

UNIVERSIDAD



DE EXTREMADURA

TESIS DOCTORAL

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS
DEL TOMATE Y OTRAS FUENTES DE ANTIOXIDANTES
DURANTE EL CEBO DE CORDEROS DE RAZA MERINA SOBRE
LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE FRESCA Y
ENVASADA EN ATMÓSFERAS PROTECTORAS**

Juan Ignacio Gutiérrez Cabanillas

Departamento De Producción Animal y Ciencia De Los Alimentos

Escuela De Ingenierías Agrarias

Conformidad del/los Director/es:

Fdo. Juan Florencio Tejeda Sereno, Ana Isabel Andrés Nieto y María Montaña López Parra

2015



ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos

Ana Isabel Andrés Nieto, Doctora en Veterinaria y Profesora Titular del área de Tecnología de Alimentos en la Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada "EFECTO DE LA ADICIÓN DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DEL TOMATE Y OTRAS FUENTES DE ANTIOXIDANTES DURANTE EL CEBO DE CORDEROS DE RAZA MERINA SOBRE LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE FRESCA Y ENVASADA EN ATMÓSFERAS PROTECTORAS", de la que es autor el Licenciado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos D. Juan Ignacio Gutiérrez Cabanillas, ha sido realizada en el Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos bajo mi dirección y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor.

Badajoz, 3 de Noviembre de 2015

Fdo.: Ana I. Andrés Nieto



ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos

Juan Florencio Tejeda Sereno, Doctor en Veterinaria y Profesora Titular del área de Tecnología de Alimentos en la Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada "EFECTO DE LA ADICIÓN DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DEL TOMATE Y OTRAS FUENTES DE ANTIOXIDANTES DURANTE EL CEBO DE CORDEROS DE RAZA MERINA SOBRE LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE FRESCA Y ENVASADA EN ATMÓSFERAS PROTECTORAS", de la que es autor el Licenciado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos D. Juan Ignacio Gutiérrez Cabanillas, ha sido realizada en el Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos bajo mi codirección y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor.

Badajoz, 3 de Noviembre de 2015

Fdo.: Juan Florencio Tejeda Sereno



M^a Montaña López Parra, Doctora en Veterinaria e Investigadora del Centro de Investigación finca “La Orden-Valdesequera” de la Junta de Extremadura,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “EFECTO DE LA ADICIÓN DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DEL TOMATE Y OTRAS FUENTES DE ANTIOXIDANTES DURANTE EL CEBO DE CORDEROS DE RAZA MERINA SOBRE LA CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE FRESCA Y ENVASADA EN ATMÓSFERAS PROTECTORAS”, de la que es autor el Licenciado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos D. Juan Ignacio Gutiérrez Cabanillas, ha sido realizada en el Departamento de Producción Animal del Centro de Investigación finca “La Orden-Valdesequera” bajo mi codirección y cumple las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor.

Badajoz, 3 de Noviembre de 2015

Fdo.: M^a Montaña López Parra

AGRADECIMIENTOS.-

En primer lugar, debo agradecer la posibilidad que me han brindado mis directores, Ana Isabel Andrés, Juan Florencio Tejeda y María Montaña López, de realizar este Trabajo.

Ana y Juanflo, no solo tengo calificativos de agradecimiento, también de admiración. Hace ya unos cuantos años que llamé por primera vez a la puerta de vuestro despacho, y creo que es una de las mejores decisiones que he tomado en mi vida. Gracias por todo.

En general, a todos los profesores del Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos de la Escuela de Ingenierías Agrarias, tanto del Área de Tecnología de los Alimentos, como del Área de Higiene, de los que siempre he recibido ayuda y conocimientos.

A todas las instituciones que han estado implicadas, de una forma u otra, en la realización de esta Tesis Doctoral: Cooperativa Oviso, Centro de Investigación La Orden-Valdesequera y Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario de Extremadura.

A toda la gente del laboratorio con los que durante estos años he compartido muchas experiencias (Santi, Rocío, Marisol, Manolo Serradilla, Matamoros, Marga y Carmen), en especial a mis compañeros de fatigas, Vita y Julio, dos de las mejores personas que he conocido.

A Mariano y Juan, por toda la ayuda recibida y los buenos ratos.

A Cándido Cebrián, siempre pendiente de que no me faltara de nada. Descansa En Paz, Amigo.

A todos mis amigos, los de aquí y los de allí, a los que cada vez veo menos, pero con los que parece tengo una máquina del tiempo.

A José, Álvaro, Jesús y Carmen, he tenido la suerte de mirar siempre desde abajo, es una gran ventaja. Como no, también a Eva y Ana. Tampoco me olvido de Paco.

A Iván, Alexia, Laura e Ízan, cada uno de ellos es especial por separado, juntos son terribles. Habéis sacado lo mejor de cada uno de mis hermanos.

Y por supuesto, a las personas que siempre han estado ahí. Todo el esfuerzo que ha supuesto realizar este trabajo es ínfimo con el trabajo que han realizado ellos conmigo estos 32 años. Mis Padres.

“Mantén tu rostro hacia la luz del Sol y no verás la sombra”

Helen Adams Keller.

A mis dos fuentes de luz.

VERÓNICA.

MARTA.

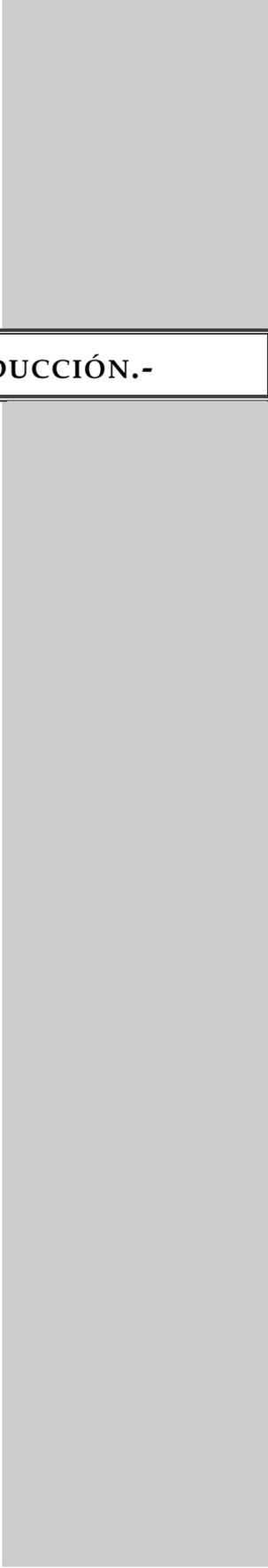


ÍNDICE GENERAL.-

ÍNDICE GENERAL.

I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
II.1. LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO OVINO MERINO.....	11
II.1.1. PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CARNE DE OVINO.....	11
II.1.2. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DURANTE EL CEBO DEL GANADO MERINO.....	14
II.1.3.1. Antioxidantes en el tomate.....	17
II.1.3.2. La pulpa de tomate.....	21
II.1.3.3. Justificación del uso de la pulpa de tomate en la alimentación de los corderos.....	23
II.1.4. LA VITAMINA E COMO SUPLEMENTO.....	25
II.1.5. EL SELENIO EN LA DIETA.....	28
II.1.5.1. Funciones fisiológicas y metabólicas del selenio en el animal.....	29
II.1.5.2. Suplementación de la dieta con selenio y toxicidad.....	31
II.2. CALIDAD DE LA CANAL DE OVINO.....	33
II.2.1. DEFINICIÓN DE CANAL.....	33
II.2.2. CONFORMACIÓN Y PESO.....	34
II.2.3. ENGRASAMIENTO.....	35
II.2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS CANALES.....	36
II.3. CALIDAD DE LA CARNE DE OVINO.....	37
II.3.1. PH.....	38
II.3.1. COLOR.....	38
II.3.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA.....	41
II.3.3. ESTABILIDAD OXIDATIVA.....	42
II.4. ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA.....	43
II.4.1 GASES UTILIZADOS EN EL EAM.....	45
III. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS.....	51
III.1. PLANTEAMIENTO.....	51
III.2. OBJETIVOS.....	53
IV. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	57
V. MATERIAL Y MÉTODOS.....	63
V.1. MATERIAL.....	63
V.1.1. REACTIVOS.....	63
V.1.2. EQUIPOS UTILIZADOS.....	63
V.1.3. ANIMALES.....	66
V.1.4. ALIMENTACIÓN.....	66
V.1.5. ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA.....	67
V.2. MÉTODOS.....	68
V.2.1. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CANAL.....	68
V.2.1.1. Ganancia Media Diaria e Índice de Conversión.....	68
V.2.1.2. Peso en Caliente de la Canal, Peso de la Canal en Frío y Rendimiento.....	69
V.2.1.3. Conformación y engrasamiento.....	69
V.2.1.4. pH de la canal.....	72
V.2.1.5. Color.....	72
V.2.2. PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN GENERAL DE LA CARNE.....	72

V.2.2.1. Materia seca.	72
V.2.2.2. Proteína total.	73
V.2.2.3. Grasa intramuscular.	73
V.2.2.4. Cenizas.	74
V.2.3. PARÁMETROS DE INTERÉS TECNOLÓGICO.	74
V.2.3.1. pH de la carne.	74
V.2.3.2. Color instrumental de la carne.	74
V.2.3.3. Mioglobina.	74
V.2.3.4. Capacidad de retención de agua.	75
V.2.3.5. Pérdidas por cocinado.	75
V.2.3.6. Fuerza de corte Warner-Bratzler.	76
V.2.4. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA FRACCIÓN LIPÍDICA.	76
V.2.4.1. Composición en ácidos grasos.	76
V.2.4.2. Determinación del contenido en α -tocoferol.	78
V.2.4.3. Determinación del contenido en licopeno.	78
V.2.4.4. Determinación del contenido en malondialdehído.	79
V.2.4.5. Determinación del contenido en hexanal.	80
V.2.5. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE GASES EN LOS ENVASES.	82
V.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	82
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	87
VI.1. ENSAYO 1.	87
VI.1.1. PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS IN VIVO.	87
VI.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.	91
VI.1.3. COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE CORDERO.	98
VI.1.3.1. Composición general de la carne.	98
VI.1.3.2. pH, color y contenido en mioglobina de la carne.	103
VI.1.3.3. Capacidad de retención de agua, pérdidas por cocinado y fuerza de corte de la carne.	110
VI.1.3.4. Perfil de ácidos grasos de la carne de cordero.	115
VI.1.3.5. Contenido en α -tocoferol de la carne y estabilidad oxidativa de la grasa intramuscular.	118
VI.2. ENSAYO 2.	127
VI.2.1. PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS IN VIVO.	127
VI.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.	131
VI.2.3. COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE CORDERO.	135
VI.2.3.1. Composición general de la carne.	135
VI.2.3.2. pH, color y contenido en mioglobina de la carne.	136
VI.2.3.3. Capacidad de retención de agua, pérdidas por cocinado, fuerza de corte de la carne.	139
VI.2.3.4. Perfil de ácidos grasos de la carne de cordero.	141
VI.2.3.5. Contenido en α -tocoferol de la carne y estabilidad oxidativa de la grasa intramuscular.	144
VI.3. ENSAYO 3.	148
VI.3.1. PH Y COMPOSICIÓN DE GASES EN EL ENVASE.	148
VI.3.2. COLOR DE LA CARNE DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN.	154
VI.3.3. EVOLUCIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA CARNE DE CORDERO.	159
VI.3.4. EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE DE CORDERO.	166
VII. CONCLUSIONES.....	177
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	181

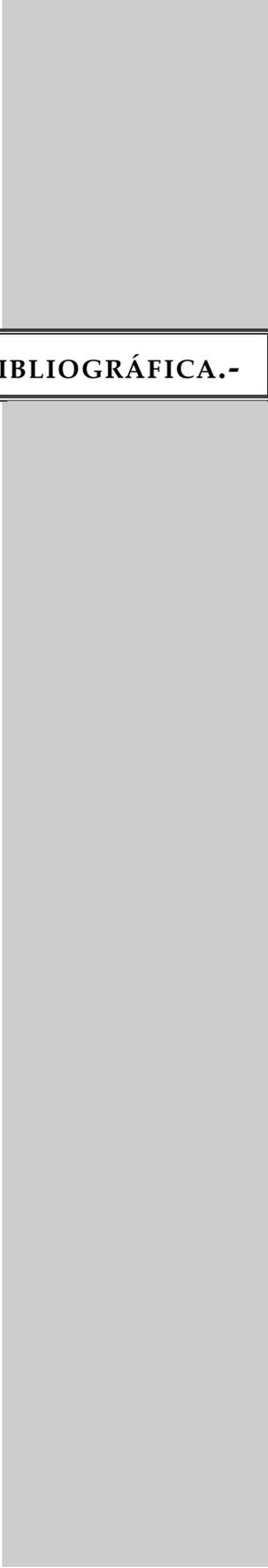


I. INTRODUCCIÓN.-

I. INTRODUCCIÓN.

El sector ovino tiene una gran importancia económica y social en Extremadura, ocupando hasta el año 2013, el primer lugar en cuanto al censo nacional, con más de 3 millones de cabezas. En los últimos cinco años la cabaña se ha reducido en Extremadura un 20%, siendo superada en 2015 por Castilla y León, en lo que a censo se refiere. Uno de los principales problemas de este sector son los elevados costes de la alimentación del ganado, y en este sentido, resulta interesante abordar nuevas estrategias que permitan abaratar costes, como la inclusión de subproductos agroindustriales en la dieta. En Extremadura se han transformado más de 2 millones de toneladas de tomate de industria en la campaña de 2015, lo cual supone el 70% de la producción nacional. Esta actividad industrial ha generado unos 85 millones de kilogramos de pulpa de tomate, que es el subproducto resultante. Por otra parte, se ha demostrado que la pulpa de tomate (compuesta principalmente por pieles y semillas) tiene un alto valor nutritivo, y puede ser incorporado, en cantidades moderadas, en la dieta de los corderos durante el periodo de cebo. Este volumen tan elevado de subproducto podría suponer un ingreso extra para la industria, abaratar los costes de producción de los piensos (ya que es más económica que otros ingredientes) y finalmente, podría repercutir favorablemente sobre la calidad de la carne, debido a que contiene compuestos antioxidantes, tales como el licopeno. Además, otros compuestos con actividad antioxidante también pueden ser utilizados como suplementos en la alimentación del ganado ovino, como la vitamina E y el selenio.

La presente Tesis Doctoral consta de tres Ensayos, en el primero se estudia la incorporación de pulpa de tomate y vitamina E en el cebo de los corderos, sobre la calidad de la canal y de la carne fresca; el segundo se centra en el efecto que puede tener la incorporación de dos fuentes diferentes de selenio en la dieta sobre la calidad de la canal y de la carne; y en el tercero se estudia la evolución de la calidad de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora durante el almacenamiento en refrigeración estableciendo las repercusiones que pueda tener la inclusión de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta.



II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.-

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

II.1. LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO OVINO MERINO.

II.1.1. PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA CARNE DE OVINO.

La producción neta de carne de cordero se ha ido reduciendo paulatinamente en los últimos años, desde 11.736.000 de cabezas sacrificadas y 131.000 Tm de producción en 2010 hasta 9.743.000 y 112.000 Tm en 2014. Este descenso viene recogido en la Figura II.1. Las cifras suponen un descenso significativo en las producciones de carne ovina, de un 14,5% en peso en los últimos 5 años a nivel nacional, y de un 13,8% en Extremadura (Sistema Integral de Trazabilidad Animal, SITRAN, 2015).

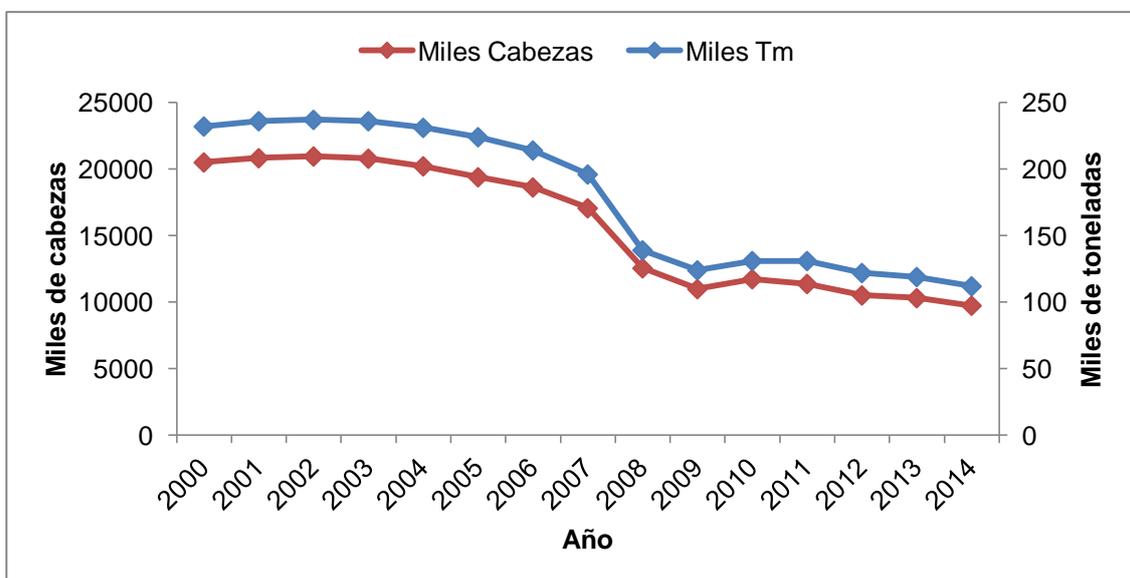


Figura II.1. Evolución del número de cabezas sacrificadas (miles de cabezas) y de la producción de carne (miles de toneladas) de ovino en España. Fuente: SITRAN, 2015.

La producción de carne de ovino viene definida en nuestro país por una serie de características, entre las que cabe destacar la corta edad de los corderos en el momento del sacrificio, lo que ocasiona un bajo peso en las canales que se obtienen. A esto hay que añadir la gran heterogeneidad derivada de las numerosas razas autóctonas que existen en nuestro país, con orientaciones productivas diferentes y sometidas a distintos tipos de

producción. Algunas de estas características, como la corta edad de sacrificio, obedecen a objetivos comerciales, como satisfacer la demanda de los consumidores españoles, que tradicionalmente se decantan por las canales de ovino de bajo peso. Este hecho se justifica además por una necesidad de índole económica, de retirar los corderos de madres productoras de leche en edades todavía tempranas. La carne de estos corderos es catalogada como de alta calidad, y alcanza las cotizaciones más elevadas en el mercado, para garantizar un pago equitativo a los productores que adapten sus explotaciones a la obtención de parámetros de calidad.

El sector ovino constituye, dentro del sector ganadero de Extremadura, un componente de gran importancia económica, social y de utilización del territorio. Esto queda reflejado en el hecho de que nuestra región ocupa el segundo lugar en cuanto al censo de la cabaña ovina, con algo más de 3 millones de cabezas (un 19,71 % de todo el territorio nacional), sólo superada por Castilla y León, con un 19,86 % (Tabla II.1), es decir, nuestra Comunidad es fundamentalmente una zona productora de ovino. En Extremadura se ha producido un descenso de la cabaña del 20,16 % en los últimos cinco años, situándose este valor por encima de la media nacional.

Tabla II.1. Evolución del censo nacional de ganado ovino en los últimos cinco años.

CC.AA.	2010	2011	2012	2013	2014	Variación (%)
Extremadura	3.809.398	3.511.750	3.198.019	3.197.026	3.041.334	-20,16
Castilla y León	3.573.539	3.278.618	3.259.186	3.112.113	3.065.190	-14,22
Castilla la Mancha	2.936.263	2.659.177	2.576.953	2.555.745	2.298.812	-21,71
Andalucía	2.670.810	2.212.590	2.131.430	2.223.553	2.158.068	-19,20
Aragón	2.052.438	2.004.561	1.902.174	1.833.232	1.807.286	-11,94
Total España	18.551.642	17.002.787	16.339.374	16.118.586	15.431.804	-16,82

Fuente: Creación propia a partir de las Encuestas Ganaderas de MAGRAMA (2015).

La participación de Extremadura en la producción nacional de carne de cordero es significativamente menor que otras comunidades (3.646 Tm, frente a las 27.007 Tm de Castilla y León o las 17.070 Tm de Castilla la Mancha) (Tabla II.2), pese a tener uno de los censos más importantes. Esto significa que el cebo y sacrificio tienen lugar en otras CC.AA., sobre todo en aquellas donde

se sitúan los principales centros de consumo y, lógicamente, los mataderos. Como ejemplo de esto véase la comparación entre efectivos ganaderos y producción de carne de cordero por comunidades (Tabla II.1, Tabla II.2 y Figura II.2).

Tabla II.2. Producción de carne de ovino (peso de las canales, Tm) de 2010 a 2014.

CC.AA.	2010 (Tm)	2011 (Tm)	2012 (Tm)	(2013 Tm)	2014 (Tm)
Extremadura	4.229	3.919	3.739	3.392	3.646
Castilla y León	31.462	32.979	31.043	30.623	27.007
Castilla la Mancha	22.153	21.117	20.138	19.520	17.070
Cataluña	19.327	18.294	17.540	15.741	16.082
Aragón	14.041	15.059	13.161	14.082	12.417
Total España	131.236	130.587	122.752	119.156	112.464

Fuente: Creación propia a partir de las Encuestas Ganaderas de MAGRAMA (2015).

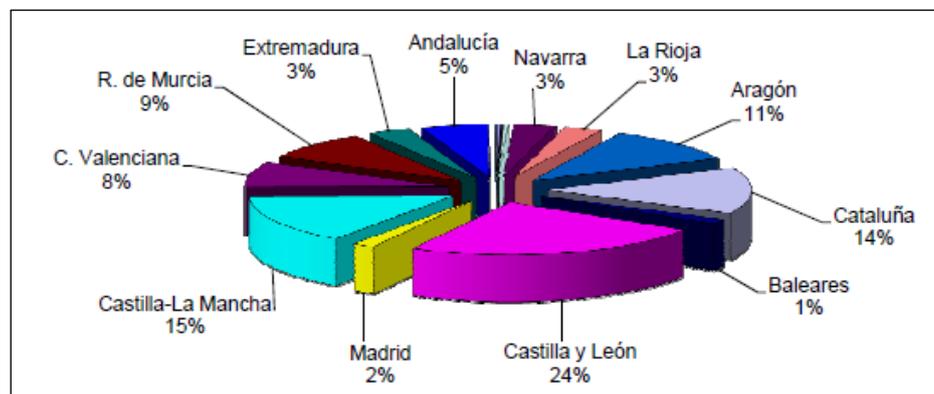


Figura II.2. Distribución de la producción de carne de ovino por CCAA (MAGRAMA, 2015).

La situación actual del sector ovino en Extremadura puede ser resumida en una mediana estructuración, normalmente en cooperativas, siendo el mayor factor limitante la normalización de sus producciones y su desarrollo comercial. Sin embargo, su perspectiva futura es de un gran potencial, tanto en relación a los productos generados de alta calidad como en relación a su capacidad de alcanzar volúmenes de producción más adecuados con vistas a una más eficiente gestión de la producción, distribución y venta.

II.1.2. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DURANTE EL CEBO DEL GANADO MERINO.

La actual estructuración del sector ovino se basa en grandes centros de cebo intensivo de corderos, desde el destete (15 kg de peso vivo, aproximadamente) hasta su sacrificio (entorno a 25 kg para el mercado español y 30 kg para la exportación intracomunitaria), alimentados *ad libitum* mediante paja y concentrados granulados de fácil almacenamiento y distribución mecanizada, con elevados niveles de automatismos. Ello posibilita una importante reducción de costes, especialmente de mano de obra escasa, además de tipificar esta producción y garantizar su trazabilidad.

Las actuales, y cada vez más exigentes normas de seguridad alimentaria, sobre todo las relacionadas con residuos de tratamiento zoonosanitarios (tiempos de espera), y su correspondiente reflejo en certificación del producto final, está originando por un lado un incremento del volumen de corderos en estos centros, y por otro lado, aumenta el tiempo de permanencia de los corderos en los mismos. Ambos aspectos multiplican considerablemente las necesidades diarias de paja en el sistema tradicional de cebo intensivo.

Sin embargo, la paja de cereal como ración de volumen, no ha facilitado la mecanización y automatización de su distribución, no permitiendo ninguna reducción de los elevados costes generados, no solo económicos sino sociales de compatibilización de horarios laborales y calidad de vida de los trabajadores de estas unidades de cebo.

La rentabilidad de las explotaciones de ovino ha sufrido un cambio sustancial en los últimos años debido, entre otros, a los incrementos en los costes de alimentación. Se demuestra así la fragilidad de las explotaciones ganaderas ante las fluctuaciones de mercado y el rol imprescindible de las ayudas, que actúan como una verdadera red de seguridad ante los posibles imprevistos que condicionan la producción (MAGRAMA, 2013).

Como consecuencia de la última reforma de la Política Agraria Comunitaria (PAC), la demanda emergente de consumo en el mercado internacional y la competencia de biocombustibles, parecen prever variaciones en la superficie sembrada de cereales, implicando una disminución de la oferta

de paja, más acuciante en aquellas zonas con menores rendimientos de producción, con el consiguiente aumento de costes por incremento de precio y transporte. En este sentido, la paja podría convertirse en un factor limitante de la rentabilidad de estos centros de cebo.

Así pues, actualmente, la verticalización del sector ovino en España está modificando el sistema de producción de carne ovina en relación a los hitos de la cadena de valor. Desde las explotaciones hasta el matadero se está incluyendo una estación intermedia de acopio, cebo opcional y clasificación de corderos en una estructura cooperativa de centros de tipificación ya indicada. Estos centros de comercialización actualmente representan una parte cada vez mayor de la producción de carne ovina en las regiones más productoras (Extremadura, Aragón y Andalucía). Con ellos, se consigue homogeneizar el producto de acuerdo a la demanda de los consumidores, simplificando el manejo de las explotaciones de origen.

La alimentación supone entre el 85-90% del coste total del cebo del cordero (Espejo y López, 1998). Esta alimentación se realiza mediante concentrados y paja en cebo intensivo tras el destete, como componente principal del sistema de producción ovina en España (López y col., 2011). Teniendo en cuenta todos estos factores, sería interesante plantear la posibilidad de incluir en los concentrados, subproductos agroindustriales producidos en nuestra región, y que debido a su abundancia y bajo precio permitan suprimir la paja de la ración como componente principal de coste.

En este sentido, se han realizado estudios centrados en la utilización de alternativas a la alimentación fibrosa en ovino, utilizando subproductos como parte de la ración de los corderos, tales como pulpa de remolacha (Bodas y col., 2007), pulpa de cítricos (Lanza y col., 2001; Scerra y col., 2001; Caparra y col., 2007; Rodrigues y col., 2008; Inserra y col., 2014), pulpa de granada (Kotsampasi y col., 2014), orujo de aceituna (López y col., 2000; Luciano y col., 2013) o extractos de vino tinto (Muíño y col., 2014).

II.1.3. SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DEL PROCESADO DEL TOMATE.

Según el World Processing Tomato Council (WPTC), en la campaña de 2015, a nivel mundial, se han producido 41,25 millones de toneladas (mT) de tomate de industria. AMITOM, la Asociación Mediterránea Internacional del Tomate, que aglutina a países de la UE, países africanos, Rusia, Ucrania e Irán, ha procesado el 42% del total de tomate de industria a nivel mundial (17,29 mT). Entre los países de la UE pertenecientes a AMITOM, destaca Italia como el mayor productor (5,3 mT, sólo superada por EEUU y China a nivel mundial), seguido de España (3,1 mT, cuarta a nivel mundial) (WPTC, 2015).

En España, el tomate representa más de la mitad de la producción total del sector de conservas vegetales. Las principales zonas de producción de derivados del tomate son Extremadura, el Valle del Ebro y Andalucía. Extremadura, con aproximadamente un 70% de la producción total nacional de transformados (2,12 mT), elabora principalmente “tomate concentrado”, “tomate en polvo”, “tomate frito”, “salsas de tomate” y “kétchup”, además de tomate triturado y cubiteado. En 2015 en Extremadura se han cultivado 21.300 ha de tomate de industria, lo que supone el 67% de la superficie cultivada a nivel nacional (32.000 ha). En Extremadura funcionan en la actualidad 14 industrias transformadoras de tomate de industria, que recogen el tomate producido en la región, por parte de las 20 *Organizaciones de Productores de Frutas y Hortalizas* (OPFH) extremeñas, pero además recogen una parte del tomate que se produce en Andalucía y en Portugal (Observatorio Tecnológico del Tomate, 2015).

El subproducto generado de la industria transformadora de tomate se denomina pulpa de tomate, está compuesta principalmente por agua, pieles y semillas y cuando es desecada supone el 4% del peso del fruto (Del Valle y col., 2006). Teniendo en cuenta los datos aportados, podría estimarse una producción anual de 85 millones de kg de pulpa de tomate en Extremadura.

II.1.3.1. Antioxidantes en el tomate.

Los compuestos antioxidantes generan un gran interés, como resultado del importante papel de estos compuestos en la salud humana como agentes preventivos y terapéuticos (Herrero y col., 2005). En este sentido, el aumento de los niveles de frutas y verduras en la dieta reduce el riesgo de padecer cáncer y enfermedades cardíacas (Rissanen y col., 2003; Ortega y col., 2004; Vainio y Weiderpass, 2006).

El tomate (*Solanum lycopersicum*) y sus productos derivados son ricos en antioxidantes y micronutrientes, además de constituir una de las principales fuentes disponibles de licopeno (Willcox y col., 2003). El contenido de antioxidantes en el tomate depende del cultivo (factores genéticos), la madurez, y de las condiciones agronómicas y ambientales durante el cultivo (Martínez-Valverde y col., 2002; Periago y col., 2004; George y col., 2004). Otros compuestos con actividad antioxidante que están presentes en el tomate, son otros compuestos carotenoides (tales como el β -caroteno y la luteína), la vitamina C y varios compuestos fenólicos con actividad antioxidante. Estos compuestos, así como el licopeno, se han asociado con efectos beneficiosos sobre la salud (Dumas y col., 2003). En este sentido, el consumo de tomate y de sus productos derivados ha sido relacionado con un menor riesgo de desarrollar enfermedades de tipo carcinogénicas y cardiovasculares (Ramandeep y Geoffrey, 2005; Juroszek y col., 2009; Palomo y col., 2010; Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014).

- Licopeno y β -caroteno.

El licopeno es uno de los principales antioxidantes que se encuentran en los tomates frescos y productos obtenidos del procesado del tomate (Candelas y col., 2005; Fernández y col., 2007; Gómez-Romero y col., 2007; Cruz y col., 2013). Debido a la presencia de dobles enlaces conjugados de cadena larga (Figura II.3), el licopeno posee mayor actividad antioxidante que otros carotenoides como la luteína o el β -caroteno (Ordóñez y col., 2009). El contenido de licopeno también explica el enrojecimiento del fruto, que es uno

de los principales parámetros de calidad para la industria y para los consumidores (Kaliora y col., 2006).

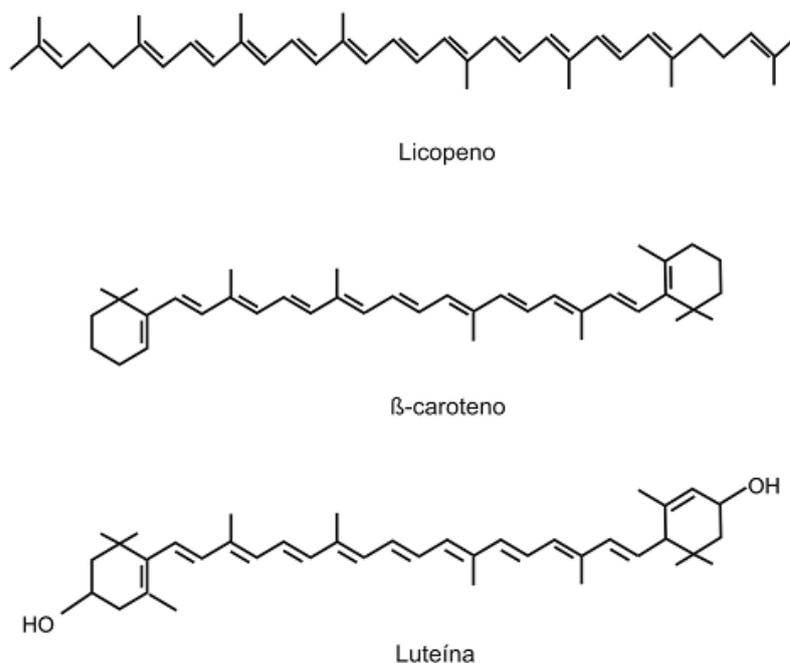


Figura II.3. Estructura del licopeno, β -caroteno y luteína (Bermúdez y col. 2005).

El licopeno se genera en la configuración *trans* en los frutos de tomate fresco. Necesita ser protegido de un calor excesivo y de condiciones extremas de pH, de la exposición a la luz, del oxígeno y de las enzimas de degradación de los lípidos, con el fin de evitar su oxidación y la isomerización, que son las principales causas de degradación de licopeno durante el procesado del tomate (Shi y Le Maguer, 2000). El proceso térmico generalmente causa una cierta pérdida de licopeno en los alimentos a base de tomate. El número de isómeros *cis* aumenta con la temperatura y el tiempo de procesado. En general, en los tomates deshidratados y en polvo, el licopeno presenta una baja estabilidad, a menos que sean cuidadosamente elaborados y almacenados inmediatamente en un ambiente hermético e inerte. Por el contrario, los alimentos congelados y los esterilizados con calor presentan una excelente estabilidad de licopeno a lo largo de su vida útil, cuando son debidamente almacenados (Shi y Le Maguer, 2000). Uno de los aspectos más interesantes de la posible relación entre el consumo de carotenoides y la quimioprevención es que el licopeno muestra

una mayor biodisponibilidad en los productos de tomate procesados (por ejemplo, pasta, puré, salsa) que en las materias primas vegetales sin procesar (Gartner y col., 1997). Esto podría ser debido a que se produce una extracción de licopeno de la fase lipofílica durante el tratamiento térmico, como consecuencia de la alteración mecánica de las células. La costumbre mediterránea de consumir productos de tomate cocinado (por ejemplo, sobre la pasta o la pizza), podría añadir valor a las propiedades promotoras de la salud del tomate.

El β -caroteno, junto con el licopeno y la clorofila, pertenecen al grupo de pigmentos responsables de la coloración del tomate, durante las diferentes etapas de madurez. Específicamente, en el proceso de maduración las clorofilas se degradan y se sintetizan los carotenoides, los cuales le confieren al tomate la coloración anaranjada tenue que culmina en un rojo intenso (Luna-Guevara y Delgado-Alvarado, 2014). El β -caroteno es almacenado junto con la vitamina E en el núcleo graso de las partículas lipídicas e inhibe el daño celular a nivel de ADN causado por especies reactivas al oxígeno y radicales libres, los cuales pueden dar lugar a enfermedades de tipo crónico degenerativas (Brecht y col., 2004). Es un carotenoide muy conocido y muy estudiado en la alimentación de rumiantes (Oldham y col., 1991; Michal y col., 1994; Williams y col., 1998; Chawla y col., 2003; Chawla y Kaur, 2004; Reynoso y col., 2004; Noziere y col., 2006), y puede ser utilizado como sistema de trazabilidad de los productos lácteos, debido a su papel en la coloración de la leche (Noziere y col., 2006).

- Vitamina C.

La vitamina C, que incluye tanto al ácido ascórbico como al dehidroascórbico, es importante en la protección del propio tomate, debido al daño autooxidativo que podría aumentar durante la maduración como consecuencia de la respiración del fruto (Slimestad y Verheul, 2005). Además de su efecto antioxidante, el ácido ascórbico es indispensable para la vida debido a su acción vitamínica en la que desempeña muchas funciones fisiológicas. La vitamina C puede ser sintetizada por las plantas y por la gran

mayoría de los mamíferos, pero no por los seres humanos (Buettner y col., 1996). Las principales fuentes de vitamina C son las frutas cítricas, tomates y patatas. El ácido ascórbico en el tomate es relativamente estable, debido a las condiciones ácidas que presenta (Davis y col., 2003). Sin embargo, es fácilmente destruido por la oxidación, la exposición a la luz, o altas temperaturas. Pueden ocurrir pérdidas significativas de ácido ascórbico durante el período de almacenamiento post-cosecha. La reducción de la temperatura desde la temperatura ambiente (20°C) hasta la de refrigeración (4°C) o de congelación (-18°C) disminuye el ritmo de pérdida de este antioxidante (Davey y col., 2000). Mediante un tratamiento térmico, podrían desactivarse las enzimas que catalizan estas reacciones de oxidación, pero inevitablemente se producirían pérdidas de ácido ascórbico, debido al propio proceso de cocción, ya que este antioxidante es sensible al calor y soluble en agua. El tomate debe alcanzar rápidamente la temperatura de procesado, con la utilización de la mínima cantidad de agua posible, y esta temperatura debe mantenerse durante el menor tiempo posible (Davey y col., 2000).

- Vitamina E.

Como ya se ha comentado anteriormente, la vitamina E natural es una mezcla de tocoferoles y tocotrienoles que difieren en el número y posición de los grupos metilo en el anillo cromano (α -, β -, γ - y δ -tocoferol, y α -, β -, γ - y δ -tocotrienol), que es sintetizado sólo por las plantas. De todos los isómeros y análogos, el RRR- α -tocoferol es el que tiene mayor actividad biológica y también es con diferencia el más abundante en el plasma y los tejidos (Niki y col., 1996). Las fuentes naturales son los frutos secos, vegetales de hojas verdes, y aceites vegetales.

- Compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos o polifenoles son componentes importantes de la dieta mediterránea. Estos compuestos son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, tanto durante el desarrollo normal como en respuesta a condiciones de estrés (Naczk y Shahidi, 2006). En las plantas, los

fenoles pueden actuar como fitoalexinas, atrayentes para los polinizadores, colaboradores de la pigmentación de las plantas, antioxidantes y agentes de protección contra la luz ultravioleta, entre otros. En los alimentos, los compuestos fenólicos pueden contribuir con sabor amargo, astringencia, color, olor y estabilidad a la oxidación de los alimentos (Naczki y Shahidi, 2006). Los polifenoles se encuentran normalmente en forma conjugada, principalmente con una molécula de azúcar, y asociada a las paredes celulares vegetales. El interés de los polifenoles como antioxidantes se centra en los flavonoides. Entre los principales flavonoides se encuentran la naringenina, rutina y quercetina glicósido (Bovy y col., 2002). Durante el cocinado o procesado del fruto, con frecuencia se retiran tanto la piel como las semillas, ocasionándose una pérdida en los beneficios nutricionales adjudicados al consumo del tomate.

II.1.3.2. La pulpa de tomate.

La pulpa de tomate desecada (PT) es un subproducto del proceso de elaboración de concentrado de tomate (Figura II.4), que se obtiene tras la extracción del jugo. La PT húmeda está formada principalmente por agua, semillas y piel de tomate (Mirzaei-Aghsaghali y Maheri-Sis, 2008a). El alto contenido de agua (75%) (Denek y Can, 2006) de este subproducto limita la duración de su almacenamiento. Debido a estos problemas de almacenamiento, la PT húmeda a menudo es desecada. Sin embargo, el secado artificial aumenta el precio de la PT sustancialmente, por lo que gran parte de la PT producida se descarta. La PT húmeda se echaría a perder en pocos días si se expusiese al aire, y cuando se utiliza como ensilado, el gran contenido en humedad dificulta su transporte, distribución en comederos y genera unas condiciones insalubres en los establos (Barroso y col., 2006).

La composición química de la pulpa de tomate seca está determinada, principalmente, por el contenido de pieles y semillas. Este subproducto desecado, cuando proviene de industrias extremeñas, contiene 25,7 g/100 g de azúcares totales, 19,3 g/100 g de proteína, 7,6 g/100 g de pectinas, 5,9 g/100 g de grasa total y 3,9 g/100 g de minerales (Del Valle y col., 2006). Estos

autores concluyeron que la pulpa de tomate es rica en nutrientes y podría ser utilizado como una fuente potencial de fibra, proteína o grasa.

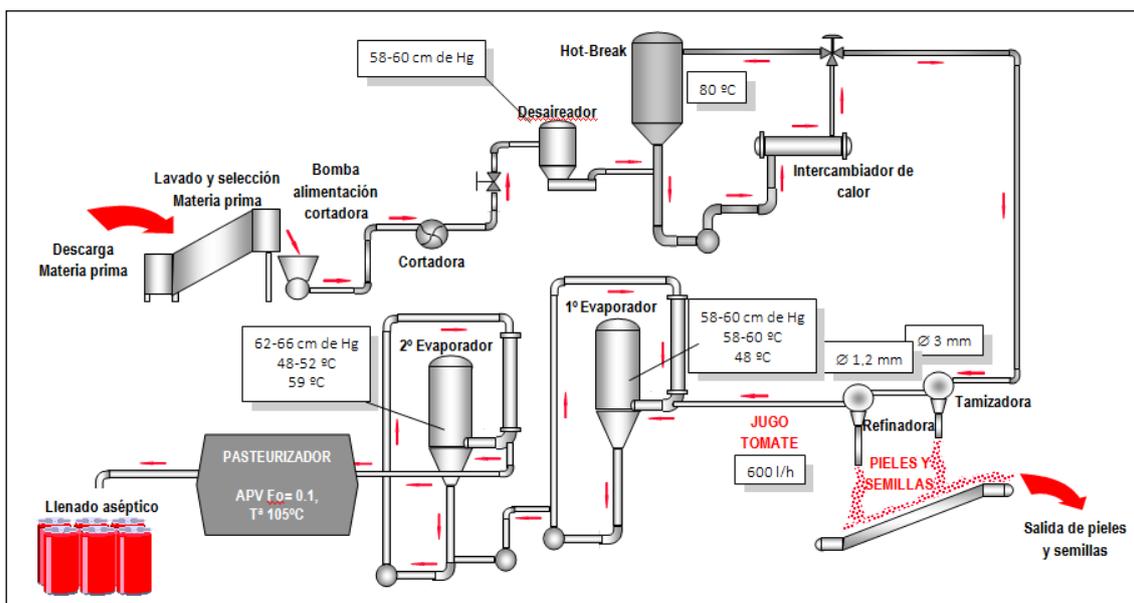


Figura II.4. Diagrama de flujo general del concentrado de tomate (Línea Rossi-Catelli).

Por lo tanto, el procesamiento de productos derivados del tomate puede ser una valiosa fuente de energía y nutrientes, con un menor coste que el asociado a los ingredientes alternativos para alimentar a los rumiantes, cuando son adecuadamente conservados (Weiss y col., 1997; Denek y Can, 2006; Mirzaei-Aghsaghali y Maheri-Sis, 2008b). El valor energético de este subproducto fluctúa entre 2,05 y 2,15 kcal/kg de energía metabolizable (INRA, 2004).

Las semillas, por su tegumento resistente y su pequeño tamaño, pasan directamente al tracto digestivo posterior, comportándose este subproducto como un valioso aporte de ácidos grasos esenciales e insaturados. Este alto nivel de aceites de las semillas puede asegurar un adecuado proceso de deposición de grasa, sin exceso de engrasamiento ni efectos sobre la coloración de ellas, incluso considerando que también los pigmentos y pro vitamina A son componentes liposolubles (Barbieri, 1993). En los últimos años, el uso de subproductos agroindustriales en la alimentación animal ha sido adoptado con éxito como estrategia para reducir los costes de alimentación y también para hacer frente a la necesidad de reciclar los materiales de desecho,

que en la mayoría de los casos son costosos de eliminar (Vasta y col., 2008). Este es el caso, por ejemplo, de la pulpa de tomate, que ha sido utilizada con buenos resultados en lo que respecta a parámetros productivos como suplemento para la dieta de pequeños rumiantes (Denek y Can, 2006; López y col., 2009 y 2011). Sin embargo, hay poca información disponible sobre los efectos de este subproducto en los atributos de calidad de carne.

II.1.3.3. Justificación del uso de la pulpa de tomate en la alimentación de los corderos.

El capítulo de alimentación supone entre el 70 y 80% de los costes anuales de producción por oveja (Espejo y López, 1998; López, 2003), siendo el pienso de cebo del cordero, su componente fijo y de mayor valor. En este sentido, desde la reforma de la PAC de 2003, se desacoplaron las primas del sector cerealístico, con el consiguiente efecto de reducción de la producción comunitaria de cereales base para la fabricación de piensos. La disminución de la oferta de granos ha iniciado un preocupante aumento de los precios de los cereales. Este encarecimiento ha coincidido además con la novedosa demanda de cereales como base de producción de biocombustibles, exacerbando aún más el coste de cereales, y por tanto el encarecimiento de piensos. Este nuevo horizonte plantea como una alternativa interesante la reutilización de subproductos agrarios abundantes, como es el caso de la pulpa de tomate, a pesar de estar también inmersa esta producción agraria en una reestructuración de su sector. La base de esta alternativa de formulación de piensos de cebo incorporando la pulpa de tomate, además de la hipotética reducción del precio del pienso, es la interesante composición química de este subproducto, que además del valor nutricional, también puede producir efectos sobre la calidad comercial, al prolongar la vida útil de la carne de los animales que la ingieren.

El precio de este subproducto agrario varía según la excelencia de la campaña agrícola, y como subproducto agroindustrial, la variabilidad de sus precios es aún mayor, dependiendo además de la producción del cultivo, de la necesidad de su eliminación por parte de la agroindustria. Como se mencionó

anteriormente, teniendo en cuenta los datos de la campaña 2015, en Extremadura se producen anualmente 85 millones de kg de pulpa de tomate, por lo que, por bajo que fuera su valor, supondría un ingreso importante para la industria transformadora de tomate, además de reducir el problema de eliminación de residuos (Del Valle y col., 2006).

Al valor económico intrínseco de este subproducto agrario, habría que añadir el valor de oportunidad que supone para el cebo de los corderos, por un aspecto clave como es la localización geográfica en Extremadura de las industrias conserveras en las Vegas del Guadiana, por un lado, próximas a las fábricas de piensos más significativas en la región, y por otro lado, colaterales a las zonas de concentración de la cabaña ovina (López, 2003). Este factor geográfico aseguraría un bajo coste de transporte, tanto a las fábricas de piensos de cebo, como hasta los centros de cebo de corderos, resolviendo un importante factor limitante de la utilización de los residuos agroindustriales.

En relación con la producción de corderos, la repercusión económica de la utilización de este subproducto, sobre 3,04 millones de corderos cebados anualmente en Extremadura (MAGRAMA, 2015), se relaciona, con la reducción del precio de los piensos de cebo. Este ahorro se evalúa entre el 5% y el 9% del precio medio de concentrados, cuyo consumo medio es de 50 kg por cordero cebado (López, 2000), con un valor económico actual de esta alimentación de 10,52 € por cordero cebado anualmente. Con ello, el ahorro estimado en el coste de alimentación de corderos en Extremadura, por introducción de la pulpa de tomate en sus piensos de cebo, se podría evaluar próximos a los 2,9 millones de € anuales, suponiendo del orden de 14,7 millones de € anuales en la producción nacional de corderos cebados.

Por otro lado, el reparto de paja en centros de cebo de corderos, se ha evaluado en 0,07 € por cordero y día de estancia en estos centros (López y col., 2005). Al considerar este mismo coste para el total del periodo de cebo (45 días, para el peso habitual de sacrificio de 25 kg), este valor supone 3,50 € por cordero cebado. En este contexto regional de cebo de corderos, se podría estimar un ahorro de 10,6 millones €/año en los costes de cebo de corderos, pudiendo alcanzar valores de 53,9 millones de € anuales el beneficio de esta nueva tecnología de cebo intensivo de corderos a nivel nacional.

Por tanto, la evaluación de la importancia social y económica en el ámbito de Extremadura, como segunda productora nacional de corderos y primera productora de tomate de industria, es extensible como problema a abordar en las otras dos grandes regiones productoras de ovino de carne, Andalucía y Aragón, y al mismo tiempo productoras de transformados de tomate.

En relación a la incorporación de pulpa de tomate en la dieta de los corderos, algunos estudios han revelado que el uso de hasta un 15% de pulpa de tomate sobre el total de la formulación del pienso, ofrece buenos resultados, en cuanto al crecimiento y calidad de la canal se refiere (López y col., 2009; López y col., 2011). En cuanto al efecto de la incorporación de este subproducto sobre la calidad de la carne de cordero, hasta la fecha no se ha publicado ningún trabajo con el que se pueda justificar su uso para este fin, aunque sí se ha demostrado que tiene efectos beneficiosos cuando se incorpora en la dieta de codornices (Botsoglou y col., 2004; Nikolakakis y col., 2004), gallinas ponedoras (Jafari y col., 2006) y conejos (Peiretti y col., 2013). En esta línea, Jiang y col. (2015) concluyeron que la incorporación de licopeno en la dieta de corderos, influye positivamente sobre el contenido en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) de la carne, además de proporcionar una mayor estabilidad oxidativa de la grasa intramuscular.

II.1.4. LA VITAMINA E COMO SUPLEMENTO.

La vitamina E fue descubierta y nombrada como "factor X" por Evans y Bishop (1922) mientras investigaban los factores dietéticos esenciales para la reproducción en ratas. Posteriormente, Sure (1924) llevó a cabo experimentos similares, y llamó a esta sustancia "vitamina E".

