, 9, 10.
- Dashdorj, D., Tripathi, V. K., Cho, S., Kim, Y., Hwang, I.** (2016). Dry aging of beef; Review. *Journal of Animal Science and Technology*, 58(1), 20.
- Daszkiewicz, T., Wajda, S., Matusevicius, P.** (2003). Changing of beef quality in the process of storage. *Veterinarija ir Zootechnika*, 21(43), 62-65.
- De la Fuente, J., Diaz, M. T., Alvarez, I., Oliver, M. A., Furnols, M. F., Sañudo, C., Caneque, V.** (2009). Fatty acid and vitamin E composition

- of intramuscular fat in cattle reared in different production systems. *Meat Science*, 82(3), 331-337.
- De La Torre, A., Debiton, E., Juanéda, P., Durand, D., Chardigny, J. M., Barthomeuf, C., Gruffat, D.** (2006). Beef conjugated linoleic acid isomers reduce human cancer cell growth even when associated with other beef fatty acids. *British Journal of Nutrition*, 95(02), 346-352.
- De Marchi, M., Berzaghi, P., Boukha, A., Mirisola, M., Gallo, L.** (2007). Use of near infrared spectroscopy for assessment of beef quality traits. *Italian Journal Science*, 6, 421-423.
- De Smet, S., Raes, K., Demeyer, D.** (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53, 2, 81-98.
- Demeyer D.I., Van Nevel C.J.** (1995) Transformations and effects of lipids in the rumen: three decades of research at Gent University. *Archiv für Tierernaehrung* 48, 119–134
- Demirel, G., Wood, J.D., Enser, M.** (2004). Conjugated linoleic acid content of the lamb muscle and liver fed different supplements. *Small Ruminant Research*, 53, 23-28.
- Demos, B. P., Mandigo, R. W.** (1995). Composition and Chemistry of Mechanically Recovered Beef Neck-Bone Lean. *Journal of Food Science*, 60(3), 576-579.
- Dhiman, T., Helmink, E. D., McMahon, D. J., Fife, R. L., Pariza, M. W.** (1999). Conjugated Linoleic Acid Content of Milk and Cheese from Cows Fed Extruded Oilseeds¹. *Journal of Dairy Science*, 82(2), 412-419.
- Dhiman, T.R., Zaman, S., Olson, K.C., Bingham, H.R., Ure, A.L., Pariza, M.W.** (2005). Influence of feeding soybean oil on conjugated linoleic acid content in beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 684-689
- Díaz, M. T., Cañeque, V., Sánchez, C. I., Lauzurica, S., Pérez, C., Fernández, C., De la Fuente, J.** (2011). Nutritional and sensory aspects of light lamb meat enriched in n-3 fatty acids during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 124(1), 147-155.
- Directiva del consejo europeo 86/609/EEC** (1986). Relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los

Estados miembros respecto a la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos.

- Doreau, M., Chilliard, Y.** (1997). Digestion and metabolism of dietary fat in farm animals. *British Journal of Nutrition*, 78:1, 15-35.
- Doreau, M., Chilliard, Y., Rulquin, H., Demeyer, D. I.** (1999). Manipulation of milk fat in dairy cows. En *Recent Advances in Animal Nutrition*, 81109. Nottingham University Press. Nottingham, UK.
- Doreau, M., Ferlay, A.** (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45(3-4), 379-396.
- Doreau, M., Ferlay, A.** (1995). Effect of dietary lipids on nitrogen metabolism in the rumen: a review. *Livestock Production Science*, 43, 2, 97-110.
- Doreau, M., Meynadier, A., Fievez, V., Ferlay, A.** (2016). Ruminant Metabolism of Fatty Acids: Modulation of Polyunsaturated, Conjugated, and Trans Fatty Acids in Meat and Milk. *Handbook of Lipids in Human Function, Fatty Acids*, 521-542.
- Dransfield, E.** (1981). Eating quality of DFD beef. In *The problem of dark-cutting in beef*. Springer Netherlands, 344-361.
- EFSA, European Food Safety Authority** (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA J* 8(3):1–107.
- Engle, T.E., Spears, J.W., Fellner, V., Odle, J.** (2000). Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. *Journal of Animal Science*, 78, 2713-2721.
- Erjaei, K., Zali, A., Ganjkhanloo, M., Dehghan-Banadaky, M., Tufarelli, V., Laudadio, V.** (2012). Effects of wheat processing and dietary fat sources on performance, ruminal and blood parameters, and steak fatty acids profile of Holstein steers. *Livestock Science*, 149, 1, 74-82.
- EUROSTAT.** (2016). Agriculture, forestry and fishery statistics. Statistical books. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación)** (2010). <http://faostat.fao.org/site/569/default.aspx#ancor>

- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal)** (2003). C. de Blas, G.G. Mateos y P.G^a. Rebollar (eds.). Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2^a ed.). Madrid, España. 423 pp
- Feldhusen, F., Warnatz, A., Erdmann, R. Wenzel, S.** (1995). Influence of storage time on parameters of color stability of beef. *Meat Science* 40, 235-243.
- Finstad, H. S., Drevon, C. A., Kulseth, M. A., Synstad, A. V., Knudsen, E., Kolset, S. O.** (1998). Cell proliferation, apoptosis and accumulation of lipid droplets in U937-1 cells incubated with eicosapentaenoic acid. *Biochemical Journal*, 336(2), 451-459.
- Fox, J. B.** (1987). In *The Science of Meat and Meat Products*, 3rd Edn, ed. J. F. Price & B. S. Schweigert. Food and Nutrition Press Inc., Westport, Connecticut, p. 193
- Franco, D., González, L., Bispo, E., Latorre, A., Moreno, T., Sineiro, J., Núñez, M. J.** (2012). Effects of calf diet, antioxidants, packaging type and storage time on beef steak storage. *Meat Science*, 90, 4, 871-880.
- Garrido, M. D., Bañón, S., Álvarez, D.** (2005). Medida del pH. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los ruminantes. Coordinadore: V. Cañeque, C. Sañudo. (206-215). Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. (Monografías INIA, serie ganadera, N^o 3).
- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.F., Culioli, J.** (2002). Valeur diététique et qualités sensorielles des viands de ruminants. Incidence de l'alimentation des animaux. *INRA Productions Animales* 15 (1), 37-52.
- Geesink, G. H., Schreutelkamp, F. H., Frankhuizen, R., Vedder, H. W., Faber, N. M., Kranen, R. W., Gerritzen, M. A.** (2003). Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra. *Meat Science*, 65(1), 661-668.
- Gómez, J.A., Mendizabal, M. V., Sarriés, K., Insausti, P., Albertí, C., Realini, M., Pérez-Juan, M. A., Oliver, A., Purroy, M. J. Beriain.** (2015). Fatty acid composition of young Holstein bulls fed whole linseed and rumen-

- protected conjugated linoleic acid enriched diets. *Livestock Science* 180, 106-112.
- Gómez-Cortés, P., Frutos, P., Mantecón, A. R., Juárez, M., De la Fuente, M. A., Hervás, G.** (2008). Milk production, conjugated linoleic acid content, and in vitro ruminal fermentation in response to high levels of soybean oil in dairy ewe diet. *Journal of Dairy Science*, 91(4), 1560-1569.
- Grau, R., Hamm, R.** (1953). Eine einfache Methode zur bestimmung der Wasserbindung in Muskel. *Naturwissenschaften* 40, 29-30.
- Gray, J. I., Goma, E. A., Buckley, D. J.** (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, 111-123.
- Griinari, J. M., Bauman, D. E.** (1999). Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, 1(1).
- Griinari, J., Cori, B., Lacy, S., Chouinard, P., Nurmela, K., Bauman, D.** (2000). Conjugated linoleic acid is synthesized endogenously in lactating dairy cows by delta-9 desaturase. *Journal of Nutrition*, 130, 2285-2291.
- Griswold, K.E., Apgar, G.A., Robinson, R.A., Jacobson, B.N., Johnson, D. Woody, H.D.** (2003). Effectiveness of short-term feeding strategies for altering conjugated linoleic acid content of beef. *Journal of Animal Science*, 81, 1862-1871.
- Guy, F., Prache, S., Thomas, A., Bauchart, D., Andueza, D.** (2011). Prediction of lamb meat fatty acid composition using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Food Chemistry*, 127(3), 1280-1286.
- Hamm, R.** (1960). Biochemistry of meat hydration. *Adv. Food Res.* Vol. 10: 355.
- Hamm, R.** (1963). Die Mikrostruktur des muscels und ihre beziehung zum wasserbindungsvermögen des fleisches. *Fleischwirtschaft*, 15, 298.
- Hamm, R.** (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. *Muscle as food* (Bechtel, P.J.), Academic Press, Orlando. 135-199.
- Harfoot, C .G. y Hazlewood, G. P.** (1988). Lipid metabolism in the rumen. In *the Rumen Microbial Ecosystem*, 285-322. Hobson, P.N. (ed.). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands.