El efecto antioxidante de la vitamina E fue ya destacado por investigadores en los años 30 (Cummings y Mattill, 1931). Su actividad biológica, estructura química y propiedades antioxidantes han sido revisadas en detalle por Mason (1977), Rosenfeld (1997), Ricciarelli (2002) y Wolf (2005).

La vitamina E natural se compone de ocho formas diferentes, cuatro tocoferoles (α -, β -, γ - y δ -) y cuatro tocotrienoles (α -, β -, γ - y δ -) (Figura II.5).

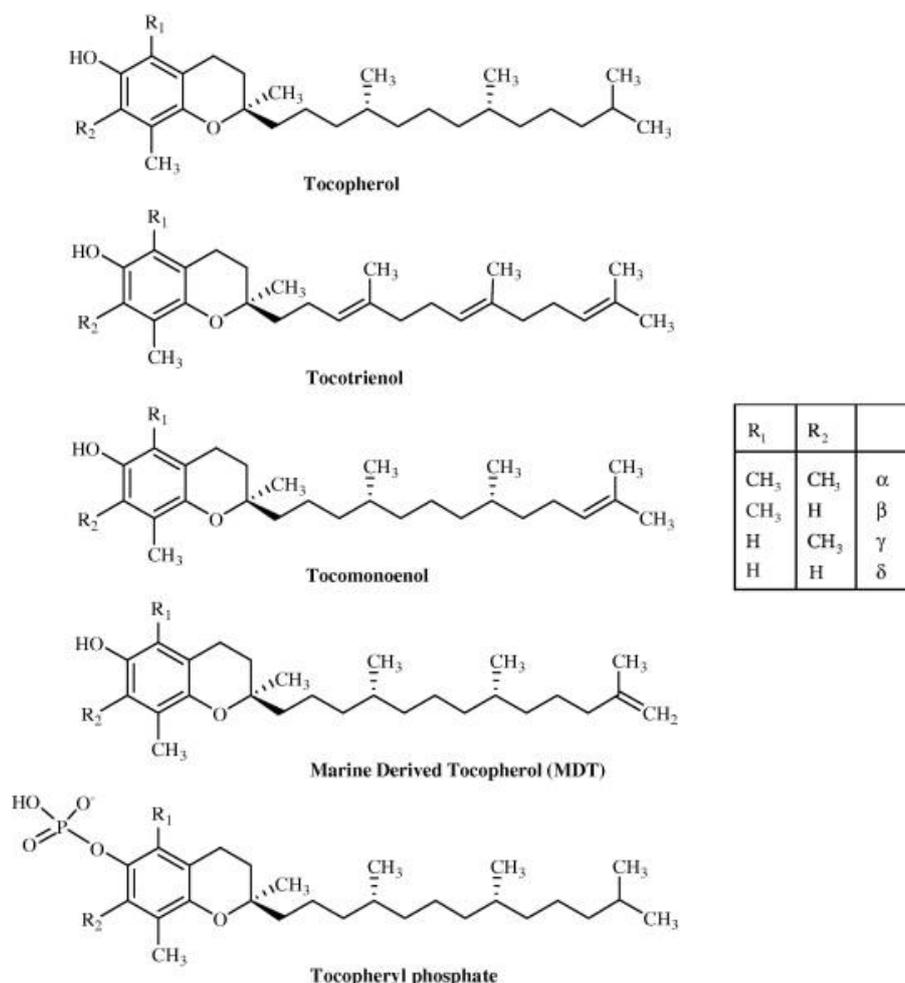


Figura II.5. Vitamina E natural y sus formas análogas (Zingg, 2007).

Los tocotrienoles tienen una cadena lateral isoprenoide insaturada, mientras que los tocoferoles contienen una cola trimetiltridecil con tres centros quirales. Recientemente se han descubierto nuevos análogos de la vitamina E natural; el aceite de palma contiene pequeñas cantidades de α -tocomonoenol, y algunos organismos marinos contienen también tocoferol de origen marino (MDT), con un solo enlace no saturado al final de la cadena lateral, que se supone que es el resultado de la adaptación al agua fría (Yamamoto y col., 2001; Ng y col., 2004). La forma fosforilada del α -tocoferol (α -tocoferil fosfato) fue sintetizada ya en la década de 1940, sin embargo, sólo recientemente, tras el desarrollo de un

nuevo método de aislamiento, se demostró que se encuentra de forma natural en los alimentos y en animales, así como en los tejidos humanos (Ogru y col., 2003; Gianello y col., 2005), actuando posiblemente como una molécula de almacenamiento, como una forma de transporte, o como “mensajero lipídico” para la modulación de la transducción de señales y la expresión génica (Munteanu y col., 2004; Negis y col., 2005).

Las primeras investigaciones sobre la vitamina E ya destacaron su papel inhibidor de la oxidación de lípidos (Cummings y Mattill, 1931; Olcott y Emerson, 1937). Posteriormente se llevaron a cabo estudios bioquímicos sobre la acción antioxidante de la vitamina E, principalmente por Tappel y sus colaboradores (Tappel, 1954 y 1955; Tappel y Zalkin, 1960). Hasta la fecha se sabe que la actividad antioxidante global de los cuatro tocoferoles es más o menos similar, sin embargo, individualmente, presentan propiedades químicas, físicas y biológicas diferentes a nivel molecular (Kamal-Eldin y Appelqvist, 1996). También se ha demostrado que la suplementación de la dieta con vitamina E permitiría restaurar los niveles de antioxidantes en los tejidos (Nockels y col., 1996). Asimismo la administración de vitamina E parece disminuir el proceso inflamatorio provocado como consecuencia del transporte de los animales (Ekstrand y col., 2007).

La vitamina E, especialmente el α -tocoferol, se utiliza ampliamente como antioxidante, reduciendo la oxidación de lípidos, las pérdidas por goteo y proporciona estabilidad del color de la carne fresca (López-Bote y col., 2001) como consecuencia de la estrecha relación entre la oxidación de los lípidos y oximioglobina en los tejidos musculares (Yin y Faustman, 1993). Las membranas de las células musculares están compuestas de ácidos grasos poliinsaturados, que son particularmente susceptibles a la peroxidación durante el almacenamiento a bajas temperaturas (Kanner, 1994). La vitamina E es un antioxidante que no se degrada en el rumen (Leedle y col., 1993) sino que se deposita en las membranas de las células musculares (Liu y col., 1995) y los depósitos de lípidos.

El efecto que el uso de dietas ricas en antioxidantes, y en particular de vitamina E, tiene sobre las características de la carne ha sido bien estudiado

en el ganado ovino durante los últimos años. De esta manera, la incorporación de vitamina E, en forma de α -tocoferol, incrementa el nivel de este antioxidante en el músculo y el tejido graso (López-Bote y col., 2001; Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Kasapidou y col., 2009; 2012). Un mayor contenido de α -tocoferol en el músculo proporciona una mayor estabilidad de los pigmentos y de la grasa de la carne de cordero (Faustman y Cassens. 1990; Macit y col., 2003a; Kasapidou y col., 2012; Ripoll y col., 2013; Gonzalez-Calvo y col., 2015), y además, puede relacionarse con una mayor capacidad de retención de agua (López-Bote y col., 2001; Macit y col., 2003a; Maiorano y col., 2005) y una textura más tierna de la carne ovina (Morán y col., 2012). Recientemente, también se ha observado que cuando se suplementa la dieta de los corderos con vitamina E, proporciona un mayor mantenimiento de los AGPI a lo largo del almacenamiento de la carne en refrigeración (Álvarez y col., 2009; Muíño y col., 2014), con las implicaciones nutricionales positivas que conlleva.

A la vista conjunta de todos estos datos, puede concluirse que el efecto antioxidante y beneficioso de la vitamina E sobre la carne de cordero es bien conocido, por lo que sería interesante conocer si estos resultados son extrapolables a las particularidades de la raza Merina, ya que su corto ciclo de cebo (45 días) puede limitar los efectos beneficiosos de la vitamina E sobre la carne.

II.1.5. EL SELENIO EN LA DIETA.

En los últimos años el interés por el estudio de los microelementos, y en particular por el selenio (Se), ha ido en aumento, debido a su gran importancia en la nutrición animal. En la producción ovina la deficiencia de este mineral causa problemas graves, especialmente en el desarrollo de los corderos y en la etapa de gestación de las ovejas (Hefnawy y col., 2007). La deficiencia de selenio es causa común de distrofia muscular en pequeños rumiantes (Ramírez y col., 2001), pérdida de la actividad de la selenoproteína glutatión peroxidasa (Yeh y col., 1997) y supresión de la inmunidad (Beckett y col., 2004).

Dado que la nutrición mineral de los rumiantes, por su condición de herbívoros, depende exclusivamente del aporte que le puedan brindar los vegetales, la riqueza en Se de los mismos es un factor de suma importancia. La aparición de patologías asociadas a un déficit de selenio puede prevenirse mediante la adopción de medidas de manejo adecuadas, selección de pastizales, etc., que aumenten el contenido en Se en los vegetales o bien mediante la administración de este mineral directamente al animal, cuando las condiciones así lo requieran (Silva y col., 2000).

II.1.5.1. Funciones fisiológicas y metabólicas del selenio en el animal.

- Digestibilidad y absorción.

El selenio entra en la cadena alimenticia a través de las plantas, que absorben las sales inorgánicas de selenio del suelo y las convierten en formas orgánicas del elemento, principalmente selenometionina (SeMet), que posteriormente se incorpora inespecíficamente en las proteínas (Petrera y col., 2009).

La absorción del selenio se realiza con mayor eficiencia en el duodeno y posteriormente en yeyuno e íleon (Ellison, 1992; Groff y col., 1995). Con la administración de selenio por vía oral como selenito, en rumiantes se absorben niveles del 29 al 35%, mientras que en el resto de animales lo hace del 77 al 85% (Langlands, 1991). Esta variación de absorción se debe al metabolismo del elemento por los microorganismos del rumen, que convierten una porción del selenio en formas insolubles y otra la incorporan a sus proteínas, a través de la conversión de formas insolubles como son el selenio elemental y selénidos en la formación de selenoaminoácidos (Hansard, 1983). Esta actividad microbiana es favorable con dietas altas en carbohidratos y están involucradas algunas bacterias y protozoarios ruminales. (Harrison y Conrad, 1984a y 1984b). Whanger (2002) observó que la flora del rumen de ovejas adultas había llegado a un promedio de concentración de Se 46 veces mayor que la concentración en la dieta que consumían. El selenio microbiano es de alta digestibilidad para los rumiantes, pero probablemente la SeMet (el

selenoaminoácido que se forma por acción microbiana) es de baja eficiencia metabólica. Esto podría explicar la menor absorción de Se en rumiantes en comparación con los no rumiantes.

La suplementación de este mineral puede llevarse a cabo a través de formas inorgánicas (por lo general selenito o selenato de sodio) o mediante formas orgánicas (como el “selenio-yeast”) (Vignola y col., 2009). El “Se-yeast” se produce por multiplicación de las cepas específicas de levaduras en un medio enriquecido de Se, siendo la SeMet la forma predominante del total del Se (Schrauzer, 2003; Rayman, 2004).

La absorción del Se inorgánico no es un proceso activo pues el 90% del selenio absorbido es transportado por una proteína. Parece ser que lo que más afectaría la absorción del Se inorgánico es su forma química (Burk, 1994). El Se inorgánico solo se incorpora dentro de un aminoácido específico, que es la cisteína dentro de la selenoproteína, mientras que la selenometionina puede ser incorporada directamente dentro de la proteína corporal pero sin actividad (Kincaid 1995), funcionando como almacén de Se. El Se orgánico se absorbe fácilmente por la pared intestinal (Weiss, 2003), formando parte de la metionina, que pasa a ser denominada selenometionina, incorporándose a las proteínas (Suzuki y Ogra, 2002). Trabajos realizados en rumiantes, cerdos y humanos (ATSDR, 2001) indican que el selenio orgánico en forma de selenometionina se absorbe de manera más eficiente que el selenito de sodio, a nivel de intestino delgado. La selenometionina se absorbe en contra de un gradiente de concentración, siendo diferente para selenitos y selenocisteína. Sin embargo, las formas orgánicas tienen mejores tasas y una mayor rapidez de absorción que las formas de selenio inorgánico (Behne y Kyriakopoulos, 2001).

- Funciones fisiológicas.

Tanto el selenio orgánico como el inorgánico pueden ser incorporados en el organismo formando parte de las selenoproteínas. Sunde (1990) clasificó selenoproteínas en cuatro tipos: proteínas específicas de selenio, que incluyen a las enzimas glutatión peroxidasa, tioxin reductasa y hediondasas y son el

grupo más importante de selenoproteínas (ATSDR, 2001); proteínas que incorporan selenocisteína en codones de cisteína; proteínas que incorporan selenometionina en lugar de metionina, y por último, proteínas que se ligan inespecíficamente a selenuro. La primera enzima caracterizada como dependiente del selenio fue la glutatión peroxidasa citosólica (cGSH-Px) (Rotruck y col., 1973). Esta enzima cataliza la reducción de los peróxidos utilizando como sustrato un tripéptido denominado glutatión (g-glutamil-cisteínglicina). El resultado de su actividad es la protección de los ácidos grasos insaturados de las membranas celulares contra la oxidación provocada por los peróxidos provenientes del metabolismo celular (Stadtman, 1977; Behne y Kyriakopoulos, 2001). Otras enzimas genéricas identificadas son la glutatión peroxidasa extracelular o plasmática (pGSH-Px), la glutatión peroxidasa gastrointestinal (GI-GSH-Px), y la glutatión peroxidasa fosfolípido-hidroperoxidasa (PH-GSH-Px) (Avisar y col., 1994; Ursini y col., 1997; Behne y Kyriakopoulos, 2001). La glutatión peroxidasa que se localiza en los eritrocitos es dependiente de selenio e interviene en reacciones celulares de oxidación y reducción, catalizando reacciones que ayudan a destruir el peróxido de hidrogeno e hidroperóxidos de ácidos grasos, resultantes del metabolismo de ácidos grasos polinsaturados (Miyazaqui, 1991). Además de la GSH-Px, en los tejidos de los animales se han descrito 10 selenoproteínas (Arthur y col., 1990), que están involucradas en la actividad enzimática y la regulación metabólica de los procesos oxidativos (Hefnawy y Tórtora-Pérez, 2010). Entre ellas se encuentra una deiodinasa que interviene en la conversión de la tiroxina (T4) a la forma activa de triyodotironina (T3) (Reed Larsen, 1996), por lo que una deficiencia de Se produce una disminución de T3 plasmática (Arthur y col., 1993), que puede estar relacionado con un menor crecimiento en animales selenodeficientes (Oblitas y col., 2000).

II.1.5.2. Suplementación de la dieta con selenio y toxicidad.

La concentración de Se en las plantas puede ser muy variable y generalmente se requieren suplementos de Se en las dietas de rumiantes. Los suplementos de selenio permitidos para el ganado (FDA, 2007) se encuentran

en dos formas, las sales minerales inorgánicas, como selenito de sodio (SS; Na_2SeO_3) o selenato (Na_2SeO_4), o en formas orgánicas, tales como el “Se-yeast”, en los que la SeMet es la forma predominante de Se (Korhola y col., 1986).

La fuente de Se comúnmente usada en la alimentación de rumiantes es el selenito sódico (Na_2SeO_3), pero su uso está limitado por el riesgo de toxicidad durante su manipulación (Flores y col., 2007). El Se es uno de los minerales más tóxicos para todos los animales, tiene un rango de tolerancia muy reducido entre su requerimiento y toxicidad. En cambio, la SeMet (forma orgánica) no tiene las propiedades prooxidantes del selenito (Seko y col., 1989). Generalmente en la dieta el requerimiento mínimo y nivel máximo tolerable fluctúa entre 0,05 y 5 ppm (NRC, 2007). Por tal motivo es importante contar con suplementos de selenio que proporcionen un alto grado de seguridad, proporcionando dosis adecuadas de Se, evitando su deficiencia, pero sin descuidar el riesgo de generar toxicidad. En este sentido, los niveles máximos permitidos de suplementación de selenio en el ganado ovino son de 0,5 mg por cada kilogramo de materia seca de alimento (Comisión Europea, 2006; FDA, 2007). Según Asheesh y col. (2006), el uso de cantidades superiores de selenio en la dieta a 2.2 mg/kg pueden ser tóxicas.

Como se ha dicho anteriormente, la absorción de selenio se produce en el intestino delgado. La absorción de selenio inorgánico, como el selenito de sodio, es menos eficaz y se produce principalmente por difusión pasiva (Weiss, 2003). Después de la absorción, la SeMet se puede incorporar inespecíficamente en las proteínas en lugar de la metionina y pueden actuar como una fuente biológica de Se (Suzuki y Ogra, 2002), que puede ser utilizada durante los períodos de menor ingesta del mismo. Por el contrario, las fuentes inorgánicas que se absorben a través del intestino delgado son o bien utilizadas o bien desnaturalizadas y posteriormente excretadas.

En general, en corderos, el Se orgánico puede tener una mayor biodisponibilidad que el selenio inorgánico, ya que es mejor absorbido y asimilado por medio de las proteínas del cuerpo. Según la fuente de Se (selenito de sodio o SeMet), se encuentran diferentes concentraciones del elemento en los tejidos (Surai, 2006), y esto podría explicarse debido a las

diferencias existentes en las rutas metabólicas (Vignola y col., 2009). En esta línea, algunos autores han encontrado una mayor concentración de selenio en los tejidos al suplementar la dieta de los rumiantes con selenio orgánico (SeO), en comparación con selenio inorgánico (Sel) (Weiss, 2005; Steen y col., 2008; Juniper y col., 2009; Vignola y col., 2009)

Se ha demostrado que la función antioxidante del Se, a través de la actividad de la GSH-Px, puede retrasar la aparición de reacciones de oxidación, que afectan negativamente tanto al valor nutritivo como al aroma de productos cárnicos (Morrissey y col., 1998), aunque en rumiantes, de forma general, la incorporación de una u otra fuente de selenio no ha tenido repercusión sobre la calidad de la carne (O'Grady y col., 2001; Skrivanova y col., 2007; Juniper y col., 2009; Vignola y col., 2009; Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015). Debido a que la suplementación con selenio en la dieta de los corderos es aconsejable, con motivo de las implicaciones fisiológicas que conlleva este mineral, resulta interesante evaluar el comportamiento de dos fuentes de selenio (SeO *versus* Sel) sobre los parámetros de crecimiento de la raza Merina, evaluando en última instancia el posible efecto que puedan ejercer sobre la calidad de la carne.

II.2. CALIDAD DE LA CANAL DE OVINO.

La calidad de la canal puede definirse por criterios objetivos o subjetivos. Los primeros abarcan medidas de pesos y de longitud y anchura de la canal, mientras que los subjetivos son valoraciones de la canal en base a unos patrones establecidos. Los criterios comúnmente utilizados para clasificar la canal y por lo tanto, para fijar su precio son el peso y las medidas subjetivas de conformación y engrasamiento.

II.2.1. DEFINICIÓN DE CANAL.

La canal de ovino se define como el cuerpo del animal sacrificado tal y como se presenta después de las operaciones de sangrado, eviscerado y

desollado, sin cabeza (separada a nivel de la articulación occipito-atloidea), patas (separadas al nivel de las articulaciones carpo-metacarpianas o tarso-metatarsianas), cola (separada entre la sexta y la séptima vértebra caudal), sin ubres, órganos sexuales, hígado ni asadura; mientras que los riñones y la grasa de riñonada se incluyen en la canal (Comisión Europea, 1992). Asimismo, este mismo Reglamento recoge la definición de media canal: pieza obtenida por la separación de la canal siguiendo el plano de simetría que pasa por el centro de las vértebras cervicales, dorsales, lumbares y sacras y por el centro del esternón y de la sínfisis púbica.

Los principales factores que definen la calidad de la canal de ovino son el peso, la conformación, la composición regional, el grado de engrasamiento y la composición tisular, así como diversas características de la carne y de la grasa como el color y la consistencia (Sañudo y col., 1991a). Estos factores están en su mayor parte recogidos en los sistemas de clasificación de canales de ovino.

II.2.2. CONFORMACIÓN Y PESO.

El peso de las canales de ovino es el criterio más importante de clasificación. Se utiliza para optimizar la rentabilidad en la producción, fijar el valor comercial en el mercado, siendo además un parámetro objetivo y fácil de determinar (Sañudo y col., 1992a; Cunhal-Sendim y col., 1999). Por otra parte, la edad a la que se alcanza el peso de sacrificio deseado es un carácter que muestra cierta variabilidad, dependiendo de factores como la raza, el tipo de alimentación, el sexo, el número de crías por parto y el número de parto de la oveja (Sañudo y col., 1993a y 1997; Sánchez y col., 1998; Manso y col., 1998; Vergara y col., 2001; Díaz y col., 2003; Gutiérrez, 2006).

La conformación de una canal ha sido definida como “el espesor de los planos musculares y adiposos en relación con el tamaño del esqueleto” (De Boer y col., 1974) y viene determinada por la forma general de la misma, su grado de redondez y compacidad. La forma de una canal es un indicador del desarrollo alcanzado por el animal (Miguélez y col., 2007). La valoración de la conformación de las canales de ovino se utiliza en la mayoría de los sistemas

de clasificación, apreciándose amplitud en la riñonada, unas piernas anchas y cortas, cuello corto y ancho con predominio de los perfiles convexos y de las medidas de anchura sobre longitud (Colomer-Rocher, 1974).

No obstante, la conformación no es un criterio de clasificación utilizado en la normativa de la UE en el caso de las canales de ovino ligeras. La explicación parece radicar principalmente en dos hechos, por una parte, comparando con canales de ovino de mayor peso, su conformación es pobre o inferior (Sañudo y col., 2000a) y, por otra parte, la correlación entre la conformación, determinada mediante medidas morfométricas, y la composición tisular de la canal ha resultado ser débil y no significativa (Ruiz de Huidobro y Cañeque, 1994; Vergara, 1996; Miguélez y col., 2006).

II.2.3. ENGRASAMIENTO.

La canal de los animales de abasto está constituida por un número elevado de tejidos que, dependiendo de la proporción en la que se encuentren, influyen en gran medida en su calidad. Los numerosos tejidos presentes en la canal se agrupan desde un punto de vista funcional en músculo, grasa y hueso.

De estos, el tejido muscular es el de mayor interés económico, ya que, además de ser el más abundante, es el más deseado por el consumidor. La grasa es el componente más variable y aunque existe una tendencia general a la obtención de canales magras, debe estar presente en una cantidad óptima para proporcionar unas propiedades sensoriales adecuadas (Miguélez y col., 2007). Se considera al grado de engrasamiento un criterio clave para el valor comercial de la canal (Sañudo y col., 2000a). Este viene determinado principalmente por los siguientes parámetros: cantidad de grasa total, reparto de la grasa en los distintos depósitos adiposos, así como su distribución en las diferentes regiones anatómicas (Teixeira y col., 1992). Como señalan estos autores, la grasa es el componente del animal que presenta mayor variación tanto cualitativa como cuantitativa entre individuos.

Es perfectamente conocido que la cantidad de grasa de la canal ovina está estrechamente ligada al peso vivo (Cañeque y col., 1997; Vergara y col.,

1997; Blázquez y col., 2001; Díaz y col., 2003) y la edad del animal (Pollott y col., 1994), aumentando su cuantía a medida que ambos parámetros son más elevados. El sexo es otro factor relacionado con el contenido en grasa de las canales de ovino. El desarrollo del tejido adiposo de los machos es inferior al de las hembras (Teixeira y col., 1992). La cantidad de grasa en la canal ovina también está relacionada con el nivel nutricional (Teixeira y col., 1992), dependiendo en gran medida de la ingesta calórica en la dieta. Aunque en ovinos de menos de 20 kg de peso vivo el nivel energético de la ración no tiene tanta importancia, pues el animal regula su nivel de ingestión de acuerdo a sus necesidades (Cañeque y col., 1994).

II.2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS CANALES.

El peso de la canal es un factor clave en el sistema de clasificación oficial de la UE (Comisión Europea, 1992), diferenciándose dos tipos, las canales de más de 13 kg y las de un peso inferior (canales ligeras). El Reglamento (CEE) nº 2137/92 (Comisión Europea, 1992) clasifica las canales de ovino en función de la conformación (Tabla II.3) y su estado de engrasamiento (Tabla II.4).

Tabla II.3. Clasificación de las canales según el desarrollo de los perfiles (Comisión Europea, 1992).

Clase Conformación	Descripción
S – Superior	Todos los perfiles muy convexos, desarrollo muscular excepcional con dobles músculos (tipo culata “culard”).
E – Excelente	Todos los perfiles de convexos a muy convexos, desarrollo muscular excepcional.
U – Muy buena	Perfiles convexos en conjunto, buen desarrollo muscular.
R – Buena	Perfiles rectilíneos en conjunto, buen desarrollo muscular.
O – Menos buena	Perfiles rectilíneos a cóncavos, desarrollo muscular medio.
P – Inferior	Perfiles cóncavos a muy cóncavos, escaso desarrollo muscular.

Desde un punto de vista comercial, se valoran positivamente las canales con buena conformación de la canal, y más concretamente una riñonada amplia y llena y unos contornos ligeramente redondeados, y con un grado de engrasamiento medio-alto (Miguélez y col., 2007). El consumidor aprecia además el color claro de la carne y una reducida intensidad en el sabor, características que son propias de los animales jóvenes (Díaz, 2001).

Tabla II.4. Clasificación de las canales según la cobertura grasa (Comisión Europea, 1992).

Cobertura Grasa	Descripción
1 – Muy escasa	Cobertura grasa inexistente o muy ligera.
2 – Escasa	Ligera cobertura grasa, carne casi siempre aparente
3 – Media	Músculos, con excepción de los cuartos traseros y la paletilla, casi siempre cubiertos de grasa; pequeños cúmulos de grasa en la cavidad torácica.
4 – Importante	Músculos cubiertos de grasa pero aún parcialmente visible en los cuartos traseros y la paletilla; cúmulos apreciables de grasa en la cavidad torácica.
5 – Muy importante	Canal cubierta por completo de grasa espesa; importantes cúmulos de grasa en la cavidad torácica.

II.3. CALIDAD DE LA CARNE DE OVINO.

La calidad de la carne de cordero está determinada por su aspecto, principalmente su color, por la ausencia de riesgos higiénico-sanitarios y por la jugosidad y su ternura en el momento de consumo (Kennedy y col., 2005). Son numerosos los factores que influyen sobre la calidad de la carne de ovino, tales como la alimentación de los corderos (Kemp y col., 1981; Larick y Turner, 1990), la raza (Fisher y col., 2000; Sañudo y col., 1997), así como el peso, el sexo y la edad de sacrificio de los corderos (Kemp y col., 1981; Sañudo y col., 1997). Sin embargo, no hay que olvidar que el sistema de conservación de la

carne postsacrificio y su manipulación, son esenciales en último término para el mantenimiento de las características físico-químicas, higiénicas y sensoriales de la carne durante su comercialización y hasta el consumo en los hogares.

II.3.1. PH.

El pH del músculo es una de las propiedades más importantes de la carne, debido al efecto que ejerce sobre las demás características de la misma (Bond y col., 2004). Debido a que condiciona la actividad enzimática, es un factor fundamental a la hora de establecer la conversión de músculo en carne.

El pH está relacionado directamente con la concentración de ácido láctico y otros ácidos de la carne, circunstancia que lo convierte en el parámetro de referencia para evaluar la glucólisis muscular *post-mortem*. La evolución del pH tras el sacrificio va a tener un profundo efecto sobre las demás propiedades tecnológicas de la carne.

Algunas alteraciones en la caída del pH son las causantes de la aparición de defectos en la carne. Las carnes DFD (oscuras, duras y secas) se originan a partir de músculos con pocas reservas de glucógeno y presentan valores de pH elevados debido a una glucólisis *post-mortem* poco intensa. Por el contrario, las carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas) proceden, en general de animales que han sufrido situaciones de estrés previas al sacrificio y presentan una glucólisis acelerada, con un descenso brusco del pH.

Es importante indicar, no obstante, que la especie ovina es menos vulnerable a este tipo de alteraciones que otras especies (Sañudo y col., 1997). En la especie ovina, el pH de la carne inmediatamente después del sacrificio se sitúa, en general, entre 6,5 y 6,8, mientras que a las 24 horas de oreo el valor de pH deseable para proporcionar a la carne sus propiedades organolépticas características debe ser inferior a 6,0 (Cornforth, 1999).

II.3.1. COLOR.

El color de las carnes envasadas y su estabilidad son los atributos más importantes de calidad en su vida útil (Renerre y Labadie, 1993). La decisión de

compra de la carne por parte del consumidor se ve influida por este factor más que por cualquier otro atributo de calidad (Mancini y Hunt, 2005).

El color de la carne depende de la concentración de mioglobina y del estado químico en que se encuentre, así como de la estructura de la superficie y de la proporción de grasa intramuscular (MacDougall, 1982). Es muy importante el estado químico en que se encuentre el átomo de hierro (Fe) que contiene la mioglobina (Ordoñez y col, 1998). En la carne fresca, la mioglobina se puede presentar en tres formas básicas:

- Deoximioglobina, es la forma reducida de la mioglobina (Fe^{2+}), de color rojo-púrpura, que es la que se encuentra en el interior de la carne donde no hay oxígeno y se puede apreciar en carne recién cortada.
- Metamioglobina, es la forma oxidada de la mioglobina (Fe^{3+}), es responsable del color marrón o gris de la carne.
- Oximioglobina, es la forma reducida de la mioglobina (Fe^{2+}) en la que una molécula de oxígeno ocupa la posición libre del átomo de hierro. Aporta un color rojo-cereza típico de la carne fresca.

Además de estas tres formas básicas, la mioglobina puede adoptar otras formas por combinación con distintos grupos químicos: sulfomioglobina (por acción bacteriana); carboximioglobina (en productos ahumados o en envasados con monóxido de carbono); nitrosomioglobina (en curados), etc.

La proporción de oximioglobina (MbO_2) en la superficie de la carne fresca depende de distintos factores como la temperatura de la carne, el pH, y la presión parcial de oxígeno (Mancini y Hunt, 2005).

Cuando el 50%, o más, del total de la mioglobina (Mb) se encuentra en forma de MbO_2 , el color que predomina es el de esta última (Ordoñez, 1998). Esto se logra al menos con una presión de O_2 de 20 mm de Hg, por lo que a la presión de O_2 habitual en el aire, toda la Mb se halla en forma de MbO_2 (Ordoñez, 1998). La metamioglobina (MetMb), responsable del color pardo, que aparece por debajo de la zona roja superficial de la carne, se forma por oxidación de la Mb o de la MbO_2 (con liberación del oxígeno en forma de radical hidroperóxido). La oxidación de ambas se ve favorecida por las bajas

tensiones de oxígeno. El porcentaje de MetMb aumenta con una tensión de oxígeno de 0 a 7 mm de Hg y descende luego a medida que la tensión de oxígeno se ve incrementada (McMillin, 2008), siendo mínimo a presiones parciales de 60-80 mm (Ordoñez y col., 1998). Esto explica que cuando se coloca un corte de carne en contacto con una superficie plana, el área de contacto se torne de color marrón, debido a la dificultad de la oxigenación.

Así, un aumento de la concentración de oxígeno en la composición del aire (como es el caso de las atmósferas modificadas) produce una mayor estabilidad en el color de la carne fresca (Jakobsen, 2003; John y col., 2005). Cuando se envasan carnes frescas rojas, se usan elevadas presiones parciales de oxígeno para estabilizar la mioglobina en su forma oxigenada (oximioglobina). Sin embargo, elevados niveles de O₂ pueden incrementar algunas reacciones perjudiciales para la calidad de la carne, como por ejemplo, la oxidación lipídica (Abuja, 2001; Jakobsen y Bertelsen, 2003) y proteica (Ferioli y col., 2008).

La estructura de la carne está estrechamente relacionada con el pH (Renerre, 1988). Así, al descender el pH a valores próximos al punto isoeléctrico de las proteínas, disminuyen los grupos iónicos libres para ligar el agua (pierde capacidad de retención de agua), por lo que las cadenas de proteína se unen dando lugar a una estructura cerrada, que impide que la luz penetre fácilmente y esta sea reflejada en su mayor parte, dando lugar a un color más claro. Si por el contrario, el pH es elevado, aumenta la capacidad de retención de agua, las fibras musculares se hinchan y la estructura miofibrilar es más abierta, debido a la retención de agua entre las cadenas proteicas. De esta forma, la superficie de la carne refleja una menor cantidad de luz, y su color aparece más oscuro.

Junto a estas fuentes de variación del color de la carne, otro de los factores que influye sobre el mismo, es el instrumento de medida y las condiciones en que ésta se realiza. Esto tiene gran importancia a la hora de comparar resultados (Honikel, 1998).

II.3.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA.

Hamm (1960), define la capacidad de retención de agua (CRA) como la capacidad que tiene la carne para retener su agua constitutiva durante la aplicación de fuerzas externas o de tratamiento. Sañudo (1992a) la define como un parámetro físico-químico y como la capacidad de la carne para retener el agua que ella misma contiene durante la aplicación de fuerzas extrañas tales como cortes, calentamiento, trituración y prensado, lo cual tiene gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación.

El contenido en agua y su distribución tiene gran influencia en las propiedades de la carne, especialmente en la dureza, jugosidad, color y apariencia (Hamm, 1960; Offer y col., 1989).

Uno de los principales problemas de los sistemas de envasado de carne fresca son las pérdidas de peso por goteo o exudado (Jakobsen y Bertelsen, 2002), que se deben a una reducción de la capacidad de retención de agua. La CRA depende en gran medida del pH de la carne. Cuando desciende el pH, disminuye la capacidad de retención de agua, ya que al unirse las proteínas musculares actina y miosina, la estructura miofibrilar se va cerrando, dejando menos espacio disponible para el agua. A este fenómeno se añade, que cuando el pH se aproxima al punto isoeléctrico de las proteínas, éstas poseen menos cargas eléctricas, y la capacidad de retención de agua se hace mínima. Según algunos autores la capacidad de retención de agua de la carne depende en más de un 80 por ciento del valor final de pH y de la caída del pH del músculo (Gault, 1985; Honikel, 1991).

Dada la relación entre la CRA de la carne y su pH, la presencia de cierta proporción de CO₂ en el envase podría afectar negativamente a la CRA, dependiendo de la cantidad de CO₂ absorbida (O'Keffe y col., 1981). No obstante, en estos casos las pérdidas de peso debidas a una menor CRA pueden atribuirse a que en el proceso de envasado entran en juego variables físicas responsables de parte de las pérdidas de peso (pH final de la carne, posibles colapsos en el envase, etc.) (Payne y col., 1998).

II.3.3. ESTABILIDAD OXIDATIVA.

Durante el almacenamiento de la carne fresca, se desarrollan sobre los lípidos una serie de procesos enzimáticos de carácter hidrolítico que conducen a la liberación de ácidos grasos (Antequera y Martín, 2001). La lipólisis es una de las principales causas de la degradación de los lípidos de la carne, y se debe a dos tipos de enzimas específicas, las lipasas y las fosfolipasas (Gandemer, 1998).

El nivel de oxidación en el músculo intacto está notablemente afectado por la presencia de agentes prooxidantes y antioxidantes en el mismo (Gandemer, 1998). En la célula existen diversas sustancias capaces de luchar contra los radicales libres. Sin embargo, tras el sacrificio, muchos de los sistemas antioxidantes *in vivo* se inactivan, a lo que hay que unir ciertas condiciones a las que es sometida la carne, como el cocinado o la incorporación de ciertos aditivos que también participan en la oxidación (Gray y Pearson, 1987).

Entre los factores que influyen sobre el desarrollo de las reacciones de autooxidación de los lípidos se encuentran el contenido en grasa intramuscular, el pH, la temperatura, la presencia de metales, la presencia de cloruro sódico y la actividad de agua como factores prooxidantes y otra serie de factores antioxidantes como la presencia de nitritos, la presencia de ácido ascórbico, determinados compuestos derivados de las reacciones de Maillard, la presencia de tocoferoles como la vitamina E, etc. La susceptibilidad a la oxidación puede verse modificada en la carne fresca por el sistema de alimentación (Cava, 1994). En el caso de la carne envasada en atmósferas modificadas, también hay que tener en cuenta la proporción de oxígeno y dióxido de carbono en el espacio de cabeza del envase (McMillin, 2008).

La presencia de oxígeno en carne envasada puede acelerar los procesos oxidativos de las grasas (Abuja y col., 2001; Smiddy y col., 2002; Linares y col., 2007). En muchos países, los consumidores rechazan el aroma a rancio de la carne envasada en atmósferas modificadas ricas en oxígeno (Knut y col., 2006). En atmósferas en las que no hay presencia de oxígeno, la estabilidad oxidativa de la carne envasada es mayor (Insausti y col., 2001; Jeremiah, 2001), pero algunos autores han encontrado decoloraciones intensas

en la superficie de la carne cuando utilizaron atmósferas sin oxígeno (Gill, 1990; Luño y col., 1998), provocando rechazo por parte del consumidor. Este hecho se debe a la presencia de mioglobina en estado reducido, que aporta un color rojo-púrpura a la carne.

II.4. ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA.

El envasado en atmósfera modificada (EAM) es un sistema que combinado con las bajas temperaturas de refrigeración se ajusta mejor a las demandas de los consumidores y tendencias de mercado actuales. El envasado en atmósfera protectora consiste en la sustitución de la atmósfera que rodea al producto, aire (78,09% N₂, 20,95% O₂, 0,93% Ar, 0,03% CO₂), por una mezcla de gases que garantice la calidad del producto y consiga alargar su vida útil. En general, el EAM está bastante extendido como método de conservación de la carne fresca refrigerada, representando un 30% de la totalidad de productos vendidos en España (Cofrades y Carballo, 2001). Entre sus ventajas destaca que puede aumentar considerablemente la vida útil de la carne, manteniendo su calidad inicial un tiempo que puede variar desde días hasta semanas e incluso meses, dependiendo del tipo de la materia prima de la que se trate (Jeremiah, 2001).

Las ventajas concretas del envasado en atmósferas modificadas de la carne fresca son:

- Permite la prolongación de la vida útil de la carne fresca entre un 50 y 400% (Narasimha y Sachindra, 2002) lo cual reporta así mismo una serie de beneficios como la posibilidad de transporte a largas distancias (proporcionando por tanto, un gran potencial para la expansión del mercado del producto) o la idoneidad para la comercialización de la carne fresca en “formato de nuevo servicio” en cadenas “de gran distribución”.
- Permite una mejora de la gestión de los “stocks” y de las pautas de trabajo.

- Facilita el manejo en el lugar de distribución y comercialización en condiciones óptimas higiénico-sanitarias y permite el ahorro de espacio en los mismos.
- Mantiene el aspecto y el color de la carne fresca, ajustándose así a las demandas por parte de los consumidores, que encuentran en estos parámetros los indicadores principales de calidad (Feliciano y col., 2003).
- Mejora la presentación del producto, con un etiquetado claro, donde figura la fecha de envasado, la caducidad del producto, marca comercial o condiciones de conservación. Estas ventajas, posibles gracias al envasado en atmósferas modificadas, facilitan la aplicación de los sistemas de trazabilidad, tan demandados hoy en día en la industria alimentaria.
- Permite un fácil e inmediato consumo, con una manipulación mínima y comodidad máxima para el consumidor.

El envasado en atmósferas modificadas también plantea una serie de inconvenientes, todos ellos de tipo económico:

- Necesidad de ajuste de la composición y cantidad de gases a la materia prima a envasar.
- Necesidad de inversión en equipos y gases, además de extremar las condiciones higiénicas, lo cual supone un incremento del gasto
- Al igual que los sistemas tradicionales de comercialización, es necesario el mantenimiento de la “cadena de frío”.

Por último, el envasado en atmósferas modificadas de la carne fresca se enfrenta al desconocimiento del público acerca de este sistema de conservación, qué es y los beneficios que reporta. Este inconveniente sería sin embargo, fácilmente subsanable mediante una campaña de información dirigida a los consumidores habituales y potenciales.

II.4.1 GASES UTILIZADOS EN EL EAM.

Los gases utilizados para el envasado en atmósfera modificada de la carne fresca son fundamentalmente el oxígeno, el dióxido de carbono y el nitrógeno:

- Oxígeno, O₂.

La carne fresca se envasa frecuentemente en atmósferas ricas en oxígeno con el fin de estabilizar el color rojo brillante que proporciona la oximioglobina, y que los consumidores encuentran más atractivo y consideran indicativo de calidad (Feliciano y col., 2003). Sin embargo, el oxígeno interviene en otras reacciones químicas como la oxidación de la grasa, por lo que se deben tener ciertas precauciones en su uso y optimizar su proporción en envases con alta proporción de grasa como es el caso del cordero.

- Dióxido de carbono, CO₂.

Posee un efecto bacteriostático. Inhibe el crecimiento de microorganismos aerobios, dentro de los que se incluyen los que causan putrefacción de la carne. Por esta razón, la concentración de CO₂ en el envase está directamente relacionada con el tiempo de conservación de los productos envasados. La acción inhibitoria del CO₂ sobre el crecimiento de los microorganismos se debe, por una parte, a la disminución del pH que se produce como consecuencia de la combinación del CO₂ con el agua y, por otra su acción sobre el sistema enzimático de las bacterias, causando daños que pueden llegar a ser letales. Este efecto bacteriostático depende de varios factores: concentración de CO₂, especie microbiana que se encuentre en el producto, carga bacteriana inicial, temperatura y tiempo de conservación del alimento (Narashima y Sachindra, 2002). Este gas tiene la característica de que es muy soluble en agua y grasa, lo cual puede causar problemas de envasado como el colapso de los mismos, por lo que el contenido de CO₂ en el envase debe adecuarse al resto de parámetros de envasado. También puede originar problemas de exudación de la carne fresca, lo que se suele contrarrestar con el uso de absorbentes en el fondo del envase.

- Nitrógeno, N₂.

Es un gas inerte, inodoro, incoloro e insípido, con baja solubilidad en agua y grasa; por tanto, aunque se disuelva en la carne, no juega un papel activo. Se utiliza con productos envasados en atmósferas modificadas para desplazar al oxígeno y retrasar así los procesos de oxidación e indirectamente retardar el crecimiento de bacterias aerobias. Su uso es conveniente para evitar el “colapso” del envase por la absorción del dióxido de carbono en el tejido.

- Otros gases.

Otros gases están siendo objeto de interés en la Industria Alimentaria, como el óxido de etileno, dióxido de nitrógeno, ozono, óxido de propileno o dióxido de sulfuro, aunque su utilización no está todavía aprobada por razones de seguridad, elevado coste o efectos desconocidos sobre las características organolépticas del producto envasado. Entre los gases de mayor posibilidad de aplicación en el envasado de carne fresca, destaca el argón (Ar), muy similar químicamente al nitrógeno pero con ciertas ventajas que pueden hacerlo preferible a este; el argón es más denso y más soluble en agua que el nitrógeno e incluso que el oxígeno, por lo que puede ser más efectivo desplazando eficazmente el oxígeno de los receptores celulares y enzimas (Spencer y Humphreys, 2002; Spencer, 2005), y en consecuencia frenando las reacciones oxidativas y la proliferación de microorganismos aerobios. Aunque la Unión Europea permite su uso (aditivo E938), regulado en términos de pureza, su aplicación no está muy extendida (Spencer y Humphreys, 2002; Spencer, 2005; Day, 2007; Comisión Europea, 2008a). Recientemente, Heinrich y col. (2016) han puesto de manifiesto que el Ar puede inhibir el crecimiento de *Listeria monocytogenes* en jamón curado, y que esos resultados podrían ser extrapolables a otros productos cárnicos. Otro gas que podría incluirse con éxito en el envasado en atmósfera protectora de la carne de cordero es el monóxido de carbono (Gutiérrez y col., 2011 y 2013). Desde 1985, el uso de monóxido de carbono (CO) para el envasado de carne ha sido común en Noruega con aproximadamente un 60% de las ventas, con una mezcla que contenía 0,4% de CO (Sørheim y col., 1997; Norwegian Food Control Authority, 2001). Sin embargo, después de 19 años de aplicación con

éxito, el uso del CO en la carne envasada se suspendió en julio de 2004 debido a la presión de los socios comerciales europeos (Wilkinson y col., 2006). A pesar de los beneficios probados del uso del CO en el envasado en atmósferas modificadas de carne fresca, este gas no se encuentra en la lista de aditivos autorizados por la legislación europea (Comisión Europea, 2008b). El motivo de la no inclusión del CO en la lista de aditivos autorizados se debe a que la carne fresca envasada con CO podría sufrir un deterioro microbiológico importante y seguir presentando buen aspecto visual (Sørheim y col., 1997; Eilert, 2005; Mancini y col., 2005).

Los gases utilizados en el envasado en atmósferas modificadas pueden aplicarse de manera individual o en combinación en distintas proporciones, según el efecto requerido y sobre todo dependiendo de las características de la materia prima (flora microbiana que sea capaz de crecer en el producto, la sensibilidad del producto al O₂ y CO₂, necesidades de mantenimiento de color del alimento, etc.). Ciertamente, el envasado en atmósferas modificadas es muy específico (Church y Parsons, 1995), es decir, hay que adaptarlo a la materia prima inicial y sus características como pH, cantidad de pigmentos y de grasa y composición de la misma.

Son numerosos los estudios en los que se han evaluado las condiciones de envasado con esta tecnología para prolongar la vida útil de la carne cordero (Doherty y col., 1995; Kerry y col., 2000; Vergara y Gallego, 2001; Kennedy y col., 2004; Berruga y col., 2005; Linares y col., 2008 y 2012; Fernandes y col., 2014). Como se ha dicho en el párrafo anterior, es necesario ajustar la combinación de gases en función de la materia prima, y en este sentido, en estudios previos a esta Tesis Doctoral, se llegó a la conclusión de que la composición de gases óptima para el envasado de la carne de cordero Merino es la compuesta por un 70% de O₂ y un 30% de CO₂ (Gutiérrez, 2008; Gutiérrez y col., 2011 y 2013).

III. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS.-

III. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS.

III.1. PLANTEAMIENTO.

La producción de carne de ovino viene definida en nuestro país por una serie de características, entre las que cabe destacar la corta edad de los corderos en el momento del sacrificio, lo que ocasiona un bajo peso en las canales que se obtienen. La carne de estos corderos es catalogada como de alta calidad, y alcanza cotizaciones elevadas en el mercado, por lo que resulta necesario incidir en las variables que puedan permitir, no sólo la obtención de un producto calidad, sino conseguir un aspecto tan importante como el aumento de la vida útil de este producto perecedero. Teniendo en cuenta esto y que durante el cebo de los corderos (basado de forma general en nuestro país en un cebo intensivo a base de concentrados y paja) la alimentación puede suponer el 85-90% de los costes totales, sería interesante plantear la posibilidad de incluir en los piensos de los corderos subproductos agroindustriales producidos en nuestra región, que debido a su abundancia y bajo precio permitan suprimir o reducir la incorporación de paja de la ración como componente principal de coste, además de la posibilidad de contribuir a mejorar la calidad de la carne obtenida. En este sentido, la industria transformadora de tomate genera a nivel regional una gran cantidad de subproductos (AMITOM, 2015), en forma de pieles y semillas (comúnmente denominada pulpa de tomate), que en condiciones normales es desechada. Sin embargo, la pulpa de tomate constituye una valiosa fuente de energía y nutrientes (Del Valle y col., 2006), además de contener licopeno, que es el compuesto carotenoide con mayor actividad antioxidante del tomate (Kaliora y col., 2006). Este subproducto ha sido utilizado en algunos trabajos como suplemento para la dieta de pequeños rumiantes, obteniéndose buenos resultados en lo que respecta a parámetros productivos (Denek y Can, 2006; López y col., 2009 y 2011). Sin embargo, no existe información disponible sobre los efectos de suplementación de la dieta con pulpa de tomate sobre los atributos que definen la calidad de la carne de cordero. Comparar estos efectos con los de otras fuentes de antioxidantes más habituales en la alimentación

animal, como por ejemplo la incorporación de vitamina E en los piensos, puede contribuir a mejorar la calidad y conservación de la carne de cordero.

Por otro lado, otro ingrediente habitualmente incorporado en la dieta de los rumiantes es el selenio, ya que es un mineral esencial necesario para un correcto crecimiento de los corderos, y cuya carencia puede ocasionar numerosos problemas en el desarrollo de diferentes tejidos animales (Kumar y col., 2009; Shi y col., 2011). El selenio parece tener también una función antioxidante, ya que forma parte de enzimas tan importantes en este sentido, como la glutatión peroxidasa (McDowell y col., 1997). Incorporado normalmente en forma de sales inorgánicas, algunos estudios han demostrado que el selenio orgánico es mejor absorbido y utilizado en los rumiantes (Gunter y col., 2003; Guyot y col., 2007). Este selenio orgánico, añadido a los piensos en forma de selenometionina se puede incorporar inespecíficamente en las proteínas en lugar de la metionina y puede actuar como una fuente biológica de selenio (Suzuki y Ogra, 2002), que puede ser utilizada durante los periodos de menor ingesta del mismo.

Por otra parte, el envasado en atmósfera modificada está bastante extendido como método de conservación de la carne fresca refrigerada, y en concreto, en estudios previos se ha demostrado que puede aumentar la vida útil de la carne de cordero Merino (Gutiérrez y col., 2011 y 2013), utilizando elevadas concentraciones de O₂ en el espacio de cabeza del envase, que ayuda, a preservar el color rojo de la carne (Kennedy y col., 2004; Gutiérrez y col., 2011), si bien, puede conllevar problemas relacionados con la oxidación de los lípidos (Linares y col., 2007; Gutiérrez y col., 2013). En este sentido, algunos estudios han evidenciado que la suplementación en la dieta de los corderos con diferentes fuentes de antioxidantes por separado tiene un efecto positivo sobre la estabilidad oxidativa de la grasa.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, en esta Tesis Doctoral se ha planteado evaluar el efecto de la inclusión de un subproducto agroindustrial, la pulpa de tomate, junto con diferentes niveles de incorporación de vitamina E y de dos fuentes de selenio (orgánico e inorgánico) en la formulación de los concentrados, sobre la calidad de la canal y de la carne

fresca de cordero Merino envasada en atmósfera modificada y almacenada en refrigeración.

III.2. OBJETIVOS.

En respuesta al planteamiento descrito en el apartado anterior, existe la necesidad de buscar nuevas estrategias en la alimentación de los corderos que permitan conseguir un mejor mantenimiento de los atributos de calidad de la carne, pero sin afectar negativamente a los parámetros de crecimiento y producción de los animales. Por todo ello, esta Tesis Doctoral se centra en la consecución de los siguientes objetivos:

1. Estudiar el efecto de la incorporación de un 10% de pulpa de tomate, junto con la inclusión de distintos niveles de Vitamina E en la formulación de los piensos durante el periodo de cebo de los corderos, sobre los parámetros zootécnicos y sobre las características de calidad de la canal.
2. Evaluar si los compuestos presentes en la pulpa de tomate (tales como el licopeno) y el uso de diferentes dosis de vitamina E en la dieta de los corderos, ejercen algún efecto sobre la composición y calidad de la carne fresca, evaluando así mismo cuál es el nivel óptimo de estos compuestos para asegurar una buena calidad de la carne.
3. Determinar si la inclusión de estos ingredientes en los concentrados, repercute en la estabilidad oxidativa de la carne envasada con una alta concentración de O₂, con la finalidad de evaluar su potencial efecto antioxidante.
4. Estudiar el efecto que puede ejercer la fuente de selenio (selenio orgánico vs. selenio inorgánico) tanto sobre los parámetros zootécnicos, como sobre las características de la canal y de la carne de cordero.
5. Estudiar la evolución de la calidad de la carne envasada en atmósferas modificadas durante el almacenamiento en refrigeración, con el fin de establecer si el uso de estos ingredientes en la dieta permiten aumentar la vida útil de la carne en condiciones óptimas de calidad.

IV. DISEÑO EXPERIMENTAL.-

IV. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para la consecución de los objetivos anteriormente descritos, se llevó a cabo un diseño dividido en tres ensayos experimentales:

- Ensayo 1: Estudio del efecto de la adición de diferentes concentraciones de pulpa de tomate y vitamina E, en la dieta de los corderos durante el cebo, sobre los parámetros zootécnicos *in vivo*, las características de la canal y la composición y calidad de la carne fresca.
- Ensayo 2: Estudio del efecto de la adición de dos fuentes de selenio (Se orgánico *versus* Se inorgánico) en la dieta de los corderos, sobre los parámetros zootécnicos *in vivo*, las características de la canal y la composición y calidad de la carne fresca.
- Ensayo 3: Estudio del efecto de la adición de diferentes concentraciones de pulpa de tomate y vitamina E, en la dieta de los corderos durante el cebo, sobre la calidad de la carne fresca envasada en atmósfera modificada y almacenada en refrigeración.

Una vez llevado a cabo el destete de los corderos, los animales fueron cebados con un pienso comercial en el que se incorporaron pulpa desecada de tomate (PT), vitamina E (VE) y selenio (Se) en diferentes concentraciones (véase apartado V.1.4 de material y métodos). En total se obtuvieron 9 dietas con combinaciones diferentes de estos tres suplementos, que pueden observarse en la Tabla IV.1 y Figura IV.1.

Tras el sacrificio, realizado en el matadero de la propia cooperativa OVISO situado en Trujillo (Cáceres), las canales fueron refrigeradas durante 24 horas a 4 °C, transcurridas las cuales se llevó a cabo la evaluación de los parámetros relacionados con la canal (Ensayos 1 y 2).

Tabla IV.1. Composición cualitativa de las 9 dietas experimentales.

Dieta	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4	Dieta 5	Dieta 6	Dieta 7	Dieta 8	Dieta 9
VE	VE50	VE500	VE50	VE500	VE50	VE500	VE50	VE250	VE500
PT	PT0	PT0	PT0	PT0	PT10	PT10	PT10	PT10	PT10
Se	SeO	SeO	Sel	Sel	SeO	SeO	Sel	Sel	Sel

VE (Vitamina E): VE50, VE250 y VE500 (50, 250 y 500 mg α -tocoferol/kg de pienso, respectivamente).
 PT (Pulpa de tomate): PT0 y PT10 (0 y 10 kg PT/100 kg de pienso, respectivamente).
 Se (selenio): SeO (Se orgánico; 0,2 mg "Se-yeast"/kg pienso) y Sel (Se inorgánico; 0,2 mg Na₂SeO₃/kg pienso).

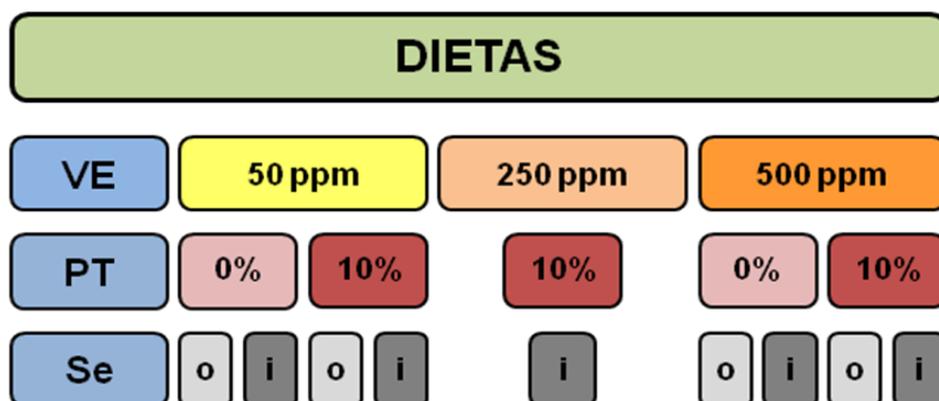


Figura IV.1. Esquema de los lotes estudiados. (VE) vitamina E (50, 250 y 500 mg α -tocoferol/kg de pienso); (PT) pulpa de tomate (0 y 10 kg PT/100 kg de pienso); (Se) selenio (-O- Se orgánico; 0,2 mg "Se-yeast"/kg pienso; -I- Se inorgánico; 0,2 mg Na₂SeO₃/kg pienso).

Posteriormente se realizó el despiece de las canales en las instalaciones de OVISO. Para el estudio de los parámetros de composición general, de interés tecnológico y los relacionados con la fracción lipídica (Ensayos 1, 2 y 3), se utilizó la zona anatómica de la pierna, que se cortó en porciones homogéneas transversales de 1 cm de espesor. Estos filetes de pierna se transportaron manteniendo la cadena de frío, hasta el Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario de Extremadura (CTAEX), situado en Villafranco del Gadiana (Badajoz), donde se llevó a cabo el envasado en atmósfera modificada o protectora (70% O₂ + 30% CO₂). Tras el envasado, las bandejas fueron almacenadas en refrigeración (4 °C) en la Escuela de Ingenierías Agrarias (Universidad de Extremadura). Para el estudio de la calidad de la

carne envasada en atmósferas protectoras se realizaron 3 tomas de muestras en distintos días de almacenamiento (día 1, 7 y 14), en cada una de las cuales se tomaron 10 muestras (n=10) para el análisis de la composición de gases en el envase y los parámetros de interés tecnológico y relacionados con la fracción lipídica descritos en el punto V.2 de Material y Métodos. Para la realización de los experimentos se utilizó el músculo *Biceps femoris*, predominante en el corte transversal de la pierna. En la figura IV.2. se recoge de forma esquemática el diseño experimental descrito.

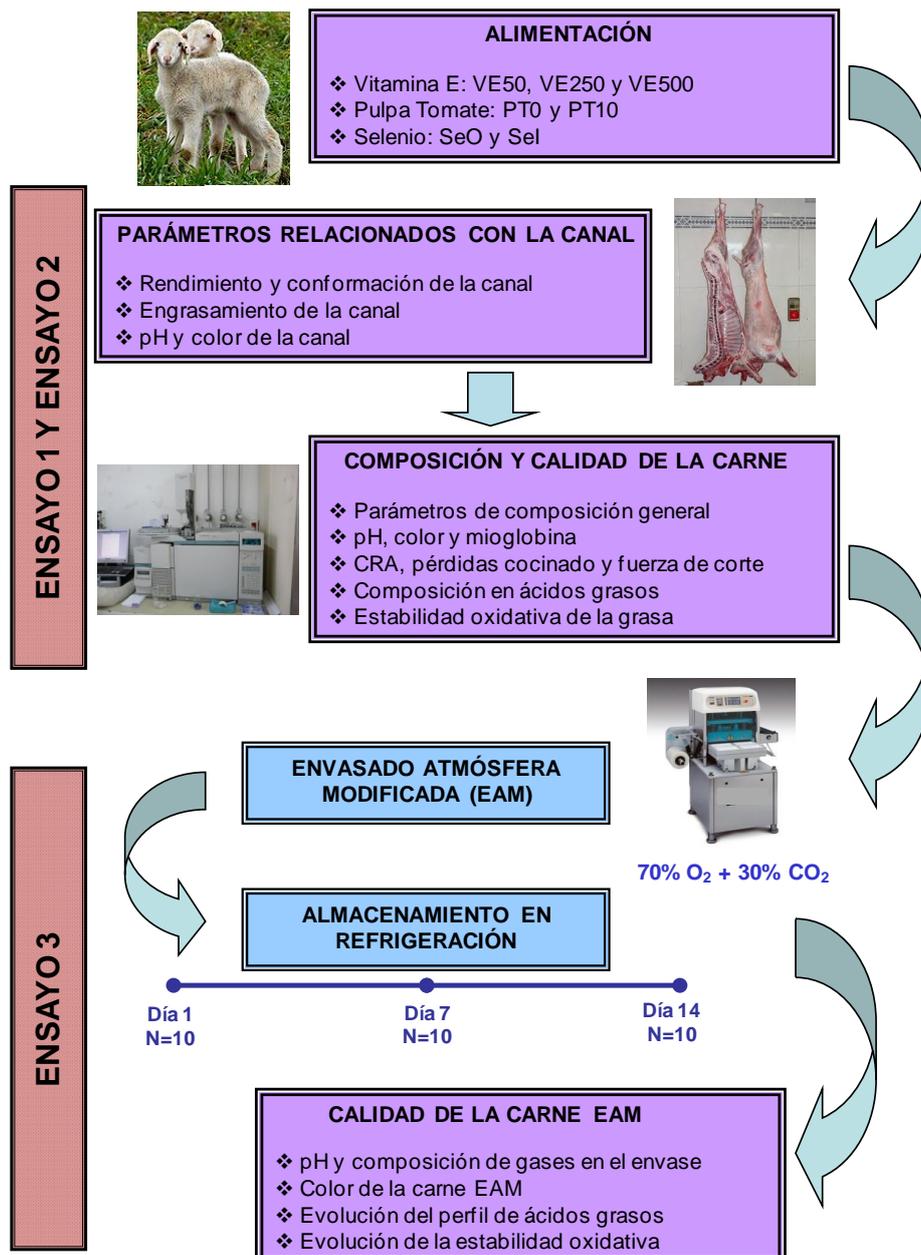
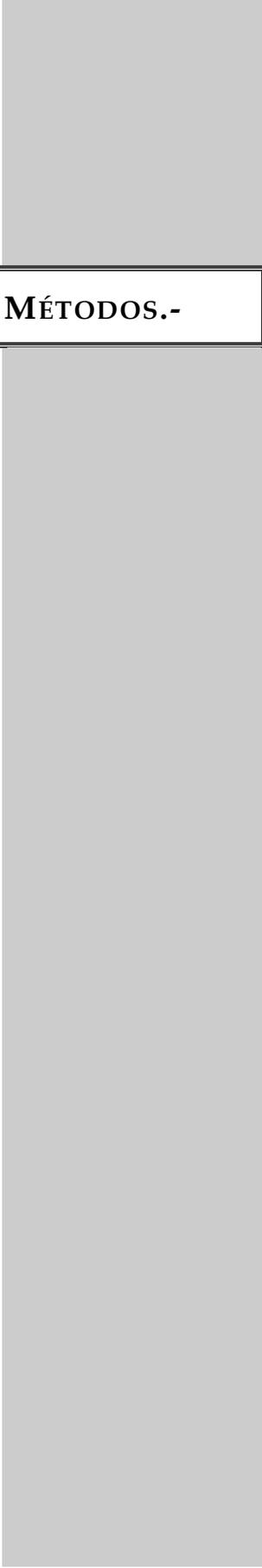


Figura IV.2. Esquema del Diseño Experimental.



V. MATERIAL Y MÉTODOS.-

V. MATERIAL Y MÉTODOS.

V.1. MATERIAL.

V.1.1. REACTIVOS.

Los productos químicos empleados en el desarrollo de la parte experimental de este estudio fueron suministrados por las firmas comerciales PANREAC (Barcelona, España), SIGMA (St. Louis, MO, EEUU) y SHARLAU (Barcelona, España); en todos los casos fueron al menos de calidad reactivo para análisis.

Los disolventes usados en el análisis cromatográfico fueron de calidad HPLC y suministrados por SHARLAU.

Los patrones de los ácidos grasos utilizados fueron suministrados por SIGMA.

Los gases empleados en la cromatografía gaseosa y en la evaporación de los disolventes procedían de la firma comercial LINDE S.L. (Barcelona, España).

Los gases que se utilizaron para el envasado en atmósferas protectoras fueron proporcionados por AIR LIQUIDE S.L. La propia firma comercial se encargó de preparar las mezclas de gases utilizadas en los diferentes ensayos.

V.1.2. EQUIPOS UTILIZADOS.

El peso de los corderos fue controlado mediante una báscula digital SALTER 235; con 50 Kg de capacidad y una sensibilidad de 200 g.

Para el envasado en atmósferas protectoras se utilizó una termoselladora ILPRA FOOD PACK BASIC.

Todas las muestras envasadas se almacenaron en la cámara de refrigeración (4°C) de las instalaciones de Planta Piloto de la Escuela de Ingenierías Agrarias.

La composición de gases del espacio de cabeza de los envases durante el almacenamiento se observó con un analizador de gases Mod. LS212P.

Las pesadas de precisión se realizaron en una balanza analítica METTLER TOLEDO, Mod. AB54-S (precisión de $\pm 0,0001$ g.), mientras que para las pesadas rutinarias se utilizó una balanza analítica METTLER TOLEDO, Mod. B-2002S (precisión de $\pm 0,01$ g.)

Todas las muestras fueron almacenadas, hasta el momento de su análisis, en un congelador FORMA SCIENTIFIC, Mod. 917 (-80°C).

Las muestras fueron picadas utilizando un masticador manual y posteriormente homogeneizadas mediante un homogeneizador de cuchillas SORVAL OMNIMIXER, Mod. 17106. Las muestras se mezclaron con los reactivos en agitatuos HEIDOLPH, Mod. Reax-top.

Para la medición del pH se utilizó un pHmetro de punción, de la marca HANNA, modelo HI99163.

Para la desecación de las muestras, así como para la metilación de ácidos grasos, se empleó una estufa SELECTA, Mod. CONTERM 80L.

Para la determinación de la proteína bruta de las muestras se utilizó un digestor SELECTA, Mod. Bloc Digest 20 y un destilador SELECTA, Mod. Pro-Nitro II.

Para la incineración de las muestras en el análisis de cenizas se utilizó un horno mufla Nabertherm, Mod. L3.

La medición de la fuerza de corte Warner-Bratzler se llevó a cabo con un texturómetro ANAME, Mod. TAXTplus Texture Analyser, utilizando una sonda de corte Warner-Bratzler (HDP/BS).

Para llevar a cabo el cocinado de las muestras evaluadas mediante las pérdidas por cocinado se utilizó una placa eléctrica, que conseguía una alcanzar temperaturas de 200°C .

La medición del color se realizó con un colorímetro MINOLTA, Mod. Chroma Meter CR-300.

La medida de la absorbancia en el análisis de MDA y Mioglobina fue realizada con un espectrofotómetro UNICAM, Mod. Helios α .

Las centrifugaciones fueron realizadas en una centrífuga refrigerada EPPENDORF, Mod. Centrifuge 5810-R.

Para la eliminación de disolventes orgánicos se utilizó un rotavapor HEIDOLPH, Mod. Laborota 4000 conectado a una bomba de vacío DINKO, Mod. D-95. En el caso de recipientes pequeños con poca cantidad de muestra, se evaporaron bajo corriente de nitrógeno.

Para medir volúmenes se utilizaron pipetas automáticas LABMATE, Modelos LM5000, LM1000 y LM200.

La extracción del hexanal se realizó mediante una fibra de microextracción en fase sólida de Carboxen/Polidimetilsiloxano (PDMS) de SUPELCO con 75 μm de diámetro. La identificación y cuantificación del mismo se llevó a cabo a través de un cromatógrafo de gases AGILENT 6890, asociado a un detector de masas AGILENT 5973 Network. Se empleó una columna capilar de sílice fundido de tipo HP5 (5% de fenil metil silicona) HEWLETT PACKARD (50 m x 0,32 mm x 1,05 μm de espesor).

Para el análisis de ácidos grasos se utilizó un cromatógrafo de gases HEWLETT PACKARD HP 4890 Series II equipado con un inyector Split/Splitless y con un detector de ionización de llama (FID). Toda la información fue recogida mediante sistema informatizado a través del programa de HEWLETT PACKARD ChemStation versión A.06.04. La columna de cromatografía usada para la separación de ácidos grasos fue una columna semicapilar HEWLETT PACKARD (30 m x 0,53 mm x 1,0 μm) con fase estacionaria polar (FFAP:Polietilenglicol-TPA modificado).

En el análisis de vitamina E y licopeno se utilizó un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) HEWLETT PACKARD, Serie 1050, equipado con una bomba isocrática y una columna RP 18 (250 mm long x 4 mm ID y 5 μm de tamaño de partícula). La detección del alfa y gamma tocoferol se realizó mediante un detector ultravioleta fijado a 292 nm, mientras que la detección de licopeno se realizó mediante un detector Diode-array fijado a 450 nm.

V.1.3. ANIMALES.

Para la realización de esta Tesis Doctoral se emplearon 90 canales de corderos de la raza Merina, procedentes de cooperativa Ovino del Suroeste (OVISO), Soc. Coop. Ltda. El nacimiento de los corderos objeto de estudio tuvo lugar en el mes de septiembre y todo el período de cría y engorde se realizó en las instalaciones de OVISO, ubicadas en la localidad de Villanueva de la Serena (Badajoz). Los corderos fueron destetados con 38 días de edad y con un peso medio de 13 kg, y sacrificados con un peso vivo medio de 22 kg y 80 días de edad. Tras el sacrificio y oreo a 4°C durante 24 h, las canales fueron despiezadas para obtener las diferentes piezas comerciales características del cordero (pierna, paleta, costillar y lomo, falda, pecho, cuello, cabeza y manos). Para nuestro estudio se utilizaron las dos piernas de cada canal, que fueron fileteadas en porciones transversales de 1 cm de espesor. Las diferentes determinaciones analíticas se llevaron a cabo sobre el músculo *Biceps femoris*.

V.1.4. ALIMENTACIÓN.

Tras el destete, los corderos fueron cebados con un pienso comercial (Tabla V.1) en el que se incorporaron tres suplementos alimenticios, vitamina E, pulpa desecada de tomate y selenio, en las cantidades descritas a continuación:

- Vitamina E (VE): 50 mg α -tocoferol/kg de pienso (VE50), 250 mg α -tocoferol/kg de pienso (VE250) y 500 mg α -tocoferol/kg de pienso (VE500).
- Pulpa desecada de tomate (PT): 0 kg PT/100 kg de pienso (PT0) y 10 kg PT/100 kg de pienso (PT10).
- Selenio (Se): selenio orgánico, 0,2 mg "selenio-yeast"/kg pienso (SeO) y selenio inorgánico, 0,2 mg Na_2SeO_3 /kg pienso (Sel).

Tabla V.1. Composición cuantitativa (%) del núcleo granulado de los piensos suministrados a los corderos.

Componente	Dietas (D)								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Cebada	72,7	72,7	72,7	72,7	70,2	70,2	70,2	70,2	70,2
Soja 44%	15,1	15,1	15,1	15,1	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3
Pulpa de Tomate	-	-	-	-	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Grasa B-P 99	-	-	-	-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Cascarilla Soja	9,0	9,0	9,0	9,0	-	-	-	-	-
Carbonato Cálcico	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Sal	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ovigras	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Cloruro Amónico	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
MV-VE50SeO	0,4	-	-	-	0,4	-	-	-	-
MV-VE500SeO	-	0,4	-	-	-	0,4	-	-	-
MV-VE50Sel	-	-	0,4	-	-	-	0,4	-	-
MV-VE250Sel	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-
MV-VE500Sel	-	-	-	0,4	-	-	-	-	0,4

MV: Corrector minero-vitamínico.

VE (Vit. E): VE50, VE250 y VE500 (50, 250 y 500 mg α -tocoferol/kg de pienso, respectivamente).

Se (selenio): SeO (Se orgánico; 0,2 mg "Se-yeast"/kg pienso) y Sel (Se inorgánico; 0,2 mg Na_2SeO_3 /kg pienso).

Tabla V.2. Composición y valor nutritivo (%) del núcleo granulado de los piensos suministrados a los corderos.

Composición	Dietas (D)								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Materia seca (%)	89,55	89,57	89,54	89,56	90,60	90,60	90,60	90,57	90,57
Cenizas (%)	15,97	15,97	15,97	15,76	16,25	16,25	16,06	16,06	16,06
Grasa bruta (%)	2,36	2,36	2,36	2,36	9,24	9,24	9,14	9,14	9,14
Fibra bruta (%)	14,56	14,54	14,55	14,56	15,54	15,57	15,56	15,56	15,56
Proteína bruta (%)	32,07	31,96	32,02	32,13	31,56	31,53	31,76	31,76	31,76

V.1.5. ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA.

Para realizar el Ensayo 3, el envasado en atmósfera modificada se llevó a cabo en la planta piloto del Centro Tecnológico Nacional Agroalimentario de Extremadura (CTAEX) situado en Villafranco del Gadiana (Badajoz). Se utilizó una mezcla de gas alimentario compuesto por un 70% de O_2 y un 30% de CO_2 . El material de envasado utilizado fueron bandejas de polipropileno, con una permeabilidad al oxígeno de $2,5 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atSTP}$ (Hinagal, S.L.) selladas con

un material de poliamida/polietileno de 70 μm de espesor con una permeabilidad al oxígeno de $45 \text{ cm}^3/\text{m}^2/24\text{h/atSTP}$ (Hinagal, S.L.). Tras el envasado, las bandejas fueron almacenadas en refrigeración (4°C) en la Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura (Figura V.1). Para el estudio de la calidad de la carne envasada en atmósferas protectoras se realizaron 3 tomas de muestras en distintos días de almacenamiento (día 1, 7 y 14), en cada una de las cuales se tomaron 15 muestras ($n=15$) para la realización de los análisis físico-químicos, llevados a cabo utilizando el músculo *Biceps femoris*, como fue descrito en el apartado IV.



Figura V.1. Chuleta de pierna envasada en atmósfera protectora (izquierda) y preparada para su transporte hasta la Escuela de Ingenierías Agrarias de la UEx (derecha).

V.2. MÉTODOS.

V.2.1. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CANAL.

V.2.1.1. Ganancia Media Diaria e Índice de Conversión.

La Ganancia Media Diaria (GMD) y el Índice de Conversión (IC), fueron calculados mediante la monitorización del peso individual de los corderos, así como el control del consumo de pienso por cada lote experimental.

El control del peso de los corderos fue llevado a cabo semanalmente, con los corderos ayunados y cerrándose la tapa de las tolvas de autoconsumo 12 h antes de la pesada. El consumo total de pienso de cada lote experimental fue calculado semanalmente mediante la pesada de la cantidad ofertada y la

rehusada. A partir de esos datos, se calcularon la GMD y el IC mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{GMD} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Días totales de cebo}}$$

$$\text{IC} = \frac{\text{Consumo medio diario}}{\text{GMD}}$$

Cuando el peso de los animales alcanzó el peso de sacrificio previsto, éstos se trasladaron al matadero.

V.2.1.2. Peso en Caliente de la Canal, Peso de la Canal en Frío y Rendimiento.

Al llegar al matadero, los corderos en ayuno fueron pesados, obteniendo el peso vivo en matadero (PVM). Tras el sacrificio de los corderos, se determinó el peso en caliente de la canal (PCC), y transcurridas 24 horas de oreo en una cámara de refrigeración (4°C) se determinó su peso en frío (PCF). Con ello pudo determinarse el rendimiento en matadero, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{PCF}}{\text{PVM}} \times 100$$

V.2.1.3. Conformación y engrasamiento.

Mediante ganchos de dimensiones estándar las canales fueron suspendidas por los corvejones, manteniéndolos separados, con las espaldas libres y las extremidades anteriores sin atar al cuello, evaluándose en esta posición la conformación y el engrasamiento de forma subjetiva.

La valoración subjetiva de la conformación se realizó mediante la escala de conformación y los patrones fotográficos del modelo comunitario de clasificación de canales de ovino (Comisión Europea, 1992). Este modelo describe en primer lugar el aspecto general de la canal (forma de los perfiles y

desarrollo muscular) y en segundo lugar el de ciertas regiones anatómicas (cuartos traseros, lomo y paletilla), clasificando las canales según una escala de seis puntos (escala SEUROP), correspondiendo la clase S a canales de conformación superior y la clase P a canales de conformación inferior (Figura V.2). En este trabajo, en la valoración se tuvieron en cuenta cinco puntos de la escala (EUROP), y fueron subdivididos en "+" y "-", ampliándose las clases de conformación hasta 15 puntos, como se muestra en la Tabla V.3.

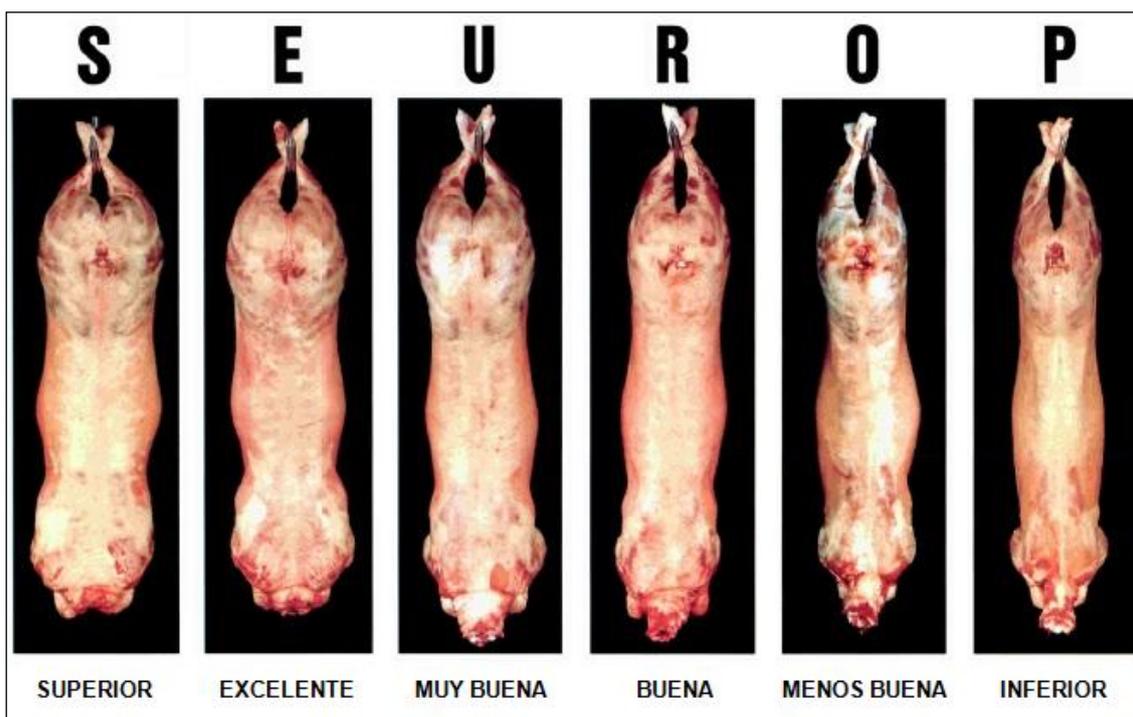


Figura V.2. Patrones fotográficos utilizados para la calificación de la conformación (modelo comunitario de clasificación de canales de ovino, Comisión Europea, 1992).

Tabla V.3. Escala de puntuación utilizada para la medición de la conformación de la canal.

Nivel de la Escala	E+	E	E-	U+	U	U-	R+	R	R-	O+	O	O-	P+	P	P-
Puntuación	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

La valoración subjetiva del estado de engrasamiento se realizó utilizando los patrones fotográficos del modelo comunitario de clasificación de canales de

ovino (Comisión Europea, 1992). Este modelo describe el estado de engrasamiento externo de la canal (capa de grasa que recubre la canal) y el estado de engrasamiento interno (recubrimiento de grasa abdominal y torácico), clasificando las canales según una escala de cinco puntos, correspondiendo la clase 1 a canales con un estado de engrasamiento muy escaso y la clase 5 a canales con un estado de engrasamiento muy importante (Figura V.3). En la valoración, los cinco puntos de la escala fueron subdivididos en "+" y "-", ampliándose las clases de conformación hasta 15 puntos, como se muestra en la Tabla V.4.

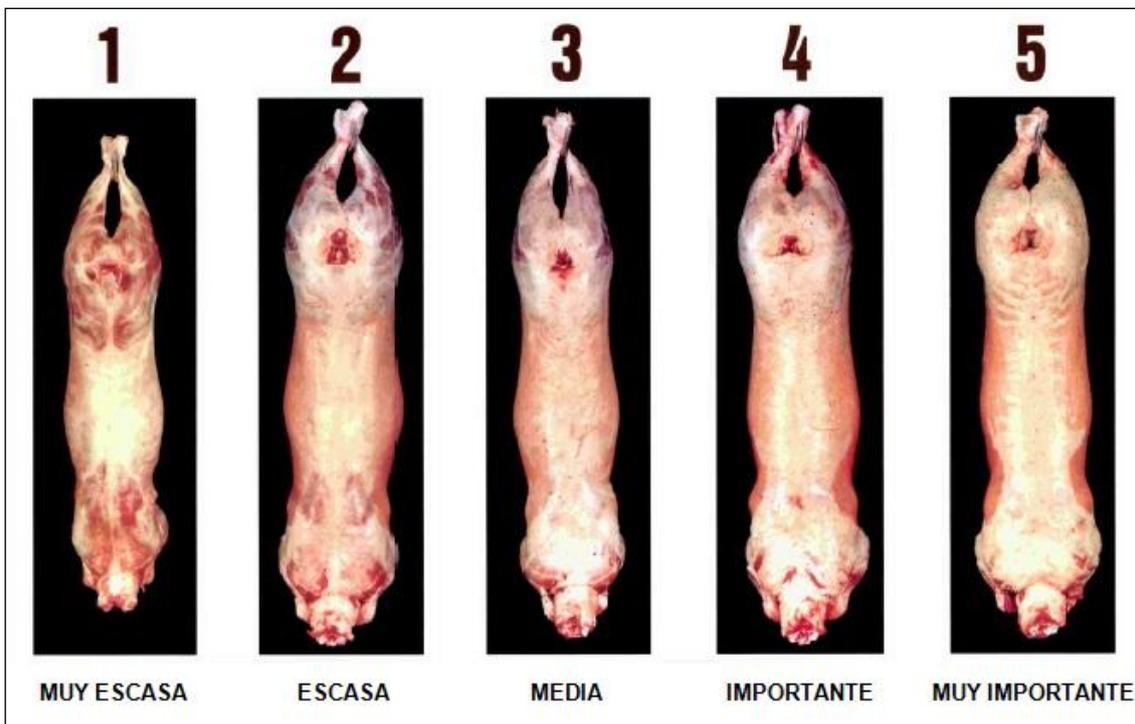


Figura V.3. Patrones fotográficos utilizados para la calificación del estado de engrasamiento (modelo comunitario de clasificación de canales de ovino, Comisión Europea, 1992).

Tabla V.4. Escala de puntuación utilizada para la medición del estado de engrasamiento de la canal.

Nivel de la Escala	5+	5	5-	4+	4	4-	3+	3	3-	2+	2	2-	1+	1	1-
Puntuación	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

V.2.1.4. pH de la canal.

El pH final de la canal fue medido con un pHmetro de punción en el músculo *Longissimus lumborum*, entre la cuarta y quinta vértebra lumbar, transcurridas 24 h *post mortem*. El electrodo fue introducido de forma perpendicular al músculo, a unos 4 cm de profundidad, evitando el contacto de la sonda con la grasa o el tejido conectivo.

V.2.1.5. Color.

El color instrumental de la canal fue medido en el músculo *Rectus abdominis*, sobre la superficie libre de grasa, en la media canal izquierda, entre la cuarta y quinta vértebra lumbar. Se utilizó un colorímetro portátil Chroma Meter CR-300. Se recogieron medidas de reflectancia desde un ángulo de visión de 0° con iluminante tipo D65. Se obtuvieron las coordenadas L* (luminosidad), a* (relación rojo/verde) y b* (relación amarillo/azul) (Comisión Internationale de l'Eclairage, 1986).

V.2.2. PARÁMETROS DE COMPOSICIÓN GENERAL DE LA CARNE.

V.2.2.1. Materia seca.

La materia seca se determinó siguiendo el método descrito por la AOAC (2000). Se desecaron las cápsulas de porcelana, que contenían arena de mar lavada de grano fino, a 103°C durante 30 minutos. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente en un desecador con gel de sílice deshidratado y se pesaron. Sobre ellas se añadieron 2 g de muestra finamente picada y se mezclaron adecuadamente con la arena, facilitándose esta combinación por la adición de 1ml de etanol. Tras obtener una mezcla homogénea, las cápsulas se introdujeron en una estufa a 105°C hasta peso constante. Posteriormente se enfriaron hasta temperatura ambiente en un desecador, calculándose la materia seca por la diferencia de pesada entre el peso inicial de la cápsula con arena y el peso final de la cápsula más la muestra desecada.

V.2.2.2. Proteína total.

La determinación del nitrógeno total de las muestras se realizó mediante el método Kjeldahl (AOAC, 2000). Se partió de un gramo de muestra homogeneizada, la cual fue sometida a un proceso de digestión con 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, 15 g de sulfato potásico anhidro, 0,4 g de sulfato de cobre y selenio como catalizador. La muestra digerida se destiló tras la adición de hidróxido sódico al 30%, recogiendo el destilado en 100 ml de ácido bórico al 2%. El amoníaco recogido se valoró con ácido clorhídrico 0,1 N, empleándose para detectar el punto final de la valoración un indicador mixto (rojo de metilo/azul de metileno). El contenido en proteína se obtuvo multiplicando el valor hallado en la determinación de nitrógeno total por 6,25.

V.2.2.3. Grasa intramuscular.

La determinación del contenido en grasa intramuscular se hizo mediante una extracción con cloroformo y metanol en la proporción 2:1 según el método descrito por Folch y col. (1957). Inicialmente fueron pesados 2,5 g de carne y picados. Esta carne fue homogeneizada con 50 ml de cloroformo:metanol en proporción 2:1, en un tubo de centrifuga. El homogeneizado se tuvo entre 15 y 20 minutos en un orbital agitador, y transcurrido este tiempo, se realizó un centrifugado a 8000 rpm durante 3 minutos. Posteriormente se filtró, quedando retenida la carne, pasándose el filtrado a otro tubo de centrifuga al que se añadió 11,5 ml de agua con un 0,8% de cloruro sódico. Después de una breve agitación, se volvió a centrifugar, esta vez a 9000 rpm durante 10 minutos, obteniéndose dos fases claramente diferenciadas, recogiendo la superior con pipeta automática y pasteur. La fase inferior (con la grasa) se pasó a un matraz erlenmeyer de boca esmerilada, a través de un filtro con sodio sulfato anhidro. Posteriormente se procedió a la evaporación del cloroformo en un rotavapor, recuperando la grasa con un poco del mismo en un vial previamente pesado. El cloroformo utilizado para recuperar la grasa fue evaporado del vial a través de una corriente de nitrógeno. Los viales fueron pesados antes y después de la adición de la grasa, pudiendo hacer posible la cuantificación de la grasa por diferencia de pesadas.

V.2.2.4. Cenizas.

La materia seca se determinó siguiendo el método descrito por la AOAC (2000). Se pesaron 5 gramos de la muestra en una cápsula de incineración previamente calcinada y tarada. Se introdujo la cápsula en un horno mufla a 550°C hasta la obtención de cenizas blancas o gris claro. Se colocó posteriormente la cápsula en el desecador y, una vez enfriada, se pesó y se halló la cantidad total de cenizas restándole el peso de la cápsula vacía.

V.2.3. PARÁMETROS DE INTERÉS TECNOLÓGICO.

V.2.3.1. pH de la carne.

El pH final de la carne fue medido con un pHmetro de punción en el músculo *Biceps femoris*. Para su medida se introdujo el extremo del pHmetro de punción en el interior de las chuletas obtenidas tras el corte transversal de las extremidades posteriores, como se explica en el apartado IV de diseño experimental.

V.2.3.2. Color instrumental de la carne.

El color de la superficie de corte de los filetes de cordero se analizó utilizando un colorímetro portátil Chroma Meter CR-300. Se recogieron medidas de reflectancia desde un ángulo de visión de 0° con iluminante tipo D65. Se obtuvieron las coordenadas L* (luminosidad), a* (relación rojo/verde) y b* (relación amarillo/azul) (CIELab, 1986).

Las determinaciones del color de la carne de cordero se realizaron en la superficie de las muestras, tomándose tres medidas en distintas zonas del músculo *Biceps femoris*.

V.2.3.3. Mioglobina.

Para la determinación del contenido en mioglobina (Mb) del músculo *Biceps femoris* se usó el método descrito por Hornsey (1956). Para ello se

tomaron 10 g de muestra previamente triturada que se introdujeron en un matraz erlenmeyer de boca esmerilada, al que se añadieron 40 ml de acetona más 2 ml de agua destilada. Tras la agitación de la mezcla se añadió 1 ml de ácido clorhídrico 12 M, se homogeneizó y se tapó el matraz erlenmeyer, manteniéndolo durante 12 horas en refrigeración y en oscuridad.

El homogeneizado obtenido se filtró a través de papel de filtro, tras lo cual se midió la absorbancia a 640 nm empleándose una mezcla de acetona:agua:ClH como blanco. Para obtener el contenido en hematina en partes por millón (ppm), se multiplicó el valor de la absorbancia por 680. Para expresar los resultados de concentración de mioglobina en mg Mb/g carne fresca, la hematina (ppm) se multiplicó por el factor 0,026 que resulta del cociente del peso molecular hematina/mioglobina.

V.2.3.4. Capacidad de retención de agua.

Para el estudio de la capacidad de retención de agua (CRA), se siguió el método descrito por Grau y Hamm (1953). En primer lugar se pesaron 1,5 g de carne (*Biceps femoris*) e inmediatamente después fue envuelta en papel de filtro previamente pesado. A continuación, los paquetes con la carne fueron introducidos en tubos de centrifuga y sometidos a centrifugado durante 20 minutos a 4.000 rpm. Tras el centrifugado, la carne fue retirada del papel de filtro, y este fue pesado de nuevo. La CRA de la carne fue calculada por diferencia de pesadas de los papeles de filtro que contenían la carne.

V.2.3.5. Pérdidas por cocinado.

La determinación de las mermas por el cocinado se llevo a cabo mediante la diferencia de peso durante el cocinado de filetes procedentes de la región proximal de la extremidad posterior de los animales. Los filetes tenían 1 cm de espesor y 4 cm² de superficie, con un peso aproximado de 100 g, sometido a un tratamiento térmico.

V.2.3.6. Fuerza de corte Warner-Bratzler.

Se evaluó la ternera de las muestras aplicando el método de corte Warner-Bratzler a una sección de carne previamente cocida, una prueba que permite calcular la resistencia al corte de la muestra al aplicar una fuerza dada. La carne fue envasada a vacío en bolsas de nylon/polietileno (rango de permeabilidad al oxígeno de 9,3 ml de O₂/m²/24h a 0°C) y cocinada por inmersión en un baño con agua a 75°C durante 45 minutos (Combes y col., 2003). La sección de carne se obtuvo cortando un paralelepípedo del filete cocinado de un centímetro de alto y un centímetro de ancho. El eje más largo de la sección fue paralelo a la fibra muscular. Las secciones de carne se colocaron perpendicularmente a la cuchilla triangular (HDP/BS) del equipo Warner-Bratzler y se determinó, por duplicado, la fuerza requerida para hacer el corte.

V.2.4. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA FRACCIÓN LIPÍDICA.

V.2.4.1. Composición en ácidos grasos.

- Extracción de la grasa intramuscular.

La extracción de la grasa intramuscular del músculo *Biceps femoris* se hizo siguiendo el método de Folch y col. (1957), según se describe en el apartado V.2.2.3.

- Metilación de los ácidos grasos de la grasa intramuscular.

Para el análisis de los ácidos grasos de la grasa intramuscular es necesaria su derivatización en los correspondientes ésteres metílicos mediante *trans*-esterificación ácida en presencia de metanol (Sandler y Karo, 1993). Para ello, se utilizaron 50 mg de grasa, que se hicieron reaccionar con 1 ml de metilato sódico (0,5% de sodio metálico en metanol anhidro). La mezcla se mantuvo en la estufa durante 30 minutos a 80°C. Los tubos se agitaron cada 10-15 minutos. Transcurrido ese tiempo se añadió 1 ml de ácido sulfúrico en metanol (5% de ácido sulfúrico) en cada tubo y, de nuevo, fueron llevados a la

estufa a 80°C durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, y tras enfriarse los tubos, se les añadió 1 ml de hexano y 1 ml de una disolución sobresaturada de cloruro sódico.

Las muestras se agitaron en un agitatorubos durante 1 minuto, seguido de un tiempo de reposo para asegurar la separación entre la fase acuosa y la etérea. Se recogió la fase etérea superior, que contenía los ésteres metílicos, y se dispuso en viales con cierre de aluminio, que se utilizaron para el análisis cromatográfico.

- Análisis de los ácidos grasos mediante cromatografía gaseosa.

La separación, identificación y cuantificación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos se llevó a cabo con un cromatógrafo de gases equipado con un inyector automático y con un detector de ionización de llama (FID) (descritos en el apartado V.1.2). Las condiciones cromatográficas aparecen reflejadas en la Tabla V.5.

La identificación de los ácidos grasos se realizó por comparación de los tiempos de retención de los ésteres metílicos con patrones sometidos a las mismas condiciones de ensayo que las muestras. Los resultados fueron expresados en porcentajes de ácidos grasos, con respecto al total de los mismos.

Tabla V.5. Condiciones cromatográficas para la separación e identificación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos.

Condiciones Cromatográficas	
Volumen de inyección:	1 µl
Flujo del gas portador (N ₂):	1,8 ml/min
Temperatura del horno:	230°C
Temperatura del inyector:	280°C
Temperatura del detector (FID):	280°C

V.2.4.2. Determinación del contenido en α -tocoferol.

La determinación del contenido en vitamina E (α -tocoferol) en la carne de cordero se llevó a cabo siguiendo el método descrito por Rey y col. (1996). Se pesaron 0,8 g de carne en un tubo de homogeneización. Se añadieron 6 ml de un buffer fosfato/HCl (0,054M, pH 7). El contenido se homogeneizó durante 1 minuto en un baño de agua con hielo, repitiéndose la operación otra vez, con una cantidad de tampón de 3,2 ml, consiguiéndose un volumen final de 10 ml. Posteriormente fueron añadidos 15 ml de etanol absoluto y 3 ml de hexano. Tras agitación (en vortex durante 30 segundos), las muestras fueron centrifugadas (a 2000 rpm, 5 min, 4°C). Se recogió la fase superior con pipeta Pasteur en tubos de 12 ml. Se repitió la operación dos veces, con 2 ml de hexano cada una. El hexano fue evaporado bajo corriente de nitrógeno y cuando quedaban 0,5 ml, fue transferido a viales de cromatografía. En ellos, el hexano fue evaporado totalmente con corriente de nitrógeno, y finalmente se añadieron 200 μ l de etanol para su posterior análisis cromatográfico. Este análisis fue llevado a cabo mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), utilizándose como fase móvil una mezcla de metanol:agua (97:3) a un flujo de 2 ml/min. La detección se realizó mediante un detector ultravioleta fijado a 292 nm. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con el correspondiente patrón. Por último, la cuantificación se realizó a partir de una curva de calibración utilizando cantidades conocidas de patrón de α -tocoferol y fue expresada en forma de mg/kg de muestra.

V.2.4.3. Determinación del contenido en licopeno.

La determinación del licopeno en el músculo *B. femoris* se llevó a cabo mediante el método descrito por Mestre y col. (2006) para determinación de β -caroteno en carne. Para ello, en primer lugar se pesaron 0,75 g de carne, previamente picada, en tubos de ensayo con rosca y por duplicado. A continuación se añadieron 0,2 g de ácido L-ascórbico y 5,5 ml de una disolución de hidróxido potásico (11% p/v) disuelto en una mezcla de etanol absoluto (55% v/v) y agua destilada (45% v/v). Inmediatamente después, las muestras fueron agitadas en un vortex con el fin de evitar una aglomeración de

la carne. A continuación se les aplicó a los tubos una corriente de nitrógeno, desplazando al aire con el fin de eliminarlo de la reacción. En ese momento, se cerraron los tubos con un tapón de rosca, se sellaron con teflón y se volvieron a agitar en el agitator, con el fin de disolver totalmente el ácido ascórbico. La saponificación se llevó a cabo en una estufa a 80°C durante 15 min, agitándose los tubos cada 3 min. Tras la saponificación, se enfriaron los tubos con hielo picado y se les añadió 1,5 ml de agua destilada. A continuación se introdujeron en los tubos 3 ml de una disolución de hexano con butilhidroxitolueno (25 µl BHT/ml hexano) y se agitaron en un vortex durante 2 min. Seguidamente las muestras fueron centrifugadas a 1500 rpm durante 5 min, encontrándose el interior de la centrífuga a 4°C. Tras el centrifugado, se recogió la fase superior con una pipeta automática y se filtró a través de sodio sulfato anhidro. A continuación se llevó a cabo la evaporación del hexano mediante una corriente de nitrógeno, tras la cual la muestra se redisolvió en 0,5 ml de hexano, que fueron pasados a viales de cromatografía. El hexano de los viales fue evaporado nuevamente mediante corriente de nitrógeno y tras añadir 200 µl de acetona a los viales, éstos fueron sellados. Finalmente, el análisis cromatográfico del licopeno fue llevado a cabo mediante un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC), utilizando una columna RP 18 (250 mm long x 4 mm ID y 5 µm de tamaño de partícula) utilizándose como fase móvil acetona con acetonitrilo (1 ml/l acetona) a un flujo de 1,5 ml/min. El volumen de inyección fue de 20 µl. La detección se realizó mediante un detector Diode-array fijado a 450 nm. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con un compuesto patrón de licopeno.

V.2.4.4. Determinación del contenido en malondialdehído.

El grado de oxidación lipídica se determinó mediante el test del ácido tiobarbitúrico (TBA), siguiendo el procedimiento descrito por Jorgensen y Sorensen (1996). Inicialmente se pesaron 3 g de tejido magro, en tubos de centrífuga. Posteriormente se añadieron 9 ml de una solución de ácido tricloroacético (TCA) al 7,5%, que contenía 0,1% de propilgalato (PG) y 0,1% de etilendiaminatetraacético (EDTA) y se homogeneizó durante 45 segundos. A

continuación se centrifugó 5 minutos a 10.000 rpm y se filtró durante 10 minutos. De cada muestra se tomaron 3 ml de filtrado por duplicado y seguidamente se añadieron 3 ml de TBA (288,3 mg por cada 100 ml de agua mQ) a cada una de las alíquotas. Posteriormente los tubos con el filtrado y el TBA se introdujeron en un baño con agua a 100°C durante 40 min. Transcurrido este tiempo, la mezcla se enfrió y se centrifugó a 4500 rpm durante 10 minutos. Una vez terminado el proceso, se llevó a cabo la medición de la absorbancia en un espectrofotómetro a dos longitudes de onda, 532 y 600 nm. El blanco estaba compuesto de 3 ml de TCA y otros tantos de TBA. El contenido de malondialdehído (MDA) se calculó mediante una curva de calibración, utilizando disoluciones de MDA (Merck, Schuchardt) que siguieron el mismo proceso que las muestras. Los valores del índice del TBA se expresaron como mg de malonaldehído/Kg de muestra.

V.2.4.5. Determinación del contenido en hexanal.