- Harfoot, C. G. y G. P. Hazlewood.** (1997). Lipid metabolism in the rumen. En *The Rumen Microbial Ecosystem*. 2nd ed., 382-426. Hobson, P. N. y Stewart, C. S. (eds.) Blackie Academic & Professional, New York.
- Heise, H.M., Winzen, R.** (2004). Fundamental chemometric methods. In: *Near-Infrared Spectroscopy. Principles, Instruments, Applications*. (Eds. Siesler, H.W.; Ozaki, Y.; Kawata, S. & Heise, H.M.), 125-162. WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany.
- Hernández, B.** (1994). Estudio del color en carnes: caracterización y control de calidad. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza.
- Hess, B. W., Moss, G. E., & Rule, D. C.** (2008). A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science*, 86(14_suppl), E188-E204.
- Honikel, K. O.** (1997). Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. *Food Chemistry*, 59(4), 573-582.
- Hood, D. E.** (1980). Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef. *Meat Science*, 4(4), 247-265.
- Hornsey, H. C.** (1956). The colour of cooked curded pork estimation of the nitric-oxide haem pigments. *Journal Science Food Agriculture*, 7, 534-540.
- Hristov, A.N., Kennington, L.R., McGuire, M.A., Hunt, C.W.** (2005). Effect of diets containing linoleic acid or oleic acid rich oils on ruminal fermentation and nutrient digestibility, and performance and fatty acid composition of adipose and muscle tissues of finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 83, 1312-1321.
- Hruschka, W. R.** (1987). Data analysis: wavelength selection methods. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*, 2.
- Insausti, K., Beriain, M. J., Alzueta, M. J., Carr, T. R., Purroy, A.** (2004). Lipid composition of the intramuscular fat of beef from Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Science*, 66(3), 639-646.

- Insausti, K., Beriain, M. J., Purroy, A., Alberti, P., Gorraiz, C., Alzueta, M. J.** (2001). Shelf life of beef from local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Science*, 57(3), 273-281.
- Insausti, K., Beriain, M. J., Purroy, A., Alberti, P., Lizaso, L., Hernandez, B.** (1999). Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Science*, 53(4), 241-249.
- Institut de L'Élevage.** (2017). Prévisions viande bovine 2017 : La production toujours en hausse. www.idele.fr
- Ismail, H.A., Lee, E. J., Ko, K. Y., Ahn, D. U.** (2008). Effects of aging time and natural antioxidants on the color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. *Meat Science* 80, 582–591.
- Jahreis, G., Fritsche, J., Möckel, P., Schöne, F., Möller, U., & Steinhart, H.** (1999). The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid, cis-9, trans-11 C18: 2, in milk of different species: cow, goat, ewe, sow, mare, woman. *Nutrition Research*, 19(10), 1541-1549.
- Jakobsen, M. U., Bysted, A., Andersen, N. L., Heitman, B. L., Hartkopp, H. B., Leth, T., Overvad, K., Dyerberg, J.** (2006). Intake of ruminant trans fatty acids and risk of coronary heart disease: an overview. *Atherosclerosis Supplements*, 7, 9-11.
- Jenkins T. C.** (1993). Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science* 76, 3851-3863.
- Jiang, T., Busboom, J. R., Nelson, M. L., O'Fallon, J., Ringkob, T. P., Rogers-Klette, K. R., Piper, K.** (2010). The influence of forage diets and aging on beef palatability. *Meat Science*, 86(3), 642-650.
- Kanner, J.** (1994). Oxidative processes in meat and meat products: quality implications. *Meat Science*, 36(1-2), 169-189.
- Kauffman, R. G., Eikelenboom, G., Van der Wal, P. G., Merkus, G., Zaar, M.** (1986). The use of filter paper to estimate drip loss of porcine musculature. *Meat Science*, 18, 3, 191-200.
- Kitessa, S. M., Gulati, S. K., Ashes, J. R., Fleck, E., Scott, T. W., Nichols, P. D.** (2001a). Utilisation of fish oil in ruminants: I. Fish oil metabolism in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 89(3), 189-199.