El nivel de oxidación de las muestras se determinó mediante extracción y cuantificación del contenido en hexanal, siguiendo el método descrito por Andrés y col. (2002). Para ello se extrajeron los volátiles del espacio de cabeza mediante microextracción en fase sólida (EC-SPME). Se pesaron en un vial de vidrio 0,5 gramos de muestra picada y se añadieron 1,5 ml de agua destilada, agitándose hasta conseguir una mezcla uniforme. Posteriormente, el vial se selló con un tapón de plástico con septum de teflón/silicona y se insertó una fibra de SPME (Supelco Co., Bellefonte, PA) de carboxen/poli(dimetilsiloxano) de 75 µm de espesor). La extracción de compuestos volátiles del espacio de cabeza se llevó a cabo mientras el vial era sometido a calentamiento en un baño a 40°C durante 30 min en agitación constante. A continuación se procedió a la inserción de la fibra en el inyector del cromatógrafo de gases HP5890GC serie II (Hewlett-Packard) acoplado a su vez a un detector selectivo de masas HP5791 (Hewlett-Packard). La desorción de los compuestos volátiles retenidos en la fibra se llevó a cabo en el inyector del cromatógrafo.

La figura V.4 representa el esquema del proceso de toma de muestras y de inyección en el inyector del cromatógrafo. La temperatura del inyector se fijó

a 280°C en modo splitless. Para la separación de los compuestos se utilizó una columna capilar de sílice fundido de tipo HP5 (5% de fenil metil silicona) (50 m x 0,32 mm x 1,05 μm de espesor). El gas portador fue helio a un flujo de 1,45 ml/min. Las condiciones cromatográficas empleadas para la separación de hexanal se muestran en la Tabla V.6. El espectro de masas se obtuvo mediante impacto electrónico a 70 eV, un electrón multiplicador voltio de 1756V y la recogida de datos a una velocidad de 1 scan/segundo entre un rango de masas de 30 a 500.

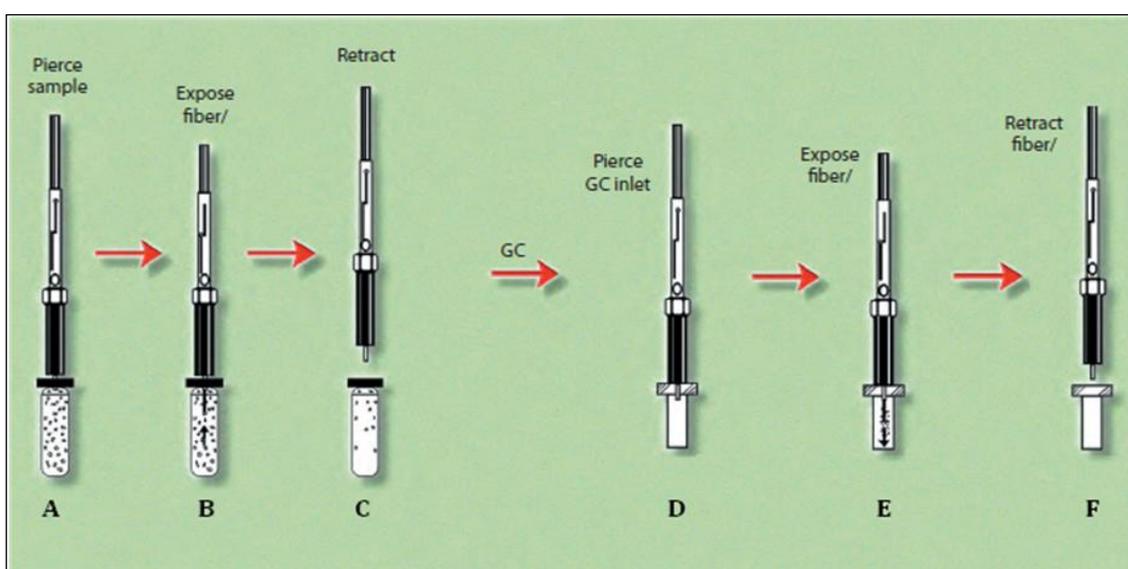


Figura V.4. Representación esquemática del proceso de toma de muestras para determinación del contenido en hexanal. (A) Inyección en el septum del vial; (B) Extracción de la fibra para toma de muestras; (C) Retracción de la fibra; (D) Inyección en el inyector del cromatógrafo de gases (E) Extracción de la fibra para la desorción de los volátiles; (F) Retracción de la fibra.

Tabla V.6. Condiciones cromatográficas para la identificación y análisis del hexanal.

Condiciones Cromatográficas	
Temperatura inicial del horno:	35°C - 5 min
Rampa de temperatura:	4°C/min hasta 150°C
	20°C/min hasta 250°C
	250°C - 5 min
Temperatura de la interfase:	180°C

Para la identificación del pico de hexanal se comparó el espectro obtenido con el del patrón y con la librería de espectros Wiley y NIST/EPA/NIH. La cuantificación del hexanal en las muestras fue posible mediante una curva de calibración por triplicado, utilizando disoluciones de hexanal (Sigma, St Louis, USA) que siguieron el mismo proceso que las muestras. Los resultados se expresaron en mg de hexanal/kg de músculo.

V.2.5. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE GASES EN LOS ENVASES.

Para analizar la composición de gases en el envase se colocó un parche en la superficie del envase a través del cual se realizó la inyección en el espacio de cabeza del mismo y se extrajo una alícuota de 6 ml de gas. Mediante el uso del analizador de gases descrito en el apartado V.1.2 se obtuvieron medidas en porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono.

V.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico SPSS 15.0 (SPSS Institute Inc Cary, NC). Se realizó un análisis descriptivo con el fin de calcular las medias y el error estándar de la media de las mediciones obtenidas para cada parámetro. En el Ensayo 1 se utilizó el procedimiento MLG (Modelo Lineal General) para llevar a cabo un análisis de la varianza de dos vías con interacción, con los suplementos de pulpa de tomate y vitamina E como efectos principales. En el Ensayo 2, se llevó a cabo un análisis de la varianza de una vía con la variable adición de Selenio orgánico/inorgánico como efecto principal. Los datos del Ensayo 3 se analizaron mediante un análisis de la varianza de dos vías con interacción para estudiar el efecto de la adición de pulpa de tomate y de vitamina E a los piensos concentrados. El efecto del tiempo de almacenamiento (días) se estudió también en el Ensayo 3 mediante un análisis de la varianza de una vía. El nivel de significación estadística se definió como $P < 0,05$. En los casos en que el efecto de algunas de estas variables independientes fue significativo, las medias se compararon mediante

el test de Tukey ($P < 0,05$). Las correlaciones entre las variables se establecieron mediante un análisis de correlación de Pearson utilizando el paquete estadístico SPSS 15.0 (SPSS Institute Inc Cary, NC) y un nivel de significación estadística de $P < 0,05$.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.-

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

VI.1. ENSAYO 1: ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PULPA DE TOMATE Y VITAMINA E, EN LA DIETA DE LOS CORDEROS DURANTE EL CEBO, SOBRE LOS PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS *IN VIVO*, LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y LA COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE FRESCA DE CORDERO.

VI.1.1. PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS *IN VIVO*.

En la Tabla VI.1 se recogen los valores de los distintos parámetros zootécnicos estudiados *in vivo* en este trabajo, desde el nacimiento hasta el sacrificio de los corderos.

El peso de nacimiento de los corderos seleccionados estuvo comprendido entre 3,8 y 4,3 kg, no presentando diferencias significativas ($P>0,05$) entre los diferentes lotes estudiados en función de la incorporación de pulpa de tomate (0 kg PT/100 kg pienso y 10 kg PT/100 kg pienso, PT0 y PT10 respectivamente) o de vitamina E (50, 250 y 500 mg/kg de pienso; VE50, VE250 y VE500 respectivamente) en el pienso.

Los corderos fueron destetados con 38-39 días de media, todos ellos con un peso medio de entre 12-13 kg, no existiendo por lo tanto diferencias significativas ($P>0,05$) entre los diferentes lotes estudiados en este ensayo.

Todos los animales fueron sacrificados con un peso vivo medio comprendido entre 21-22 kg. Para llegar a este peso, los corderos que fueron alimentados con pienso adicionado con un 10% de pulpa de tomate (PT10), necesitaron más tiempo de cebo que los que no se les incluyó este subproducto (PT0) en la dieta ($P_{PT}<0,05$) (82,3 frente a 78,3 días, respectivamente), lo que supone una mayor ($P<0,05$) ganancia media diaria (GMD) en el lote PT0 (0,27 kg) con respecto al lote PT10 (0,25 kg).

Tabla VI.1. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre los parámetros zootécnicos in vivo (media \pm error estándar).

	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
Peso Nacimiento (kg)	4,32 \pm 0,86	3,98 \pm 0,78	4,11 \pm 0,82	3,82 \pm 0,54	4,23 \pm 0,89	ns	ns	ns
Edad Destete (días)	38,38 \pm 1,26	38,71 \pm 1,69	38,29 \pm 1,50	38,50 \pm 1,37	38,85 \pm 1,09	ns	ns	ns
Peso Destete (kg)	12,86 \pm 0,93	12,82 \pm 1,08	13,06 \pm 1,20	12,42 \pm 1,19	12,73 \pm 0,78	ns	ns	ns
Edad Sacrificio (días)	78,34 \pm 1,28	82,27 \pm 1,06	80,24 \pm 1,23	80,60 \pm 1,92	80,85 \pm 1,38	*	ns	ns
Peso Sacrificio (kg)	21,88 \pm 0,21	22,01 \pm 0,17	22,05 \pm 0,20	21,90 \pm 0,43	21,87 \pm 0,20	ns	ns	ns
Ganancia Media Diaria (kg)	0,27 \pm 0,01	0,25 \pm 0,01	0,26 \pm 0,01	0,27 \pm 0,01	0,26 \pm 0,01	*	ns	ns
Índice Conversión	3,84 \pm 0,11	3,98 \pm 0,12	3,97 \pm 0,12	4,04 \pm 0,19	3,84 \pm 0,13	ns	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05.

Los valores de GMD obtenidos en nuestro estudio fueron similares a los encontrados por López y col. (2009) en corderos merinos alimentados con 15 kg PT/100 kg pienso. Al estudiar el efecto de la PT sobre la GMD, se observaron diferencias entre los corderos a los que se les suministró pulpa de tomate (10%) con respecto a los que no se les incorporó pulpa de tomate en la dieta ($P_{PT} < 0,05$). Scerra y col. (2001) también encontraron menores valores de GMD en corderos alimentados con pulpa de cítricos. Estas diferencias pueden ser debidas a la composición en proteína bruta de las dietas experimentales, ya que la velocidad de crecimiento de los corderos aumenta al hacerlo el contenido en proteína bruta de la ración (Tayer y Bryant, 1988; Fluharty y McClure, 1997; Fernández, 2000). Así, las dietas que contenían pulpa de tomate (PT10) presentaban de media un 31,67% de proteína bruta, mientras que las dietas sin pulpa de tomate (PT0) contenían un 32,05%. En esta línea, Rodríguez (2005) también encontró diferencias significativas en los días requeridos para que los animales alcanzaran el peso establecido para el sacrificio al incorporar pulpa de remolacha en la dieta de los corderos. En contraposición, cabe destacar que López y col. (2009), con incluso mayores niveles de PT en la dieta (hasta el 15%), no encontraron ningún efecto de la misma sobre la GMD de corderos merinos. Del Valle y col. (2006), evaluaron la composición química de la pulpa de tomate desecada proveniente de distintos puntos de la geografía nacional y constataron que la pulpa de tomate es un subproducto rico en nutrientes y que puede ser utilizado como una fuente potencial de fibra, proteína y grasa. Con respecto a la suplementación con los tres niveles de vitamina E aplicados en el presente trabajo (50, 250 y 500 mg/kg de pienso), no se apreciaron diferencias en la GMD ($P_{VE} > 0,05$), por lo que la incorporación de este antioxidante en la dieta no afectó a este parámetro de crecimiento en las condiciones de este estudio. Al igual que en este trabajo, otros autores tampoco encontraron diferencias en la GMD de corderos al incorporar diferentes niveles de α -tocoferol en la dieta (Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Kasapidou y col., 2012; Berthelot y col., 2014).

Con respecto al índice de conversión (IC, kg de concentrado/kg de aumento de peso vivo), éste estuvo comprendido entre 3,84-4,04. Estos resultados fueron similares a los encontrados por López (2006) en corderos de

raza Merina y por Cañeque y col. (1999) en corderos de raza Talaverana. López (2003), en un estudio en el que se incorporaron tasas crecientes de alpeorajo en la dieta de corderos merinos, encontró que la cantidad de pienso necesaria para aumentar un kg de peso estaba en el rango de 3,1-3,8 kg. Al estudiar el efecto de la inclusión de la PT en el pienso sobre el IC, no se encontraron diferencias entre el grupo de corderos cuyos concentrados contenían un 10% de PT en comparación con los que no presentaban PT ($P_{PT}>0,05$), al contrario de lo que sucedía con la GMD. Rodríguez (2005) y Richardson y col. (2003), tampoco encontraron diferencias en el IC, entre animales alimentados con una dieta que contenía un 13% de pulpa de remolacha y aquellos alimentados con cereales. Igualmente, al estudiar el efecto de la vitamina E sobre el IC, este no fue significativo a diferentes niveles aplicados (VE50, VE250 y VE500) ($P_{VE}>0,05$). Otros autores tampoco encontraron diferencias en el IC de corderos suplementados con diferentes niveles de α -tocoferol (Kasapidou y col., 2012; Zhao y col., 2013).

En lo que al efecto de la adición de vitamina E al pienso se refiere, no se observaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros zootécnicos estudiados ($P_{VE}>0,05$). La edad de sacrificio necesaria para alcanzar los 21-22 kg de peso de sacrificio estuvo comprendida entre 80,6-80,9 días, obteniéndose una GMD de 0,26-0,27 kg y un IC de 3,84-4,04.

VI.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.

Los principales factores que definen la calidad de la canal de ovino son el peso, la conformación, la composición regional, el grado de engrasamiento y la composición tisular, así como diversas características de la carne y de la grasa como el color y la consistencia (Sañudo y col., 1991a).

El peso de la canal es una característica de gran interés ya que influye en su conformación, engrasamiento, composición en tejidos y proporción de piezas, y por lo tanto incide directamente en su calidad y precio. Está directamente correlacionado con el peso de sacrificio, y este debe coincidir con el punto de madurez en el cual la raza alcanza un nivel de calidad deseable u óptimo (Delfa y Teixeira, 1998).

El valor comercial de una canal viene dado por su composición tisular, el cual se establece por medio de la clasificación de la misma en base a su conformación y engrasamiento (Ripoll y col., 2005). El grado de engrasamiento se considera un criterio clave para el valor comercial de la canal (Sañudo y col., 2000c). El interés del conocimiento de la composición tisular de cada pieza radica en la importancia que poseen las masas musculares, sobre todo en las regiones anatómicas de mayor valor comercial y con un engrasamiento mínimo pero suficiente para garantizar una buena conservación y palatabilidad de su carne (Pérez y col., 1999).

En la Tabla VI.2 se muestran las mediciones realizadas sobre las canales de los corderos correspondientes a los lotes estudiados en función de la adición de pulpa de tomate y de vitamina E al pienso suministrado a los animales durante el cebo.

El peso de la canal caliente (PCC) es el peso de la canal justo cuando acaba de faenarse en el matadero, y el peso de la canal en frío (PCF) es el peso de la canal después de un periodo de refrigeración, que suele ser de 24 horas. Entre el peso de la canal caliente (PCC) y el peso de la canal en frío (PCF), existen unas pérdidas por refrigeración. Estas pérdidas están relacionadas con el engrasamiento de la canal, disminuyendo al aumentar el mismo (Guía y Cañeque, 1992).

Tabla VI.2. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre las características de la canal (media \pm error estándar).

	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
Peso Canal Caliente (kg)	10,77 \pm 0,14	10,83 \pm 0,11	10,99 \pm 0,13	10,98 \pm 0,24	10,58 \pm 0,13	ns	ns	ns
Peso Canal Fría (kg)	10,48 \pm 0,13	10,58 \pm 0,11	10,69 \pm 0,12	10,73 \pm 0,24	10,33 \pm 0,13	ns	ns	ns
Rendimiento (%)	47,85 \pm 0,34	48,11 \pm 0,34	48,53 \pm 0,39	49,00 \pm 0,52	47,23 \pm 0,32	ns	ns	ns
Conformación ³	8,24 \pm 0,10	8,37 \pm 0,09	8,53a \pm 0,08	8,60a \pm 0,16	8,03b \pm 0,10	ns	*	ns
Engrasamiento ³	7,92 \pm 0,21	8,33 \pm 0,19	8,37 \pm 0,19	7,70 \pm 0,56	8,05 \pm 0,22	ns	ns	ns
pH	5,74 \pm 0,02	5,70 \pm 0,03	5,75 \pm 0,03	5,63 \pm 0,05	5,71 \pm 0,02	ns	ns	ns
L*	44,45 \pm 0,54	45,48 \pm 0,88	44,11 \pm 0,46	46,81 \pm 3,82	45,45 \pm 0,60	ns	ns	ns
a*	12,92 \pm 0,22	12,92 \pm 0,23	12,95 \pm 0,25	12,59 \pm 0,49	12,98 \pm 0,23	ns	ns	ns
b*	2,44 \pm 0,27	2,32 \pm 0,27	2,16 \pm 0,25	2,49 \pm 0,62	2,55 \pm 0,32	ns	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

³Escala según Reglamento CEE nº 2137/92.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05.

a, b: diferentes letras indican diferencias significativas entre lotes VE, P_{VE}<0,05, test de Tukey

En este trabajo, el PCC estuvo comprendido entre 10,58 y 10,99 kg, mientras que el PCF varió entre 10,33 y 10,73 kg, lo que supone una reducción de peso de en torno al 2,36% del PCC. Estos resultados coinciden con los encontrados por López (2006) en cordero Merino sacrificado con los mismos pesos que nuestro estudio.

Con vistas a establecer el valor de un animal vivo como animal apto para carnicería, se necesita saber su rendimiento en matadero, que corresponde al porcentaje de peso de canal frío PCF obtenido con respecto al peso vivo en matadero. En este trabajo, los valores de rendimiento estuvieron comprendidos entre 47,23% y 49,00%. Estos resultados coinciden con los encontrados por López (2006), y fueron mayores a los obtenidos por Peña (2006) en corderos merinos. Al estudiar el efecto de la PT sobre el rendimiento en matadero, no se encontraron diferencias al incorporar 10 kg PT/100 kg pienso en la dieta de los animales ($P_{PT}>0,05$). Rodríguez (2005) tampoco encontró diferencias en el rendimiento al incluir un subproducto en la dieta (pulpa de remolacha). En la misma línea, Scerra y col. (2001) tampoco observaron diferencias en este parámetro al suplementar a los corderos con silo de pulpa de cítricos, y Bodas (2004) tampoco observó ningún efecto de la sustitución parcial de cebada por pulpa de remolacha sobre el rendimiento en matadero. Del mismo modo, en el presente estudio, tampoco se encontraron diferencias en el rendimiento ($P_{VE}<0,05$) al comparar los tres grupos de corderos suplementados con vitamina E (VE50, VE250 y VE500). Berthelot y col. (2014) adicionaron tres niveles de α -tocoferol a la dieta de corderos similares a los de este trabajo (45, 256 y 551 mg/kg), y tampoco encontraron diferencias en el rendimiento de las canales. En la misma línea, otros autores tampoco encontraron diferencias en el rendimiento de la canal de cordero al incorporar vitamina E en la dieta (Kasapidou y col., 2012; Ripoll y col., 2013; Zhao y col., 2013).

La conformación es la característica de la canal que nos indica su forma general. De una manera genérica, la conformación o morfología podría definirse como la distribución y proporción de las diferentes partes que forman un cuerpo, en este caso la canal (Sañudo y col., 1993b). En nuestro trabajo, se obtuvieron valores de conformación comprendidos entre 8,03 y 8,60 (escala

EUROP, descrita en el apartado V.2.1.3), resultados similares a los encontrados por López (2006), que corresponde a la categoría “R” (conformación “buena”). Al igual que sucedía con el rendimiento, no se encontraron diferencias significativas al estudiar el efecto de la PT (sin PT frente a 10 kg PT/100 kg pienso). Rodríguez (2005) tampoco encontró diferencias en la conformación de la canal al incorporar, en su caso, pulpa de remolacha en la dieta de los corderos. En cambio, Caparra y col. (2007) sí que encontraron diferencias en la conformación al incorporar un 45% de pulpa de cítricos en la dieta de los corderos, presentando una categoría inferior dentro de la escala EUROP. En cuanto al efecto de la vitamina E sobre la conformación, sí se encontraron diferencias significativas, siendo el grupo de corderos suplementados con 500 ppm de α -tocoferol el que menores valores de conformación presentó ($P_{VE}<0,01$). Por el contrario, otros autores (Kasapidou y col., 2009; 2012; Berthelot y col., 2013) no encontraron diferencias en la conformación de las canales de cordero al suplementar con niveles similares de vitamina E a las de nuestro trabajo.

En nuestro trabajo, el grado de engrasamiento estuvo comprendido entre 7,70 y 8,33, que corresponde a la categoría “3” (engrasamiento “medio”) de la escala 1-5 descrita en el apartado V.2.1.3. Estos valores son similares a los encontrados por López (2006) y por Rodríguez (2005) en cordero Merino. Al estudiar el efecto de la inclusión de la PT en la dieta sobre el estado de engrasamiento, no se encontraron diferencias entre los animales alimentados con 10 kg PT/100 kg pienso, en comparación con las canales de los que no se les administró PT ($P_{PT}>0,05$). Otros autores tampoco encontraron diferencias en el engrasamiento de la canal al incorporar otros subproductos en la dieta, como la pulpa de remolacha (Bodas, 2004; Rodríguez, 2005) y la pulpa de naranja (Lanza y col., 2001). Con respecto al posible efecto de la suplementación con vitamina E sobre el estado de engrasamiento de las canales, tampoco se encontraron diferencias reseñables ($P_{VE}>0,05$), afectando en igual medida a este parámetro los tres niveles de α -tocoferol incorporados a la dieta (VE50, VE250 y VE500). En esta línea, en otros trabajos tampoco se ha observado que la incorporación de α -tocoferol tenga algún efecto sobre el

grado de engrasamiento de canal de cordero (Kasapidou y col., 2009; Kasapidou y col., 2012; Berthelot y col., 2013)

En cuanto al pH de la canal, tanto su valor final tras la resolución del *rigor mortis* (aproximadamente a las 24 horas después del sacrificio) como su velocidad de caída durante la transformación del músculo en carne, afectan a las características organolépticas (color, jugosidad, flavor...) y tecnológicas de la misma (capacidad de retención de agua y capacidad de conservación) (Sañudo, 1991a). Dada la relación que existe entre el descenso del pH y la transformación del músculo en carne, la determinación de este parámetro constituye una buena medida para conocer el proceso de maduración y valorar la calidad de la carne como producto final del mismo (Purchas, 1990). En este sentido Jeremiah y col. (1991) propusieron identificar canales consideradas como duras mediante el valor final del pH, llegando a la conclusión de que valores de pH comprendidos entre 5,8 y 6,2 tomados en el músculo *Longissimus dorsi* en ganado bovino de varias razas daban lugar a canales que el consumidor apreciaba como duras. Igualmente Beriain y Lizaso (1997), señalaron que a medida que la velocidad de caída del pH se hace mayor y disminuye el pH final de la carne, aumenta su dureza y la cantidad de jugo expelido.

Los valores de pH, medidos sobre el músculo *Longissimus lumborum*, entre la cuarta y quinta vértebra lumbar, estuvieron comprendidos entre 5,63 y 5,75. Estos valores están dentro de un rango normal (Immonen y col., 2000; Vergara y col., 2005) y coinciden con los obtenidos en la canal de cordero por otros autores (Díaz y col., 2001; Caparra y col., 2007; Kasapidou y col., 2009; 2012; Ripoll y col., 2012; 2013; Díaz y col., 2014), por lo que puede decirse que las condiciones de transporte y sacrificio a las que los corderos fueron sometidos fueron las adecuadas para evitar los problemas derivados del estrés. Con respecto al efecto de la incorporación de pulpa de tomate en el pienso sobre el pH de la canal 24h *post-mortem*, no se encontraron diferencias al incorporar 10 kg PT/100 kg pienso en la dieta de los animales ($P_{PT} > 0,05$). Otros autores encontraron resultados similares al estudiar el efecto de otros ingredientes de la dieta, como pulpa de cítricos (Caparra y col., 2007), zulla

(Priolo y col., 2005) o semillas de girasol (Santos-Silva y col., 2003). En cuanto al efecto de la incorporación de vitamina E sobre el pH de la canal, tampoco se encontraron diferencias significativas en los valores de pH ($P_{VE} > 0,05$). En este sentido, en otros trabajos tampoco se aprecia efecto de este antioxidante sobre el pH final de la canal de cordero (Kasapidou y col., 2009; 2012; Ripoll y col., 2013). Esta ausencia de efecto sobre el pH final de la canal podría estar relacionada con el manejo de los corderos (fueron pesados semanalmente) y con el sacrificio, ya que al llevarse a cabo en las mismas instalaciones, se evita el estrés causado por el transporte (Carrasco y col., 2009; Ripoll y col., 2013). El estrés en los animales se traduce en una disminución de los niveles de glucógeno (Jacob y col., 2005), que está relacionado con el pH final (Warris, 2010), encontrándose valores más altos de pH en los animales sacrificados inmediatamente después del transporte al matadero (Jacob y col., 2005; Díaz y col., 2014).

En cuanto al color de la canal, éste fue medido en el músculo recto abdominal (*Rectus abdominis*), con el sistema de representación CIELAB (CIE, 1986). Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L^* (luminosidad), a^* (índice rojo) y b^* (índice de amarillo). El valor L^* (luminosidad) indica la luz reflejada en la superficie de la carne al incidir sobre ella un haz de luz emitido por el colorímetro. Esta coordenada es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Depende de varios factores, como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular (Palombo y Wijngaards, 1990; Sayas, 1997), así como del grado de engrasamiento de la carne y de la concentración de pigmento en la misma (Andrés y col., 2000). La coordenada a^* (rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina, obteniéndose mayores valores de a^* en carnes con mayor contenido en mioglobina (Pérez-Álvarez y col., 1998). La coordenada b^* (amarillo-azul) se relaciona más con el color amarillo de la grasa.

Los valores de las coordenadas CIELab del músculo recto abdominal se muestran en la Tabla VI.2. La luminosidad de la carne (L^*) estuvo comprendida entre 44,11 y 46,81, el color rojo (a^*) entre 12,59 y 12,98, y el color amarillo (b^*) entre 2,16 y 2,55. Estos resultados, en general, son similares a los encontrados

por otros autores en la canal de cordero (Santos-Silva y col., 2003; Bodas y col., 2007; Ekiz y col., 2009; Addis y col., 2013). Al estudiar el efecto de la adición de PT (0 kg PT/100 kg pienso *versus* 10 kg PT/100 kg pienso) sobre el color de este músculo de la canal, no se encontraron diferencias significativas para ninguna de las tres coordenadas de color ($P_{PT}>0,05$). En la misma línea, Bodas y col. (2007) y Santos-Silva y col. (2003) tampoco encontraron diferencias en las coordenadas CIELab al incorporar en la dieta pulpa de remolacha azucarera y semillas de girasol, respectivamente. Con respecto al efecto de la incorporación de vitamina E en la dieta sobre el color del m. *Rectus abdominis*, no se encontraron diferencias en los valores de L*, a* y b* entre los lotes VE50, VE250 y VE500 ($P_{VE}>0,05$). Al igual que en este trabajo, Ripoll y col. (2013) tampoco encontraron diferencias en ninguna de las coordenadas CIELab al estudiar el efecto de la inclusión de vitamina E en la dieta de corderos. En ese estudio, en el que además incorporaron alfalfa en la alimentación, llegaron a la conclusión de que el sistema de alimentación no afecta al color del m. *Rectus abdominis*, ya que en trabajos anteriores tampoco encontraron diferencias en el color de este músculo de la canal (Ripoll y col., 2008; 2012; Roche y col., 2012).

VI.1.3. COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE CORDERO.

VI.1.3.1. Composición general de la carne.

En la tabla VI.3 se recogen los resultados obtenidos del análisis de la composición general de la carne fresca (m. *Biceps femoris*) de los corderos objeto de estudio.

Los valores de materia seca (MS) de la carne fresca en el músculo *Biceps femoris* estuvieron comprendidos entre un 24,18 y 24,47 g/100 g. Estos resultados de MS coincidieron con los encontrados por Macit y col. (2003a), Bodas y col. (2007) y González-Calvo y col. (2014) en carne de cordero, y fueron similares a los datos de humedad encontrados por otros autores en carne de cordero (Gutiérrez, 2008; Perlo y col., 2008; Tejeda y col., 2008; Rufino y col., 2013; Kotsampasy y col., 2014; Jiang y col., 2015). En el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas ($P_{PT}>0,05$) para los valores de MS al incluir pulpa de tomate desecada en la alimentación de los corderos (PT10). Nikolakakis y col. (2004) tampoco encontraron diferencias en los valores de humedad de la carne de conejo al suministrarles un 10% de PT desecada en la dieta. Algo similar encontraron Jiang y col. (2015) al estudiar el efecto de la suplementación de la dieta con licopeno en la materia seca de carne de cordero, y en este sentido, Sevcikova y col. (2008) tampoco observaron diferencias en la MS de la carne de pollo al suplementar con este antioxidante presente en la PT. Otros autores tampoco detectaron diferencias en la concentración de MS (o en su caso humedad) de la carne de cordero al incorporar otros subproductos agroindustriales en la dieta, como pulpa de remolacha azucarera (Bodas y col., 2007), pulpa de cítricos (Lanza y col., 2001; Caparra y col., 2007) y pulpa de granada (Kotsampasy y col., 2014). Al estudiar el posible efecto de los tres niveles de vitamina E suplementados en la dieta (VE50, VE250 y VE500), no se evidenciaron diferencias significativas ($P_{VE}>0,05$) en los valores de MS de la carne fresca. Coincidiendo con nuestros resultados, otros autores tampoco encontraron diferencias significativas en los valores de MS al incorporar vitamina E en la dieta de los corderos (Macit y col., 2003a; Gonzalez-Calvo y col., 2015).

Tabla VI.3. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta, sobre la composición general de la carne (media \pm error estándar).

	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
Materia Seca (g/100g)	24,26 \pm 0,27	24,18 \pm 0,37	24,19 \pm 0,36	24,47 \pm 0,30	24,18 \pm 0,39	ns	ns	ns
Proteínas (g/100g)	21,74 \pm 1,25	21,65 \pm 0,86	21,73 \pm 0,94	21,59 \pm 1,23	21,68 \pm 1,16	ns	ns	ns
Grasa Intramuscular (g/100g)	2,41 \pm 0,62	2,50 \pm 0,61	2,45 \pm 0,64	2,39 \pm 0,66	2,48 \pm 0,58	ns	ns	ns
Cenizas (g/100g)	1,11 \pm 0,02	1,06 \pm 0,01	1,08 \pm 0,02	1,03 \pm 0,03	1,10 \pm 0,01	*	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05.

El contenido en proteínas estuvo comprendido entre 21,59 y 21,74 g/100 g. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por otros autores en carne de cordero (Scerra y col., 2001; Bodas y col., 2007; Caparra y col., 2007; Miguélez y col., 2008; Rufino y col., 2013). En esta Tesis Doctoral no se observaron diferencias significativas en el contenido proteico de la carne ($P_{PT}>0,05$) como consecuencia de la adición de pulpa de tomate en el pienso de los corderos (10 kg PT/100 kg pienso). Estos resultados están en concordancia con los encontrados por Jiang y col. (2015), que no apreciaron diferencias en la concentración de proteínas de la carne de cordero al suplementar la dieta con licopeno. En esta línea, otros autores tampoco observaron distinto contenido en proteínas de la carne de cordero al incorporar otros subproductos en la dieta, como pulpa de remolacha azucarera (Rodríguez, 2005; Bodas y col., 2007), pulpa de cítricos (Lanza y col., 2001; Caparra y col., 2007) y pulpa de granada (Kotsampasy y col., 2014). Con respecto al efecto de la vitamina E sobre el contenido en proteínas de la carne de cordero, no se encontraron diferencias entre los lotes VE50, VE250 y VE500 (50, 250 y 500 mg α -tocoferol/kg de pienso, respectivamente) ($P_{VE}>0,05$). Al igual que en este trabajo, Macit y col. (2003a) tampoco registraron diferencias en el contenido proteico de la carne de cordero al suplementar con vitamina E. De forma general, Murphy y col. (1994), Rowe y col. (1999) y Macedo y col. (2000) encontraron que el sistema de alimentación (diferentes combinaciones de alfalfa, pasto y concentrados) no afectaba al contenido proteico de la carne.

Los contenidos de grasa intramuscular de la carne fresca (m. *Biceps femoris*) estuvieron comprendidos entre 2,39 y 2,50 g/100 g. Estos valores fueron similares a los encontradas en pierna de cordero por Díaz (2001) y Cañeque y col. (2005), y mayores que las encontradas por otros autores (Miguélez y col., 2008; Perlo y col., 2008; Tejeda y col., 2008) en otros músculos (*Longissimus lumborum* y *Longissimus dorsi*, respectivamente). Estas diferencias podrían ser debidas a varios factores, como el método utilizado en la extracción de la grasa del músculo (Pérez-Palacios y col., 2008), la edad-peso de sacrificio de los corderos (Díaz y col., 2003; Velasco y col., 2004; Martínez-Cerezo y col., 2005) y el sexo (Teixeira y col., 1996; Horcada y col., 1998; Díaz y col., 2003). En los últimos años el contenido de grasa y la

composición en ácidos grasos de los alimentos está cobrando una mayor importancia, debido a que los consumidores se están haciendo más conscientes de la relación existente entre la cantidad y la composición de la grasa de la dieta, y la incidencia de ciertas enfermedades, principalmente las coronarias.

En este trabajo, el contenido en grasa intramuscular no se vio afectado por la incorporación de pulpa de tomate (PT) en la dieta ($P_{PT} > 0,05$), a pesar del hecho de que el contenido en grasa bruta de los piensos suministrados a los corderos era del 2,36% para los lotes PT0 (en los que no se había añadido PT) y de 9,24% para los lotes PT10 (en los que se había añadido 10 kg PT/100 kg pienso). En cambio, Russo y col. (1999) sí encontraron diferencias en el contenido en grasa de la carne de cordero alimentados con piensos con diferente contenido graso (copos de cebada *versus* aceite de maíz; 2,38% y 6,27% de grasa bruta, respectivamente), si bien en ese trabajo los corderos fueron sacrificados con diferentes pesos, y como se ha dicho anteriormente, el peso de sacrificio de los corderos puede tener una influencia muy importante sobre el contenido en grasa intramuscular. Al igual que en esta Tesis Doctoral, en un trabajo en el que se estudió el efecto de la incorporación de licopeno en la dieta de corderos (Jiang y col., 2015), no se apreciaron diferencias en el contenido de grasa intramuscular. En referencia a la utilización de otros subproductos en la alimentación, otros autores tampoco encontraron diferencias en el contenido en grasa intramuscular al incorporar en la dieta de los corderos, pulpa de remolacha (Bodas y col., 2007) o pulpa de cítricos (Caparra y col., 2007). Estos autores atribuyeron esta ausencia de efecto al hecho de que no había diferencias en el ratio energía/proteína de los piensos suministrados a los corderos. Por el contrario, Kotsampasi y col. (2014) encontraron un mayor contenido de grasa en la carne de los corderos cuya dieta contenía 24 kg pulpa de granada/100 kg pienso. En relación a ese estudio, en otros trabajos en los que se incorporó a la dieta ese subproducto, Shabtay y col. (2012) encontraron un mayor contenido de grasa en la leche de vaca y Modaresi y col. (2011) en la leche de cabra. En cuanto al posible efecto de la suplementación con diferentes niveles de vitamina E (VE50, VE250 y VE500) sobre el contenido en grasa intramuscular, tampoco se encontraron

diferencias significativas ($P_{VE}>0,05$) en los valores de este parámetro. Así, la incorporación de diferentes dosis de vitamina E en las dietas no tuvo repercusión en la acumulación de grasa en el músculo, al igual que observaron Macit y col. (2003a) en carne de cordero. González-Calvo y col. (2015) tampoco encontraron una relación significativa entre el contenido en grasa intramuscular de la carne de cordero y la suplementación de la dieta con α -tocoferol. En este sentido, Zhao y col. (2013), al incorporar en la dieta niveles de hasta 2000 mg α -tocoferol/kg pienso, tampoco constataron diferencias en el contenido en grasa intramuscular de la carne de cordero.

En cuanto al contenido en cenizas, los valores estuvieron comprendidos en el rango de 1,03-1,11 g/100 g. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores tanto en razas ovinas nacionales (Miguélez y col., 2008, en músculo *Longissimus lumborum*) como en extranjeras (Macit y col., 2003a, en músculo *Longissimus dorsi*; Sacco y col., 2005, en m. *Quadriceps femoris*). Al estudiar el posible efecto de la adición de pulpa de tomate en la alimentación de los corderos, sobre el contenido de minerales de la carne, se encontraron diferencias significativas ($P_{PT}<0,05$), siendo estos valores mayores en la carne de los corderos que no fueron alimentados con este subproducto (PT0). En esta línea, Bodas y col. (2007) encontraron un menor contenido en cenizas en la carne de corderos alimentados con pulpa de remolacha con respecto al lote control. Estos autores atribuían el menor contenido en cenizas a que la pulpa de remolacha tiene un alto contenido en potasio y una alta higroscopicidad, lo que podría haber afectado a la absorción de otros minerales (Scott, 1975). En este sentido, el mineral mayoritario de la piel de los tomates (que se incluyen en la pulpa de tomate desecada) es el potasio (Elbadrawy y Sello, 2011; González y col., 2011). En cambio, Nikolakakis y col. (2004) no encontraron diferencias con respecto al contenido en cenizas de la carne de conejo al suministrar este subproducto en la dieta. Jiang y col. (2015) tampoco encontraron diferencias en las cenizas de la carne fresca al suplementar con licopeno la dieta de los corderos y otros autores tampoco vieron efecto de la inclusión de subproductos en la dieta sobre este parámetro (Lanza y col., 2001; Scerra y col., 2001; Caparra y col., 2007, Kotsampasy y col., 2014). Al comparar los diferentes niveles de vitamina E incorporados en la dieta de los

corderos, hubo ausencia de efecto en lo que respecta al porcentaje de cenizas de la carne, por lo que la inclusión de este antioxidante en los piensos no tuvo repercusión sobre este parámetro ($P_{VE} > 0,05$). En la misma línea, Macit y col. (2003a) tampoco encontraron diferencias en el contenido de cenizas de la carne al incorporar vitamina E en la dieta de corderos.

VI.1.3.2. pH, color y contenido en mioglobina de la carne.

En la Tabla VI.4 se muestran los valores obtenidos para el pH, color (luminosidad, L^* , color rojo, a^* y color amarillo, b^*) y contenido en mioglobina (Mb) en la carne fresca de cordero (m. *Biceps femoris*).

Los valores de pH estuvieron comprendidos entre 5,42 y 5,53. Según Devine y col. (1993), éste es un rango normal de pH para la carne fresca de cordero, ya que un valor por encima de 5,8 es considerado indeseable debido a los problemas microbiológicos, tecnológicos y sensoriales que puede conllevar. Los valores registrados en el presente trabajo coinciden con los aportados por otros autores, tanto en cordero Merino como en otras razas ovinas cárnicas, una vez instaurado el *rigor mortis* en la canal (Martínez-Cerezo y col., 2005; Teixeira y col., 2005; Miguélez y col., 2008; Tejeda y col., 2008; Gutiérrez y col., 2011; Díaz y col., 2014). Estos valores de pH son ligeramente inferiores a los medidos en la canal (5,63-5,74), aunque esto podría ser debido a que el pH tras el sacrificio, va disminuyendo y estabilizándose a medida que cesa la producción de ácido láctico (Zimmerman, 2010).

En cuanto al efecto de la adición de pulpa de tomate y de vitamina E sobre el pH de la carne, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para este parámetro entre los lotes PT0 y PT10 ($P_{PT} > 0,05$), ni entre los lotes VE50, VE250 y VE500 ($P_{VE} > 0,05$), respectivamente. En consonancia con estos resultados se encuentran los trabajos de algunos autores, que no observaron efecto sobre el pH de la carne de cordero al incorporar licopeno (Jiang y col., 2015), o subproductos agroindustriales (Caparra y col., 2007; Rodrigues y col., 2008; Inserra y col., 2014; Muíño y col., 2014) a la dieta. En referencia a la ausencia de efecto de la vitamina E sobre el pH final de la carne en este trabajo, otros autores tampoco evidenciaron

diferencias en el pH de la carne de cordero al suplementar con α -tocoferol (Macit y col., 2003a; Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Atay y col., 2009; Muela y col., 2014). Según algunos autores (Alberti y col., 1988; Sierra y col., 1988; Lowe y col., 2002), la naturaleza del alimento suministrada al animal no tiene excesiva importancia sobre el valor del pH final de la carne, lo cual corrobora los resultados obtenidos en nuestro estudio. Por el contrario, otros factores, como por ejemplo, las condiciones del sacrificio del animal (Carrasco y col., 2009; Ripoll y col., 2013; Díaz y col., 2014) y su posterior almacenamiento en refrigeración (Warris y col., 2003), o la edad y peso de sacrificio de los corderos (Beriaín y col., 2000b; Díaz y col., 2003; Teixeira y col., 2005) sí han demostrado tener un efecto significativo sobre el pH final de la carne.

El pH final de la carne se utiliza para evaluar la calidad de la carne fresca, debido a su relación con otros parámetros relacionados con la calidad de la carne, como el color, la capacidad de retención de agua o la dureza (Díaz y col., 2014).

En cuanto al color de la carne, la luminosidad (L^*) presentó valores comprendidos entre 47,81 y 49,02. Según Khliji y col. (2010), valores de L^* por debajo de 34 se consideran inaceptables, debido al oscurecimiento de la carne. Este rango de valores es sustancialmente superior a la luminosidad registrada por Tejeda y col. (2008) en carne de cordero Merino, y por otros autores en otras razas ovinas (López-Bote y col., 2001; Cano y col., 2003; Santé-Lhoutellier, 2008; Luciano y col., 2009). Estas diferencias de luminosidad pueden ser debidas a que en estos trabajos, el color fue medido en músculos diferentes (*Longissimus lumborum* y *Longissimus dorsi*) a este estudio (Beriaín y col., 2000a). El contenido en grasa intramuscular es uno de los principales factores que afectan a la luminosidad de la carne, siendo ésta inversamente proporcional al contenido en grasa intramuscular de la carne (Sañudo y col., 1993b; Horcada, 1996; Beriaín y col., 2000b). También hay que tener en cuenta la edad y el peso de sacrificio de los animales (Teixeira y col. 2005), siendo ambos parámetros generalmente inferiores en este estudio en comparación con los trabajos mencionados. La inclusión de un 10% de PT en

la alimentación de los corderos no se tradujo en una modificación en la luminosidad de la carne fresca con respecto a las dietas que no la contenían (PT0) ($P_{PT}>0,05$). Sevcikova y col. (2008), tampoco encontraron diferencias en los valores de L^* en carne de pollo al suplementar su dieta con licopeno. Por el contrario, Nikolakakis y col. (2004) observaron que los valores de L^* de la carne de conejo disminuían a medida que aumentaba la proporción de PT desecada en la dieta (0,5 y 10 kg PT/100 kg pienso). Estos autores llegaron a la conclusión de que la piel más oscura de las aves alimentadas con pulpa de tomate podría sugerir que los componentes relacionados con el color en los tomates (como el licopeno y la luteína) se habían incorporado a los tejidos de la piel. La pulpa seca de tomate contiene un porcentaje razonable de carotenoides (30 mg/kg), que podría contribuir a una pigmentación deseable de la canal (Dotas y col., 1999). Entre los pigmentos carotenoides, el licopeno es el principal responsable del color rojo intenso característico de los frutos de tomate maduro y productos de tomate (Shi y Le Maguer, 2000). En lo que a carne de cordero se refiere, al contrario que en este trabajo, Jiang y col. (2015) encontraron menores valores de L^* en carne fresca de corderos que fueron suplementados con licopeno en la dieta. Noziere y col., (2006) observaron que la transferencia de los carotenoides de la dieta a la carne en rumiantes es relativamente baja debido a las diferentes etapas que incluyen la digestión en el rumen, la absorción intestinal y el metabolismo de los tejidos. Tampoco se encontraron diferencias significativas para L^* entre las distintas concentraciones de vitamina E incorporadas a la dieta ($P_{VE}>0,05$). Otros autores tampoco encontraron diferencias en la luminosidad de la carne de cordero al suplementar la alimentación con α -tocoferol (López-Bote y col., 2001; Macit y col., 2003a; Maiorano y col., 2005; Atay y col., 2009; Muela y col., 2014).

En lo que respecta a la intensidad del color rojo de la carne (a^*), el rango de valores de este parámetro estuvo comprendido entre 15,47 y 15,70. Estos resultados coinciden con los encontrados por Gutiérrez y col. (2012) en carne fresca de cordero Merino y por otros autores en otras razas ovinas (López-Bote y col., 2001; Maiorano y col., 2005; Atay y col., 2009).

Tabla VI.4. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta, sobre el pH, el color (L*, a*, b*) y el contenido en mioglobina (Mb) de la carne fresca (media \pm error estándar).

	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
pH	5,53 \pm 0,05	5,42 \pm 0,04	5,51 \pm 0,05	5,42 \pm 0,11	5,43 \pm 0,05	ns	ns	ns
L*	48,38 \pm 0,45	47,94 \pm 0,33	48,23 \pm 0,41	48,91 \pm 0,47	47,81 \pm 0,39	ns	ns	ns
a*	15,70 \pm 0,31	15,49 \pm 0,25	15,47 \pm 0,29	15,51 \pm 0,38	15,7 \pm 0,31	ns	ns	ns
b*	16,16 \pm 0,22	15,94 \pm 0,16	16,01 \pm 0,20	16,04 \pm 0,27	16,07 \pm 0,21	ns	ns	ns
Mioglobina (mg/g)	3,26 \pm 0,07	3,36 \pm 0,06	3,36 \pm 0,07	3,23 \pm 0,07	3,28 \pm 0,07	ns	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05.

Al igual que para la luminosidad, no hubo diferencias significativas debidas a la adición de pulpa de tomate o de vitamina E en el pienso durante el cebo de los corderos, por lo que la incorporación de PT en los piensos (PT10) no produjo cambios en el color rojo de la carne fresca ($P_{PT} > 0,05$). Jiang y col. (2015) tampoco encontraron diferencias en los valores de a^* al suplementar la dieta de los corderos con 50, 100 y 200 ppm de licopeno con respecto al control (dieta que no contenía licopeno). En cambio, Caparra y col. (2007) e Inserra y col. (2014) sí que observaron una disminución significativa de a^* al incorporar otro subproducto en la dieta (pulpa seca de cítricos). Tampoco hubo diferencias entre los tres niveles de vitamina E estudiados en cuanto a color rojo de la carne se refiere ($P_{VE} > 0,05$). En otros trabajos tampoco se observaron diferencias en los valores de a^* al introducir vitamina E en la dieta de los corderos (Guidera y col., 1997; López-Bote y col., 2001; Macit y col., 2003a; Maiorano y col., 2005; Atay y col., 2009, Ripoll y col., 2013; Jose y col., 2016). Lauzurica y col. (2005) no encontraron diferencias en los porcentajes de mioglobina, metamioglobina y oximioglobina de la carne fresca procedente de corderos cuya dieta se había suplementado con con 250, 500 y 1000 ppm de α -tocoferol. En el presente estudio, teniendo en cuenta el potencial efecto antioxidante de la pulpa de tomate y de la vitamina E, hubiera sido de esperar unos mayores valores de a^* en la carne obtenida con las dietas que incorporaban PT y con los mayores niveles de vitamina E. En cambio, como puede observarse, tanto los antioxidantes presentes en la PT (principalmente el licopeno) como la suplementación con vitamina E, no ejercieron efecto alguno sobre el color rojo de la carne (a^*). Otros autores, han demostrado que la suplementación con vitamina E puede mejorar la estabilidad oxidativa y el color de la carne de cordero (González-Calvo y col., 2015), debido a que puede actuar evitando la oxidación de los pigmentos hemínicos, retrasando el proceso de decoloración de la carne.

Los valores de intensidad de color amarillo (b^*) estuvieron comprendidos entre 15,94 y 16,16. Como sucede con las otras dos coordenadas de color (L^* y a^*), la incorporación de PT en la dieta de los corderos no ejerció ningún efecto significativo sobre b^* ($P_{PT} > 0,05$). Jiang y col. (2015), tampoco encontraron diferencias en los valores de b^* de la carne al suplementar la dieta de los

corderos con licopeno (50, 100 y 200 ppm). En cambio, Peiretti y col. (2013), sí que encontraron mayores valores de b^* al incorporar en la dieta un 6% de PT, aunque este trabajo fue realizado con carne de conejo. Tampoco se encontraron diferencias entre las tres dosis de vitamina E suministradas ($P_{VE}>0,05$). La ausencia de efecto de la vitamina E sobre b^* concuerda con lo expuesto por Macit y col. (2003a) y Maiorano y col. (2005), también en carne de cordero.

El efecto de la utilización de subproductos de la industria del tomate sobre el color de la carne fresca de cordero no está muy bien documentado, por lo que la discusión y comparación de los resultados obtenidos en este estudio es difícil. En lo referente a la utilización de otros subproductos agroalimentarios en la dieta de los corderos, Ponnampalam y col. (2001) y Santé-Lhoutellier (2008), tampoco encontraron un efecto significativo de la incorporación de semillas de colza, harina de girasol y concentrados de cereales en la dieta, sobre el color de la carne. En cambio, como se ha visto anteriormente, otro subproducto como la pulpa de cítricos, puede influir en el color rojo de la carne, produciéndose una disminución de los valores de a^* (Caparra y col., 2007; Inserra y col., 2014). Con respecto a la inclusión de α -tocoferol, sí se han realizado un número mayor de estudios sobre el efecto de la adición de vitamina E en la dieta sobre el color de la carne de cordero (Guidera y col., 1997; López-Bote y col., 2001; Macit y col., 2003a; Maiorano y col., 2005; Atay y col., 2009; Ripoll y col., 2013; Muela y col., 2014; Jose y col., 2016), encontrándose, en general, resultados similares a los de esta Tesis Doctoral.

La mioglobina es el más importante de los pigmentos de la carne, y el color de la carne depende de su concentración y del estado químico en que se encuentre (Renner, 1981; MacDougall, 1982; Judge y col., 1989). La concentración de Mb en la carne (músculo *Biceps femoris*) estuvo comprendida entre 3,23 y 3,36 mg/g carne (Tabla VI.4). En este trabajo, al realizar el coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de Mb y el color rojo (a^*), se encontró una correlación positiva y significativa ($r=0,41$; $P<0,001$). Estas concentraciones de Mb registradas en la carne de cordero fueron

similares a las encontradas por Cano y col. (2003), mayores a las obtenidas por Luciano (2009), y menores a las registradas por otros autores en la carne de cordero (Sañudo y col., 1997; Horcada y col., 1998; Martínez-Cerezo y col., 2005; Miguélez y col., 2008). Este contraste de resultados se debe a que la concentración de mioglobina en la carne depende del músculo estudiado (Ledward, 1971; Hood, 1980), de la especie (Sierra y col. 1988; Sañudo y col. 1992b) y del peso del animal (Sañudo y col., 1996; Rousset-Akrim y col., 1997). En este trabajo, no se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Mb al incluir PT en la dieta ($P_{PT} > 0,05$), ni tampoco se encontraron diferencias al estudiar el posible efecto de la inclusión de vitamina E en el pienso sobre este pigmento de la carne ($P_{VE} > 0,05$). Luciano y col. (2009) tampoco encontraron diferencias al estudiar diferentes dietas a base de pasto en corderos. En esta línea, Insani y col. (2008) no encontraron efectos sobre la Mb al estudiar diferentes tratamientos en las dietas (pasto frente a dieta granulada de maíz y heno) en carne de ternera. Con respecto al efecto de la vitamina E, otros autores tampoco encontraron diferencias en el contenido en mioglobina de la carne fresca de cordero suplementando con niveles de entre 20 y 1020 mg α -tocoferol/kg pienso (Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Muela y col., 2014). Alberti y col. (1992) sugieren que la influencia de la alimentación sobre la cantidad de mioglobina del músculo en rumiantes no tiene capital importancia, posiblemente como consecuencia de los procesos que tienen lugar en el rumen. Según MacDougall (1977), es más importante para el color el "estado físico" de las proteínas que la cantidad de pigmento en sí. En este sentido, los radicales libres producidos durante el almacenamiento de la carne promueven la oxidación de los pigmentos (Gray y col., 1996), dando lugar a la formación de metamioglobina. Si la proporción de metamioglobina supera el 30-40% del total de pigmentos hemínicos, la apariencia de la carne provoca el rechazo por parte del consumidor (Carpenter y col., 2001).

VI.1.3.3. Capacidad de retención de agua, pérdidas por cocinado y fuerza de corte de la carne.

En la Tabla VI.5 se muestran los valores obtenidos para la capacidad de retención de agua (CRA), pérdidas por cocinado (%) y fuerza de corte Warner-Bratzler (N) de la carne (m. *Biceps femoris*).

La CRA contribuye a la calidad de la carne (Hamm, 1960) y de sus productos derivados, estando relacionada con la textura, ternura, color de la carne cruda y con la jugosidad y firmeza de la carne cocinada (Offer y col., 1989). Los valores de CRA de la carne fresca variaron en el presente trabajo, desde el 29,01% hasta el 30,83%. Estos valores fueron superiores a los encontrados por otros autores (Cano y col., 2003; Velasco y col., 2004; Maiorano y col., 2005; Miguélez y col., 2008), también en cordero. Estas diferencias podrían ser debidas a que la inclusión de antioxidantes naturales en la dieta podría tener un efecto positivo sobre las pérdidas por goteo de la carne fresca (Zhang y col., 2013). Al estudiar el posible efecto de la adición de pulpa de tomate (PT0 y PT10) sobre la CRA de la carne, no se observaron diferencias con respecto a las muestras de carne de los corderos que no fueron alimentados con este subproducto ($P_{PT} > 0,05$). En esta línea, Jiang y col. (2015) no encontraron diferencias significativas en las pérdidas por goteo de la carne de cordero al incluir 50, 100 y 200 ppm de licopeno en la dieta, aunque observaron una tendencia positiva en este parámetro a medida que aumentaba el nivel de este antioxidante en la dieta. Bessa y col. (2005) tampoco observaron diferencias en la CRA de la carne de cordero al incluir alfalfa desecada en la dieta, al igual que Bodas y col. (2007) al alimentar a los corderos con pulpa de remolacha. En lo que respecta al efecto de la adición de vitamina E en la dieta, sí se apreciaron diferencias significativas entre las muestras procedentes de corderos alimentados con diferentes dosis de vitamina E suministradas ($P_{VE} < 0,05$), siendo las muestras de carne de los corderos cuya dieta contenía 500 mg/kg de α -tocoferol, las que mayor capacidad de retención de agua presentaron. Estos resultados están en concordancia con los registrados por otros autores en carne de cordero al suplementar la dieta con este antioxidante (López-Bote y col., 2001; Macit y

col., 2003a; Maiorano y col., 2005). Esta relación entre la CRA y el α -tocoferol queda patente en este trabajo, ya que al calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre ambos parámetros, se encontró una relación positiva y significativa ($r=0,23$; $P<0,05$). La posible relación entre la CRA y el contenido en vitamina E ya fue observada en estudios previos (Asghar y col., 1991; Monahan y col., 1994). Estos autores sugirieron que el α -tocoferol podría preservar la integridad de las membranas de las células musculares mediante la prevención de la oxidación de los fosfolípidos de membrana. En este sentido, la capacidad de retención de agua se ve claramente afectada por la oxidación lipídica, ya que dicho proceso provoca modificaciones de la fluidez, permeabilidad y estabilidad de la membrana celular como consecuencia de la oxidación de los fosfolípidos y el colesterol que forman la membrana celular (Guardiola y col., 1996), y pueden contribuir a la pérdida de exudado de la carne (Asghar y col., 1991; Stanley, 1991). Por otra parte, la oxidación de las proteínas situadas en la membrana celular también es causante de la reducción de la capacidad de retención de agua (Xiong y col., 2000; Lund y col., 2007; 2011; Liu y col., 2010).

El cocinado de la carne es un factor de gran importancia pues influye en muchas características de su calidad, como la dureza, jugosidad y sabor (Onega, 2003). Durante el cocinado se producen dos cambios fundamentales: las fibras musculares se hacen más duras por coagulación, y el tejido conectivo se hace más blando, por hidrólisis del colágeno y formación de gelatina (Davey y Gilbert 1974; Harris y Shorthose, 1988). Aunque el efecto endurecedor de las fibras y el ablandador del colágeno dependen del tiempo y de la temperatura (Dransfield, 1977), es el factor tiempo el más importante en el caso del colágeno, mientras que para las fibras lo es la temperatura. Todos estos cambios originan pérdidas de agua de la carne sometida al calor, cambios descritos por Hamm (1977), Offer (1984) y Barbera y Tassone (2006). En el presente trabajo, las pérdidas por cocinado de la carne fresca estuvieron comprendidas entre el 23,36% y el 24,18%. Estos valores fueron similares a los encontrados por Miguélez y col. (2008), inferiores a los encontrados por Macit y col. (2003a) y Caparra y col. (2007) y superiores a los encontrados por otros autores en carne de cordero (Lanza y col., 2001; Scerra y col., 2001; Bodas y

col., 2007). Estas diferencias pueden deberse al método de cocinado utilizado (Morán y col., 2014), lo cual podría haber causado una mayor pérdida de agua y/o grasa. La carne cruda de los mamíferos contiene, por término medio, un 75% de agua (Lawrie, 1998). Parte del agua se pierde durante el enfriamiento de las canales, pero las mayores pérdidas se dan en el cocinado de la carne, pudiendo superar el 40% (Offer y Knight, 1988). Estas pérdidas se deben a la desnaturalización de proteínas y alteración de enlaces y estructuras que participan en la retención de agua a nivel intramuscular (Trout, 1988; Tornberg, 2005), así como pérdidas de grasa (Castro de Cabo y col., 2009). En este trabajo no se apreciaron diferencias en las pérdidas por cocinado al estudiar el posible efecto de la incorporación de PT en la dieta de los corderos (PT0 y PT10) ($P_{PT} > 0.05$). Jiang y col. (2015) tampoco observaron diferencias en las pérdidas de cocinado de la carne de cordero al suplementar la dieta de los animales con licopeno. En este sentido, otros autores tampoco encontraron diferencias en las pérdidas por cocinado de la carne de cordero al incluir en la dieta otros subproductos agroindustriales, pulpa de remolacha (Bodas y col., 2007) y pulpa de cítricos (Lanza y col., 2001; Caparra y col., 2007). Respecto al efecto de la adición de vitamina E sobre este parámetro, en esta Tesis Doctoral, tampoco se constataron diferencias en las pérdidas por cocinado de la carne al comparar los tres niveles de vitamina E suministrados (VE50, VE250 y VE500) ($P_{VE} > 0.05$). Al igual que en el presente estudio, Macit y col. (2003a) no encontraron diferencias en las pérdidas por cocinado de la carne al suplementar con vitamina E a los corderos. Como se ha mencionado, la suplementación con vitamina E sí afectó positivamente a la CRA, parámetro que está relacionado con las pérdidas por cocinado, aunque al calcular el coeficiente de correlación de Pearson, en este trabajo no se encontró una correlación significativa entre ambos parámetros ($P > 0.05$).

La dureza es uno de los criterios más importantes que determinan la calidad de la carne para el consumidor (Ouali, 1991). La fuerza de corte Warner-Bratzler (WB) estuvo comprendida entre 41,72 y 45,94 N. Estos valores fueron similares a los encontrados por otros autores en carne de cordero (Miguélez y col., 2008; Perlo y col., 2008; Jiang y col., 2015).

Tabla VI.5. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre la capacidad de retención de agua (CRA), pérdidas por cocinado y fuerza de corte Warner-Bratzler (WB) de la carne fresca (media \pm error estándar).

	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
CRA (%)	29,44 \pm 0,50	30,16 \pm 0,49	29,01b \pm 0,55	29,12b \pm 0,52	30,83a \pm 0,39	ns	*	ns
Pérdidas Cocinado (%)	23,94 \pm 0,72	23,70 \pm 0,55	23,36 \pm 0,74	24,07 \pm 1,27	24,18 \pm 0,59	ns	ns	ns
Fuerza Corte WB (N)	41,72 \pm 2,99	45,94 \pm 2,47	43,07 \pm 2,82	43,44 \pm 3,77	45,09 \pm 3,13	ns	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05.

En este trabajo, no se encontraron diferencias en la fuerza de corte WB al estudiar el posible efecto de la incorporación de PT (10 kg PT/100 kg pienso) en la dieta de los corderos ($P_{PT}>0,05$). Jiang y col., (2015) tampoco encontraron diferencias en la fuerza de corte WB de la carne de cordero al suplementar la dieta con licopeno. En otro estudio con carne de pollo (Sevcikova y col., 2008), en el que también se suplementó la dieta con licopeno, tampoco se encontraron diferencias en este parámetro. En referencia a la utilización de otros ingredientes en la alimentación de cordero, otros autores tampoco encontraron diferencias en la fuerza de corte WB de la carne al incluir en la dieta pulpa de cítricos (Lanza y col., 2001; Scerra y col., 2001, Caparra y col., 2007), levadura seca (Rufino y col., 2013) o alfalfa desecada (Bessa y col., 2005). En cuanto al efecto del α -tocoferol sobre la fuerza de corte, tampoco hubo diferencias significativas entre las tres dosis de vitamina E estudiadas ($P_{PT}>0,05$). En esta línea, Macit y col. (2003a) tampoco encontraron diferencias en la fuerza de corte de la carne de cordero al suplementar con vitamina E. En cambio, Morán y col. (2012), sí que registraron una menor fuerza de corte en la carne de cordero suplementada con vitamina E y ácido carnósico. Estos autores atribuían esta mayor terniza de la carne a los antioxidantes empleados, relacionando la fuerza de corte con la CRA y con la estabilidad oxidativa de las proteínas. Rowe y col. (2004a y 2004b) observaron que la oxidación proteica de la carne de ternera se reducía al suplementar la dieta con vitamina E, promoviendo la proteólisis post-mortem y, en consecuencia, la terniza de la carne. En este trabajo, como se ha podido observar, la carne de los corderos que fueron suplementados con 500 mg α -tocoferol/kg pienso presentó una CRA más elevada que el resto de lotes, aunque como puede observarse en la Tabla VI.4, esta mayor CRA no se tradujo en una menor fuerza de corte. La fuerza de corte puede relacionarse con el pH y las pérdidas por cocinado. El mantenimiento del pH es muy importante, ya que la acidificación de los músculos disminuye la carga de las proteínas y aumenta su hidrofobicidad, lo que reduce la capacidad para retener el agua (Ouali y col., 2006). Este hecho queda de manifiesto en este estudio al calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre el pH y las mermas por cocinado, encontrando una correlación negativa y significativa ($r = -0,19$;

$P < 0,05$). Así, al calcular el mismo coeficiente entre la fuerza de corte WB y las mermas por cocinado, se obtiene una correlación positiva ($r = 0,44$; $P < 0,001$), es decir, la mayor pérdida de agua por el cocinado se relaciona positivamente con una mayor dureza instrumental en la carne.

VI.1.3.4. Perfil de ácidos grasos de la carne de cordero.

En la tabla VI.6 se muestra el perfil de ácidos grasos (expresado en porcentaje) de la carne fresca de cordero (m. *Biceps femoris*).

La grasa de los rumiantes es predominantemente saturada y monoinsaturada (Bas y Morand-Fehr, 2000; Bas y Sauvant, 2001). Los ácidos grasos saturados (AGS) y monoinsaturados (AGMI) suponen más del 95% del total de ácidos grasos de los triglicéridos de reserva mientras que los fosfolípidos de las membranas celulares contienen por encima del 30% de AGPI (Bas y Sauvant, 2001). La importancia relativa de los distintos depósitos de lípidos intramusculares depende del grado de engrasamiento, que a su vez es variable en función del sistema de alimentación (Velasco y col., 2001; Aurousseau y col., 2004; Realini y col., 2004; Díaz y col., 2005; Dannenberger y col., 2006).

En este trabajo, la composición de ácidos grasos de la carne fue similar a la encontrada por otros autores tanto en carne de cordero de raza Merina (Sañudo y col., 2000b; Tejeda y col., 2008; Gecgel y col., 2015), como en otras razas españolas (Velasco y col., 2004; Cañeque y col., 2005; Castro y col., 2005; Osorio y col., 2007; Miguélez y col., 2008; Vasta y col., 2009; Morán y col., 2013; Muíño y col., 2014), siendo el ácido oleico (C18:1 n-9) el mayoritario en porcentaje, seguido de los ácidos grasos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y linoleico (C18:2 n-6). La fracción mayoritaria fue la de los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI, 44-46%), seguida de la de ácidos grasos saturados (AGS, 38-39%) y de la de poliinsaturados (AGPI, 15-17%). Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros autores en carne cordero (Díaz y col., 2005, Horcada y col., 2006; Jerónimo y col., 2009, Vasta y col., 2009; Muíño y col., 2014; Gecgel y col., 2015).

Tabla VI.6. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre el perfil de ácidos grasos (%) de la carne fresca de cordero.

Ácidos Grasos (%) ³	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
C10:0	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,15 ± 0,01	*	ns	ns
C12:0	0,32 ± 0,02	0,26 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,31 ± 0,02	*	ns	ns
C14:0	2,87 ± 0,12	2,49 ± 0,09	2,61 ± 0,09	2,29 ± 0,11	2,79 ± 0,13	*	ns	ns
C14:1 (n-5)	0,14 ± 0,02	0,26 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,27 ± 0,05	0,22 ± 0,03	***	ns	ns
C15:0	0,41 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,42 ± 0,01	ns	ns	ns
C16:0	20,55 ± 0,35	20,49 ± 0,26	20,27 ± 0,34	20,34 ± 0,33	20,81 ± 0,32	ns	ns	ns
C16:1 (n-7)	2,43 ± 0,05	2,42 ± 0,04	2,41 ± 0,05	2,49 ± 0,08	2,42 ± 0,04	ns	ns	ns
C17:0	1,67 ± 0,13	2,54 ± 0,20	1,98 ± 0,16	2,26 ± 0,35	2,31 ± 0,23	***	ns	ns
C17:1 (n-7)	0,91 ± 0,03	0,98 ± 0,03	0,96 ± 0,03	0,92 ± 0,03	0,96 ± 0,04	ns	ns	ns
C18:0	12,35 ± 0,20	12,69 ± 0,17	12,38 ± 0,20	13,10 ± 0,33	12,56 ± 0,19	ns	ns	ns
C18:1 (n-9)	42,82 ± 0,97	41,25 ± 0,71	42,98 ± 1,00	40,32 ± 0,96	41,33 ± 0,82	ns	ns	ns
C18:2 cis-9, trans-11	0,23 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,22 ± 0,01	ns	ns	ns
C18:2 (n-6)	9,38 ± 0,39	9,93 ± 0,34	9,45 ± 0,37	10,80 ± 0,74	9,65 ± 0,40	ns	ns	ns
C18:3 (n-3)	0,61 ± 0,02	0,58 ± 0,02	0,59 ± 0,02	0,60 ± 0,03	0,60 ± 0,03	ns	ns	ns
C20:0	0,41 ± 0,02	0,37 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,36 ± 0,03	0,38 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:1 (n-9)	0,17 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,19 ± 0,03	0,20 ± 0,01	*	ns	ns
C20:2 (n-6)	0,27 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,28 ± 0,01	ns	ns	ns
C21:0	0,11 ± 0,00	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,00	0,14 ± 0,01	0,11 ± 0,01	ns	ns	ns
C20:3 (n-6)	0,41 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,45 ± 0,03	0,42 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:4 (n-6)	3,51 ± 0,18	3,65 ± 0,14	3,48 ± 0,17	3,94 ± 0,30	3,60 ± 0,16	ns	ns	ns
C20:5 (n-3)	0,26 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,31 ± 0,02	0,28 ± 0,01	ns	ns	ns
ΣAGS	38,85 ± 0,64	39,49 ± 0,48	38,57 ± 0,62	39,18 ± 0,42	39,84 ± 0,61	ns	ns	ns
ΣAGMI	46,48 ± 0,92	45,12 ± 0,69	46,72 ± 0,96	44,18 ± 1,02	45,13 ± 0,78	ns	ns	ns
ΣAGPI	14,67 ± 0,60	15,39 ± 0,49	14,71 ± 0,57	16,64 ± 1,08	15,03 ± 0,58	ns	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

³ΣAGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; ΣAGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; ΣAGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.
Niveles de significación: ns=P>0,05; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001.

Por el contrario, en otros trabajos los AGS son los más abundantes en corderos merinos (Tejeda y col., 2008; Liu y col., 2011) y en otras razas (Cañeque y col., 2005; Castro y col., 2005; Miguélez y col., 2008; Morán y col., 2013, Andrés y col., 2014). Estas diferencias podrían estar relacionadas con el tipo de alimentación recibida por los corderos desde el destete hasta el momento del sacrificio (Velasco y col., 2001; Jerónimo y col., 2009; Vasta y col., 2009), el peso de sacrificio (Beriaín y col., 2000b; Santos-Silva y col., 2002) o la raza estudiada (Costa y col., 2009; Ponnampalam y col., 2009).

En el presente estudio, al estudiar el efecto de la PT sobre el perfil de ácidos grasos de la carne fresca, se encontraron diferencias en algunos ácidos grasos ($P_{PT} < 0,05$), si bien éstas se produjeron en ácidos grasos minoritarios (C10:0, C12:0, C14:0, C14:1, C17:0, C17:1). En los mayoritarios (C18:1 n-9, C16:0, C18:0 y C18:2 n-6) no se encontraron diferencias significativas ($P_{PT} > 0,05$), por lo que la incorporación de PT en la dieta de los corderos (PT10) no afectó al perfil de los mismos. En esta línea, Kotsampasi y col. (2014), al igual que en nuestro trabajo, no encontraron diferencias en la composición en ácidos grasos de la carne de cordero al incorporar 12 y 24 g de subproducto de granada por cada 100 g de materia seca en los concentrados de la dieta. Por el contrario, Jiang y col. (2015) encontraron que la carne de corderos suplementados con licopeno (50, 100 y 200 ppm), contenía una mayor proporción de AGPI y una menor proporción de AGS que la carne en la que no añadieron licopeno a los piensos. Bodas y col. (2007) observaron un efecto contrario al incluir un 12% de pulpa de remolacha azucarera, disminuyendo el porcentaje de AGPI y aumentando el porcentaje de AGS de la carne de cordero. A través de la nutrición de los animales se puede modificar el contenido de los diferentes ácidos grasos en la musculatura y alterar las proporciones entre ellos (Nuernberg y col., 1998; Andrae y col., 2001; Castro y col., 2005; Ponnampalam y col., 2009), aunque esto puede repercutir de forma variable sobre el aroma y el sabor (Wood y col., 1999; Elmore y col., 2005; Scollan y col., 2006; Vasta y Priolo, 2006). No obstante, como se ha comentado, en el presente estudio, la inclusión de un 10% de pulpa de tomate a los piensos de los corderos no ha sido suficiente para provocar un cambio en el perfil de ácidos grasos. Al estudiar el efecto de la vitamina E sobre el perfil

de ácidos grasos, no se encontraron diferencias entre los tres niveles estudiados ($P > 0,05$), ni siquiera en los ácidos grasos minoritarios. Tampoco se encontraron diferencias en ninguno de los tres grupos de ácidos grasos (AGMI, AGS y AGPI) ($P_{VE} > 0,05$), por lo que la incorporación de niveles de has 500 ppm de vitamina E en la alimentación de los corderos no afectó al perfil de ácidos grasos de la carne fresca. Al igual que en este trabajo, Berthelot y col. (2014) no encontraron diferencias en los sumatorios de AGMI, AGS y AGPI al suplementar la dieta de los corderos con 45, 286 y 551 ppm de α -tocoferol, concentraciones muy similares a las de este trabajo. En otros trabajos tampoco se encontraron diferencias en el perfil de ácidos de la carne al suplementar con vitamina E, en cordero (Demirel y col. 2004; Kasapidou y col. 2009; Morán y col., 2013) y en vacuno (Juárez y col. 2011; Mapiye y col. 2012). Morán y col. (2013), comprobaron que el perfil de ácidos grasos de la carne de corderos alimentados con una dieta suplementada con α -tocoferol y ácido carnósico no se veía afectado por estos antioxidantes, centrándose su actuación en la preservación de la estabilidad oxidativa y en los componentes del aroma, siendo el α -tocoferol más efectivo en este aspecto.

VI.1.3.5. Contenido en α -tocoferol de la carne y estabilidad oxidativa de la grasa intramuscular.

La oxidación de los lípidos es una de las principales razones del deterioro de la calidad de la carne (Kumar y col., 2015). Estas reacciones dan lugar a la formación de radicales libres, que están relacionados con la aparición de malos olores y sabores (Maqsood y Benjakul, 2011), con la disminución del contenido en ácidos grasos poliinsaturados y con la formación de compuestos indeseables, tales como peróxidos y aldehídos potencialmente tóxicos (Morrissey y col., 1994). Todas esas modificaciones dan lugar a una pérdida de frescura de la carne y a una menor aceptación por parte del consumidor, provocando pérdidas económicas a la industria cárnica (Naveena y col., 2008). En nuestro país, la carne de corderos de corta edad se consume de forma común y la apariencia es el factor intrínseco de calidad más evaluado por los consumidores (Bernués y col., 2012). Para evitar el deterioro de la calidad y de

la vida útil de la carne, la incorporación de vitamina E en el pienso es un método eficaz en la reducción de los procesos oxidativos que tienen lugar en la carne (Jensen y col., 1998). La vitamina E es un antioxidante liposoluble que ha sido ampliamente utilizado en las dietas de animales debido a su potente actividad. La vitamina E natural se compone de ocho formas diferentes, cuatro tocoferoles (α -, β -, γ - y δ -) y cuatro tocotrienoles (α -, β -, γ - y δ -), siendo el α -tocoferol la forma más activa en la protección de las células (Daley y col., 2010).

En la tabla VI.7 se muestran los valores obtenidos de las determinaciones del contenido en α -tocoferol, licopeno, malondialdehído (MDA) y hexanal de la carne fresca de cordero (m. *Biceps femoris*).

Las concentraciones de α -tocoferol de la carne fresca de cordero estuvieron comprendidas entre 1,29 y 2,76 mg/kg. Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores al estudiar estos niveles de suplementación de vitamina E en cordero (Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Kasapidou y col., 2012; Ripoll y col., 2013; González-Calvo y col., 2014; Muíño y col., 2014), inferiores a los encontrados por otros investigadores (López-Bote y col., 2001; Yang y col., 2002; Kasapidou y col., 2009; Jose y col., 2016) y superiores a las descritas por Luciano y col. (2013). La literatura relacionada con la concentración de α -tocoferol en el músculo es muy inconsistente, y se puede atribuir a la amplia gama de fuentes naturales de α -tocoferol que se incluyen en la dieta y a los diferentes procedimientos analíticos (López-Bote y col., 2001), así como al músculo estudiado (Jose y col., 2016). También hay que tener en cuenta que los corderos sacrificados con una edad y peso más elevado presentan un mayor contenido en grasa intramuscular (Okeudo y Moss, 2007), y como el α -tocoferol es una vitamina liposoluble, el músculo de los corderos con mayor veteado puede presentar un mayor contenido de α -tocoferol. El sistema de alimentación también puede influir en la concentración de α -tocoferol en el músculo, ya que numerosos estudios han demostrado que los animales que se alimentan de pastos tienen niveles más altos de α -tocoferol en su carne que los alimentados a base de concentrados (Turner y col., 2002; Yang y col., 2002; Jose y col., 2008).

Tabla VI.7. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre el contenido en α -tocoferol, licopeno, malondialdehído (MDA) y hexanal de la carne fresca (media \pm error estándar).

	Pulpa Tomate ¹		Vitamina E ²			Efecto		
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
α -tocoferol (mg/kg)	1,95 \pm 0,18	2,05 \pm 0,11	1,29c \pm 0,10	1,80b \pm 0,12	2,76a \pm 0,11	ns	***	***
Licopeno (mg/kg) ³	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Malondialdehído (mg/kg)	0,30 \pm 0,04	0,24 \pm 0,02	0,33a \pm 0,04	0,25ab \pm 0,04	0,21b \pm 0,01	ns	**	ns
Hexanal (mg/kg)	0,010 \pm 0,001	0,007 \pm 0,001	0,007 \pm 0,002	0,006 \pm 0,002	0,010 \pm 0,001	**	ns	ns

¹Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

²Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

³nd:no detectado.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001

a, b, c: diferentes letras indican diferencias significativas entre lotes VE, P_{VE}<0,05, test de Tukey.

Tabla VI.8. Interacción entre la pulpa de tomate y vitamina E sobre el contenido en α -tocoferol de la carne fresca (media \pm error estándar).

	PT0		PT10			P _{PTxVE}
	VE50	VE500	VE50	VE250	VE500	
α -tocoferol (mg/kg)	0,98c \pm 0,10	2,90a \pm 0,12	1,61b \pm 0,14	1,80b \pm 0,12	2,62a \pm 0,17	***

Lotes Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *=P<0,05; **=P<0,01; ***=P<0,001.

a, b, c: diferentes letras indican diferencias significativas entre lotes, P_{VE}<0,05, test de Tukey.

Además, otro parámetro que influye en la concentración de α -tocoferol en la carne de cordero es la duración de la suplementación con este antioxidante (Ripoll y col., 2013; Gonzalez-Calvo y col., 2014; Jose y col., 2016). Al estudiar el posible efecto de la PT sobre la acumulación de α -tocoferol en el músculo *Biceps femoris*, no se encontraron diferencias significativas ($P_{PT}>0,05$) entre ambos grupos de muestras (PT0 y PT10). Cabe destacar que las concentraciones de α -tocoferol de los lotes PT son incluso mayores que las del lote VE250 (250 mg α -tocoferol/kg pienso). Las semillas de los tomates (presentes en la PT) contienen α -, γ - y δ -tocoferol (Abushita y col., 1997; Rozzi y col., 2002). King y Zeidler (2004), en un trabajo en el que se evaluaba la utilización de la pulpa desecada de tomate en la alimentación de broilers, encontraron cantidades de hasta 224 mg α -tocoferol/kg en este subproducto, además de 913 y 922 mg/kg PT de δ - y γ -tocoferol, respectivamente. Vagi y col. (2007) encontraron concentraciones similares de vitamina E en la pulpa desecada de tomate (196 mg α -tocoferol/kg PT). Así, sería esperable un aumento de las concentraciones de α -tocoferol en la carne de los animales alimentados con 10 kg PT/100 kg pienso, aunque como se ha dicho, las diferencias entre PT0 y PT10 no fueron significativas. No obstante, en la Tabla VI.8 puede apreciarse que existe interacción entre ambas variables ($P_{PT \times VE}<0,001$) para la concentración de α -tocoferol en el músculo. En un estudio en el que se incluyó orujo de aceite de oliva en la alimentación de los corderos, Luciano y col. (2013) encontraron un mayor contenido de α -tocoferol en la carne de los corderos a los que se les incorporó este subproducto en la dieta, si bien, estos autores también observaron diferencias significativas en la proporción de grasa intramuscular. Como se ha dicho en el párrafo anterior, la carne de cordero con un mayor contenido en grasa intramuscular también puede presentar mayores concentraciones de α -tocoferol. Algunos autores han encontrado niveles basales de α -tocoferol en la carne de corderos a los que no se les suministró este antioxidante en la alimentación, del orden de 0,80 mg α -tocoferol/kg (Guidera y col., 1997), 0,95 mg α -tocoferol/kg (Lauzurica y col., 2005), 2,0 mg α -tocoferol/kg (López-Bote y col. (2001) y 3,5 mg α -tocoferol/kg (Wulf y col., 1995). López-Bote y col. (2001) atribuían este hecho a que este antioxidante podría estar presente en algún otro ingrediente de la dieta, lo cual

podría explicar las altas concentraciones de α -tocoferol en los lotes PT0 y PT10. En cuanto al efecto de la suplementación de vitamina E (VE50, VE250 y VE500) sobre la concentración de α -tocoferol en el músculo, como era de esperar, se encontraron diferencias significativas debidas a la adición de las tres dosis objeto de estudio ($P_{VE}<0,001$). Así, en esta Tesis Doctoral, el lote VE500 fue el que mayor contenido en α -tocoferol presentó (2,76 mg/kg), seguido del lote VE250 (1,80 mg α -tocoferol/kg) y finalmente, el que menores concentraciones de α -tocoferol presentó fue el lote VE50 (1,29 mg/kg). Estos resultados coinciden con los de otros autores en cordero, incorporando en la dieta de los animales 60, 250 y 500 mg α -tocoferol/kg pienso (Kasapidou y col., 2009 y 2012). En otros trabajos en los que también se estudió la inclusión de diferentes niveles de vitamina E en la dieta de los corderos, en general, se encontraron resultados similares, siendo la cantidad de α -tocoferol encontrada en el músculo directamente proporcional a la cantidad de vitamina E suplementada (López-Bote y col., 2001; Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007). En este sentido, López-Bote y col. (2001) determinaron que a partir de 523,7 mg α -tocoferol/kg pienso, la concentración de vitamina E en el músculo no variaba (5,2 mg α -tocoferol/kg carne). Sin embargo, Lauzurica y col. (2005) y De la Fuente y col. (2007) observaron que la concentración de α -tocoferol en el músculo seguía aumentando, aportando a los animales hasta 1000 y 1020 mg α -tocoferol/kg pienso respectivamente, aunque las concentraciones de α -tocoferol en el músculo (3,57 mg/kg) fueron inferiores a las encontradas por López-Bote y col. (2001).

Con respecto al contenido en licopeno de la carne, que se determinó en esta Tesis Doctoral mediante el método descrito en el apartado V.3.4.3 y tras múltiples modificaciones del mismo, no se encontraron cantidades detectables de este compuesto. Revisando la bibliografía existente hasta la fecha, no se ha publicado ningún trabajo en el que, al suplementar la dieta de animales con pulpa de tomate o licopeno, se haya podido cuantificar este antioxidante natural en carne fresca. Algunos autores (Karadas y Surai, 2006) sí que encontraron cantidades detectables de licopeno en la yema de huevo (1,20 μ g licopeno/g yema) al incorporar 20 g de tomate en polvo/kg de concentrado en la alimentación de gallinas ponedoras. La pulpa de tomate contiene 13 g

licopeno/kg PT (Sgorlon y col., 2006), y teniendo en cuenta que en este trabajo el pienso contenía un 10% de PT, los corderos ingirieron alrededor de 1,30 g licopeno/kg de pienso. En el trabajo mencionado de Karadas y Surai (2006), el tomate en polvo suministrado a las gallinas contenía 2,26 g licopeno/kg de pienso, es decir, suplementaron con una cantidad mayor de licopeno. En otro trabajo (Sahin y col., 2006), en el que se suplementó la dieta de codornices con 0,2 g licopeno/kg concentrado, estos autores consiguieron cuantificar el licopeno en sangre, encontrando 0,82 μ l licopeno/litro de sangre. No obstante, los resultados obtenidos por esos autores son difíciles de comparar con los del presente trabajo, por motivos tan diversos como los animales objeto de estudio, la cantidad de licopeno suministrada o la naturaleza de la muestra analizada.

El malondialdehído (MDA) es uno de los productos finales de la peroxidación de los ácidos grasos poliinsaturados de las células (Del Río y col., 2005), y la reacción del ácido tiobarbitúrico (TBA) ha sido ampliamente utilizada para medir el grado de deterioro oxidativo en los alimentos cárnicos (Karami y col., 2011). Los valores de MDA encontrados en la carne fresca variaron desde 0,21 hasta 0,33 mg/kg carne. Estos valores de MDA son similares a los encontrados por otros autores en carne de cordero (Luciano y col., 2013; Inserra y col., 2014; Muíño y col., 2014) e inferiores a los encontrados por Gutiérrez y col. (2010) en cordero Merino (del orden de 0,81 mg MDA/kg) y a las de otros trabajos con otras razas ovinas (Ponnampalam y col., 2001; Macit y col., 2003a y 2003b; De la Fuente y col., 2007; Atay y col., 2009). En el presente estudio, no se encontraron diferencias al comparar los valores de MDA de la carne de los corderos que habían sido alimentados con PT (PT10) con los valores de MDA de la carne de los corderos a los que en su dieta no se incorporó este subproducto (PT0); es decir, la introducción de PT en la dieta de los corderos no tuvo efectos significativos sobre la cantidad de MDA en el músculo ($P_{PT} > 0,05$). Jiang y col. (2015) si que encontraron menores concentraciones de MDA en la carne de los corderos suplementados con licopeno, atribuyendo estos resultados al poder antioxidante de este componente de la pulpa de tomate (Sahin y col., 2014). En cambio, y como sucede en este trabajo, Sevcikova y col. (2008) no encontraron diferencias en el índice de TBA al suministrar licopeno en la dieta de pollos; en cambio,

Botsoglou y col. (2004) si observaron un efecto positivo de la adición de un 5% de PT desecada sobre la estabilidad oxidativa de la carne de codornices. En referencia a la utilización de otros subproductos en la alimentación de corderos, Inserra y col. (2014) no encontraron diferencias en las concentraciones de MDA al incluir en la dieta 24 y 35 kg/100 kg de pulpa de cítricos, y Luciano y col. (2013) tampoco evidenciaron un efecto significativo de la inclusión de 35 kg/100 kg de orujo de aceite de oliva sobre este parámetro en carne fresca. En lo que respecta al efecto de la suplementación de vitamina E sobre la concentración de MDA en el músculo, se encontraron diferencias significativas en los valores de MDA a medida que se aumentaba la dosis de vitamina E en la dieta, variando los mismos de forma inversamente proporcional ($P_{VE} < 0,01$). De hecho, al calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de MDA y de α -tocoferol, se obtuvo una correlación negativa y significativa ($r = -0,48$; $P < 0,001$). Estos resultados están en concordancia con lo expuesto por varios autores, que afirman que, generalmente, el incremento de la concentración de α -tocoferol en la musculatura esquelética repercute favorablemente sobre la resistencia a los procesos de oxidación de la carne (Morrissey y col., 1994; Buckley y col., 1995; Liu y col., 1995; Wulf y col., 1995; López-Bote y col., 2001; Macit y col., 2003a; Kasapidou y col., 2012; Ripoll y col., 2013; Gonzalez-Calvo y col., 2014).

El contenido en hexanal ha sido un parámetro muy utilizado para la medición de la estabilidad oxidativa en carne y productos cárnicos (Shahidi y col., 1987; Nielsen y col., 1997; Cava y col., 1999; Descalzo y col., 2005; Broncano y col., 2011; Morán y col., 2012, 2014; Rivas-Cañedo y col., 2013; Ortuño y col., 2016) ya que es uno de los principales productos que se forman a partir de la oxidación lipídica (Gray y Crackel., 1992; Shahidi y col., 1994) y como el resto de aldehídos alifáticos saturados, está relacionado con los olores a rancio de la carne fresca y cocinada (Dransfield, 2008). Sin embargo, la gran variedad de métodos y técnicas utilizadas para su extracción (extracción con disolventes, destilación-extracción, purga y captura, microextracción en fase sólida) identificación y cuantificación (cromatografía líquida de alta resolución, cromatografía-espectrometría de masas) contribuye en gran medida a las diferencias encontradas entre los distintos trabajos y hace muy difícil la

comparación de resultados entre unos estudios y otros (Elmore y col., 1997; Cai y col., 2001).

En este trabajo, las concentraciones de hexanal estuvieron comprendidas entre 0,006 y 0,011 mg/kg carne (Tabla VI.7). Estos valores fueron inferiores a los encontrados por Gutiérrez y col. (2009) y por Morán y col. (2013) en carne de cordero Merino. En cuanto al efecto del uso de la PT en la alimentación de los corderos sobre el contenido en hexanal de la carne, se encontraron diferencias significativas entre los dos tratamientos ($P_{PT} > 0,05$), siendo, las concentraciones de hexanal, inferiores en la carne de los corderos que fueron alimentados con 10 kg PT/100 kg pienso en comparación con el lote control (0 kg PT/100kg pienso). En un principio, cabría esperar la posibilidad de que las concentraciones de hexanal fueran mayores al introducir PT en la alimentación, ya que este subproducto es rico en ácido linoleico (Rozzi y col., 2002) y se ha demostrado que utilizando dietas con un alto porcentaje de este ácido graso se obtienen en la carne mayores concentraciones de aldehídos (Ford y col., 1976). Botsoglou y col. (2004) encontraron mayor contenido de ácido linoleico en la carne de pollos que fueron alimentados con PT, pero en nuestro trabajo, como puede verse en el apartado anterior, no se observaron diferencias en la composición de ácidos grasos de la carne de cordero, por lo que las menores concentraciones de hexanal registradas en el lote con 10 kg PT/100 kg pienso podrían deberse al efecto antioxidante de los componentes de este subproducto. La mayor parte de los antioxidantes presentes en los tomates, como el licopeno, se encuentran en la piel y en las semillas (Toor y Savage, 2005), que son los componentes de la pulpa de tomate desecada. A su vez, el proceso de secado hace que los antioxidantes presentes en la piel y las semillas del tomate se encuentren en mayor proporción (Seybold y col., 2004). En cuanto al efecto de la vitamina E sobre el contenido en hexanal de la carne de cordero, no se observaron diferencias ($P_{VE} > 0,05$) entre los tres grupos objeto de estudio (50, 250 y 500 ppm). Estos resultados coinciden con los encontrados por Descalzo y col. (2005) en carne fresca de ternera (en la que tampoco hubo diferencias en las concentraciones de hexanal cuando se suplementó la dieta con 500 ppm de vitamina E) y por Okabe y col. (2002) en carne fresca de venado. Más reciente es el estudio de Rivas-Cañedo y col.

(2013), en el que la carne de los corderos suplementados con un mayor contenido en α -tocoferol (300 mg/kg pienso) no presentó diferencias en las concentraciones de hexanal con respecto al control. En cambio, otros autores (Morán y col., 2012; 2014) sí que encontraron menores cantidades de hexanal cuando suplementaban con 600 y 24 mg α -tocoferol/kg, respectivamente.

Puede observarse que, en general, al estudiar el efecto de la adición de PT y vitamina E en la dieta sobre el contenido en MDA y hexanal de la carne, en ambos parámetros relacionados con la estabilidad oxidativa de la grasa se encuentran tendencias diferentes frente a los factores objeto de estudio (la concentración de MDA se ve afectada por la inclusión de α -tocoferol y la de hexanal por la inclusión de PT en la dieta). Debe tenerse en cuenta que la oxidación es un proceso dinámico, lo que hace difícil inferir el desarrollo de las reacciones de oxidación simplemente a partir de los compuestos finales formados. En este sentido, se añade la marcada reactividad del malondialdehído. Sus reacciones con aminoácidos y proteínas, así como con ácidos nucleicos, han sido descritas por diversos autores (Esterbauer y col., 1991; Uchida, 2003; Wu y col., 2009; Giera y col., 2012). Por otra parte, el distinto origen del hexanal y del malondialdehído podría tener que ver con esta diferente tendencia del índice del TBA y hexanal observada; el hexanal procede fundamentalmente de la oxidación del ácido linoleico (C18:2,n-6) (Shahidi y Zhong, 2010) mientras los compuestos que reaccionan con el TBA proceden principalmente de ácidos grasos con 3 o 4 dobles enlaces (Raharjo y Sofos, 1993; Fernandez y col., 1998; Guillén-Sans y Guzmán-Chozas, 1998; Papastergiadis y col., 2012).

VI.2. ENSAYO 2: ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE DOS FUENTES DE SELENIO (SE ORGÁNICO *VERSUS* SE INORGÁNICO) EN LA DIETA DE LOS ANIMALES, SOBRE LOS PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS *IN VIVO*, LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y LA COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE FRESCA DE CORDERO.

VI.2.1. PARÁMETROS ZOOTÉCNICOS *IN VIVO*.

En la Tabla VI.9 se recogen los valores de los distintos parámetros zootécnicos estudiados *in vivo* en este trabajo, desde el nacimiento hasta el sacrificio de los corderos.

Tabla VI.9. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) en la dieta sobre los parámetros zootécnicos *in vivo* (media \pm error estándar).

	SeO ¹	Sel ²	P
	(n=10)	(n=10)	
Peso Nacimiento (kg)	4,02 \pm 0,14	4,21 \pm 0,12	ns
Edad Destete (días)	39,03 \pm 1,08	38,22 \pm 1,02	ns
Peso Destete (kg)	12,83 \pm 0,30	12,85 \pm 0,31	ns
Edad Sacrificio (días)	81,59 \pm 1,34	79,78 \pm 1,08	ns
Peso Sacrificio (kg)	21,79 \pm 0,22	22,07 \pm 0,17	ns
Ganancia Media Diaria (kg)	0,26 \pm 0,01	0,26 \pm 0,01	ns
Índice Conversión	3,88 \pm 0,13	3,94 \pm 0,10	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

Niveles de significación: ns=P>0,05.

Como se ha descrito en el apartado IV de diseño experimental, a un grupo de corderos se les incluyó en la dieta Selenio orgánico (SeO, "Selenio-yeast") y a otro grupo se les incorporó Selenio inorgánico (Sel, selenito de sodio) desde el destete hasta el sacrificio.

Del mismo modo que en el ensayo 1, en este ensayo el peso medio de nacimiento de los corderos suplementados con las dos fuentes de selenio (Se) estudiadas, Se orgánico y Se inorgánico, fue similar (4,02 kg y 4,21 kg, respectivamente).

Los corderos fueron destetados con la edad de 38 y 39 días y con un peso medio de 12-13 kg, no existiendo diferencias significativas ($P>0,05$) entre los corderos suplementados con SeO y los suplementados con Sel.

Para alcanzar el peso de sacrificio (entre 21-22 kg p.v.), los corderos suplementados con SeO necesitaron 81,59 días de media, y los corderos a los que se les incorporó en la dieta la fuente de selenio inorgánico (Sel) necesitaron 79,78 días. Estas diferencias no fueron significativas ($P>0,05$), por lo que la inclusión de una u otra fuente de selenio en las dietas no tuvo ningún efecto sobre la edad de sacrificio.

Mediante el control del consumo de pienso se determinó la ganancia media diaria (GMD) y el índice de conversión (IC, kg de concentrado/kg de aumento de peso vivo) de los corderos.

La GMD de peso fue la misma para los corderos suplementados con SeO que para los corderos suplementados con Sel (0,26 kg), por lo que la inclusión de las dos fuentes de selenio presentó el mismo efecto sobre este parámetro de crecimiento ($P>0,05$). Estos valores de GMD coinciden con los encontrados por López y col. (2009) en cordero Merino, con un período de cebo superior (15 días más que en este trabajo) y sacrificados con un peso mayor (30-32 kg p.v.). Otros autores tampoco encontraron diferencias en la GMD al comparar el efecto de ambas fuentes de selenio en cordero (Vignola y col., 2009), cabrito (Chung y col., 2007) y ternera (Nicholson y col., 1991; Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015). En cambio, Kumar y col. (2009) en un período de cebo de 90 días en corderos sacrificados con un peso mayor (33 kg p.v.) sí

que encontraron una mayor GMD en corderos suplementados con SeO, en comparación con los corderos a los que se les incorporó Sel, y a su vez, ambos grupos de corderos presentaron una mayor GMD con respecto al grupo control, que no fue suplementado con ninguna fuente de selenio. En esa línea, Shi y col. (2011) también encontraron una mayor GMD en cabritos suplementados con SeO frente a los que recibieron Sel, y ambos grupos también presentaron mayores valores que los del grupo control (sin selenio). Estos autores atribuían estas diferencias a la distinta procedencia de las fuentes de selenio y a la composición de los piensos en sí. Guyot y col. (2007) observaron una tendencia positiva en el crecimiento de terneros cuando suplementaban con SeO frente a Sel, si bien en ese trabajo en el grupo SeO había un mayor número de machos que en el grupo Sel, y las hembras tenían una tasa de crecimiento más lenta (Díaz y col., 2003).

Los valores de IC fueron de 3,88 kg para los corderos suplementados con SeO y de 3,94 kg para los corderos suplementados con Sel. Estos valores fueron similares a los encontrados por otros autores en cordero (Cañeque y col., 1999; López, 2006). Las diferencias en el IC no alcanzaron valores de significación estadística ($P>0,05$), por lo que la incorporación de una u otra fuente de selenio no afectó al IC, al igual que sucediera con la GMD. Estos resultados coinciden con los registrados por otros autores en ternera (Nicholson y col., 1991; Cozzi y col., 2011) y cabrito (Chung y col., 2007), al comparar SeO *versus* Sel.

En la actualidad, las formas más comunes al suplementar selenio son sus sales inorgánicas, tales como el selenito de sodio y el selenato de sodio. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que el selenio orgánico se absorbe mejor y es mejor utilizado en los rumiantes, en comparación con sus fuentes inorgánicas (Gunter y col., 2003; Guyot y col., 2007). Cuando existe una carencia importante de este mineral en la dieta, puede afectar al crecimiento de los corderos (Johansson y col., 1990; Kumar y col., 2009; Shi y col., 2011). El Se es un mineral esencial que se encuentra en todas las células y tejidos, requiriéndose en pequeñas cantidades y siendo necesario para un correcto crecimiento y fertilidad (Thomson, 2004). El selenio forma parte de los

centros activos de las enzimas, convirtiéndose en selenocisteína (Driscoll y Copeland, 2003; Stadtman, 2005; Beckett y Arthur, 2005; Kohrle y col., 2007). A su vez, la selenocisteína forma parte de las selenoproteínas, entre las cuales destaca la glutatión peroxidasa (McDowell y col., 1997), que está relacionada con la protección de las grasas y proteínas que forman parte de las membranas celulares debido a la oxidación que pueden ejercer sobre ellas los peróxidos generados en el metabolismo intermediario de las células (Behne y Kyriakopoulos, 2001). Además de la glutatión peroxidasa (GSH-Px), en los tejidos de los animales se han descrito 10 selenoproteínas (Arthur y col., 1990), que están involucradas en la actividad enzimática y la regulación metabólica de los procesos oxidativos (Hefnawy y Tórtora-Pérez, 2010). Entre ellas se encuentra una deiodinasa que interviene en la conversión de la tiroxina (T4) a la forma activa de triyodotironina (T3), por lo que una deficiencia de Se produce una disminución de T3 plasmática (Arthur y col., 1993), que puede estar relacionado con un menor crecimiento en animales selenodeficientes (Oblitas y col., 2000). No obstante, la mayoría de los estudios indican que las respuestas de la suplementación con Se sobre los ratios de crecimiento, en general, no son significativas para el ganado ovino (Juniper y col., 2006; Domínguez-Vara y col., 2009; Vignola y col., 2009; Liu y col., 2011; Rodríguez y col., 2011, Hernández-García y col., 2015) y vacuno (Gunter y col., 2003; Lawler y col., 2004; Skrivanova y col., 2007; Sgoifo y col., 2015). Como puede observarse, en este trabajo la incorporación de una u otra fuente de selenio en la dieta (SeO vs. Sel) no tuvo efecto sobre ninguno de los parámetros zootécnicos estudiados. Esta falta de respuesta puede indicar que ambas fuentes de selenio podrían tener la misma disponibilidad en la dieta (Vignola y col., 2009).