- Kitessa, S.M., Gulati, S.K., Ashes, J.R., Fleck, E., Scott, T.W., Nichols, P.D.,** (2001b). Utilisation of fish oil in ruminants II. Transfer of fish oil fatty acids into goats' milk. *Animal Feed Science and Technology*, 89, 201-208.
- Klingenberg, I. L., Knabe, D. A., Smith, S. B.** (1995). Lipid metabolism in pigs fed beef tallow or high-oleic acid sunflower oil. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 110(1), 183-192.
- Kouba, M., Mouro, J., Peiniau, P.** (1997). Stearoyl-CoA desaturase activity in adipose tissues and liver of growing Large White and Meishan pigs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 118(3), 509-514.
- Lanza, E.** (1983). Determination of moisture, protein, fat, and calories in raw pork and beef by near infrared spectroscopy. *Journal of Food Science*, 48(2), 471-474.
- Lawrie R. A.** (1998). Meat Science. 6th Ed. Pergamon Press, New York.
- Lawrie, R. A.** (1958). Physiological stress in relation to dark-cutting beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 9, 11, 721-727.
- Lee M. R. F., Tweed J. K. S., Kim E. J. and Scollan N. D.** (2012). Beef, chicken and lamb fatty acid analysis, a simplified direct bimethylation procedure using freeze-dried material. *Meat Science* 92, 863–866.
- Liu, Y., Lyon, B. G., Windham, W. R., Realini, C. E., Pringle, T. D. D., Duckett, S.** (2003). Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study. *Meat Science*, 65(3), 1107-1115.
- Lochner, J. V., Kauffman, R. G., & Marsh, B. B.** (1980). Early-postmortem cooling rate and beef tenderness. *Meat Science*, 4(3), 227-241.
- Ludden, P.A., Kucuk, O., Rule, D.C., Hess, B.W.** (2009). Growth and carcass fatty acid composition of beef steers fed soybean oil for increasing duration before slaughter. *Meat Science*, 82, 185-192.
- MacDougall, D. B.** (1982). Changes in the colour and opacity of meat. *Food Chemistry*, 9(1-2), 75-88.

- Maczulak, A. E., Dehority, B. A., Palmquist, D. L.** (1981). Effects of long-chain fatty acids on growth of rumen bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 42(5), 856-862.
- Madron, M. S., Peterson, D. G., Dwyer, D. A., Corl, B. A., Baumgard, L. H., Beermann, D. H., Bauman, D. E.** (2002). Effect of extruded full-fat soybeans on conjugated linoleic acid content of intramuscular, intermuscular, and subcutaneous fat in beef steers. *Journal of Animal Science*, 80(4), 1135-1143.
- MAGRAMA** (2016). Caracterización del sector vacuno de carne en España: Año 2015. <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/vacuno-de-carne/>
- Majewska, M. P., Pająk, J. J., Skomial, J., Kowalik, B.** (2016). The effect of different forms of sunflower products in diets for lambs and storage time on meat quality. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 227-235.
- Mandell, I. B., Buchanan-Smith, J. G., Holub, B. J., Campbell, C. P.** (1997). Effects of fish meal in beef cattle diets on growth performance, carcass characteristics, and fatty acid composition of longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 75(4), 910-919.
- Manso, T., Castro, T., Mantecón, A. R., & Jimeno, V.** (2006). Effects of palm oil and calcium soaps of palm oil fatty acids in fattening diets on digestibility, performance and chemical body composition of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 127(3), 175-186.
- Marques, J. D. A., Prado, I. N. D., Moletta, J. L., Prado, I. M. D., Prado, J. M. D., Macedo, L. M. A., Matsushita, M.** (2006). Carcass and meat traits of feedlot finished heifers submitted to surgical or mechanical anoestrous. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(4), 1514-1522.
- Matthews, K.** (2010). Comparison of three methods of packaging for the ageing/maturation of beef (dry ageing, ageing in a permeable vacuum pack and standard vacuum packaging). EBLEX (A division of the Agriculture and Horticulture Development Board) on behalf of EBLEX and the University of Bristol.
- McNiven, M. A., Duynisveld, J. L., Turner, T., Mitchell, A. W.** (2011). Ratio of n-6/n-3 in the diets of beef cattle: Effect on growth, fatty acid

- composition, and taste of beef. *Animal Feed Science and Technology*, 170, 3, 171-181.
- McNiven, M. A., Duynisveld, J., Charmley, E., Mitchell, A.** (2004). Processing of soybean affects meat fatty acid composition and lipid peroxidation in beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 116, 175-184.
- Monín, G., Hortós, M., Díaz, I., Rock, E., Garda-Regueiro, J. A.** (2003). Lipolysis and lipid oxidation during chilled storage of meat from large White and Pietrain pigs. *Meat Science*, 64, 7-12.
- Morcuende, D., Estevez, M., Ruiz, J., Cava, R.** (2003). Oxidative and lipolytic deterioration of different muscles from free-range reared Iberian pigs under refrigerated storage. *Meat Science*, 65, 1157-1164.
- Morrissey, P. A., Sheehy, P. J. A., Galvin, K., Kerry, J. P., Buckley, D. J.** (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49, 73-86.
- Murray, R. K., Mayes, P. A., Granner, D. K. y Rodwell, V. W.** (2001). Bioquímica de Harper. Ed. El Manual Moderno. Santafé de Bogotá. Colombia.
- Nakamura, M. T., & Nara, T. Y.** (2003). Essential fatty acid synthesis and its regulation in mammals. Prostaglandins, leukotrienes and essential fatty acids, 68(2), 145-150.
- Nassu, R.T., Dugan, M.E.R., He, M.L., McAllister, T.A., Aalhus, J.L., Aldai, N., Kramer, J.K.G.** (2011). The effects of feeding flaxseed to beef cows given forage based diets on fatty acids of longissimus thoracis muscle and backfat. *Meat Science*, 89, 469-477.
- Nawar, W. W.** (1996). Lipids. In Food Chemistry, 3rd ed.; Fennema, O. R., Ed.; Marcel Dekker: New York, 1996; pp 139-244
- Noci, F, French, P, Monahan, F. J., Moloney A.P.** (2007). The fatty acid composition of muscle fat and subcutaneous adipose tissue of grazing heifers supplemented with plant oil-enriched concentrates. *Journal of Animal Science* 85, 1062–1073.
- Noci, F., O’Kiely, P., Monahan, F.J., Stanton, C., Moloney, A.P.** (2005). Conjugated linoleic acid concentration in m. longissimus dorsi from

- heifers offered sunflower oil-based concentrates and conserved forages. *Meat Science*, 69, 509-518.
- Noosen, P., Lounglawan, P., Suksombat, W.** (2017). Linseed oil supplemented concentrate fed to Brahman crossbred fattening steers on carcass quality traits and intramuscular fatty acid profiles. Songklanakarin *Journal of Science & Technology*, 39, 1-10.
- Offer, G., Knight, P.**, (1988). The structural basis of water-holding in meat. In: Developments in *Meat Science*- 4, part 2, ed. R. Lawrie, p. 173.
- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., Eley, J., Purslow, P.**, (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Structure*, 8(1), 17.
- Oliete, B., Carballo, J. A., Varela, A., Moreno, T., Monserrat, L., & Sánchez, L.** (2006). Effect of weaning status and storage time under vacuum upon physical characteristics of meat of the Rubia Gallega breed. *Meat Science*, 73(1), 102-108.
- Oliveira, D. M., Ladeira, M. M., Chizzotti, M. L., Machado Neto, O. R., Ramos, E. M., Gonçalves, T. M., Ribeiro, J. S.** (2011). Fatty acid profile and qualitative characteristics of meat from zebu steers fed with different oilseeds. *Journal of Animal Science*, 89(8), 2546-2555.
- Oliveira, E. A., Sampaio, A. A. M., Henrique, W., Pivaro, T. M., Rosa, B. L., Fernandes, A. R. M., and Andrade, A. T.** (2012). Quality traits and lipid composition of meat from Nellore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. *Meat Science*, 90, 1, 28-35.
- Osborne, B. G., Fearn, T., & Hindle, P. H.** (1993). Practical nir spectroscopy with application in food and beverage analysis (2nded.). Essex, UK: Longman Scientific and Technical.
- Palmquist, D. L.** (1988). The feeding value of fats. *Feed science*, 12, 293-311.
- Palmquist, D. L.** (1996). Utilización de Lípidos en dietas de rumiantes, 39-57. XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid.
- Palmquist, D. L., Jenkins, T. C.** (1980). Fat in Lactation Rations¹, 2: Review. *Journal of dairy science*, 63:1, 1-14.

- Palmquist, D.L. y Kinsey, D.** (1994). Lipolysis and biohydration of fish oil by ruminal microorganisms. *Journal Dairy Science*, 77 (1), 350
- Pariza, M. W.** (2004). Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(6), 1132-1136.
- Parrish, F. C., Goll, D. E., Newcomb, W. J., Delumen, B. O., Chaundhry, H. M., Kline, E. A.** (1969). Molecular properties of post mortem muscle. 7. Changes in non-protein nitrogen free amino acids of bovine muscle. *Journal of Food Science*. 34, 196-203.
- Pérez-Marín, D., Sanz, E. D. P., Guerrero-Ginel, J. E., Garrido-Varo, A.** (2009). A feasibility study on the use of near-infrared spectroscopy for prediction of the fatty acid profile in live Iberian pigs and carcasses. *Meat Science*, 83(4), 627-633.
- Perry, N.** (2012). Dry aging beef. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1(1), 78-80.
- Piedrafita, J.** (2000). Characterisation and assessment of genetic aptitudes of European local beef cattle breeds for producing quality meat. Final Report
- Piperova, L.S., Sampugna, J., Teter, B.B., Kalscheur, K.F., Yurawecz, Y., Ku, K., Morehouse, K.M., Erdman, R.A.** (2002). Duodenal and milk trans octadecenoic acid and conjugated linoleic acid (CLA) isomers indicate that postabsorptive synthesis is the predominant source of cis-9-containing CLA in lactating dairy cows. *Journal Nutrition*, 132, 1235-1241.
- Pla, M., Hernández, P., Ariño, B., Ramírez, J. A., Díaz, I.** (2007). Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology. *Food Chemistry*, 100, 165-170.
- Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., Sinell, H.J.** (1994). Tecnología e higiene de la carne. Ed. Acribia, Zaragoza.
- Prevolnik, M., Čandek-Potokar, M., Škorjanc, D., Velikonja-Bolta, Š., Škrlep, M., Žnidaršic, T., & Babnik, D.** (2005). Predicting intramuscular fat content in pork and beef by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 13(2), 77-85.