VI.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.

En la Tabla VI.10 se recogen los valores de los principales parámetros relacionados con la calidad de la canal, así como los datos de pH (medidos sobre el músculo *Longissimus lumborum*) y color (L^* , a^* , b^*), medido sobre el músculo recto abdominal (*Rectus abdominis*) de las canales de cordero a las 24h tras el sacrificio de los corderos.

Tabla VI.10. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) en la dieta sobre las características de la canal (media \pm error estándar).

	SeO ¹	Sel ²	P
	(n=10)	(n=10)	
Peso Canal Caliente (kg)	10,72 \pm 0,13	10,87 \pm 0,12	ns
Peso Canal Fría (kg)	10,47 \pm 0,13	10,58 \pm 0,11	ns
Rendimiento (%)	48,08 \pm 0,41	47,93 \pm 0,29	ns
Conformación ³	8,19 \pm 0,10	8,40 \pm 0,09	ns
Engrasamiento ³	8,41 \pm 0,22	7,96 \pm 0,18	ns
pH	5,71 \pm 0,15	5,73 \pm 0,18	ns
L^*	44,60 \pm 0,51	45,33 \pm 0,87	ns
a^*	13,01 \pm 0,25	12,86 \pm 0,21	ns
b^*	2,30 \pm 0,31	2,43 \pm 0,25	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

³ Escala según Reglamento CEE nº 2137/92.

Niveles de significación: ns=P>0,05.

El peso de las canales de cordero tras el sacrificio (peso canal caliente, PCC), fue de 10,72 kg para el grupo de corderos suplementados con SeO y de 10,87 kg para el grupo de corderos suplementados con Sel. Tras 24h en refrigeración, se midió el peso de la canal en frío (PCF). Las canales de los corderos a los que se les incorporó SeO en la dieta, tuvieron un PCF de 10,47

kg y las canales de los corderos a los que se les incorporó Sel presentaron unos valores de PCF de 10,58 kg. Estos resultados coinciden con los encontrados por López (2006) en cordero Merino sacrificado con los mismos pesos que nuestro estudio. Con respecto al efecto de selenio sobre el PCC y PCF, los valores de ambos parámetros no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$), por lo que la inclusión de distintas fuentes de selenio en la dieta afectaron en igual medida al peso de las canales. Al igual que en este trabajo, otros autores tampoco encontraron diferencias en los valores de PCC y PCF al incorporar en la dieta SeO frente a Sel, tanto en canales de cordero (Vignola y col., 2009; Liu y col., 2011) como en ternera (Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015). En el mismo sentido, Domínguez-Vara y col. (2009) no encontraron diferencias en el PCC y PCF al comparar dietas con SeO con respecto a una dieta control sin selenio. Según Vignola y col. (2009) este hecho podría ser debido a que las dietas estudiadas, incluidas aquéllas en las que no se incorporó este mineral, contenían cantidades suficientes de selenio para un correcto crecimiento de los corderos.

Los valores de rendimiento de las canales de corderos suplementados con las dos fuentes de selenio fueron de 48,08% (SeO) y de 47,93% (Sel). Estos resultados coinciden con los encontrados por López y col. (2003) y son menores que los obtenidos por Liu col. (2011) en cordero Merino, si bien en ese trabajo los corderos fueron sacrificados con un peso mayor (42-43 kg p.v.), que justificaría los menores rendimientos de la canal obtenidos (Osorio y col., 1999). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos lotes de animales estudiados para este parámetro de la canal, en consonancia con los resultados obtenidos previamente por Vignola y col. (2009) y Liu y col. (2011). Otros autores tampoco encontraron diferencias en los rendimientos de las canales de ternera al incorporar en la dieta SeO con respecto a Sel (Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015). El rendimiento de la canal puede relacionarse con el estado de engrasamiento (Hernández-García y col., 2015), y como se verá a continuación, el nivel de engrasamiento tampoco si vio afectado por la incorporación de una u otra fuente de selenio.

Los valores de conformación de la canal fueron de 8,19 para las canales de los corderos suplementados con SeO y 8,40 para las canales de los corderos suplementados con Sel (escala EUROP). Estos valores fueron similares a los encontrados por López (2006) y superiores a los encontrados por López y col. (2003) en cordero Merino y utilizando la misma escala que en este trabajo. En cuanto al estado de engrasamiento, los valores de este parámetro fueron de 8,41 para los corderos alimentados con SeO y de 7,96 para los corderos suplementados con Sel. Estos valores fueron similares a los encontrados por López (2006) y por Rodríguez (2005) en cordero Merino. Al estudiar el efecto de las dos fuentes de selenio sobre la conformación y engrasamiento de la canal, no se encontraron diferencias significativas entre SeO y Sel en ninguno de estos parámetros ($P > 0,05$). En consonancia con nuestros resultados se encuentran los trabajos de Lawler y col. (2004) realizados en ternera y los estudios de Domínguez-Vara y col. (2009) al comparar el contenido de grasa de las canales suplementadas con SeO con respecto a un grupo control (sin selenio añadido). Como pudo observarse en el Ensayo 1, la conformación y engrasamiento de la canal no se vieron afectadas por la incorporación de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta, por lo que en principio era de esperar que la suplementación con SeO o Sel no tuviese influencia sobre estos parámetros. Es bien conocido que la dieta es uno de los factores principales que afectan al estado de engrasamiento de la canal de los corderos (Teixeira y col., 1992; Preziuso y col., 1999; Carson y col., 2001; Velasco y col., 2004), sin embargo, no parece tener la misma repercusión cambiar el tipo de alimento en sí (pienso por cebada, en el caso de Velasco y col., 2004), que incorporar algunos ingredientes en el mismo tipo de alimentación (Lanza y col., 2003; Rodríguez y col., 2003), como es el caso de este trabajo.

El pH final de la canal fue medido en el músculo *Longissimus lumborum*, entre la cuarta y quinta vértebra lumbar. Los valores de pH registrados fueron 5,71 (SeO) y 5,73 (Sel). Al igual que sucedía con los valores de pH obtenidos al estudiar el efecto de la PT y de la vitamina E, estos datos están dentro de un rango normal de pH (Immonen y col., 2000; Vergara y col., 2005), y coinciden con los encontrados por otros autores en la canal de los corderos (Díaz, 2001;

McGeehin y col., 2001; Perlo y col., 2008; Miguélez y col., 2008; Díaz y col., 2014). Al estudiar el efecto de las dos fuentes de selenio sobre el pH de la canal, no se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$), por lo que la naturaleza del selenio aportado en la dieta no afectó al pH final de la canal.

Los valores de las coordenadas CIELab medidas sobre el músculo recto abdominal (*Rectus abdominis*) se muestran en la Tabla VI.10. Los valores de luminosidad (L^*) fueron de 44,60 para SeO y 45,33 para Sel; los valores de color rojo (a^*) fueron de 13,01 (SeO) y de 12,86 (Sel); y los valores de color amarillo (b^*) fueron de 2,30 (SeO) y de 2,43 (Sel). No se encontraron diferencias significativas ($P>0,05$) al estudiar el efecto de la incorporación de selenio en la dieta de los corderos (SeO frente a Sel) en ninguna de las tres coordenadas de color medidas. Estos resultados, en general, son similares a los encontrados por otros autores en la canal ovina (Santos-Silva y col., 2003; Bodas y col., 2007; Ekiz y col., 2009; Addis y col., 2013).

VI.2.3. COMPOSICIÓN Y CALIDAD DE LA CARNE DE CORDERO.

VI.2.3.1. Composición general de la carne.

Los contenidos de proteínas, grasa intramuscular, materia seca y cenizas (g/100 g de músculo) de la carne de cordero (músculo *Biceps femoris*) vienen recogidos en la Tabla VI.11.

Tabla VI.11. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) en la dieta sobre la composición general de la carne (media \pm error estándar).

	SeO ¹	Sel ²	P
	(n=10)	(n=10)	
Materia Seca (g/100g)	24,01 \pm 2,59	24,37 \pm 1,87	ns
Proteínas (g/100g)	21,93 \pm 1,03	21,50 \pm 1,03	ns
Grasa Intramuscular (g/100g)	2,58 \pm 0,53	2,44 \pm 0,46	ns
Cenizas (g/100g)	1,08 \pm 0,12	1,09 \pm 0,09	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

Niveles de significación: ns=P>0,05.

Los valores de materia seca fueron de 24,01 y 24,37 g/100 g para la carne de los corderos a los que se les incorporó selenio orgánico (SeO) y selenio inorgánico (Sel), respectivamente. Estos resultados de materia seca coinciden con los encontrados por otros autores en carne de cordero Merino (Gutiérrez, 2008; Tejeda y col., 2008) y en cordero de otras razas (Macit y col., 2003a; Perlo y col., 2008; Vignola y col., 2009; Rufino y col., 2013; González-Calvo y col., 2015). El contenido en proteínas de la carne fresca fue de 21,93 g/100 g para las muestras de los corderos suplementados con selenio orgánico (SeO) y de 21,50 g/100 g para las de selenio inorgánico (Sel). Estos valores son similares a los obtenidos por otros autores en carne de cordero (Bodas y col., 2007; Caparra y col., 2007; Miguélez y col., 2008; Rufino y col., 2013). El contenido en grasa intramuscular (g/100 g) de la carne fresca fue de 2,58 g/100 g de las muestras SeO y de 2,44 g/100 g de las muestras Sel. Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros autores en pierna de cordero (Díaz,

2001; Cañeque y col., 2005). En cuanto al contenido en cenizas, las muestras de los corderos suplementados con “Selenio-yeast” presentaron 1,08 g/100 g, y las muestras de los suplementados con selenito de sodio, 1,09 g/100 g. Estas concentraciones de cenizas fueron similares a las descritas por otros autores en carne de cordero (Sacco y col., 2005; Miguélez y col., 2008).

Al estudiar el efecto de las dos fuentes de selenio sobre el contenido en materia seca, proteínas, grasa intramuscular y cenizas, no se encontraron diferencias significativas entre los lotes SeO y Sel para ninguno de los parámetros estudiados ($P > 0,05$). Coincidiendo con estos resultados, son numerosos los trabajos en los que la suplementación de SeO *versus* Sel, de forma general, no tiene incidencia sobre la composición general de la carne, de naturaleza tan diversa como cordero (Vignola y col., 2009), ternera (Skrivanova y col., 2007; Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015), cerdo (Zhan y col., 2007; Svoboda y col., 2011) y avestruz (Polawska y col., 2015).

VI.2.3.2. pH, color y contenido en mioglobina de la carne.

En la Tabla VI.12 se muestran los valores de pH, coordenadas CIELab y contenido en mioglobina (mg/g) de la carne fresca de cordero (m. *Biceps femoris*).

Los valores de pH medidos en la carne fresca fueron 5,50 para el grupo de corderos a los que se les incorporó en la dieta selenio orgánico (SeO) y 5,44 de los corderos a los que se les incorporó selenio inorgánico (Sel). Al igual que ocurría en el apartado VI.1.3.2, estos son valores normales de pH (Devine y col., 1993), y coinciden con los encontrados por otros autores en carne fresca de cordero (Martínez-Cerezo y col., 2005; Teixeira y col., 2005; Tejeda y col., 2008; Gutiérrez y col., 2011; Díaz y col., 2014). Como se ha explicado en el apartado de revisión bibliográfica, la glutatión peroxidasa (GSH-Px) es una enzima dependiente del selenio, y el resultado de su actividad es la protección de los ácidos grasos insaturados de las membranas celulares contra la oxidación provocada por los peróxidos provenientes del metabolismo celular (Skrivan y col. 2008). Esta protección de la integridad de la membrana celular

puede tener efecto sobre el pH de la carne (Zhan y col., 2007). Sin embargo, este trabajo no se encontraron diferencias entre los valores de pH de carne de animales alimentados con una u otra fuente de selenio ($P>0,05$).

Tabla VI.12. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) en la dieta de los corderos sobre el pH, el color (L^* , a^* , b^*) y el contenido en mioglobina (Mb) de la carne fresca (media \pm error estándar).

	SeO¹	Sel²	P
	(n=10)	(n=10)	
pH	5,50 \pm 0,04	5,44 \pm 0,03	ns
L^*	49,70 \pm 0,26	48,74 \pm 0,20	ns
a^*	13,86 \pm 0,23	13,98 \pm 0,19	ns
b^*	15,51 \pm 0,11	15,62 \pm 0,09	ns
Mioglobina (mg/g)	3,29 \pm 0,46	3,33 \pm 0,38	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

Niveles de significación: ns= $P>0,05$.

Los datos registrados para la luminosidad (L^*) de la carne fresca fueron de 49,70 para la carne de los corderos suplementados con SeO y de 48,74 para la carne de los corderos suplementados con Sel. Estos valores fueron mayores a los encontrados por otros autores en carne de cordero Merino (Tejeda y col., 2008; Gutiérrez y col., 2011; Liu y col., 2011). En este trabajo las diferencias de L^* entre los lotes SeO y Sel no fueron significativas ($P>0,05$), por lo que la suplementación con una u otra fuente de selenio no provocó diferencias de luminosidad en la carne de cordero. En cambio, Liu y col. (2011), sí que observaron mayores valores de L^* en la carne de corderos suplementados con SeO en comparación con los suplementados con Sel. De igual manera, Sgoifo y col. (2015) también encontraron mayores valores de L^* en carne de ternera suplementada con SeO en comparación con Sel. Estos autores no encontraron una explicación plausible a este hecho, ya que la luminosidad no puede relacionarse con una posible oxidación de la mioglobina

(McKenna y col., 2005), estando relacionada con la estructura de las proteínas de la carne (MacDougall, 1982).

El color rojo (a^*) medido en la carne fresca presentó valores de 13,86 para los corderos suplementados con “Selenio-yeast” y de 13,98 para los corderos suplementados con selenito de sodio. Estos resultados coinciden con los de otros autores en carne de cordero (Maiorano y col., 2005; Luciano y col., 2009). Al estudiar el efecto de las dos fuentes de selenio sobre la coordenada a^* , no se encontraron diferencias entre los dos valores en el presente trabajo ($P>0,05$), por lo que la utilización de SeO o de Sel repercute en la misma medida sobre el color rojo de la carne fresca de cordero. En cambio, Zhan y col. (2007) sí que encontraron mayores valores de color rojo en carne de cerdos (tras 16h del sacrificio) que fueron suplementados con SeO en comparación a los suplementados con Sel. El color de la carne puede relacionarse con el pH (James y col., 2002) y la pérdida de color rojo está directamente relacionada con la oxidación de la oximioglobina a metamioglobina (Schaefer y col., 1995). Zhan y col. (2007) encontraron mayores valores de pH en el lote SeO en comparación con el lote Sel, además de una menor concentración de malondialdehído (MDA). Según Daun y Atkenson (2004), la función del selenio sobre la calidad de la carne radica en su potencial efecto antioxidante.

Los valores de color amarillo (b^*) de la carne fresca fueron de 15,51 para la carne de los corderos suplementados con SeO y 15,62 para la carne de los suplementados con Sel, no observándose diferencias significativas entre ambos lotes estudiados ($P>0,05$). En cambio, Sgoifo y col., (2015) si que encontraron mayores valores de b^* en la carne de ternera al suplementar con SeO en comparación con Sel.

De forma general, y al igual que en esta Tesis Doctoral, son numerosos los trabajos en los que no se apreciaron diferencias sobre el pH y color de la carne al comparar el efecto de la suplementación en la dieta de SeO vs. Sel, en carne de cordero (Vignola y col., 2009), ternera (O’Grady y col., 2001; Skrivanova y col., 2007; Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015), cerdo (Mahan y col., 1999; Svoboda y col., 2011) y pavo (Juniper y col., 2011).

El contenido en mioglobina de la carne fresca de cordero fue de 3,29 mg/g para las muestras de los corderos a los que se le suministró selenio orgánico (SeO) y 3,33 mg/g para las muestras de los corderos que fueron suplementados con selenio inorgánico (Sel). Las diferencias entre ambos valores no fueron significativas ($P>0,05$). Coincidiendo con estos resultados, Zhan y col. (2007) tampoco encontraron diferencias en la concentración de Mb en la carne de cerdos suplementados con selenio orgánico frente a selenio inorgánico.

VI.2.3.3. Capacidad de retención de agua, pérdidas por cocinado, fuerza de corte de la carne.

En la Tabla VI.13 se muestran los valores de capacidad de retención de agua (CRA), pérdidas por cocinado (%) y fuerza de corte Warner-Bratzler (N) de la carne de cordero (m. *Biceps femoris*).

Tabla VI.13. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) en la dieta de los corderos sobre la capacidad de retención de agua (CRA), pérdidas por cocinado y fuerza de corte Warner-Bratzler (WB) de la carne fresca (media \pm error estándar).

	SeO ¹	Sel ²	P
	(n=10)	(n=10)	
CRA (%)	29,53 \pm 0,57	30,06 \pm 0,45	ns
Pérdidas Cocinado (%)	23,98 \pm 0,71	23,69 \pm 0,56	ns
Fuerza Corte WB (N)	41,53 \pm 3,27	45,86 \pm 2,23	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

Niveles de significación: ns= $P>0,05$.

La CRA de las muestras de los corderos a los que se le suministró SeO fue de 29,53% y la CRA de la carne de los corderos suplementados con Sel fue 30,06%, en consonancia con los valores obtenidos para este parámetro en las muestras estudiadas en el ensayo 1 de este estudio. En este trabajo no se

observó efecto significativo ($P > 0,05$) de la fuente de Selenio incorporada al pienso de los corderos sobre la CRA. En esta línea, y teniendo en cuenta la relación entre CRA y mermas de peso de la carne, Vignola y col. (2009) tampoco encontraron diferencias en las mermas de peso de la carne de cordero al comparar el efecto de la incorporación de estas dos fuentes de selenio en la dieta. El pH es uno de los factores más importantes que influyen en la CRA, ya que una bajada de los valores de pH disminuye la capacidad de las proteínas musculares para unirse al agua, provocando una contracción de las miofibrillas (Den Hertog-Meischke y col., 1997). Además, el deterioro de la integridad de la membrana de las células musculares, como consecuencia de una posible oxidación lipídica, puede afectar a la estabilidad de las membranas y podría contribuir a las pérdidas por exudado de la carne (Ashgar y col., 1991). Zhan y col. (2007) concluyeron que la utilización de selenometionina en la dieta contribuye a disminuir de forma significativa las pérdidas por goteo de la carne (m. *Longissimus dorsi*), protegiendo la integridad de la membrana y en última instancia influyendo sobre el pH del músculo. En el presente trabajo, como pudo observarse en el apartado anterior, no se encontraron diferencias en el pH de la carne al suplementar SeO vs. Sel, y como se verá más adelante, tampoco se encontraron diferencias en los parámetros relacionados con la estabilidad oxidativa de la grasa.

Las pérdidas por cocinado fueron del 23,98% para la carne de los corderos suplementados con SeO y del 23,69% para la carne de los corderos suplementados con Sel. Las diferencias entre estas pérdidas por cocinado no fueron significativas desde un punto de vista estadístico ($P > 0,05$), por lo que podría decirse que en este trabajo la incorporación en la dieta de una fuente de selenio orgánica o inorgánica no afecta significativamente a las pérdidas de peso que se puedan originar durante el cocinado de la carne fresca de cordero.

De acuerdo con estos resultados, y de forma general, otros autores tampoco encontraron diferencias en las mermas de peso y en las pérdidas por cocinado al suplementar la dieta con SeO frente a Sel de la carne de cordero (Vignola y col., 2009), ternera (Skrivanova y col., 2007; Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015) y de cerdo (Svoboda y col., 2011). Por el contrario, otros

autores sí encontraron menores mermas en las muestras de carne de cerdos (Mahan y col., 1999; Mateo y col., 2007; Zhan y col., 2007) y de pollos (Downs y col., 2000; Wang y col., 2011a y 2011b) suplementados con SeO con respecto a la carne de animales suplementados con Sel.

La fuerza de corte Warner-Bratzler de la carne fresca de cordero fue de 41,53 N para las muestras de corderos suplementados con SeO y de 45,86 N para las muestras de corderos suplementados con Sel. Estos valores fueron similares a los encontrados por otros autores en carne de cordero (Miguélez y col., 2008; Perlo y col., 2009; Jiang y col., 2015). Estos datos de fuerza de corte no fueron estadísticamente diferentes en el presente estudio ($P>0,05$), por lo que ambas fuentes de selenio afectaron de igual modo a este parámetro de textura. Resultados similares encontraron Svoboda y col. (2011) en carne de cerdo, al no apreciar diferencias en la terneza de la carne al suplementar la dieta con estas dos fuentes de selenio. En cambio, otros autores sí que encontraron menores valores de fuerza de corte de la carne de ternera en las muestras que fueron suplementadas con SeO en comparación con las que fueron suplementadas con Sel (Cozzi y col., 2011; Sgoifo y col., 2015). Estos autores indicaron que podría deberse a la relación positiva que existe entre el contenido en selenio de la carne con la actividad de la enzima GSH-Px (Juniper y col., 2008) resultando en una menor oxidación de las calpaínas (enzimas responsables de la proteólisis). Las proteínas musculares son sometidas a una marcada oxidación *post mortem*, que podría afectar a la terneza de la carne debido a la inactivación de las calpaínas, que puede inducir el entrecruzamiento de las proteínas miofibrilares (Huff Lonergan y col., 2010; Estévez, 2011; Lund y col., 2011), lo cual, en última instancia, puede incrementar la dureza de la carne (Sgoifo y col., 2015).

VI.2.3.4. Perfil de ácidos grasos de la carne de cordero.

En la Tabla VI.14 se muestra el perfil de ácidos grasos (expresado en porcentaje) de la carne fresca de cordero (m. *Biceps femoris*).

La composición de ácidos grasos de la carne de los corderos suplementados con selenio fue similar a la descrita en el Ensayo 1 de este

capítulo de resultados, coincidiendo también con la encontrada por otros autores en carne de cordero (Sañudo y col., 2000b; Velasco y col., 2004; Cañeque y col., 2005; Castro y col., 2005; Tejeda y col., 2008; Morán y col., 2013; Muíño y col., 2014; Gecgel y col., 2015), siendo el ácido oleico (C18:1 n-9) el mayoritario en porcentaje, seguido de los ácidos grasos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y linoleico (C18:2 n-6).

Tabla VI.14. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) en la dieta de los corderos sobre el perfil de ácidos grasos (%) de la carne fresca (media \pm error estándar).

Ácidos Grasos (%)	SeO ¹	Sel ²	P
	(n=10)	(n=10)	
C10:0	0,13 \pm 0,01	0,14 \pm 0,01	ns
C12:0	0,28 \pm 0,02	0,30 \pm 0,01	ns
C14:0	2,65 \pm 0,12	2,66 \pm 0,10	ns
C14:1 (n-5)	0,19 \pm 0,02	0,23 \pm 0,02	ns
C15:0	0,41 \pm 0,02	0,41 \pm 0,01	ns
C16:0	20,23 \pm 0,41	20,73 \pm 0,20	ns
C16:1 (n-7)	2,38 \pm 0,06	2,46 \pm 0,03	ns
C17:0	2,02 \pm 0,20	2,26 \pm 0,18	ns
C17:1 (n-7)	0,96 \pm 0,04	0,95 \pm 0,02	ns
C18:0	12,24 \pm 0,26	12,77 \pm 0,11	*
C18:1 (n-9)	43,46 \pm 1,20	40,80 \pm 0,46	*
C18:2 cis-9, trans-11	0,22 \pm 0,01	0,23 \pm 0,01	ns
C18:2 (n-6)	9,32 \pm 0,43	9,97 \pm 0,31	ns
C18:3 (n-3)	0,57 \pm 0,02	0,61 \pm 0,02	ns
C20:0	0,38 \pm 0,02	0,40 \pm 0,02	ns
C20:1 (n-9)	0,18 \pm 0,01	0,19 \pm 0,01	ns
C20:2 (n-6)	0,28 \pm 0,01	0,29 \pm 0,01	ns
C21:0	0,11 \pm 0,01	0,12 \pm 0,00	ns
C20:3 (n-6)	0,41 \pm 0,02	0,42 \pm 0,02	ns
C20:4 (n-6)	3,32 \pm 0,15	3,78 \pm 0,15	*
C20:5 (n-3)	0,26 \pm 0,01	0,29 \pm 0,01	*
Σ AGS	38,45 \pm 0,79	39,77 \pm 0,32	ns
Σ AGMI	47,17 \pm 1,14	44,63 \pm 0,45	*
Σ AGPI	14,38 \pm 0,61	15,59 \pm 0,48	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05.

La fracción mayoritaria fue la de los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI, 44-47%), seguida de la de ácidos grasos saturados (AGS, 37-39%) y de la de poliinsaturados (AGPI, 15-17%). En un estudio previo, en condiciones similares a la de este trabajo, pero sin la administración de selenio en la dieta, Gutiérrez y col. (2008) encontraron menores porcentajes de AGPI en la carne de cordero. En esta línea, Liu y col. (2011) encontraron un mayor mantenimiento de los AGPI en la carne de corderos con un mayor contenido en GSH-Px. Por el contrario, Skrivanova y col. (2007) no encontraron diferencias en el perfil de ácidos grasos al estudiar el efecto del selenio en la dieta sobre la calidad de la carne de ternera.

En este trabajo, al estudiar el efecto de la suplementación con dos fuentes de selenio (SeO y Sel) sobre el perfil en ácidos grasos, se encontraron diferencias significativas en el ácido graso mayoritario (C18:1 n-9) ($P < 0,05$), obteniéndose un mayor porcentaje de ácido oleico (C18:1 n-9) en la carne de los animales a los que se les administró selenio orgánico (SeO). También se encontraron diferencias en el ácido esteárico (C18:0) ($P < 0,05$), encontrándose en mayor cantidad, en la carne de los animales suplementados con Sel. Las diferencias en el porcentaje de C18:1 n-9 se tradujeron en un mayor contenido de AGMI totales en las muestras de SeO en comparación con las de Sel ($P < 0,05$). En cambio, las diferencias en C18:0 no afectaron al sumatorio de AGS ($P > 0,05$), ya que el ácido graso saturado mayoritario (ácido palmítico, C16:0) no presentó diferencias al comparar las dos fuentes de selenio. Steen y col. (2008) encontraron mayores concentraciones de selenio en la carne de los corderos suplementados con SeO en comparación con los suplementados con Sel, y como se ha dicho anteriormente, el Se forma parte de la GSH-Px, que es una enzima con actividad antioxidante y que puede actuar sobre la peroxidación lipídica (Zhan y col., 2007). No obstante, la peroxidación de los lípidos ocurre fundamentalmente sobre los AGPI, y no sobre los AGMI (Liu y col., 2011), por lo que este hecho no serviría para explicar el mayor contenido de ácido oleico de la carne del lote SeO. Al igual que en este trabajo, Martínez-Gómez y col. (2012) encontraron un mayor contenido en ácido oleico en el músculo *Longissimus dorsi* de cerdos que fueron suplementados con SeO en comparación a los suplementados con Sel. Si se tiene en cuenta la afirmación

de Sturdivant y col. (1992), que postularon que altos niveles de ácidos grasos monoinsaturados pueden reflejar una elevada actividad enzimática de desaturación, los resultados obtenidos en este estudio podrían indicar que la suplementación con SeO podría favorecer dicha actividad enzimática. En cambio, Polawska y col. (2015), no encontraron diferencias en el contenido total de AGS, AGMI y AGPI de la carne de avestruz al comparar la incorporación de estas dos fuentes de selenio en la dieta, si bien observaron que la carne de los avestruces suplementados con SeO presentaba un contenido más alto en ácido linoleico.

VI.2.3.5. Contenido en α -tocoferol de la carne y estabilidad oxidativa de la grasa intramuscular.

En la Tabla VI.15 se recogen los valores obtenidos para el α -tocoferol, malondialdehído (MDA) y hexanal de la carne fresca de cordero (*m. Biceps femoris*).

El contenido en α -tocoferol de la carne de cordero fue de 2,19 mg/kg para las muestras de los animales suplementados con SeO y de 1,87 mg/kg para las muestras de los animales suplementados con Sel.

Tabla VI.15. Efecto de la adición de selenio orgánico (SeO) e inorgánico (Sel) sobre el contenido en α -tocoferol (mg/kg), malondialdehído (MDA, mg/kg) y hexanal (μ g/g) de la carne fresca (media \pm error estándar).

	SeO ¹	Sel ²	P
	(n=10)	(n=10)	
α -tocoferol (mg/kg)	2,19 \pm 0,16	1,87 \pm 0,12	ns
Malondialdehído (mg/kg)	0,96 \pm 0,15	0,82 \pm 0,07	ns
Hexanal (mg/kg)	0,06 \pm 0,02	0,09 \pm 0,01	ns

¹ SeO: Selenio Orgánico (0,2 mg Se-yeast/kg de pienso).

² Sel: Selenio Inorgánico (0,2 mg Na₂SeO₃/kg de pienso).

Niveles de significación: ns=P>0,05.

Estas concentraciones de α -tocoferol en el músculo coinciden con las encontradas por otros autores en carne de cordero (Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Kasapidou y col., 2012; Ripoll y col., 2013; Muíño y col., 2014; González-Calvo y col., 2015). No se encontraron diferencias entre ambos valores ($P>0,05$), por lo que la utilización de una fuente de selenio u otra no tuvo ningún efecto sobre el contenido en α -tocoferol del músculo. En esta línea, O'Grady y col. (2001), no encontraron diferencias en el contenido en α -tocoferol de la carne al suplementar con SeO la dieta de terneros. Según Ekholm y col. (1991), la concentración de α -tocoferol en el músculo no se ve afectada por la suplementación de selenio en la dieta de terneros. Por el contrario, algunos autores encontraron mayores niveles de α -tocoferol en carne de pollo al incluir en la dieta SeO en lugar de Sel (Radmila y col., 2008; Skrivan y col., 2008; Chekani-Azar y col., 2010). Aunque el mecanismo de sinergia entre el selenio y la vitamina E no está claro (Skrivan y col., 2008), estos autores especulan que este mayor contenido de α -tocoferol de la carne de los pollos que fueron alimentados con SeO podría ser debido a que el selenio es un componente de la glutatión peroxidasa y participa activamente en la eliminación de peróxidos lipídicos de las células, evitando el uso de vitamina E para este propósito.

Las concentraciones de MDA en la carne fueron de 0,86 mg/kg para el lote SeO y 0,92 mg/kg para el lote Sel. Estos valores de MDA son similares a los encontrados por Gutiérrez y col. (2010) en carne de cordero Merino (del orden de 0,81 mg MDA/kg) y en otras razas ovinas por otros autores (Ponnampalam y col., 2001; De la Fuente y col., 2007).

La peroxidación lipídica es un fenómeno natural que afecta a los lípidos insaturados, causando la degradación de los mismos y de la integridad de las membranas celulares. El MDA es uno de los productos de la peroxidación, reacción inducida por radicales libres de oxígeno en los tejidos y, en general, se acepta que una mayor actividad enzimática antioxidante puede reducir la peroxidación lipídica (Xia y Zweier, 1995). Según Zhan y col. (2007), una actividad alta y estable de la GSH-Px protege a los lípidos de la peroxidación en la carne de cerdo, manteniendo unos bajos niveles de MDA. Teniendo en cuenta estas afirmaciones, y que algunos autores encontraron una relación positiva entre el nivel de selenio en sangre y la actividad de la GSH-Px en

corderos (Pavlata y col., 2000; Gresakova y col., 2013) y en vacas (Calamari y col., 2010), cabría esperar un efecto positivo del selenio sobre la estabilidad oxidativa de la grasa. Sin embargo, en nuestro trabajo, no se encontraron diferencias en los valores de MDA ($P>0,05$) de la carne de los corderos alimentados con SeO con respecto a las concentraciones de MDA de la carne de los animales suplementados con Sel. Coincidiendo con estos resultados, otros autores tampoco encontraron diferencias en los valores de MDA de la carne al comparar la incorporación de SeO con respecto a Sel en la dieta de corderos (Juniper y col., 2009; Vignola y col., 2009) y de terneros (O'Grady y col., 2001; Skrivanova y col., 2007). En esta línea, Juniper y col. (2008), a pesar de encontrar una mayor actividad de la GSH-Px en los tejidos musculares de terneros alimentados con SeO frente a los alimentados con Sel, no encontraron ningún efecto apreciable sobre la estabilidad oxidativa de la grasa.

Con respecto al hexanal, las concentraciones encontradas en la carne de los corderos fueron de 0,06 mg hexanal/kg para el SeO y de 0,09 mg hexanal/kg para el Sel. Estos valores fueron inferiores a los encontrados por Gutiérrez y col. (2009) y Morán y col. (2013) en carne de cordero Merino. Al estudiar el efecto de la incorporación de las dos fuentes de selenio en la dieta sobre el contenido en hexanal del músculo, no se encontraron diferencias reseñables entre los dos valores ($P>0,05$), al igual que sucediera con el MDA.

Weiss (2005), en una revisión de la incorporación de diferentes fuentes de selenio en los piensos de vacas lecheras, afirmó que los animales alimentados con SeO presentaban mayores concentraciones de selenio en casi todos los tejidos con respecto a vacas alimentadas con Sel. Otros autores encontraron que la incorporación en la dieta de SeO en comparación con el Sel, supone mayor captación y retención de selenio por parte de la microbiota ruminal en cordero (Gresakova y col., 2013) y ternera (Mainville y col., 2009). Sin embargo, en los trabajos en los que se comparó el efecto de la incorporación de estas dos fuentes de selenio sobre la actividad de la GSH-Px en sangre, no se encontraron diferencias en la actividad de esta enzima

antioxidante ni en ganado ovino (Travnicek y col., 2007, Juniper y col., 2009) ni en ganado caprino (Petrera y col., 2009).

En general, podría decirse que en este trabajo la fuente de selenio (SeO *versus* Sel) no parece guardar relación directa con algunos parámetros de calidad de la carne como el pH final, las pérdidas por goteo, el mantenimiento del color o el mantenimiento de la estabilidad oxidativa de la grasa.

VI.3. ENSAYO 3: ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PULPA DE TOMATE Y VITAMINA E, EN LA DIETA DE LOS CORDEROS DURANTE EL CEBO, SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE FRESCA ENVASADA EN ATMÓSFERA PROTECTORA Y ALMACENADA EN REFRIGERACIÓN.

VI.3.1. PH Y COMPOSICIÓN DE GASES EN EL ENVASE.

En este estudio se utilizó una atmósfera de envasado compuesta por un 70% de oxígeno y un 30% de dióxido de carbono (como se explica en el punto IV correspondiente al Diseño Experimental). En trabajos anteriores en los que se utilizaron condiciones similares a este estudio (tipo de muestra y equipos de envasado) y cuyo fin era determinar la composición de gases de envasado óptima para un conveniente mantenimiento de la calidad de la carne de cordero fresca fileteada durante un tiempo superior a 7 días, se estableció que ésta era la mezcla de gases más idónea para su conservación (en comparación con las siguientes mezclas: Aire; 80-20% O₂-CO₂; 69,8-30-0,2% Ar-CO₂-CO) (Gutiérrez y col. 2012; Gutiérrez y col. 2013).

En la Tabla VI.16 se muestran los valores de pH de la carne de cordero (determinado sobre el músculo *Biceps femoris*) y composición de gases en el interior del envase (O₂ y CO₂) tras 1, 7 y 14 días en refrigeración a 4°C.

Durante los 14 días de almacenamiento en refrigeración, el pH de la carne estuvo comprendido entre 5,32 y 5,57. Estos valores fueron similares a los encontrados por otros autores en carne de cordero Merino (Martínez-Cerezo y col., 2005; Tejeda y col., 2008; Gutiérrez y col., 2012). El pH de las chuletas de cordero no mostró una variación significativa durante los 14 días de almacenamiento ($P_{DÍA} > 0,05$), manteniéndose por tanto los valores constantes durante este periodo de almacenamiento en todos los lotes. Al igual que en este trabajo, el mantenimiento de los valores de pH en la carne de cordero envasada en atmósferas modificadas también fue observado por otros autores (Gutiérrez y col., 2011; Bañón y col., 2012), en cambio, en algunos trabajos se

observó una subida del pH durante el almacenamiento de la carne de cordero (Linares y col., 2008; Karabagias y col., 2011). Estos autores atribuían la subida del pH durante el almacenamiento a un posible deterioro de la carne, en el que una degradación de las proteínas puede dar lugar a la liberación de aminoácidos (Moore y Gill, 1987), que conducen a la formación de amoníaco y aminas, que son de naturaleza alcalina. Durante el almacenamiento de la carne envasada en atmósferas modificadas, el pH de la carne también puede disminuir como resultado de la absorción de CO₂ por parte de la carne, ya que este gas es muy soluble tanto en agua como en grasa (Gill y col., 1988). El CO₂ disuelto en el agua de la carne produce ácido carbónico, que se disocia en bicarbonato e iones hidrógeno (Dixon y Kell, 1989). La solubilidad del dióxido de carbono en la carne se ve influenciado por diversos factores, tales como la temperatura, la presión parcial de CO₂, la superficie expuesta de la carne, la humedad y el porcentaje graso de la misma (Zhao y col., 1994). En nuestro estudio, y como se verá en este mismo apartado, la concentración de CO₂ en el espacio de cabeza del envase aumentó a lo largo de los 14 días de almacenamiento, por lo que este factor no tuvo incidencia sobre el pH. Gutiérrez y col. (2011) concluyeron que utilizando un 30% de CO₂ en el espacio de cabeza del envase, se mantiene el pH de la carne de cordero durante 12 días de almacenamiento en refrigeración. Al estudiar el efecto de la incorporación de pulpa de tomate en el pienso de los corderos durante el cebo en las dosis mencionadas en el material y métodos de este trabajo (PT0: sin adición de pulpa de tomate; y PT10: 10 kg PT / 100 kg de pienso) sobre el pH de la carne, no se encontraron diferencias ($P_{PT} > 0,05$) en los valores de este parámetro en ninguno de los días de almacenamiento objeto de estudio (días 1, 7 y 14). Los tres niveles de vitamina E incluidos en la dieta de los corderos (VE50, VE250 y VE500) tampoco tuvieron efecto significativo ($P_{VE} > 0,05$) sobre el pH de la carne durante el almacenamiento. Como ya se mencionó en el ensayo 1 de esta Tesis Doctoral (apartado VI.1.3.2), la naturaleza del alimento suministrada al animal no tiene una importancia relevante sobre el valor del pH final de la carne (Lowe y col., 2002). Así, otros autores tampoco encontraron diferencias en los valores de pH de la carne fresca al incorporar en la dieta subproductos agroindustriales (Caparra y col., 2007; Rodrigues y col., 2008;

Inserra y col., 2014; Muíño y col., 2014) y vitamina E (Lauzurica y col., 2005; De la Fuente y col., 2007; Atay y col., 2009; Muela y col., 2014); además, en nuestro estudio, la ausencia de efecto de la dieta sobre el pH estuvo patente durante todo el almacenamiento en refrigeración.

La composición de gases del espacio de cabeza de un envase puede variar durante el almacenamiento con respecto a la mezcla inicialmente introducida, debido a numerosos factores, tales como la actividad microbiana, la permeabilidad del envase, la respiración y/o la absorción por parte de la carne (Esmer y col., 2011). En este trabajo, los niveles de O₂ en el interior del envase descendieron de forma significativa ($P_{DÍA} < 0,001$) desde 72,53-73,15% en el día 1 hasta 62,24-64,31% después de 14 días de almacenamiento en refrigeración. Esta evolución descendente del O₂ es similar a la encontrada por otros autores en carne de cordero (Doherty y col., 1995; Kennedy y col. 2004) y en ternera (Esmer y col., 2011; Murphy y col., 2013) envasada en atmósfera modificada. La evolución del O₂ en el interior del envase durante el almacenamiento mostró una tendencia similar para los dos grupos de variables (PT y VE). La respiración muscular *post mortem* utiliza O₂ y produce CO₂ (Faustman y Cassens, 1990), influyendo por lo tanto en la evolución de la composición de los gases en el interior del envase. Sin embargo, Jakobsen y Bertelsen (2002) afirmaron que la respiración se produce inmediatamente después del sacrificio y su tasa se reduce con el tiempo, por lo que la disminución del O₂ al inicio del almacenamiento podría deberse a procesos químicos y bioquímicos relacionados con la respiración de los tejidos, mientras que al final de la conservación serían otros factores los que entrarán en juego, como puede ser el crecimiento microbiano, como observaron Murphy y col. (2013) en carne de ternera envasada en una atmósfera con un 80% de oxígeno y un 20% de dióxido de carbono. Por otra parte, al estudiar el efecto de la adición de pulpa de tomate en la dieta de los corderos sobre el contenido de O₂ del envase, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras PT0 y PT10, para los días 1 y 7 de almacenamiento. En cambio, al llegar a los 14 días, se observó una mayor ($P_{PT} < 0,001$) proporción de oxígeno en el envase en los lotes PT0 frente a los lotes PT10.

Tabla VI.16. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre el pH de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora y la composición de gases del envase (%O₂ y %CO₂) después de 1, 7 y 14 días de almacenamiento en refrigeración.

Día	Pulpa Tomate		Vitamina E			Efecto			
	PT0 (n=10)	PT10 (n=10)	VE50 (n=10)	VE250 (n=10)	VE500 (n=10)	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}	
pH	1	5,53 ± 0,05	5,42 ± 0,04	5,51 ± 0,05	5,42 ± 0,11	5,43 ± 0,05	ns	ns	ns
	7	5,37 ± 0,06	5,48 ± 0,06	5,46 ± 0,06	5,32 ± 0,13	5,44 ± 0,06	ns	ns	ns
	14	5,48 ± 0,08	5,54 ± 0,06	5,54 ± 0,06	5,57 ± 0,16	5,47 ± 0,08	ns	ns	ns
	P _{DÍA}	ns	ns	ns	ns	ns			
O ₂	1	72,71 ¹ ± 0,21	72,64 ¹ ± 0,18	72,53 ¹ ± 0,21	73,15 ¹ ± 0,19	72,67 ¹ ± 0,22	ns	ns	ns
	7	68,21 ² ± 0,21	68,19 ² ± 0,15	68,22 ² ± 0,21	68,47 ² ± 0,26	68,11 ² ± 0,18	ns	ns	ns
	14	64,31 ³ ± 0,44	62,24 ³ ± 0,44	63,61 ³ ± 0,59	62,86 ³ ± 0,68	62,70 ³ ± 0,49	***	ns	ns
	P _{DÍA}	***	***	***	***	***			
CO ₂	1	23,74 ³ ± 0,38	24,06 ³ ± 0,26	23,98 ³ ± 0,40	23,84 ³ ± 0,54	23,88 ³ ± 0,29	ns	ns	ns
	7	28,78 ² ± 0,17	29,01 ² ± 0,13	28,45b ² ± 0,18	29,10a ² ± 0,06	29,31a ² ± 0,13	ns	***	ns
	14	33,70 ¹ ± 0,35	34,86 ¹ ± 0,32	34,01 ¹ ± 0,45	34,39 ¹ ± 0,43	34,74 ¹ ± 0,34	***	ns	ns
	P _{DÍA}	***	***	***	***	***			

Lotes Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; * = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001.

a, b: diferentes letras en el mismo día de muestreo indican diferencias significativas entre lotes VE, P_{VE}<0,05, test de Tukey.

Superíndices ^{1, 2, 3}: diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, P<0,05, test de Tukey.

Con respecto al efecto de los tres niveles de vitamina E añadidos al pienso sobre el porcentaje de O₂ en el espacio de cabeza de los envases, no hubo diferencias ($P_{VE} > 0,05$) entre los tres niveles de vitamina E suplementados (VE50, VE250, VE500; 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente) en ninguno de los tres días objeto de estudio del almacenamiento en refrigeración. Lund y col. (2007) encontraron mayores concentraciones de O₂ en los envases que contenían carne de ternera picada con antioxidantes añadidos (extracto de romero y vitamina C), y atribuían este hecho a que la adición de extracto de romero en la carne puede conseguir un menor crecimiento microbiano (Djenane y col., 2002). No obstante, desde el año 2008, la adición de antioxidantes en la carne envasada no está permitida en la Unión Europea (Comisión Europea, 2008b), por lo que es necesario recurrir a otras estrategias, como la incorporación de los antioxidantes en la dieta de los animales. En este sentido, algunos estudios han constatado que la incorporación de vitamina E en la dieta, no tiene repercusión sobre la población microbiana de la carne de cordero envasada en atmósferas con alta proporción de O₂ (Lauzurica y col., 2005; Ortuño y col., 2015), que como se ha visto anteriormente, se considera una de las causas de la disminución de O₂ en el interior del envase.

Los porcentajes de CO₂ en el espacio de cabeza estuvieron comprendidos entre 23,74-24,06% para el día 1 de almacenamiento hasta 33,70-34,86% en el día 14. Niveles por debajo del 15% de CO₂ no inhiben el crecimiento de microorganismos de manera satisfactoria, mientras que concentraciones superiores al 40% pueden producir el colapso del envase debido a que el CO₂ es absorbido por el tejido de la carne (McMillin y col., 1999). Como puede observarse en la Tabla VI.16, en este trabajo los niveles de CO₂ se mantuvieron dentro de esos límites durante todo el almacenamiento en refrigeración. La evolución del CO₂ durante el almacenamiento fue ascendente y significativa ($P_{DÍA} < 0,001$) para los dos grupos de pulpa de tomate (PT0 y PT10) y los tres de vitamina E (VE50, VE250 y VE500). Otros autores también observaron un aumento de CO₂ durante el almacenamiento en refrigeración en carne de cordero (Doherty y col., 1995; Kennedy y col. 2004) y de ternera (Esmer y col., 2011; Murphy y col., 2013) envasada en atmósfera modificada.

Sería de esperar que la concentración de CO₂ del espacio de cabeza del envase disminuyera a lo largo del almacenamiento en refrigeración, debido a la absorción del mismo por parte de la carne (Jakobsen y Bertelsen, 2002), pero esta posible disminución no puede controlarse a causa del crecimiento microbiano (Esmer y col., 2011). Durante el almacenamiento, la mayoría de los microorganismos presentes en la carne utilizan el oxígeno disponible en el espacio de cabeza, mientras que algunos miembros de la microflora de la carne, tales como *Bacillus thermosphacta* y las bacterias ácido-lácticas, producen dióxido de carbono como producto de su metabolismo (Nychas, 1994). Por otra parte, se ha demostrado que la respiración muscular *post mortem* utiliza O₂ y produce CO₂ (Faustman y Cassens, 1990). Jakobsen y Bertelsen (2002) señalaron que la respiración se produce inmediatamente después del sacrificio, y que su tasa disminuye con el tiempo. Estos dos hechos podrían explicar tanto la evolución del O₂ como del CO₂ en el interior del envase durante el almacenamiento en refrigeración, pudiendo ser la respiración muscular la causante del descenso de O₂ y aumento de CO₂ al inicio del almacenamiento, y el crecimiento microbiano el responsable al final del mismo. Los dos grupos de pulpa de tomate no presentaron diferencias en los niveles de CO₂ ($P_{PT} > 0,05$) en los días 1 y 7 de almacenamiento en refrigeración; en cambio, al llegar al día 14, se observó un mayor contenido de CO₂ en los envases de la carne de corderos alimentados con PT10. Con respecto al efecto de la vitamina E sobre el CO₂ del envase, no se apreciaron diferencias significativas entre los porcentajes de CO₂ de los tres grupos de vitamina E suplementados en la dieta (VE50, VE250 y VE500) en el primer día de almacenamiento, no siendo significativas las diferencias hasta el día 7 de almacenamiento ($P_{VE} < 0,001$), encontrándose mayor proporción de CO₂ en el lote VE500). Al llegar al día 14 de almacenamiento, los porcentajes de CO₂ se igualaron entre los tres niveles de vitamina E suplementada, desapareciendo las diferencias entre los tres grupos ($P_{VE} > 0,05$). Existen numerosos trabajos en los que se estudia el efecto combinado de la incorporación de vitamina E en la dieta de los corderos con el envasado de la carne en atmósfera protectora (Kerry y col., 2000; Lauzurica y col., 2005, Álvarez y col., 2009; Ripoll y col., 2011; Bañón y col., 2012; Kasapidou y col., 2012; Morán y col., 2012 y 2013;

Ortuño y col., 2015), sin embargo, en ninguno de ellos se hace referencia a la evolución de los gases del espacio de cabeza del envase, por lo no es posible la comparación entre nuestros resultados y otros estudios.