- Prieto, N.**, (2006). Aplicación de la tecnología NIRS para estimar parámetros indicativos de la calidad de la carne de vacuno. Tesis Doctoral. Producción Animal I. Universidad de León.
- Prieto, N., Andres, S., Giraldez, F. J., Mantecón, A. R., Lavín, P.** (2006). Potential use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the estimation of chemical composition of oxen meat samples. *Meat Science*, 74, 487–496.
- Prieto, N., Andrés, S., Giráldez, F. J., Mantecón, A. R., Lavín, P.** (2008). Ability of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to estimate physical parameters of adult steers (oxen) and young cattle meat samples. *Meat Science*, 79(4), 692-699.
- Prieto, N., Lopez-Campos, O., Aalhus, J. L., Dugan, M. E. R., Juarez, M., Uttaro, B.** (2014). Use of near infrared spectroscopy for estimating meat chemical composition, quality traits and fatty acid content from cattle fed sunflower or flaxseed. *Meat Science*, 98(2), 279-288.
- Prieto, N., Roehe, R., Lavín, P., Batten, G., Andrés, S.** (2009). Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. *Meat Science*, 83(2), 175-186.
- Priolo A, Micol D and Agabriel J** (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research* 50, 185–200.
- Purchas, R. W.** (1990). An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. *Meat Science*, 27(2), 129-140.
- Raes, K., De Smet, S., Balcaen, A., Claeys, E., Demeyer, D.** (2003). Effect of diets rich in N-3 polyunsaturated fatty acids on muscle lipids and fatty acids in Belgian Blue double-muscled young bulls. *Reproduction Nutrition Development*, 43(4), 331-345.
- Ramirez, P.B.** (2004). El ácido linoleico conjugado y su importancia en la dieta. *Agrofaz* ISSN 1665-8892 4 (1), 519-528
- Razminowicz, R.H., Kreuzae, M., Leuenberg, H. and Scheeder M.R.L.** (2008) Efficiency of extruded linseed for the finishing of grass-fed steers

- to counteract a decline of omega-3 fatty acids in the beef. *Livestock Science*, 114: 150-163
- Real Decreto 1201/2005**, Sobre protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos. BOE 252.
- Realini, C. E., Duckett, S. K., Brito, G. W., Dalla Rizza, M., & De Mattos, D.** (2004). Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science*, 66(3), 567-577.
- Reglamento (CEE)**. (1991). Reglamento nº 2237/1991 de La Comisión Europea de 27 de Julio de 1991.
- Reglamento (CEE)**. (2006). Reglamento nº103/2006 de la Comisión Europea de 20 de enero de 2006.
- Renner, M.** (1982). Effects of age and slaughter weight on the colour of beef (Friesian and Charolais breeds). *Sciences des Alimentation*. 2: 17-30.
- Renner, M.** (1982). La couleur de la viande et sa mesure. Bull. Technique/Centre de Reserches Zootechniques et Vétérinaires de Theix, INRA, 47: 47-54.
- Renner, M.** (1986). Influence des facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de la viande bovine. *Bull. Technique/Centre de Reserches Zootechniques et Vétérinaires de Theix, INRA*, 65, 41-45.
- Renner, M., Dumont, F., Gatellier, P.** (1996). Antioxidant enzyme activities in beef in relation to oxidation of lipid and myoglobin. *Meat Science*, 43(2), 111-121.
- Revilla, I., Vivar-Quintana, A. M.** (2006). Effect of breed and ageing time on meat quality and sensory attributes of veal calves of the "Ternera de Aliste" Quality Label. *Meat science*, 73(2), 189-195.
- Ripoll, G., Albertí, P., Panea, B., Olleta, J. L., & Sañudo, C.** (2008). Near-infrared reflectance spectroscopy for predicting chemical, instrumental and sensory quality of beef. *Meat science*, 80 (3), 697-702.
- Ritzenthaler, K. L., McGuire, M. K., Falen, R., Shultz, T. D., Dasgupta, N., & McGuire, M. A.** (2001). Estimation of conjugated linoleic acid intake by written dietary assessment methodologies underestimates actual intake

- evaluated by food duplicate methodology. *The Journal of Nutrition*, 131(5), 1548-1554.
- Robelin, J., Geay, Y.** (1974). Estimation de la composition des carcasses de jeunes bovines males a partir de la eme cote. Bull Technique/Centre de Reserches Zootechniques et Vétérinaires de Theix, INRA, 15-27.
- Romans, J. R., & Norton, H. W.** (1989). Consumer evaluation of fresh pork quality. In *35. International Congress of Meat Science and Technology. Copenhagen (Denmark). 20-25 Aug 1989.*
- Ruiz de Huidobro, F. R., Miguel, E., Onega, E., Blázquez, B.** (2003). Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Science*, 65(4), 1439-1446.
- Rule, D.C., Busboom, J.R., Kercher, C.J.** (1994). Effect of dietary canola on fatty acid composition of bovine adipose tissue, muscle, kidney and liver. *Journal of Animal Science*, 72, 2735-2744.
- Salinas, J., Ramírez, R. G., Domínguez, M. M., Reyes-Bernal, N., Trinidad-Larraga, N., Montano, M. F.** (2006). Effect of calcium soaps of tallow on growth performance and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Small Ruminant Research*, 66(1), 135-139.
- Sanders, T. A.** (2000). Polyunsaturated fatty acids in the food chain in Europe. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(1), 176s-178s.
- Sarraga, C., García, J. A.** (2000). Susceptibilidad a la oxidación de la carne de ave y del jamón curado. *Eurocarne*, 10(92), 55-60.
- SAS Institute.** (2002). SAS/STAT® User's Guide, versión 9.0. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- Schwarz, F. J., Schams, D., Röpke, R., Kirchgessner, M., Kögel, J., & Matzke, P.** (1993). Effects of somatotropin treatment on growth performance, carcass traits, and the endocrine system in finishing beef heifers. *Journal of animal science*, 71(10), 2721-2731.
- Schwarz, G. E.,** (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of statistics*, 6 (2), 461-464.
- 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(01), 115-124.

- Scollan, N. D., Fisher, W. J., Davies, D. W. R., Fisher, A. V., Enser, M., and Wood, J. D.** (1997). Manipulating the fatty acid composition of muscle in beef cattle. *Animal Science*, 20, 20.
- Scollan, N.D, Hocquette, J.F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., Moloney, A.** (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 74, 17-33.
- Sellier, P., Mejenes-Quijano, A., Marinova, P., Talmant, A., Jacquet, B., & Monin, G.,** (1988). Meat quality as influenced by halothane sensitivity and ultimate pH in three porcine breeds. *Livestock Production Science*, 18(2), 171-186.
- Shenk, J., & Westerhaus, M.** (1993). Analysis of agriculture and food products by near infrared reflectance spectroscopy. Port Matilda, PA: Infrasoftware International
- Shenk, J., & Westerhaus, M.** (1996). Calibration the ISI way. In A. M. C. Davies, & P. Williams (Eds.), Near infrared spectroscopy: the future waves (198–202). Chichester: NIR Publications
- Sierra, V., Aldai, N., Castro, P., Osoro, K., Coto-Montes, A., Oliván, M.** (2008). Prediction of the fatty acid composition of beef by near infrared transmittance spectroscopy. *Meat Science*, 78(3), 248-255.
- Song, M. K., Jin, G. L., Ji, B. J., Chang, S. S., Jeong, J., Smith, S. B., & Choi, S. H.** (2010). Conjugated linoleic acids content in M. longissimus dorsi of Hanwoo steers fed a concentrate supplemented with soybean oil, sodium bicarbonate-based monensin, fish oil. *Meat Science*, 85(2), 210-214.
- Steen, R.W., Porter, M.G.** (2003). The effects of high-concentrate diets and pasture on the concentration of conjugated Linoleic acid in beef muscle and subcutaneous fat. *Grass and Forage Science*, 58, 50-57.
- Sukhija, P. S., Palmquist, D.L.** (1988). Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *Journal of agricultural and food chemistry*, 36, 1202–1206.
- Suksombat, W., Meeprom, C., & Mirattanaphrai, R.** (2016). Performance, Carcass Quality and Fatty Acid Profile of Crossbred Wagyu Beef Steers