VI.3.2. COLOR DE LA CARNE DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN.

En la Tabla VI.17 se muestran los valores obtenidos para los parámetros de color, luminosidad (L^*), color rojo (a^*) y color amarillo (b^*), de la carne de cordero (m. *Biceps femoris*) tras 1, 7 y 14 días en refrigeración a 4°C.

Los valores de L^* estuvieron comprendidos entre 47,81-48,91 en el día 1 de almacenamiento y 50,07-51,31 a los 14 días del envasado. Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores en carne de cordero envasada en atmósferas modificadas (Linares y col., 2008; Gutiérrez y col., 2011). La evolución de la luminosidad fue similar para todos los grupos estudiados (PT0, PT10, VE50, VE250 y VE500), manteniéndose constante durante los 7 primeros días de almacenamiento y aumentando después de 14 días en refrigeración ($P_{\text{DÍA}} < 0,001$ para PT0 y VE500; $P_{\text{DÍA}} < 0,01$ para PT10, VE50 y VE250). Otros autores también observaron que los valores de luminosidad de la carne de cordero envasada en atmósfera modificada aumentaban a lo largo del almacenamiento en refrigeración (Berruga y col., 2005; Linares y col., 2008; Gutiérrez y col., 2011; Linares y Vergara, 2012). De forma general, estos resultados concuerdan con lo establecido por Jacob y col. (2007), quienes observaron que la luminosidad de la carne va aumentando a lo largo del tiempo de almacenamiento. El valor de L^* en la superficie de la carne se relaciona por un lado con el grado de engrasamiento de la carne y por otro con la cantidad de pigmento en la misma (Andrés y col., 2000). La presencia de exudado o agua en la superficie de la misma también podría ser la razón de una mayor reflexión de la luz incidente y mayores valores de luminosidad registrados (Ortuño y col., 2015). En otros estudios se ha observado que la luminosidad aumenta con una disminución de la intensidad del color rojo de la carne (Pérez-Álvarez, 1996; Andrés y col., 2000; Gutiérrez y col., 2012). Coincidiendo con estos estudios, la luminosidad y el incremento de la misma durante la

refrigeración en este trabajo parece guardar relación con la intensidad del color rojo (a^*) de las muestras de carne de cordero, ya que al calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre L^* y a^* se observó una correlación negativa ($r = -0,28$; $P < 0,001$). En cuanto al efecto de la adición de PT sobre la luminosidad de la carne, no se encontraron diferencias significativas hasta el día 14 de almacenamiento en refrigeración ($P_{PT} < 0,05$), presentando el grupo PT10 menores valores de L^* . Otros autores tampoco encontraron diferencias en este parámetro al incorporar en la dieta otros subproductos, tales como pulpa de remolacha o pulpa de cítricos (Bodas y col. (2007; Inserra y col., 2014). Al estudiar el efecto de la inclusión de vitamina E en la dieta de los corderos sobre la luminosidad de la carne, tampoco se encontraron diferencias significativas ($P_{VE} > 0,05$) entre los tres niveles de α -tocoferol suministrados (VE50, VE250 y VE500) en ninguno de los tres días objeto de estudio (1, 7 y 14) a lo largo del almacenamiento en refrigeración. Al igual que en este trabajo, Gatellier y col. (2001) tampoco encontraron diferencias en la luminosidad de carne de ternera envasada en atmósfera modificada (80:20 O_2 : CO_2) durante el almacenamiento al incluir en la dieta α -tocoferol (75 *versus* 1000 mg α -tocoferol/kg pienso). En cambio, Ripoll y col. (2011), sí que encontraron diferencias en la luminosidad de la carne de cordero al suplementar con 500 mg α -tocoferol/kg de pienso (envasada en atmósfera modificada, 40% O_2 , 30% CO_2 , 30% Ar y tras 11 días de almacenamiento en refrigeración), obteniendo menores valores de L^* en la carne de los corderos que fueron suplementados con vitamina E. Los valores de L^* encontrados por Ripoll. y col. (2011) al suplementar con α -tocoferol, se encontraron por debajo del umbral establecido como deseable por Carrasco y col. (2009) en carne de cordero, atribuyendo este descenso de luminosidad al efecto positivo de la vitamina E sobre la CRA, parámetro relacionado con la luminosidad de la carne (Ortuño y col., 2015). Como puede observarse en el apartado VI.1.3.3, en nuestro estudio, con la inclusión de 500 mg α -tocoferol/kg de pienso se obtuvieron mayores valores de CRA en la carne 24 h *post mortem*, en comparación con los otros tratamientos (PT0, PT10, VE50 y VE250). En cambio, no se encontraron diferencias en la luminosidad al comparar los tres niveles de vitamina E suplementados en la dieta de los corderos, ni en la carne fresca tras 24 h del sacrificio (apartado VI.1.3.2), ni

Tabla VI.17. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre la luminosidad (L*), color rojo (a*) y color amarillo (b*) de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora después de 1, 7 y 14 días de almacenamiento en refrigeración.

Dia	Pulpa Tomate		Vitamina E			Efecto			
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}	
L*	1	48,38 ² ± 0,45	47,94 ² ± 0,33	48,23 ² ± 0,41	48,91 ² ± 0,47	47,81 ² ± 0,39	ns	ns	ns
	7	49,27 ² ± 0,44	48,70 ² ± 0,40	48,83 ² ± 0,49	50,07 ¹² ± 0,54	49,07 ² ± 0,41	ns	ns	ns
	14	51,09 ¹ ± 0,26	49,80 ¹ ± 0,31	50,75 ¹ ± 0,24	51,31 ¹ ± 0,21	50,07 ¹ ± 0,37	*	ns	ns
	P _{DÍA}	***	**	**	**	***			
a*	1	15,70 ¹ ± 0,31	15,49 ¹ ± 0,25	15,47 ¹ ± 0,29	15,51 ¹ ± 0,38	15,70 ¹ ± 0,31	ns	ns	ns
	7	13,93 ² ± 0,33	14,21 ² ± 0,26	13,64 ² ± 0,32	14,71 ¹ ± 0,54	14,37 ² ± 0,30	ns	ns	ns
	14	11,86 ³ ± 0,32	12,33 ³ ± 0,26	11,76 ³ ± 0,36	13,07 ² ± 0,50	12,23 ³ ± 0,23	ns	ns	ns
	P _{DÍA}	***	***	***	**	***			
b*	1	16,16 ¹ ± 0,22	15,94 ¹ ± 0,16	16,01 ¹ ± 0,20	16,04 ± 0,27	16,07 ¹ ± 0,21	ns	ns	ns
	7	15,41 ² ± 0,19	15,47 ¹² ± 0,17	15,25 ² ± 0,17	15,97 ± 0,38	15,50 ¹² ± 0,20	ns	ns	ns
	14	15,34 ² ± 0,13	15,18 ² ± 0,12	15,26 ² ± 0,14	15,71 ± 0,30	15,12 ² ± 0,13	ns	ns	ns
	P _{DÍA}	**	**	**	ns	**			

Lotes Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05.

Superíndices ^{1, 2, 3}: diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, P<0,05, test de Tukey.

durante los 14 días de almacenamiento en refrigeración de la carne envasada en atmósfera modificada.

Los valores de color rojo de la carne (a^*) variaron desde 15,47-15,70 inicialmente, hasta 11,76-13,07 después de 14 días de almacenamiento en refrigeración. Estos resultados coinciden al inicio el almacenamiento con los encontrados por Gutiérrez y col. (2011) en carne de cordero envasada en atmósfera modificada, pero en esta Tesis Doctoral los valores finales de a^* fueron más elevados que los de ese trabajo. La intensidad de a^* se redujo de forma marcada durante el almacenamiento de la carne en refrigeración ($P_{\text{DÍA}} < 0,001$ para PT0, PT10, VE50 y VE500; $P_{\text{DÍA}} < 0,01$ para VE250), en concordancia con lo observado por otros autores en carnes de cordero (Berruga y col., 2005; Gutiérrez y col., 2011; Linares y Vergara, 2012; Bañón y col., 2014) y ternera (Esmer y col., 2011; Murphy y col., 2013) envasadas en atmósferas con alta proporción de O_2 . La disminución del color rojo de la carne se debe a la oxidación de la mioglobina, formándose metamioglobina, de color marrón, a medida que se inactiva la actividad enzimática reductora y la presión parcial de oxígeno disminuye (Gill, 1988). Por tanto, esta disminución de los valores de a^* de la carne durante el almacenamiento podría ser debida a la oxidación de la mioglobina de la carne. En relación a esta observación, se ha comentado que el porcentaje de oxígeno se reducía significativamente durante el almacenamiento (apartado VI.3.1). De hecho, al calcular el coeficiente de correlación de Pearson entre a^* y contenido en O_2 se observó una correlación positiva y significativa ($r = 0,50$; $P < 0,001$). En cuanto al efecto de la pulpa de tomate sobre el color rojo de la carne, no se encontraron diferencias significativas entre los lotes PT0 y PT10 ($P_{\text{PT}} > 0,05$) en ninguno de los días objeto de estudio (día 1, 7 y 14 de almacenamiento). En esta línea, Bodas y col. (2007) tampoco encontraron diferencias en los valores de a^* al estudiar el efecto de la incorporación de pulpa de remolacha azucarera en la dieta de los corderos. En cambio, Inserra y col. (2014) y Caparra y col. (2007) sí que encontraron menores valores de a^* al incluir pulpa de cítricos en la dieta de los corderos en la carne almacenada en refrigeración durante 6 días. Estos autores atribuyeron estas diferencias en los valores de a^* durante el almacenamiento, a la ausencia de un sistema eficaz de envasado. En este sentido, el envasado en

atmósfera modificada con altas proporciones de oxígeno en el envase ayudan a preservar el color rojo de la carne (Kennedy y col., 2004; Gutiérrez y col., 2011). Con respecto al efecto de la vitamina E sobre el color rojo de la carne, no se encontraron diferencias significativas entre la carne procedentes de animales alimentados con distintos niveles (VE50, VE250 y VE500, $P_{VE} > 0,05$) durante todo el almacenamiento en refrigeración. El enriquecimiento de las dietas con α -tocoferol puede retrasar los cambios que se producen en el color de la carne, aumentando la vida útil de la misma (Krska y col., 2001). En esta línea, Kerry y col. (2000) encontraron mayores valores de a^* en carne de cordero envasada en atmósfera modificada (70:30 $O_2:CO_2$) incorporando a la dieta 1000 miligramos de α -tocoferol/kg de pienso, con respecto a otra dieta con un contenido basal de 20 mg α -tocoferol/kg de pienso. En este sentido, Lauzurica y col. (2005) encontraron mayores niveles de metamioglobina en la carne de los corderos que carecían de vitamina E en la dieta con respecto a la carne de corderos que fueron alimentados con piensos que contenían 250, 500 y 1000 mg α -tocoferol/kg de pienso (carne de cordero envasada en una atmósfera 70:30 $O_2:CO_2$ y almacenada durante 14 días en refrigeración), si bien, al igual que en este trabajo, no encontraron diferencias al comparar los tres niveles de vitamina E suplementada. Kasapidou y col. (2012) tampoco encontraron diferencias en los valores de a^* de carne de cordero envasada en atmósfera modificada (75:25 $O_2:CO_2$) al suplementar la dieta de los corderos con α -tocoferol (60, 120, 250 y 500 mg/kg de pienso). Así pues, aunque se ha demostrado que la incorporación de α -tocoferol en la dieta de los corderos con respecto a un blanco o control, puede favorecer el mantenimiento del color rojo de la carne (Kerry y col., 2000; Krska y col., 2001; Lauzurica y col., 2005), la incorporación de diferentes niveles de vitamina E en la dieta (en el rango 50-500 mg α -tocoferol/kg de pienso) parece afectar en igual medida al color rojo de la carne de cordero (Lauzurica y col., 2005; Kasapidou y col. 2012).

Los valores de la coordenada b^* (color amarillo) estuvieron comprendidos entre 15,94-16,16 en el día 1 y 15,12-15,71 a los 14 días de almacenamiento en refrigeración. Estos valores son mayores que los encontrados por Gutiérrez y col. (2011) en carne de cordero Merino envasada en atmósferas modificadas. La evolución de b^* fue descendente y significativa

($P_{DÍA} < 0,01$) durante el almacenamiento para los grupos PT0, PT10, VE50 y VE500. Con respecto al efecto de la pulpa de tomate y de la vitamina E sobre el b*, no se encontraron diferencias significativas entre los lotes PT0 y PT10 ni tampoco entre los lotes VE50, VE250 y VE500 ($P_{PT} > 0,05$ y $P_{VE} > 0,05$) después de 1, 7 y 14 días de almacenamiento en refrigeración.

VI.3.3. EVOLUCIÓN DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA CARNE DE CORDERO.

En la Tabla VI.18 se muestra el efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración, sobre la composición de ácidos grasos de la carne fresca de cordero. El perfil de ácidos grasos de los lípidos totales de la carne de cordero Merino (expresados en porcentaje) a lo largo de los 14 días de almacenamiento en refrigeración viene recogido en las tablas VI.19 (día 1 de almacenamiento), VI.20 (día 7) y VI.21 (día 14).

La grasa influye en muchas características que definen la calidad de la carne, desde el color, hasta la percepción de su textura o de su sabor, ya que dependen de una u otra manera de la composición de la misma (Muchenje y col., 2009). Durante el almacenamiento de la carne fresca, se desarrollan sobre los lípidos una serie de procesos enzimáticos de carácter hidrolítico que conducen a la liberación de ácidos grasos (Antequera y Martín, 2001). La carne de cordero tiene un alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados, que aunque beneficiosos para la salud, actúan como sustratos en los procesos oxidativos de la carne (Abuja y col., 2001).

Los ácidos grasos mayoritarios durante la totalidad del almacenamiento en refrigeración fueron el ácido oleico (C18:1 n-9), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y linoleico (C18:2 n-6). Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores en carne de cordero envasado durante 12-14 días en atmósferas modificadas (Álvarez y col., 2009; Gutiérrez y col., 2013; Muíño y col., 2014). A lo largo del almacenamiento, las diferencias encontradas en el grupo PT0 fueron debidas sobre todo a ácidos grasos saturados, como los ácidos cáprico (C10:0), láurico (C12:0) y mirístico (C:14:0) ($P_{DÍA} < 0,01$); que fueron disminuyendo durante el almacenamiento, aunque al tratarse de ácidos

grasos minoritarios, no tuvieron repercusión en el porcentaje total de AGS. En la carne de los corderos alimentados con pulpa de tomate (PT10) tampoco se encontraron diferencias en los ácidos grasos mayoritarios ($P_{\text{día}} > 0,05$). Sí pueden apreciarse diferencias en algunos ácidos grasos minoritarios como el C14:1 n-5 (ácido miristoleico) y el C17:0 (ácido margárico), que disminuyeron durante el periodo de refrigeración ($P_{\text{día}} < 0,001$). En general, puede observarse que durante los 14 días de almacenamiento, no hubo diferencias en los porcentajes de AGS, AGMI y AGPI de los grupos de muestras PT0 y PT10 ($P_{\text{día}} > 0,05$) (Tabla VI.18). Resultados similares encontraron Muíño y col. (2014), al incorporar en la dieta de los corderos extracto de vino tinto. En general, estos autores tampoco encontraron diferencias en la evolución del perfil de ácidos grasos de la carne de cordero envasada en la misma atmósfera (70% de O_2 y 30% de CO_2) durante 12 días de almacenamiento en refrigeración. En cuanto a la evolución del perfil de los ácidos grasos de la carne de los corderos que fueron suplementados con vitamina E (VE50, VE250 y VE500), puede apreciarse que hubo diferencias en los porcentajes de AGPI del grupo VE50 a lo largo del almacenamiento en refrigeración ($P_{\text{día}} < 0,05$), produciéndose un descenso del sumatorio de AGPI a lo largo del tiempo. En este sentido se ha observado que altos porcentajes de O_2 en los envases pueden provocar una mayor peroxidación de los AGPI (Kerry y col., 2000; Formanek y col., 2001; Jeremiah y col., 2001; Álvarez y col., 2009), ya que los ácidos grasos más propensos a la oxidación son los de cadena más larga (Cosgrove y col., 1987). La suplementación de la dieta con antioxidantes como la vitamina E puede tener aspectos positivos al respecto (Strohecker y col., 1997; López-Bote y col., 2001; Álvarez y col., 2009; Muíño y col., 2014). De hecho, los lotes de muestras con mayor contenido en vitamina E (VE250 y VE500) no presentaron diferencias ($P_{\text{día}} > 0,05$) en los sumatorios de AGS, AGMI y AGPI durante el almacenamiento en refrigeración, lo que podría atribuirse a un efecto antioxidante de la vitamina E, previamente comentado. Resultados similares encontraron Álvarez y col. (2009), al comparar el efecto de la suplementación con 0, 250, 500 y 1000 mg α -tocoferol/kg pienso sobre el perfil de ácidos grasos de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora durante 14 días, siendo el lote que no contenía vitamina E el único en el que se produjo

una disminución del sumatorio de AGPI a lo largo de los 14 días de almacenamiento.

Tabla VI.18. Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración (días 1, 7 y 14) sobre el perfil de ácidos grasos (%) de la carne fresca de cordero envasada en atmósfera protectora.

Ácidos Grasos (%)	Pulpa Tomate		Vitamina E		
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500
C10:0	**	ns	ns	ns	ns
C12:0	**	ns	ns	ns	ns
C14:0	*	ns	ns	ns	ns
C14:1 (n-5)	*	***	**	**	**
C15:0	ns	ns	ns	ns	ns
C16:0	ns	ns	ns	ns	ns
C16:1 (n-7)	ns	ns	ns	ns	ns
C17:0	ns	***	*	*	*
C17:1 (n-7)	ns	ns	ns	ns	ns
C18:0	ns	ns	ns	ns	ns
C18:1 (n-9)	ns	ns	ns	ns	ns
C18:2 cis-9, trans-11	*	ns	ns	ns	ns
C18:2 (n-6)	ns	ns	ns	ns	ns
C18:3 (n-3)	ns	ns	ns	ns	ns
C20:0	ns	ns	ns	ns	ns
C20:1 (n-9)	*	***	**	ns	ns
C20:2 (n-6)	**	**	*	ns	ns
C21:0	*	ns	*	ns	ns
C20:3 (n-6)	ns	ns	ns	ns	ns
C20:4 (n-6)	ns	ns	ns	ns	ns
C20:5 (n-3)	ns	ns	**	ns	ns
ΣAGS	ns	ns	ns	ns	ns
ΣAGMI	ns	ns	ns	ns	ns
ΣAGPI	ns	ns	*	ns	ns

Lotes Pulpa T: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

ΣAGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; ΣAGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; ΣAGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.

Niveles de significación: ns= $P>0,05$; * = $P<0,05$; ** = $P<0,01$; *** = $P<0,001$.

En cuanto al efecto de la incorporación en la dieta de los corderos de pulpa de tomate y de vitamina E sobre el perfil de ácidos grasos de la carne fresca envasada en atmósfera modificada, no se encontraron diferencias en ninguna de las dos variables después de 1 y 7 días de almacenamiento ($P_{PT}>0,05$). Es decir, la incorporación de pulpa de tomate (PT10 con respecto a PT0) y la suplementación de vitamina E (VE50, VE250 y VE500) no provocaron

efectos significativos sobre los ácidos grasos mayoritarios (C18:1 n-9, C16:0, C18:0 y C18:2 n-6) ni tampoco en los sumatorios totales de AGS, AGMI y AGPI en los primeros 7 días de almacenamiento. En cambio, al llegar al día 14, sí se produjeron cambios significativos en algunos ácidos grasos mayoritarios. Este es el caso del ácido palmítico (C16:0), que presentó un mayor contenido en el lote PT10 con respecto al lote PT0 al final del almacenamiento ($P_{PT} < 0,05$), si bien estas diferencias no se tradujeron en un cambio significativo en el sumatorio de AGS. Con respecto a los lotes VE, puede apreciarse una mayor proporción de ácidos grasos linolénico (C18:2 n-6) y araquidónico (C20:4 n-6) en los lotes VE250 y VE500 con respecto al lote VE50 ($P_{VE} < 0,01$ y $P_{VE} < 0,001$, respectivamente), que se tradujo a su vez en un mayor valor del sumatorio de AGPI ($P_{VE} < 0,001$). Estos resultados coinciden con los encontrados por otros autores en condiciones similares a las de este trabajo (corderos suplementados con 0, 250, 300 y 500 mg α -tocoferol/kg pienso; carne envasada en atmósfera modificada compuesta por 70% de O₂ y 30% de CO₂ y almacenada durante 12 y 14 días en refrigeración), encontrando un mayor contenido en AGPI cuando los corderos eran suplementados con una cantidad de 250 mg α -tocoferol/kg pienso o superior (Álvarez y col., 2009; Muíño y col., 2014). Como se ha podido observar en este mismo apartado, se consigue una mayor estabilidad en el perfil de ácidos grasos durante el almacenamiento utilizando 250 y 500 mg α -tocoferol/kg en la dieta en comparación con 50 mg α -tocoferol/kg pienso, que se traduce en un mayor contenido de AGPI en estos lotes al final del almacenamiento.

Tabla VI.19. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre el perfil de ácidos grasos (%) de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora en el día 1 de almacenamiento en refrigeración.

Ácidos Grasos (%)	Pulpa Tomate		Vitamina E			Efecto		
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
C10:0	0,15 ¹ ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,13ab ± 0,01	0,11b ± 0,01	0,15a ¹ ± 0,01	*	*	ns
C12:0	0,32 ¹ ± 0,02	0,26 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,31 ¹ ± 0,02	*	ns	ns
C14:0	2,87 ± 0,12	2,49 ± 0,09	2,61 ± 0,09	2,29 ± 0,11	2,79 ¹ ± 0,13	*	ns	ns
C14:1 (n-5)	0,14 ¹² ± 0,02	0,26 ¹ ± 0,02	0,19 ¹ ± 0,02	0,27 ¹ ± 0,05	0,22 ¹ ± 0,03	***	ns	ns
C15:0	0,41 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,42 ± 0,01	ns	ns	ns
C16:0	20,55 ± 0,35	20,49 ± 0,26	20,27 ± 0,34	20,34 ± 0,33	20,81 ± 0,32	ns	ns	ns
C16:1 (n-7)	2,43 ± 0,05	2,42 ± 0,04	2,41 ± 0,05	2,49 ± 0,08	2,42 ± 0,04	ns	ns	ns
C17:0	1,67 ± 0,13	2,54 ¹ ± 0,20	1,98 ¹ ± 0,16	2,26 ¹² ± 0,35	2,31 ¹ ± 0,23	***	ns	ns
C17:1 (n-7)	0,91 ± 0,03	0,98 ± 0,03	0,96 ± 0,03	0,92 ± 0,03	0,96 ± 0,04	ns	ns	ns
C18:0	12,35 ± 0,20	12,69 ± 0,17	12,38 ± 0,20	13,10 ± 0,33	12,56 ± 0,19	ns	ns	ns
C18:1 (n-9)	42,82 ± 0,97	41,25 ± 0,71	42,98 ± 1,00	40,32 ± 0,96	41,33 ± 0,82	ns	ns	ns
C18:2 cis-9, trans-11	0,23 ¹ ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,22 ¹ ± 0,01	ns	ns	ns
C18:2 (n-6)	9,38 ± 0,39	9,93 ± 0,34	9,45 ± 0,37	10,80 ± 0,74	9,65 ± 0,40	ns	ns	ns
C18:3 (n-3)	0,61 ± 0,02	0,58 ± 0,02	0,59 ± 0,02	0,60 ± 0,03	0,60 ± 0,03	ns	ns	ns
C20:0	0,41 ± 0,02	0,37 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,36 ± 0,03	0,38 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:1 (n-9)	0,17 ¹ ± 0,01	0,20 ¹ ± 0,01	0,18 ¹ ± 0,01	0,19 ± 0,03	0,20 ¹ ± 0,01	*	ns	ns
C20:2 (n-6)	0,27 ¹ ± 0,01	0,30 ² ± 0,01	0,28b ¹ ± 0,01	0,33a ± 0,02	0,28b ² ± 0,01	ns	*	ns
C21:0	0,11 ¹ ± 0,00	0,12 ± 0,01	0,11b ± 0,00	0,14a ± 0,01	0,11b ² ± 0,01	ns	*	ns
C20:3 (n-6)	0,41 ± 0,02	0,43 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,45 ± 0,03	0,42 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:4 (n-6)	3,51 ± 0,18	3,65 ± 0,14	3,48 ¹ ± 0,17	3,94 ± 0,30	3,60 ± 0,16	ns	ns	ns
C20:5 (n-3)	0,26 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,31 ± 0,02	0,28 ± 0,01	ns	ns	ns
ΣAGS	38,85 ± 0,64	39,49 ± 0,48	38,57 ± 0,62	39,18 ± 0,42	39,84 ± 0,61	ns	ns	ns
ΣAGMI	46,48 ± 0,92	45,12 ± 0,69	46,72 ± 0,96	44,18 ± 1,02	45,13 ± 0,78	ns	ns	ns
ΣAGPI	14,67 ± 0,60	15,39 ± 0,49	14,71 ¹ ± 0,57	16,64 ± 1,08	15,03 ± 0,58	ns	ns	ns

Lotes Pulpa T: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso. Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso

ΣAGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; ΣAGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; ΣAGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.

Niveles de significación: ns=P>0,05; *= P<0,05; **= P<0,01.

a, b: diferentes letras en el mismo día de muestreo indican diferencias significativas entre lotes VE, P_{VE}<0,05, test de Tukey.

Superíndices ^{1, 2, 3}: diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, P<0,05, test de Tukey.

Tabla VI.20. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre el perfil de ácidos grasos (%) de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora en el día 7 de almacenamiento en refrigeración.

Ácidos Grasos (%)	Pulpa Tomate		Vitamina E			Efecto		
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
C10:0	0,12 ² ± 0,01	0,12 ± 0,00	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,12 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C12:0	0,26 ² ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,27 ± 0,03	0,24 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C14:0	2,51 ± 0,11	2,46 ± 0,07	2,56 ± 0,08	2,55 ± 0,27	2,39 ² ± 0,09	ns	ns	ns
C14:1 (n-5)	0,11 ² ± 0,02	0,11 ² ± 0,01	0,12 ² ± 0,01	0,09 ² ± 0,01	0,11 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C15:0	0,39 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,39 ± 0,02	0,39 ± 0,01	ns	ns	ns
C16:0	21,09 ± 0,25	20,55 ± 0,27	21,12 ± 0,24	20,65 ± 0,34	20,50 ± 0,34	ns	ns	ns
C16:1 (n-7)	2,48 ± 0,07	2,54 ± 0,04	2,57 ± 0,05	2,53 ± 0,09	2,45 ± 0,06	ns	ns	ns
C17:0	1,46 ± 0,14	1,41 ² ± 0,05	1,43 ² ± 0,11	1,30 ² ± 0,05	1,46 ² ± 0,11	ns	ns	ns
C17:1 (n-7)	0,91 ± 0,04	0,98 ± 0,03	0,96 ± 0,03	0,90 ± 0,03	0,95 ± 0,04	ns	ns	ns
C18:0	12,46 ± 0,33	12,58 ± 0,19	12,32 ± 0,26	13,31 ± 0,29	12,52 ± 0,29	ns	ns	ns
C18:1 (n-9)	42,81 ± 0,80	43,38 ± 0,79	43,17 ± 0,66	41,45 ± 0,69	43,53 ± 1,07	ns	ns	ns
C18:2 cis-9, trans-11	0,20 ¹² ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,24 ± 0,04	0,19 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C18:2 (n-6)	9,58 ± 0,38	9,56 ± 0,33	9,31 ± 0,32	10,32 ± 1,01	9,63 ± 0,38	ns	ns	ns
C18:3 (n-3)	0,59 ± 0,02	0,55 ± 0,02	0,57 ± 0,02	0,62 ± 0,02	0,55 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:0	0,36 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,38 ± 0,02	0,40 ± 0,04	0,34 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:1 (n-9)	0,14 ² ± 0,01	0,15 ² ± 0,01	0,13 ² ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,15 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C20:2 (n-6)	0,33 ² ± 0,01	0,34 ¹ ± 0,01	0,33 ² ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,34 ¹ ± 0,01	ns	ns	ns
C21:0	0,13 ² ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,13 ¹ ± 0,01	ns	ns	ns
C20:3 (n-6)	0,43 ± 0,03	0,39 ± 0,02	0,41 ± 0,02	0,41 ± 0,04	0,41 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:4 (n-6)	3,37 ± 0,16	3,28 ± 0,13	3,26 ¹ ± 0,13	3,52 ± 0,37	3,33 ± 0,17	ns	ns	ns
C20:5 (n-3)	0,27 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,29 ± 0,03	0,26 ± 0,01	ns	ns	ns
ΣAGS	38,78 ± 0,42	38,26 ± 0,45	38,72 ± 0,38	39,12 ± 0,81	38,10 ± 0,56	ns	ns	ns
ΣAGMI	46,45 ± 0,73	47,15 ± 0,77	46,95 ± 0,63	45,14 ± 0,76	47,19 ± 1,01	ns	ns	ns
ΣAGPI	14,77 ± 0,59	14,59 ± 0,48	14,33 ¹ ± 0,48	15,74 ± 1,40	14,72 ± 0,59	ns	ns	ns

Lotes Pulpa T: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso. Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso ΣAGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; ΣAGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; ΣAGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.

Niveles de significación: ns=P>0,05; * = P<0,05.

Superíndices ^{1, 2, 3}: diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, P<0,05, test de Tukey.

Tabla VI.21. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre el perfil de ácidos grasos (%) de la carne de cordero envasada en atmósfera protectora en el día 14 de almacenamiento en refrigeración.

Ácidos Grasos (%)	Pulpa Tomate		Vitamina E			Efecto		
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}
C10:0	0,13 ² ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,12 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C12:0	0,28 ¹² ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,27 ± 0,02	0,26 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C14:0	2,52 ² ± 0,10	2,49 ± 0,08	2,58 ± 0,10	2,41 ± 0,19	2,45 ² ± 0,07	ns	ns	ns
C14:1 (n-5)	0,19 ¹ ± 0,02	0,22 ¹² ± 0,02	0,19 ¹ ± 0,02	0,28 ¹ ± 0,06	0,20 ¹ ± 0,02	ns	ns	ns
C15:0	0,38 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,36 ± 0,02	0,39 ± 0,01	ns	ns	ns
C16:0	19,82 ± 0,47	20,90 ± 0,15	20,62 ± 0,40	20,45 ± 0,33	20,24 ± 0,32	*	ns	ns
C16:1 (n-7)	2,33 ± 0,05	2,52 ± 0,04	2,44 ± 0,06	2,44 ± 0,09	2,43 ± 0,04	**	ns	ns
C17:0	1,79 ± 0,18	2,16 ¹ ± 0,17	1,86 ¹² ± 0,18	2,65 ¹ ± 0,51	1,97 ¹² ± 0,17	ns	ns	ns
C17:1 (n-7)	0,82 ± 0,02	1,00 ± 0,03	0,93 ± 0,03	0,85 ± 0,04	0,93 ± 0,04	***	ns	ns
C18:0	12,13 ± 0,30	12,49 ± 0,20	11,95 ± 0,31	12,01 ± 0,27	12,54 ± 0,21	ns	ns	ns
C18:1 (n-9)	44,95 ± 1,37	42,13 ± 1,61	43,30 ± 1,33	41,54 ± 1,06	42,19 ± 0,89	ns	ns	ns
C18:2 cis-9, trans-11	0,19 ² ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,18 ² ± 0,01	ns	ns	ns
C18:2 (n-6)	9,15 ± 0,44	9,63 ± 0,30	8,88b ± 0,38	10,44a ± 0,87	10,17a ± 0,30	ns	**	ns
C18:3 (n-3)	0,56 ± 0,02	0,56 ± 0,02	0,53 ± 0,02	0,60 ± 0,03	0,58 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:0	0,37 ± 0,02	0,37 ± 0,01	0,38 ± 0,02	0,35 ± 0,03	0,36 ± 0,01	ns	ns	ns
C20:1 (n-9)	0,16 ¹² ± 0,01	0,17 ¹² ± 0,01	0,17b ¹ ± 0,01	0,22a ± 0,03	0,16b ² ± 0,01	ns	*	ns
C20:2 (n-6)	0,30 ¹² ± 0,01	0,31 ² ± 0,01	0,29 ¹ ± 0,01	0,33 ± 0,02	0,31 ¹ ± 0,01	ns	ns	ns
C21:0	0,12 ¹² ± 0,01	0,12 ± 0,00	0,11b ± 0,01	0,15a ± 0,01	0,13ab ¹² ± 0,01	ns	**	ns
C20:3 (n-6)	0,42 ± 0,02	0,42 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,44 ± 0,04	0,45 ± 0,02	ns	ns	ns
C20:4 (n-6)	3,14 ± 0,18	3,29 ± 0,13	2,87b ² ± 0,15	3,61a ± 0,30	3,66a ± 0,13	ns	***	ns
C20:5 (n-3)	0,25 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,23b ± 0,01	0,29a ± 0,02	0,28a ± 0,01	ns	**	ns
ΣAGS	37,54 ± 0,90	39,30 ± 0,91	39,29 ± 0,77	38,77 ± 0,67	38,45 ± 0,62	ns	ns	ns
ΣAGMI	48,45 ± 1,31	46,04 ± 1,58	47,03 ± 1,35	45,32 ± 1,30	45,91 ± 1,04	ns	ns	ns
ΣAGPI	14,01 ± 0,66	14,66 ± 0,45	13,68b ² ± 0,58	15,91a ± 1,20	15,64a ± 0,45	ns	***	ns

Lotes Pulpa T: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso. Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso
 ΣAGS: sumatorio de ácidos grasos saturados; ΣAGMI: sumatorio de ácidos grasos monoinsaturados; ΣAGPI: sumatorio de ácidos grasos poliinsaturados.

Niveles de significación: ns=P>0,05.

Superíndices ^{1, 2, 3}: diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, P<0,05, test de Tukey.

VI.3.4. EVOLUCIÓN DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE DE CORDERO.

La oxidación lipídica es una de las principales reacciones químicas que pueden limitar la vida útil de la carne y productos cárnicos envasados en atmósferas modificadas (Renerre y Labadie, 1993; Mohamed y col., 2008). Estas reacciones provocan problemas de rancidez considerados desagradables o defectuosos por el consumidor (Jeremiah, 2001) además de relacionarse con la decoloración de la carne (O'Grady y col., 2001; Mohamed y col., 2008).

En la Tabla VI.22 se muestra la evolución del contenido de malondialdehído (MDA) y hexanal durante el almacenamiento en refrigeración de la carne de cordero.

El contenido en malondialdehído (MDA) de la carne fresca estuvo comprendido entre 0,21-0,33 mg/kg carne en el día 1 y 0,71-2,56 mg/kg carne después de 14 días de almacenamiento en refrigeración. Estas concentraciones fueron inferiores a las encontradas en un trabajo anterior llevado a cabo en carne de cordero Merino envasada en una atmósfera con un 70% de O₂ y un 30% de CO₂ durante 12 días (Gutiérrez y col., 2013), y a las encontradas por otros autores en carne de cordero envasada en atmósfera protectora durante 14 días (Berruga y col., 2005; Karabagias y col., 2011; Linares y Vergara, 2012; Muíño y col., 2014). La evolución de la concentración de malondialdehído en la carne fue ascendente y significativa para todos los grupos objeto de estudio ($P_{\text{DÍA}} < 0,001$ para PT0, PT10, VE50 y VE500; $P_{\text{DÍA}} < 0,01$ para VE250). Esta tendencia ascendente y significativa del MDA durante el almacenamiento en refrigeración de la carne de cordero envasada en atmósferas modificadas también fue observada por numerosos autores (Kerry y col., 2000; Kennedy y col., 2004; Berruga y col., 2005; Lauzurica y col., 2005; Ripoll y col., 2011; Linares y Vergara, 2012; Gutiérrez y col., 2013). Como se dijo en el apartado anterior, altos porcentajes de O₂ en los envases pueden provocar una mayor oxidación lipídica (Jeremiah y col., 2001), de hecho, numerosos autores han encontrado mayores concentraciones de MDA en la carne de cordero cuando era envasada en una atmósfera con un alto

Tabla VI.22. Efecto de la adición de pulpa de tomate y vitamina E en la dieta sobre las concentraciones de malondialdehído (mg MDA/kg carne) y hexanal (mg hexanal/kg carne) en la carne de cordero envasada en atmósfera protectora después de 1, 7 y 14 días de almacenamiento en refrigeración.

Dia	Pulpa Tomate		Vitamina E			Efecto			
	PT0	PT10	VE50	VE250	VE500	P _{PT}	P _{VE}	P _{PTxVE}	
MDA	1	0,30 ³ ± 0,04	0,24 ³ ± 0,02	0,33a ³ ± 0,04	0,25ab ² ± 0,04	0,21b ³ ± 0,01	ns	**	ns
	7	1,08 ² ± 0,17	0,59 ² ± 0,06	1,26a ² ± 0,16	0,74b ¹² ± 0,12	0,38b ² ± 0,03	***	***	***
	14	2,02 ¹ ± 0,36	1,21 ¹ ± 0,14	2,56a ¹ ± 0,33	1,10b ¹ ± 0,25	0,71b ¹ ± 0,08	***	***	***
	P _{DÍA}	***	***	***	**	***			
Hexanal	1	0,010 ² ± 0,002	0,007 ² ± 0,001	0,007 ² ± 0,001	0,006 ± 0,003	0,009 ± 0,002	ns	ns	ns
	7	0,016 ² ± 0,003	0,004 ² ± 0,003	0,016a ² ± 0,003	0,006b ± 0,003	0,004b ± 0,003	**	*	*
	14	0,049 ¹ ± 0,051	0,017 ¹ ± 0,019	0,072a ¹ ± 0,035	0,007b ± 0,002	0,004b ± 0,003	***	***	***
	P _{DÍA}	**	***	***	ns	ns			

Lotes Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: ns=P>0,05; * = P<0,05; ** = P<0,01; *** = P<0,001.

a, b: diferentes letras en el mismo día de muestreo indican diferencias significativas entre lotes, P<0,05, test de Tukey.

Superíndices ^{1, 2, 3}: diferentes superíndices en el mismo lote indican diferencias significativas entre días de almacenamiento, P<0,05, test de Tukey.

porcentaje de oxígeno (Kennedy y col., 2004; Berruga y col., 2005; Linares y col., 2007; Gutiérrez y col., 2013). Al estudiar el efecto de la pulpa de tomate sobre el contenido en MDA de la carne fresca en los días 1, 7 y 14, no se encontraron diferencias hasta el séptimo día de almacenamiento ($P_{PT} < 0,001$), presentando mayor estabilidad oxidativa (menor contenido en MDA) la carne de los corderos que fueron alimentados con pulpa de tomate (PT10). Lo mismo sucedió a los 14 días, ya que la carne perteneciente al lote PT0 presentó mayores concentraciones de malondialdehído que la del lote PT10 ($P_{PT} < 0,001$). Como se vio en el apartado VI.1.3.5, Jiang y col. (2015) sí que encontraron menores concentraciones de MDA en la carne de cordero suplementada con licopeno. Esto, unido al hecho de que la PT también contiene α -tocoferol (Rozzi y col., 2002; King y Zeidler, 2004; Vagi y col., 2007) podría explicar un efecto positivo de estos antioxidantes presentes en la PT sobre la estabilidad oxidativa a partir del día 7 de almacenamiento. Como puede observarse en la Tabla VI.23, existe una interacción entre la pulpa de tomate y la vitamina E para el contenido en MDA de la carne en los días 7 y 14 de almacenamiento, presentando el lote PT10-VE50 unas concentraciones similares de MDA que el lote PT10-VE250. Con respecto al efecto de la vitamina E sobre el contenido en MDA, ya desde el primer día de almacenamiento en refrigeración se apreciaron diferencias significativas ($P_{VE} < 0,01$ para día 1; $P_{VE} < 0,001$ para días 7 y 14). Como era de esperar, puede observarse que para los tres días objeto de estudio la concentración en MDA era menor a medida que aumentaba la concentración de vitamina E en la dieta de los corderos, siendo el grupo VE500 el que menor contenido en MDA presentó. En general, otros autores encontraron resultados similares para este parámetro en la carne de los corderos que fueron suplementados con diferentes niveles de vitamina E y posteriormente envasada en atmósferas modificadas. Así, Kerry y col. (2000) encontraron menores concentraciones de MDA en la carne de los corderos que fueron suplementados con 1000 mg α -tocoferol/kg pienso con respecto a los que se les alimentó con una dieta basal de 20 mg α -tocoferol/kg pienso, en los días 2, 4, 6, 8 y 10 de almacenamiento en refrigeración y envasada en la misma atmósfera protectora utilizada en este trabajo (70% de O_2 y 30% de CO_2). Por su parte, Lauzurica y col. (2005) encontraron una evolución similar

Tabla VI.23. Interacción entre la pulpa de tomate (PT) y vitamina E (VE) sobre las concentraciones de malondialdehído (mg MDA/kg carne) y hexanal (μg hexanal/g carne) en la carne de cordero envasada en atmósfera protectora después de 7 y 14 días de almacenamiento en refrigeración.

	Día	PT0		PT10			$P_{PT \times VE}$
		VE50	VE500	VE50	VE250	VE500	
MDA	7	1,78a \pm 0,39	0,39c \pm 0,25	0,74b \pm 0,48	0,74b \pm 0,38	0,37c \pm 0,15	***
	14	3,30a \pm 2,47	0,74c \pm 0,51	1,82b \pm 1,14	1,09bc \pm 0,79	0,68c \pm 0,46	***
Hexanal	7	0,030a \pm 0,034	0,004b \pm 0,002	0,004b \pm 0,002	0,004b \pm 0,001	0,003b \pm 0,001	*
	14	0,099a \pm 0,019	0,004c \pm 0,005	0,040b \pm 0,016	0,007c \pm 0,002	0,005c \pm 0,002	***

Lotes Pulpa Tomate: PT0 = 0 kg PT/100 kg pienso; PT10 = 10 kg PT/100 kg pienso.

Lotes Vitamina E: VE50, VE250, VE500 = 50, 250 y 500 mg VE/kg de pienso respectivamente.

Niveles de significación: : ns= $P > 0,05$; * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$.

a, b, c: diferentes letras en el mismo día de muestreo indican diferencias significativas entre lotes, $P < 0,05$, test de Tukey.

del MDA en carne de cordero envasada en atmósferas de 70% O₂ y 30% de CO₂ a lo largo del almacenamiento en refrigeración, presentando los lotes que contenían vitamina E suplementada en la dieta (250, 500 y 1000 mg α -tocoferol/kg pienso), menores concentraciones de MDA que el lote que carecía de este antioxidante (0 mg α -tocoferol/kg pienso). En esta línea, Ripoll y col. (2011) obtuvieron menores concentraciones de MDA en la carne al suplementar la dieta de corderos con 500 mg α -tocoferol/kg pienso, en comparación con la carne de los corderos que fueron suplementados con 10 mg α -tocoferol/kg pienso. Estas diferencias fueron encontradas después de 7, 9, 11 y 13 días de almacenamiento en refrigeración de la carne de cordero envasada en una atmósfera compuesta por un 40% de O₂, un 30% de CO₂ y un 30% de Ar. Estas diferencias en las concentraciones de MDA se deben a que un aumento de las concentraciones de α -tocoferol en el músculo tiene un efecto positivo sobre la estabilidad oxidativa de la carne, debido a una menor intensidad de reacciones de peroxidación de AGPI (Formanek y col., 2001; Lauzurica y col., 2005). Al igual que en este trabajo, Álvarez y col. (2009) observaron que suplementando a partir de 250 mg α -tocoferol/kg en la dieta, se obtienen menores concentraciones de MDA en la carne de cordero envasada en atmósfera modificada y almacenada en refrigeración durante 14 días. Según Ripoll y col. (2011), el límite de aceptabilidad de la carne de cordero en cuanto al contenido en MDA se refiere, se encuentra en 1 mg MDA/kg de carne. Como puede observarse en la Tabla VI.22, en la carne de los lotes PT10 (10 kg PT/100 kg pienso) y VE250 (250 mg α -tocoferol/kg pienso), se mantuvieron las concentraciones de MDA por debajo de ese nivel durante los 7 primeros días de almacenamiento en refrigeración, y en el lote VE500 (500 mg α -tocoferol/kg pienso) se consiguieron mantener los niveles de MDA por debajo de ese límite de aceptabilidad mencionado durante todo el periodo de almacenamiento (14 días).

En este trabajo, las concentraciones de hexanal estuvieron comprendidas entre 0,004 y 0,735 mg/kg de carne. Estos valores son inferiores a los encontrados por Gutiérrez y col. (2013) en carne de cordero merino envasada en la misma atmósfera modificada (70:30 O₂:CO₂), aunque en ese trabajo no se utilizaron subproductos y antioxidantes en la dieta. Las

concentraciones de hexanal durante el almacenamiento en refrigeración de la carne de los lotes PT0, PT10 y VE50 se mantuvieron constantes durante los primeros 7 días de almacenamiento ($P_{DÍA} > 0,05$). En cambio, al llegar a los 14 días de almacenamiento, la carne de estas muestras presentaron mayores concentraciones de hexanal que en los días 1 y 7 ($P_{DÍA} < 0,01$ para PT0 y $P_{DÍA} < 0,001$ para PT10 y VE50). Estos resultados coinciden con los encontrados por Gutiérrez y col. (2013) en carne de cordero envasada en atmósfera modificada y almacenada durante 12 días en refrigeración. En ese trabajo, las concentraciones de hexanal no aumentaron de forma significativa hasta el día 12 de almacenamiento en refrigeración. Por el contrario, la carne de los lotes de muestras VE250 y VE500 mantuvieron constantes los niveles de hexanal durante todo el periodo de almacenamiento ($P_{DÍA} > 0,05$) y como se verá a continuación, estos dos lotes fueron los que presentaron los niveles más bajos de hexanal a partir del día 7 de almacenamiento. Al estudiar el efecto de la adición de pulpa de tomate en la dieta de los corderos sobre el contenido en hexanal de la carne, pueden observarse unos resultados similares a los obtenidos para el MDA en los primeros 7 días de almacenamiento. Así, tras 1 día de almacenamiento, no se encontraron diferencias entre los grupos de muestras de los corderos que fueron alimentados con pulpa de tomate (PT10) con respecto a los que no se les incluyó este subproducto en la dieta (PT0) ($P_{PT} > 0,05$). Después de 7 y 14 días en refrigeración, sí se encontraron diferencias significativas ($P_{PT} < 0,05$), siendo las concentraciones de hexanal menores en las muestras de la carne de los corderos a los que les fue incorporado en la dieta este subproducto (PT10).

Con respecto al efecto de los tres niveles de vitamina E suplementada en la dieta (VE50, VE250 y VE500) sobre el contenido en hexanal de la carne, se encontraron resultados similares a los obtenidos sobre el efecto de la PT en los tres días objeto de estudio (día 1, 7 y 14 de almacenamiento). Así, tras 1 día de almacenamiento en refrigeración, no se observaron diferencias al comparar las concentraciones de hexanal de la carne de los corderos a los que se les incorporó en la dieta 50, 250 y 500 mg α -tocoferol/kg pienso ($P_{VE} > 0,05$). Tras 7 y 14 días, los lotes VE250 (250 mg α -tocoferol/kg pienso) y VE500 (500 mg α -tocoferol/kg pienso) presentaron menores concentraciones de hexanal

que el lote con el que menos nivel de vitamina E se había suplementado la dieta de los corderos (VE50, 50 mg α -tocoferol/kg pienso) ($P_{VE}<0,05$ para día 7 y $P_{VE}<0,001$ para día 14). Como puede observarse en la Tabla VI.2, después de 7 y 14 días de almacenamiento, se encontraron los mismos resultados que los obtenidos al estudiar el efecto de la vitamina E sobre el contenido en MDA de la carne, por tanto, en este trabajo, los lotes VE250 y VE500 presentaron mayor estabilidad oxidativa de la grasa durante el almacenamiento en refrigeración.

Numerosos estudios en carne fresca han constatado que la carne envasada en atmósferas con elevadas proporciones de oxígeno presenta una oxidación lipídica más intensa (Abuja y col., 2001; Insausti y col., 2001; Jeremiah, 2001; O'Grady y col., 2001; Berruga y col., 2005; Linares y col., 2007; Gutiérrez y col. 2013). Por otra parte, la dieta de los animales puede influir en la estabilidad oxidativa de la carne, debido a que puede variar el balance de agentes pro-oxidantes y antioxidantes de la misma (Descalzo y Sancho, 2008). En este sentido, Karami y col. (2011) demostraron que la oxidación lipídica puede reducirse mediante la incorporación de antioxidantes en la dieta de rumiantes. Como se comentó en el apartado II.1.3.1 de esta Tesis Doctoral, el licopeno es uno de los principales antioxidantes que se encuentran en productos obtenidos del procesado del tomate, como la PT, y puede tener un efecto positivo sobre la calidad de la carne de cordero, aumentando la estabilidad oxidativa (Jiang y col., 2015). Además, la suplementación de vitamina E en la dieta ha demostrado ser eficaz en la reducción de la oxidación lipídica y en el mantenimiento del color de la carne (Gray y col., 1996; Mohamed y col., 2008; Ripoll y col., 2011). La acción antioxidante directa del α -tocoferol en la membrana de los lípidos es de aproximadamente 104 veces más rápida que la propagación de la peroxidación lipídica, que a su vez es mayor que la propagación de la oxidación proteica (Mohamed y col., 2008).