- Receiving Palm and/or Linseed Oil. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29, 10, 1432.
- Tesfa, A. T.** (1992). Effects of rapeseed oil on rumen enzyme activity and in sacco degradation of grass silage. *Animal Feed Science and Technology*, 36(1), 77-89.
- Tøgersen, G., Isaksson, T., Nilsen, B. N., Bakker, E. A., Hildrum, K. I.** (1999). On-line NIR analysis of fat, water and protein in industrial scale ground meat batches. *Meat Science*, 51(1), 97-102.
- Tøgersen, G.; Arnesen, J. F.; Nielsen, B. N. and Hildrum, K. I.** (2003). On-line prediction of chemical composition of semi-frozen ground beef by non-invasive NIR spectroscopy. *Meat Science* 63, 515-523.
- Turpeinen, A. M., Mutanen, M., Aro, A., Salminen, I., Basu, S., & Palmquist, D. L.** (2002). Bioconversion of vaccenic acid to conjugated linoleic acid in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 504–510.
- Ulbricht, T.L.V., Southgate D.A.T.** (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, 338, 985-992.
- USDA.** (2016). Livestock and poultry: World markets and trade. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline>
- Van Nevel, C., Demeyer, D.** (1996). Control of rumen methanogenesis. *Environ. Monit. Assess.* 42: 73-97.
- Venel, C., Mullen, A. M., Downey, G., Troy, D. J.** (2001). Prediction of tenderness and other quality attributes of beef by near infrared reflectance spectroscopy between 750 and 1100 nm; further studies. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 9(3), 185-198.
- Vieira, C., García-Cachán, M. D., Recio, M. D., Domínguez, M., Astiz, C. S.** (2006). Effect of ageing time on beef quality of rustic type and rustic x Charolais crossbreed cattle slaughtered at the same finishing grade. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(3), 225-234.
- Viljoen, M., Hoffman, L. C., & Brand, T. S.** (2005). Prediction of the chemical composition of freeze dried ostrich meat with near infrared reflectance spectroscopy. *Meat science*, 69(2), 255-261.
- Wachira, A.M., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Enser, M., Wood, J.D., Fisher, A.V.** (2002). Effects of dietary fat source and breed on the

- carcass composition, n-3 polyunsaturated fatty acid and conjugated linoleic acid content of sheep meat and adipose tissue. *British Journal of Nutrition*, 88, 697-709.
- Westerhaus, M., Workman, J., Reeves III, J. B., & Mark, H.** (2004). Quantitative calibration methods. *Near infrared spectroscopy in agriculture, Agronomy*, 44, 133-174.
- Wierbicki, E., and Deatherage, F. E.,** (1958). Determination of water-holding capacity of fresh meats. *Agricultural Food and Chemistry*, 6, 387-392.
- Williams, P. and Norris, K.** (2001). Near- Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. Second Edition. American Association of Cereal Chemists Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Williams, P.C. and Sobering, D.C.** (1993). Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 1, 25-32.
- Windham, W. R., Mertens, D. R., and Barton, F. E.** (1989). II Protocol for NIRS Calibration: Sample Selection and Equation Development and Validation. Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS): Analysis of Forage Qualit. USDA Agriculture Handbook, 643, 96-103.
- 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(01), 49-60.
- Wood, Z. A., Schröder, E., Harris, J. R., & Poole, L. B.** (2003). Structure, mechanism and regulation of peroxiredoxins. *Trends in biochemical sciences*, 28, 1, 32-40.
- Wu, D., He, Y., Feng, S.** (2008). Short-wave near-infrared spectroscopy analysis of major compounds in milk powder and wavelength assignment. *Analytica Chimica Acta*, 610(2), 232-242.
- Yang, S. L., Bu, D. P., Wang, J. Q., Hu, Z. Y., Li, D., Wei, H. Y., Loo, J. J.** (2009). Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles of ruminal microorganisms in dairy cows. *Animal*, 3(11), 1562-1569.
- Yeates, N.T.M., Edey, T.N., Hill, M.K.** (1975). The definition and measurement of meat quality. Tenderness. En: *Animal Science*. Ed: N.T.M. Yeates, Edey T.N., Hill M. K. Pergamon Press, London.

- Zamora, F., Debiton, E., Lepetit, J., Lebert, A., Dransfield, E., Ouali, A.** (1996). Predicting variability of ageing and toughness in beef M. Longissimus lumborum et thoracis. *Meat Science*, 43(3), 321-333.
- Zened, A., Troegeler-Meynadier, A., Nicot, M. C., Combes, S., Cauquil, L., Farizon, Y., and Enjalbert, F.** (2011). Starch and oil in the donor cow diet and starch in substrate differently affect the in vitro ruminal biohydrogenation of linoleic and linolenic acids. *Journal of dairy science*, 94(11), 5634-5645.
- Zinn, R. A.** (1989). Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: feedlot cattle growth and performance. *Journal of Animal Science*, 67, 4, 1029-1037.
- Zinn, R. A., Plascencia, A.** (1996). Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 74(6), 1194-1201.
- Zymon, M., Strzetelski, J., Pustkowiak, H., Sosin, E.** (2007). Effect of freezing and frozen storage on fatty acid profile of calves' meat. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4C), 647-650.