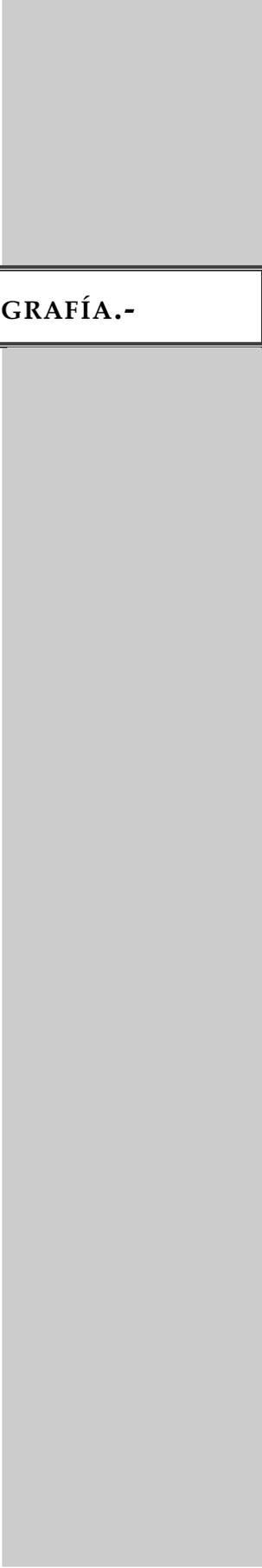
Como puede observarse en este trabajo, de forma general, tanto la incorporación de pulpa de tomate como de vitamina E en la dieta de los corderos se tradujo en una mayor estabilidad oxidativa de la carne de cordero

envasada en atmósferas modificadas y almacenada en refrigeración durante 14 días, obteniéndose menores concentraciones de malondialdehído y hexanal en la carne de los corderos suplementados con el subproducto y el antioxidante.

VII. CONCLUSIONES.-

VII. CONCLUSIONES.

1. La incorporación de un 10% de pulpa de tomate en la formulación del pienso para el cebo de corderos de raza Merina, disminuye la ganancia de peso diaria, retrasando la edad de sacrificio, sin afectar a las características de la canal.
2. El uso de diferentes concentraciones de vitamina E y de dos fuentes de selenio como suplementos en el pienso para el cebo de corderos, no tiene repercusión sobre los parámetros zootécnicos *in vivo*, ni sobre las características de la canal.
3. En términos generales, ni la composición general ni los principales parámetros de calidad de la carne medidos en este estudio, se ven afectados por la inclusión, en los piensos de los corderos, de los tres suplementos estudiados, pulpa de tomate, vitamina E y selenio.
4. La suplementación en la dieta con 500 mg α -tocoferol/kg pienso y la incorporación de 10 kg pulpa de tomate/kg pienso, aumenta la estabilidad oxidativa de la carne fresca, así como la concentración de α -tocoferol en el músculo.
5. La carne envasada en atmósferas protectoras (70% O₂ y 30% CO₂) presenta una mayor estabilidad oxidativa tras 14 días en refrigeración, cuando se suplementa el pienso de los corderos con un 10% de pulpa de tomate y con 250 y 500 ppm de vitamina E. En cambio, el color de la carne no se ve afectado por la inclusión de estas fuentes de antioxidantes, en las dosis ensayadas.



VIII. BIBLIOGRAFÍA.-

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- Abuja, P.M. y Albertini, R. (2001). Methods for monitoring oxidative stress, lipid peroxidation and oxidation resistance of lipoproteins. *Clinica Chimica Acta*, 306: 1-17.
- Abushita, A.A., Hebshi, E.A., Daood, H.G. y Biacs, P.A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60: 207.
- Addis, M., Fiori, M., Manca, C., Riu, G. y Scintu, M.F. (2013). Muscle colour and chemical and fatty acid composition of "Agnello di Sardegna" PGI suckling lamb. *Small Ruminant Research*, 115: 51-55.
- Alberti, P., Sañudo, C., Lahoz, F., Jaime, J. y Tena, T. (1988). Características de la canal y de la carne de terneros cebados con dietas forrajeras y suplementadas con distinta cantidad de pienso. *Información Técnica Económica Agraria*, 76: 3-14.
- Alberti, P., Sañudo, C., Santolaria, P., Lahoz, F., Jaime, J. y Tena, T. (1992). Efecto del empleo de alfalfa deshidratada en dietas de cebo de terneros sobre la calidad de la canal y de la carne. *Información Técnica Económica Agraria*, 88: 158-168.
- Álvarez, I., De La Fuente, J., Cañeque, V., Lauzurica, S., Pérez, C., y 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: 140-146.
- Andrae, J.G., Duckett, S.K., Hunt, C.W., Pritchard, G.T. y Owens, F.N. (2001). Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *Journal of Animal Science*, 79: 582-588.
- Andrés, A.I., Ruiz, J., Mayoral, A., Tejeda, J. y Cava, R. (2000). Influence of rearing conditions and crossbreeding on muscle color in Iberian pigs. *Food Science Technology*, 4: 315-321.
- Andrés, A.I., Cava, R. y Ruiz, J. (2002). Monitoring volatile compounds during dry-cured ham ripening by solid-phase microextraction coupled to a new direct extraction device. *Journal of Chromatography A*, 963: 83-88.
- Andrés, S., Morán, L., Aldai, N., Tejido, M.L., Prieto, N., Bodas, R. y Giráldez, F.J. (2014). Effects of linseed and quercetin added to the diet of fattening lambs on the fatty acid profile and lipid antioxidant status of meat samples. *Meat Science*, 97: 156-163.
- Antequera, M.T. y Martín, L. (2001). Reacciones químicas y bioquímicas que se desarrollan durante la maduración del jamón ibérico. *Tecnología del jamón ibérico*. Mundiprensa.
- AOAC (2000). Official methods of analysis of the AOAC International. 17th ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington. USA.

- Arthur, J.R., Nicol, F. y Rechette. G.J. (1990). Hepolic iodothyronine 5'-deiodinasa: The role of selenium. *Biochem. J*: 272- 273.
- Arthur, J.R. (1993). The biochemical functions of selenium relationships to thyroid metabolism and antioxidant systems. Rowett Research Institute Annual Report. Backsburn, Aberdeen, UK.
- Asghar, A., Gray, J.I., Booren, A.M., Gomaa, E.A., Abouzied, M.M., Miller, E.R. y Buckley, D.J. (1991). Effect of supranutritional dietary vitamin E levels on subcellular deposition of α -tocopherol in the muscle and on pork quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 57: 31-41.
- Atay, O., Gökdal, O., Eren, V., Çetiner, S. y Yikilmaz, H. (2009). Effects of dietary vitamin E supplementation on fattening performance, carcass characteristics and meat quality traits of Karya male lambs. *Archiv Tierzucht*, 52: 618-626.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2001). Draft Toxicological Profile for Selenium. U.S. Department of Health and Human Services, 1: 386.
- Arousseau, B., Bauchart, D., Calichon, E., Micol, D. y Priolo, A. (2004). Effect of grass or concentrate feeding systems and rate of growth on triglyceride and phospholipid and their fatty acids in the M. Longissimus thoracis of lambs. *Meat Science*, 66: 531-541.
- Avissar, N., Ornt, D.B., Yagil, Y., Horowitz, S., Watkins, R.H., Kerl, E.A., Takahashi, K., Palmer, I.S. y Cohen, H.J. (1994). Human kidney proximal tubules are the main source of plasma glutathione peroxidase. *Am J Phys*; 266: C367-C375.
- Babior, BM. (1984). The respiratory burst of phagocytes. *J Clin Invest*, 73: 599-603.
- Baker SS y Cohen HJ. (1983). Altered oxidative metabolism in selenium-deficient rat granulocytes. *J Immunol*, 130: 2856-2860.
- Bañón, S., Méndez, L., y Almela, E. (2012). Effects of dietary rosemary extract on lamb spoilage under retail display conditions. *Meat Science*, 90: 579-583.
- Barbera, S. y Tassone, S. (2006). Meat cooking shrinkage: measurement of a new meat quality parameter. *Meat Science*, 73: 467-474.
- Barbieri, M. (1993). Comportamiento productivo de novillos Hereford alimentados con dietas de engorda que incluye niveles crecientes de pomasa de tomate conservada. Memoria de título Ing. Agr. Escuela de Agronomía. Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. Univ. de Chile. 68p.
- Barroso, F.G., Martínez, T.F., Megías, M.D., Madrid, M.J. y Hernández, F. (2006). Conservación y valoración de la pulpa de tomate ensilada para alimentación animal. *SEOC 2006*, 1: 48-50.

- Bas, P. y Morand-Fehr, P. (2000). Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits. *Livestock Production Science*, 64: 61-79.
- Bas, P. y Sauvant, D. (2001). Variations de la composition des dépôts lipidiques chez les bovins. *Inra Production Animales*, 14: 311-322.
- Beckett, G.J., Arthur, J.R., Miller, S.M. y McKenzie, R.C. (2004). Minerals and Immune responses-selenium. *Diet and Human Immune Function*, 217-240.
- Beckett, G.J. y Arthur, J.R. (2005). Selenium and endocrine systems. *J. Endocrinol.* 184: 455-465.
- Behne, D. y Kyriakopoulos, A. (2001). Mammalian selenium-containing proteins. *Annu. Rev. Nutr.*, 21: 453-473.
- Beriain, M.J. y Lizaso, G. (1997). Calidad de la carne de vacuno. *Vacuno de carne: aspectos clave*. Mundiprensa, 493-510.
- Berian, M. J., Purroy, A., TReacher, T., y Bas, P. (2000a). Effect of animal and nutrition factors and nutrition on lamb meat quality. In I. Ledin & P. Morand-Fehr (Eds.), *Sheep and goat nutrition: Intake, digestion, quality of products and rangelands*. Spain: Zaragoza.
- Beriain, M.J., Horcada, A., Purroy, G., Lizaso, G., Chasco, J. y Mendizabal, J.A. (2000b). Characteristics of Lacha and Rasa Aragonesa lambs slaughtered at three live weights. *Journal of Animal Science*, 78: 3070-3077.
- Bermúdez, V., Bermúdez, F., Leal, E., Mengual, E., Lemus, M. y Acosta, A.G. (2005). Quimiopreención del cáncer de mama: fronteras y horizontes. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 24: 32-41.
- Bernués A, Ripoll G y Panea B. (2012). Consumer segmentation based on convenience orientation and attitudes towards quality attributes of lamb meat. *Food Qual Prefer*, 26: 211-220
- Berruga, M. I., Vergara, H. y Gallego, L. (2005). Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat. *Small Ruminant Research*, 57: 257-264.
- Berthelot, V., Broudiscou, L. y Schmidely, P. (2014). Effect of vitamin E supplementation on fatty acid composition of muscle and adipose tissues of indoor lambs with special attention on rumen-derived trans monounsaturated fatty acids. *Meat Science*, 96: 1281-1288.
- Bessa, R.J.B., Portugal, P.V., Mendes, I.A. y Santos-Silva, J. (2005). Effect of lipid supplementation on growth performance, carcass and meat quality and fatty acid composition of intramuscular lipids of lambs fed dehydrated lucerne or concentrate. *Livestock Production Science*, 96: 185-194.

- Blázquez, B., Miguel, E., Onega, E., Ruiz De Huidobro, F. (2001). Evolución de la calidad de la canal y de la carne ovinas entre los 5 y los 25 kg de peso vivo. *Información Técnica Económica Agraria*, 22: 643-645.
- Bodas, R. (2004). El bicarbonato sódico en la alimentación de corderos en la etapa de crecimiento-cebo y de ovejas en lactación. Tesis Doctoral, Universidad de León.
- Bodas, R., Rodríguez, A.B., López, S., Fernández, B., Mantecón, A.R. y Giráldez, F.J. (2007). Effects of the inclusion of sodium bicarbonate and sugar beet pulp in the concentrate for fattening lambs on acid-base status and meat characteristics. *Meat Science*, 77: 696-702.
- Bond, J.J., Can, L.A. y Warner, R.D. (2004). The effect of exercise stress, adrenaline injection and electrical stimulation on changes in quality attributes and protein in semimembranosus muscle of lamb. *Meat Science*, 68: 469-477.
- Botsoglou, N.; Papageorgiou, G. y Nikolakakis, I. (2004): Effect of dietary dried tomato pulp on oxidative stability of Japanese quail meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 2982-2988.
- Bovy, A., Kemper, M., Schijlen, E., Pertejo, M. A. y Muir, S. (2002). High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes *l1* and *c1*. *Plant Cell*. 14(10): 2509-2526.
- Brecht, J.K., Saltveit, M.E., Talcott, S.T., Schneider, K.R., Felkey, K. y Bartz, J.A. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. *Horticultural Reviews*, 30:185-230.
- Broncano, J.M., Timón, M.L., Parra, V., Andrés, A.I. y Petró, M.J. (2011). Use of proteases to improve oxidative stability of fermented sausages by increasing low molecular weight compounds with antioxidant activity. *Food Research International*, 44: 2655-2659.
- Buckley, D.J., Morrissey, P.A. y Gray, J.I. (1995). Influence of dietary vitamin E on the oxidative stability and quality of pig meat. *J. Anim. Sci.* 73: 3122.
- Buettner, G. R., Jurkiewicz, B. A., in: Cadenas, E., Packer, L. (Eds), *Handbook of Antioxidants*, Marcel Dekker, New York 1996, p. 91.
- Burk RF, de. *Selenium in biology and human health*. Springer-Verlag Ed., N.Y. (1994).
- Cai, J., Baizhan, L. y Su Q. (2001). Comparison of simultaneous distillation extraction and solid-phase microextraction for the determination of volatile flavor components. *Journal of Chromatography*, 930:1-7.
- Calamari, L., Petrera, F. y Bertin, G. (2010). Effects of either sodium selenite or Se yeast (Sc CNCM I-3060) supplementation on selenium status and milk characteristics in dairy cows. *Livestock Science*, 128: 154-165.

- Candelas, M. G., Alanís, M. G. J., Bautista, M., Del Río, F. y García, C. (2005). Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4: 299-307.
- Cano, T., Peña, F., Martos, J., Domenech, V., Alcalde, M.J., García, A., Herrera, M., Rodero, E. y Acero, R. (2003). Carcass and meat quality in light lambs in the Segureña breed. *Archivos de Zootecnia*, 52: 315-326.
- Cañeque, V., Lauzurica, S., Guía, E. y Velasco, S. (1994). Utilization of soda treated straw in lamb fattening and effect on carcass quality. 45th Annual Meeting of the EAAP. Edinburgh (UK).
- Cañeque, V., Sancha, J.L., Cantero, M.A., Velasco, S., Ruiz De Huidobro, F., López, D., Lauzurica, S., Pérez, C. y García, C. (1997). Efecto del peso de sacrificio sobre el engrasamiento de la canal en corderos lechales de raza Talaverana. *Información Técnica Económica Agraria*, 18: 709-711.
- Cañeque, V., Lauzurica, S., Velasco, S., Ruiz De Huidobro, F., Pérez, C., Díaz, M.T., Manzanares, C. y Onega, E. (1999). Engorde de corderos de raza talaverana en pastoreo o aprisco con distintos sistemas de alimentación. I.- Efecto sobre la calidad de la canal. XXIV Jornadas Científicas de la SEOC. Soria.
- Cañeque, V., Díaz, M. T., Álvarez, I., Lauzurica, S., Pérez, C. y De la Fuente, J. (2005). The influences of carcass weight and depot on the fatty acid composition of fats of suckling Manchego lambs. *Meat Science*, 70: 373-379.
- Caparra, P., Foti, F., Scerra M., Sinatra M.C. y Scerra, V. (2007). Solar-dried citrus pulp as an alternative energy source in lamb diets: Effects on growth and carcass and meat quality. *Small Ruminant Research*, 68: 303-311.
- Carpenter, C. E., Cornforth, D. P. y Whittier, D. (2001). Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Science*, 57: 359-363.
- Carrasco, S., Panea, B., Ripoll, G., Sanz, A., y Joy, M. (2009). Influence of feeding systems on cortisol levels, fat colour and instrumental meat quality in light lambs. *Meat Science*, 83: 50-56.
- Carson, A.F., Moss, B.W., Dawson, L.E.R., Kilpatrick, D.J. (2001). Effects of genotype and dietary forage to concentrate ratio during the finishing period on carcass characteristics and meat quality of lambs from hill sheep systems. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 137: 205-220.
- Castro, T., Manso, T., Mantecón, A.R., Guirao, J. y Jimeno, V. (2005). Fatty acid composition and carcass characteristics of growing lambs fed diets containing palm oil supplements. *Meat Science*, 69: 757-764.

- Castro de Cabo, M.J., Sánchez, C.I., García, M.D., Garzón, A. y González, I. (2009). La capacidad de retención de agua de la carne de reses de lidia. Symposium del Toro de lidia. Julio de 2009.
- Cava, R. (1994). Efecto del sistema de alimentación en la composición y características de la grasa intramuscular de cerdo ibérico. Tesis de Licenciatura. Universidad de Extremadura.
- Cava, R., Ruiz, J., Ventanas, J. y Antequera, T. (1999). Oxidative and lipolytic changes during ripening of Iberian hams as affected by feeding regime: extensive feeding and alphatocopherol acetate supplementation. *Meat Science*, 52: 165-172.
- Chawla, R., Kaur, H. y Tyagi, K. (2003). Influence of Vitamin E and beta-carotene supplementation on spontaneous oxidised flavour of milk in dairy cows. *Indian Journal of Animal Sciences*, 73: 807-811.
- Chawla, R. y Kaur, H. (2004). Plant antioxidant vitamin status of periparturient cows supplemented with alphatocopherol and beta-carotene. *Animal Feed Science and Technology*, 114: 279-285.
- Chekani-Azar, S., Mansoub, N.H., Tehrani, A.A., Aghdam, F.V., Mizban, S. (2010). Effect of replacing inorganic by organic selenium sources in diet of male broilers on selenium and vitamin E contents and oxidative stability of meat. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9: 501-1505.
- Chung, J.Y., Kim, J.H., Ko, Y.H. y Jang, I.S. (2007). Effects of Dietary Supplemented Inorganic and Organic Selenium on Antioxidant Defense Systems in the Intestine, Serum, Liver and Muscle of Korean Native Goats. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 20: 52-59.
- Church, I.J. y Parsons, A.L. (1995). Modified atmosphere packaging technology: Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67: 143-152.
- CIE (Comission Internacionale de l'Éclairage, 1986). *Colorimetry*, 2nd Edition. Vienna.
- Cofrades, S. y Carballo, J. (2001). Nuevas tecnologías utilizadas en la conservación de la carne y de los productos cárnicos. En: *Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos*, Vol.1 511-536. Editado por Martín Bejarano, Plasencia.
- Colomer-Rocher, F. (1974). Tabla para la clasificación de canales ovinas. Hoja Técnica, INIA, 3.
- Combes S., Lepetit J., Darche B. y Lebas, F., (2003). Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurements and collagen content in rabbit meat. *Meat Science*. 66: 91-96.
- Comisión Europea (1992). Reglamento (CEE) nº 2137/92 del Consejo, de 23 de julio de 1992, relativo al modelo comunitario de clasificación de canales de ovino y se determina la

calidad tipo comunitaria de las canales de ovino frescas o refrigeradas y por el que se prorroga el Reglamento (CEE) n° 338/91.

Comisión Europea (2006). Reglamento (CE) n° 1750/2006 de la Comisión, de 27 de noviembre de 2006, relativo a la autorización de selenometionina como aditivo para la alimentación animal.

Comisión Europea (2008a). Directiva n° 2008/84/CE de la Comisión, de 27 de agosto de 2008, por la que se establecen criterios específicos de pureza de los aditivos alimentarios distintos de los colorantes y edulcorantes.

Comisión Europea (2008b). Reglamento (CE) n° 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre aditivos alimentarios.

Cornforth, D. (1999). Color, Its basis and importance. En: Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Pearson, A.M., Dutson, T.R. (Eds.). Aspen Publishers, Inc, Gaithersburg, Maryland (Estados Unidos). pp. 34-78.

Cosgrove, J.P., Church, D.F. y Pryor, W.A. (1987). The kinetics of the autoxidation of polyunsaturated fatty-acids. *Lipids*, 22: 299-304.

Costa R.G., Malveira A.S., Azevedo P.S., Ramos do Egypto R.C., Madruga M.S., Filho J.T.A. (2009) Lipid profile of lamb meat from different genotypes submitted to diets with different energy levels. *Revista Brasileira de Zootecnia* vol. 38, 3 : 532-538.

Cozzi, G., Prevedello, P., Stefani, A.L., Piron, A., Contiero, B., Lante, A., Gottardo, F. y Chevaux E., (2011). Effect of dietary supplementa-tion with different sources of selenium on growth response, selenium blood levels and meat quality of intensively finished Charolais young bulls. *Animal*, 5: 1531-1538.

Cruz, R.M., González, J. y Sánchez, P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28: 6-15.

Cummings, M.J., Mattill, H.A., 1931. The auto-oxidation of fats with reference to their destructive effect on vitamin E. *E. J. Nutr.* 3: 421-432.

Cunhal-Sendim, A., Albiac, J., Delfa, R. y Lahoz, F. (1999). Percepción de la calidad de la canal de cordero ligero. *Archivos de Zootecnia*, 48: 187-196.

Daley, CA, Abbott A, Doyle PS, Nader GA y Larson S. (2010). A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutr J*, 9: 10.

Dannenberger, D., K. Nuernberg, G. Nuernberg and K. Ender. (2006). Carcass- and meat quality of pasture vs concentrate fed German Simmental and German Holstein Bulls. *Arch. Tierz.*, 49: 315-328.

- Daun, C. y Akesson, B., (2004). Glutathione peroxidase activity, and content of total and soluble Se in five bovine and porcine organs used in meat production. *Meat Science*. 66: 801-807.
- Davey, C.L. y Gilbert, K.W. (1974). Temperature-dependent cooking toughness in beef. *J. Sci. Food Agric.*, 25(8): 931-938.
- Davey, M.W., Van Montagu., M., Inze, D., Sanmartin, M. (2000). et al., *Journal of the Science of Food and Agriculture.*, 80: 825-860.
- Davis, A.R., Fish, W.W., Perkins-Veazie, P. (2003). *Postharvest Biol. Technol.*, 28: 425-430.
- Day, B.P.F. (2007). Modified atmosphere packaging (MAP) e A global perspective on new developments. 40th AIFST Convention, Melbourne.
- De Boer, H., Dumont, B.L., Pomeroy, R.W. y Weniger, J.H. (1974). Manual in EAAP reference methods for the assessment of carcass characteristics in cattle. *Livestock Production Science*, 1: 151-164.
- De la Fuente, J., Díaz, M.T., Álvarez, I., Lauzurica, S., Cañeque, V. y Pérez, C. (2007). Effect of dietary supplementation with vitamin E on characteristics of vacuum-packed lamb. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 651-659.
- Delfa, R. y Teixeira, A. (1998). Calidad de la canal ovina. *Ovino de carne: aspectos claves*. Mundi-Prensa, 373-418.
- Del Rio, D., Stewart, A. J., Pellegrini, N., 2005. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress. *Nutrition, Metabolism Cardiovascular Diseases* 15, 316-328.
- Del Valle, M.; Cámara, M. y Torija, M.E. (2006). Chemical characterization of tomato pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86: 1232-1236.
- Demirel, G., Wachira, A.M., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G., Wood, J.D. y Enser, M. (2004). Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids, breed and dietary vitamin E on the fatty acids of lamb muscle, liver and adipose tissue. *British Journal of Nutrition*, 91: 551-565.
- Denek, N. y Can, A. (2006). Feeding value of wet tomato pomace ensiled with wheat straw and wheat grain. *Small Ruminant Research*, 65: 260-265.
- Den Hertog-Meischke, M.J.A., van Laack, R.J.L.M., y Smulder, F.J.M. (1997). The water-holding capacity of fresh meat. *Veterinary Quarterly*, 19: 175-181.
- Descalzo, A.M., Insani, E.M., Biolatto, A., Sancho, A.M., Garcia, P.T., Pensel, N.A., et al. (2005). Influence of pasture or grain-based diets supplemented with vitamin E on antioxidant/oxidative balance of Argentine beef. *Meat Science*, 70: 35-44.
- Devine, C.E., Graafhuis, A.E., Muir, P.D. y Chrystal, B.B. (1993). The effect of growth rate and ultimate pH on meat quality of lambs. *Meat Science*, 35: 63-77.

- Díaz, M.T. (2001). Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral.
- Díaz, M.T., Velasco, S., Pérez, C., Lauzurica, S., Huidobro, F., y Cañeque, V. (2003). Physico-chemical characteristics of carcass and meat Manchego-breed suckling lambs slaughtered at different weights. *Meat Science*, 65: 1085-1093.
- Díaz, M.T., Álvarez I., De La Fuente, J., Sañudo, C., Campo, M.M., Oliver, M.A., Font i Furnols, M., Montossi, F., San Julián, R., Nute, G.R. y Cañeque, V. (2005). Fatty acid composition of meat from typical lamb production systems of Spain, United Kingdom, Germany and Uruguay. *Meat Science*, 71: 256-263.
- Díaz, M.T., Vieira, C., Pérez, C.; Lauzurica, S.; González de Chávarri, E.; Sánchez, M. y De la Fuente, J. (2014). Effect of lairage time (0 h, 3 h, 6 h or 12 h) on glycogen content and meat quality parameters in suckling lambs. *Meat Science*, 96: 653-660.
- Dixon, N.M. y Kell, D.B. (1989). The control and measurement of "CO₂" during fermentations. *Journal of Microbiological Methods*, 10: 155-176.
- Djenane, D., Sanchez-Escalante, A., Beltran, J.A., y Roncales, P. (2002). Ability of α -tocopherol, taurine and rosemary, in combination with vitamin C, to increase the oxidative stability of beef steaks packaged in modified atmosphere. *Food Chemistry*, 76: 407-415.
- Dobretsov, G. E., T. A. Borschevskya, V. A. Petrov, and Y. A. Vladimirov. (1977). The increase of phospholipid bilayer rigidity after lipid peroxidation. *FEBS Lett.* 84: 125.
- Doherty, A.M., Sheridan, J.J., Allen, P., McDowell, D.A. y Blair, I.S. (1996). Physical characteristics of lambs primals packaged under vacuum or modified atmospheres. *Meat Science*, 42(3): 315-324.
- Domínguez-Vara, I.A., González-Muñoz, S.S., Pinos-Rodríguez, J.M., Bórquez-Gastélum, J.L., Bárcena-Gama, R., Mendoza-Martínez, G., Zapata, L.E. y Landois-Palencia, L.L. (2009). Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 152, 42-49.
- Dotas, D., Zamanidis, S. y Balios, J. (1999): Effect of dried tomato pulp on the performance and egg traits of laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 40: 695-697.
- Downs, K.M., Hess, J.B., Bilgili, S.F. (2000). Selenium source effect on broiler carcass characteristics, meat quality and drip loss. *J. Appl. Anim. Res.* 18: 61-72
- Dransfield, E. (1977). Intramuscular composition and texture of beef muscles. *J. Sci Food Agric.* 28: 833-842.
- Dransfield, E. (2008). The taste of fat. *Meat Science*, 80: 37-42.

- Driscoll, D.M. y Copeland, P.R. (2003). Mechanism and regulation of selenoprotein synthesis. *Ann. Rev. Nutr.*, 2:, 17-40.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., Grolier, P. (2003), *J. Sci. Food Agric.*, 83: 369-382.
- Eilert, S.J. (2005). New packaging technologies for de 21st century. *Meat Science*: 71, 122-127.
- Ekholm, B.P., Varo, P., Aspila, P., Koivistoinen, P. y Syrjala-Qvist, L. (1991). Transport of feed Se to different tissues in bulls. *Br. J. Nutr.* 66: 49-55.
- Ekiz, B., Yilmaz, A., Ozcan, M., Kaptan, C., Hanoglu, H., Erdogan, I. y Yalcintan, H. (2009). Carcass measurements and meat quality of Turkish Merino, Ramlic, Kivircik, Chios and Imroz lambs raised under an intensive production system. *Meat Science*, 82: 64-70.
- Ekstrand, B., Österlund, C., Lilliehöök, B. y Bucht, A. (2007). Vitamin E down-modulates mitogen-activated protein kinases, nuclear factor- κ B and inflammatory responses in lung epithelial cells. *Clinical & Experimental Immunology*, 147(2): 359-369.
- Elbadrawy, E. y Sello, A. (2011). Evaluation of nutritional value and antioxidant activity of tomato peel extracts. *Arabian Journal of Chemistry*, In Press.
- Ellison, R.S. (1992). A review of copper and selenium reference ranges in cattle and sheep. *Proceeding 22nd Seminar Sheep and Beef cattle Society*, 154: 3-17.
- Elmore, J.S., Erbahadir, M.A. y Mottram, S. (1997). Comparison of dynamic headspace concentration on Tenax with solid phase microextraction for the análisis of aroma volátiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 2638-2641.
- Elmore, J.S., Cooper, S.L., Enser, M., Mottram, D.S., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. y Wood, J.D. (2005). Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb. *Meat Science*, 69: 233-242.
- Esmer, O.K., Irkin, R., Degirmencioglu, N., y Degirmencioglu, A. (2011). The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, colour and oxidation values of minced beef meat. *Meat Science*, 88: 221-226.
- Espejo, M. y López Gallego, F. (1998). *Sistemas y Costes de Producción. Ovino de carne: aspectos claves*. Ed. Mundi Prensa (12): 301-347.
- Esterbauer, H., Schaur, R.J. y Zollner, H. (1991). Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. *Free Radical Biol. Med*, 11 (1): 81-128.
- Estevez M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science*, 89: 259-279.
- Evans, H.M. y Bishop, K.S. (1922). On the existence of a hitherto unrecognized dietary factor essential for reproduction. *Science*, 56: 650-651.

- Faustman, C. y Cassens, R.G. (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *Journal of Muscle Foods*, 1: 217-243.
- FDA (Food and Drug Administration) (2007). Food additives permitted in feed and drinking water of animals: Selenium. U.S. Department of Health and Human Services, 72: 39560-39561.
- Feliciano, D., Camarena, D. y Albisu, L.M. (2003). La comercialización de la carne de cordero fresco en Zaragoza. *Información Técnica Económica Agraria*, 99 (3): 177-191.
- Feroli, F., Carboni, M.F. y Dutta, P.C. (2008). Evaluation of cholesterol and lipid oxidation in raw and cooked miced beef stored under oxygen-enriched atmosphere. *Meat Science*, 80: 681-685.
- Fernandes, R.P.P., Freire, M.T.A., Paula, E.S.M., Kanashiro, A.L.S., Catunda, F.A.P., Rosa, A.F. y Trindade, M.A. (2014). Stability of lamb loin stored under refrigeration and packed in different modified atmosphere packaging systems. *Meat Science*, 96: 554-561.
- Fernandez, J., Pérez-Álvarez, J.A. y Fernández-López, J.A. (1998). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chemistry*, 59(3):345-353.
- Fernández, M. (2000). El desarrollo testicular, la espermatogénesis, la capacidad de servicio y los niveles plasmáticos de Lh, Fsh y testosterona en corderos y moruecos Assaf en relación con los aportes dietéticos de proteína metabolizable. Tesis Doctoral. Universidad de León. León (España).
- Fernández, V., Cámara, M. y Quintela, J. C. (2007). Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 3: 166.
- Fisher, A.V., Enser, M., Richardson, R.I., Wood, J.D., Nute, G.R., Kart, E., Sinclair, L.A. y Wilkinson, R.G. (2000). Fatty acid composition and eating quality of lamb types derived from four diverse breed x production system.
- Flores, C., Caja, G., Salama, A.D.J., Saldo, J., Blandón, J.C., Fandiño, I. y Bertín, G. (2007). Comparación de efectos de la suplementación con selenio orgánico (Sel-Plex®) e inorgánico en cabras. *Información Técnica Económica Agraria*, 28: 267-269.
- Fluharty, F.L. y McClure, K.E. (1997). Effects of dietary energy intake and protein concentration on performance and visceral organ mass in lambs. *Journal of Animal Science*, 75: 604-610.
- Folch, J., Lees, M. y Sloane-Stanley, G.H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226: 497-509.
- Ford, A. L., Park, R. J. y Ratcliff, D. (1976). Effect of a protected lipid supplement on flavour properties of beef. *Journal of Food Science*, 41: 94-96.

- Formanek, Z., Kerry, J.P., Higgins, F.M., Buckley, D.J., Morrissey, P.A. y Farkas, J. (2001). Addition of synthetic and natural antioxidants to α -tocopherol acetate supplemented beef patties: effects of antioxidants and packaging on lipid oxidation. *Meat Science*, 58: 337-341.
- Gandemer, G. (1998). Lipids and meat quality – lipolysis – oxidation and flavour. *Proceedings of 44nd international congress meat science technology*, Barcelona, Spain.106-116.
- Gatellier, P., Hamelin, C., Durand, Y. y Renerre, M. (2001). Effect of a dietary vitamin E supplementation on colour stability and lipid oxidation of air- and modified atmosphere-packaged beef. *Meat Science*, 59: 133-140.
- Gartner, C., Stahl, W., Sies, H. *Am. J. Clin. Nutr.* 1997, 66, 116 – 122.
- Gault, N.F.S. (1985). The relationship between water holding capacity and cooked meat tenderness in some beef muscles as influenced by acidic conditions below the ultimate pH. *Meat Science*, 15: 15-30.
- Gecgel, U., Yilmaz, I., Ozder, M., Sezenler, T., Soysal, D. y Gurcan, E.K. (2015). Fatty acid profile of Turkish Bandirma Crossbreed, Karacabey Merino Multiplier and Karacabey Merino Nucleus lambs raised in the same intensive production system.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D.S. y Kapoor, H.C. (2004). *Food Chem.*, 84: 45-51.
- Gianello, R., Libinaki, R., Azzi, A., Gavin, P.D., Negis, Y., Zingg, J.M., et al., 2005. α -Tocopheryl phosphate: a novel, natural form of vitamin E. *Free Radic. Biol. Med.* 39 (7), 970–976.
- Giera, M., Lingeman, H. y Niessen, W.M. (2012). Recent advancements in the LC- and GC-based analysis of malondialdehyde (MDA): A brief overview. *Chromatographia*, 75 (9–10): 433-440.
- Gill, C.O. (1988). The solubility of carbon dioxide in meat. *Meat Science*, 22: 65-71.
- Gill, C.O. (1990). Controlled atmosphere packaging of chilled meat. *Food Control* (April): 74-78.
- Gómez-Romero, M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero A. y Fernández-Gutiérrez, A. (2007). Analytical determination of antioxidants in tomato: Typical components of the Mediterranean diet. *J. Sep. Sci.* 2007, 30: 452-461.
- González, I.N., Valverde, V.G., Alonso, J.G., Periago, M.G. (2011). Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Research International* 44: 1528-1535.
- González-Calvo, L., Ripoll, G., Molino, F., Calvo, J.H. y Joy, M. (2015). The relationship between muscle α -tocopherol concentration and meat oxidation in light lambs fed vitamin E supplements prior to slaughter. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95: 103-110.

- Grau, R. und Hamm, R. (1953). Eine einfache methode zur bestimmung der wasserbindung in mukul. *Naturwissenschaften*, 40: 29-31.
- Gray, J.I. y Pearson, AM. (1987). Rancidity and warmed-over flavour. *Restructured meat and poultry products. Advances in Meat Research*. Eds. Pearson, A.M. y Dutson, T.R. Vol 3. Van Nostrand Reinhold Company, New York. Pp:221-269.
- Gray, J.I. y Crackel, R.L. (1992). Oxidative flavour changes in meats. *The Chemistry of muscle-based foods*. Royal Society of Chemistry. Cambridge, 145-168.
- Gray, J.I., Gomaa, E.A. y Buckley, D.J. (1996) Oxidative quality and shelf-life of meats. *Meat Science*, 43: S111-S123.
- Gresakova, L., Cobanova, K. y Faix, S. (2013). Selenium retention in lambs fed diets supplemented with selenium from inorganic or organic sources. *Small Ruminant Research*, 111: 76-82.
- Groff, J.L., Gropper, S.S. y Hunt, S.M. (1995). Microminerals. In: *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. Minneapolis: West Publishing Company, Minneapolis, pp. 381-384.
- Guardiola, F., Codony, R., Addis, P. B., Rafecas, M. y Boatella, J. (1996). Biological effects of oxysterols: Current status. *Food and Chemical Toxicology*, 34: 193-211.
- Guía, E. y Cañeque, V. (1992). Crecimiento y desarrollo del cordero Talaverano. Evolución de las características de su canal. Servicio de Investigación y Experimentación Agraria. Serie. Área de producción animal. Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla- La Mancha. Toledo. 55 pp.
- Guidera, J., Kerry, J.P., Buckley, D.J., Lynch, P.B. y Morrissey, P.A. (1997). The Effect of Dietary Vitamin E Supplementation on the Quality of Fresh and Frozen Lamb Meat. *Meat Science*, 45: 33-43.
- Guillén-Sans, R. y Guzmán-Chozas, M. (1998). The thiobarbituric acid reaction in foods: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(4): 315-330.
- Gunter, S.A., Beck, P.A. y Phillips, J.M. (2003). Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *J. Anim. Sci.* 81: 856-864.
- Gutiérrez, J. (2006). Factores que influyen sobre el lechazo de raza Churra. Universidad de León. Tesina de licenciatura.
- Gutiérrez, J.I. (2008). Carne fresca de cordero envasada en atmósferas modificadas: prolongación de la vida útil con el mantenimiento de su calidad. Universidad de Extremadura. Trabajo de Grado.
- Gutiérrez Cabanillas, J.I., Tejeda Sereno, J.F. y Andrés Nieto, A.I. (2009). Estabilidad oxidativa de carne de cordero Merino envasada en atmósferas modificadas. Libro de

- Comunicaciones, V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Murcia, Spain.
- Gutiérrez Cabanillas, J.I.; Tejada Sereno, J.F. y Andrés Nieto, A.I. (2010). Efecto de un tratamiento de envasado en atmósfera protectora sobre la calidad de la carne fresca de cordero Merino. *Eurocarne*, 189: 70-76.
- Gutiérrez, J.I., Tejada, J.F., Carrapiso, A.I., Petró, M.J, Lara, M.S. y Andrés, A.I. (2011). Shelf life of Merino lamb meat retail packaged under atmospheres of various compositions. *International Journal of Food Science and Technology*. 46: 492-499.
- Gutiérrez, J.I., Tejada, J.F. Parra, V. y Andrés, A.I. (2013). Evolution of the fatty acid composition and oxidative stability of Merino lamb meat stored under different modified atmospheres. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 52: 81-92.
- Guyot, H., Spring, P., Andrieu, S., Rollin, F. (2007). Comparative responses to sodium selenite and organic selenium supplements in Belgium Blue cows and calves. *Livest. Sci.*, 111: 259–263.
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Adv. Food Res.* , 10: 355.
- Hamm, R. (1977). En: *Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing*. Eds. T. Hoyem y O. Kvale. Elsevier. Applied Science Publ., Londres.
- Hansard, S.M. (1983). Microminerals for Ruminant Animals. *Nutrition Abstracts and Reviews*, 53: 1-43.
- Harris, P.V. y Shorthose, W.R. (1988). Meat texture. *Developments in Meat Science 4*. Ed. R.A. Lawrie. Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Harrison, J.H., Conrad, H.R. (1984). Effect of selenium intake on selenium utilization by the non-lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 67: 219-223.
- Harrison, J.H., Conrad, H.R. (1984b.) Effect of dietary calcium on selenium absorption by the non-lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 67: 1860-1864.
- Hefnawy, A.E.G., López-Arellano, R., Revilla-Vázquez, A., Ramírez-Bribiesca, J.E. y Tórtora, J. (2007). The relationship between fetal and maternal selenium concentrations in sheep and goat. *Small Ruminant Research*, 73: 174-180.
- Hefnawy, A.E.G. y Tórtora-Pérez, J.L. (2010). The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research*, 89: 185-192.
- Heinrich, V., Zunabovic, M., Nehm, L., Bergmair, J. y Kneifel, W. (2016). Influence of argon modified atmosphere packaging on the growth potential of strains of *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*. *Food Control*, 59: 513-523.
- Hernández-García, P.A., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G.D., Bárcena-Gama, J.R., Plata-Pérez, F.X., López-Ordaz, R. y Martínez-García, J.A. (2015). Effects of feeding yeast

- (*Saccharomyces cerevisiae*), organic selenium and chromium mixed on growth performance and carcass traits of hair lambs. *Journal of Integrative Agriculture*, 14: 575-582.
- Herrero, M., Ibáñez, E. y Cifuentes, A. (2005). Analysis of natural antioxidants by capillary electromigration methods. *Journal of Separation Science*, 28: 883-897.
- Honikel, K.O. (1991). Assessment of meat quality. *Animal biotechnology and the quality of meat production*. Ed. L. O. Fiems, Cottyn B.G. Elsevier, Amsterdam. 107-125
- Honikel, K.O. (1998). Recommendation of an initial Group of Reference Methods for the Assessment of Physica Characteristics of Meat. *Proc. 44th ICOMTS*. 608-609.
- Horcada, A. (1996). Calidad de la carne de los corderos de las razas Lacha y Rasa Aragonesa. Universidad Pública de Navarra. Tesis Doctoral.
- Horcada, A., Beriain, M.J., Purroy, A., Lizaso, G. y Chasco, J. (1998). Effect of sex on meat quality of Spanish lamb breeds (Lacha and Rasa Aragonesa). *Anim. Sci.* 67: 541-547.
- Horcada, A., Alcalde, M.J., Barajas, F., Miguélez, J.J., Valera, M., Molina, A. y Juárez M.M. (2006). Efecto del destete sobre el perfil de ácidos grasos de corderos de raza merina. *Feagas*, 30: 97-100.
- Hood, D.E. (1980). Factors affecting the rate of metmyoglobin accumulation in pre-packaged beef. *Meat Science*, 4: 247-265.
- Hornsey, H.C. (1956). The color of cured cooked pork. 1. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.* 7: 534-540.
- Huff Lonergan, E., Zhang, W. y Lonergan, S.M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle - Lessons on mechanisms of meat ten-derization. *Meat Science*, 86: 184-195
- Immonen, K., Ruusunen, M., Hissa, K. y Puolanne, E. (2000). Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 55: 25-31.
- INRA (2004). *Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands and INRA/Paris: 304.
- Insani, E. M., Eyherabide, A., Grigioni, G., Sancho, A. M., Pensel, N. A., y Descalzo, A. M. (2008). Oxidative stability and its relationship with natural antioxidants during refrigerated retail display of beef produced in Argentina. *Meat Science*, 79: 444-452.
- Insausti, K., Beriain, M.J., Purroy, A., Alberti, P., Gorraiz, C. y Alzueta, M.J. (2001). Shelf life of beef from local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Science*, 57: 273-281.
- Inserra, L., Priolo, A., Biondi, L., Lanza, M., Bognanno, M., Gravador, R y Luciano. (2014). Dietary citrus pulp reduces lipid oxidation in lamb meat. *Meat Science*, 96: 1489-1493.

- Jacob, R.H., Pethick, D.W. y Chapman, H.M. (2005). Muscle glycogen concentrations in commercial consignments of Australian lamb measured on farm and post-slaughter after three different lairage periods. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 45: 543-552.
- Jacob, R.H., D'Antuono, M.F., Smith, G.M., Pethick, D.W., y Warner, R.D. (2007). Effect of lamb age and electrical stimulation on the colour stability of fresh lamb meat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58: 374-382.
- Jafari, M., Pirmohammadi, R. y Bampidis, V. (2006). The use of tomato pulp in diets of laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 5: 618-622.
- Jakobsen, M. y Bertelsen G. (2002). The use of CO₂ in packaging of fresh meats and its effect on chemical quality changes in the meat: A review. *Journal of Muscle Foods*, 13: 143-168.
- Jakobsen, M. (2003). Optimizing MAP of meat through modelling. PhD Thesis. Food Chemistry, Department of Dairy and Food Science. The Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg C, Dinamarca.
- Jakobsen, M. y Bertelsen G. (2003). Active packaging and colour control: the case of meat. Chapter 19, *Novel Food Packaging techniques* (ed. Ahvenainen R), Woodhead Publishing Ltd.
- James, B.W., Goodband, R.D., Unruh, J.A., Tokach, M.D., Nelssen, J.L., Dritz, S.S., O'Quinn, P.R. y Andrews, B.S. (2002). Effect of creatine monohydrate on finishing pig growth performance, carcass characteristics and meat quality. *Anim Feed Sci. Technol.*, 96: 135-145.
- Jensen, C., Lauridsen, C. y Bertelsen, G. (1998). Dietary vitamin E quality and storage stability of pork and poultry. *Trends in Food Science and Technology*, 9: 62-72.
- Jeremiah, L.E., Tong, A.K.W y Gibson, L.L. (1991). The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. *Meat Science*, 30: 97-114.
- Jeremiah, L.E. (2001). Packaging alternatives to deliver fresh meat using short- or long-term distribution. *Food Research International*, 34: 749-772.
- Jerónimo E., Alves S.P., Prates J.A.M., Santos-Silva J. y Bessa R.J.B. (2009) Effect of dietary replacement of sunflower oil with linseed oil on intramuscular fatty acids of lamb meat. *Meat Science*, 83: 499-505.
- Jiang, Hongqin, Wang, Zhenzhen, Ma, Yong, Qu, Yanghua, Lu, Xiaonan, Guo, Huiyuan, Luo, Hailing (2015). Effect of dietary lycopene supplementation on growth performance, meat quality, fatty acid profile and meat lipid oxidation in lambs in summer conditions. *Small Ruminant Research*, In Press.

- Johansson, E., Jacobsson, S.O., Luthman, J. y Lindh, U. (1990). The biological response of selenium in individual erythrocytes and GSH-Px in lambs fed sodium selenite or selenium yeast. *Journal of Veterinary Medicine A*, 37: 463-470.
- John, L., Cornforth, D., Carpenter, C.E., Sorheim, O., Pettee, B.C. y Whittier, D.R. (2005). Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum. *Meat Science*, 69: 441-449.
- Jorgensen, S.S. y Sorensen, G. (1996). A combined sampling and delay unit for flow injection analysis. The automated determination of 2-thiobarbituric acid reactive substances in foods. *Analytica Chimica Acta*, Volume 322, Issues 1-2, 29 March 1996, Pages 69-76.
- Jose, C.G., Pethick, D.W., Gardner, G.E. y Jacob, R.H. (2008). Vitamin E will improve the colour stability in lamb; a dose rate investigation. 54th international congress of meat science and technology Elsevier (Cape Town, South Africa).
- Jose, C., Jacob, R., Pethick, D. y Gardner, G. (2016). Short term supplementation rates to optimise vitamin E concentration for retail colour stability of Australian lamb meat. *Meat Science*, 111: 101-109.
- Juárez, M., Dugan, M.E.R., Aalhus, J.L., Aldai, N., Basarab, J.A., Baron, V.S., et al. (2011). Effects of vitamin E and flaxseed on rumen-derived fatty acid intermediates in beef intramuscular fat. *Meat Science*, 88: 434-440.
- Judge, M., Aberle, E., Forrest, J., Hedrich, H. y Merkel, R. (1989). Principles of meat science. Kendall y Hunt Publishing, 6: 125-133.
- Juniper, D.T., Givens, D.I. y Bertin, G. (2006). Examination of selenium dose response in young lambs receiving an organic selenium supplement. In: Nutritional biotechnology in the feed and food industries Alltech's 22nd annual symposium April 23–26 (Supp 1), (p. 56) (Abs).
- Juniper, D.T., Phipps, R.H., Ramos-Morales, E. y Bertin, G. (2009). Effects of dietary supplementation with selenium enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 149: 228-239.
- Juniper D.T., Phipps R.H. y Bertin G. (2011). Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in commercial-line turkeys. *Animal* 5, 1751-1760.
- Juroszek, P., Lumpkin, H.M., Yang, R.Y., Ledesma, D.R. y Ma, C.H. (2009). Fruit quality and bioactive compounds with antioxidant activity of tomatoes grown on-farm: comparison of organic and conventional management systems. *J. Agric. Food Chem.* 57(4):1188-1194.
- Kaliora, A.C., Dedoussis, G.V.Z., Schmidt, H. (2006). Dietary antioxidants in preventing atherogenesis. *Atherosclerosis*, 187: 1-17.

- Kamal-Eldin, A. y Appelqvist, L.A., 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids*, 31(7): 671-701.
- Kanner, J. (1994). Oxidative processes in meat and meat products: Quality implications. *Meat Science*, 36: 169-189.
- Karabagias, I., Badeka, A. y Kontominas, M.G. (2011). Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 88: 109-116
- Karadas, F. y Surai, P. (2006). Effects of carotenoids from lucerne, marigold and tomato on egg yolk pigmentation and carotenoid composition. *British Poultry Science*, 47: 561-566.
- Karami, M., Alimon, A.R., Sazili, A.Q., Goh, Y.M. e Ivan, M., 2011. Effects of dietary antioxidants on the quality, fatty acid profile, and lipid oxidation of longissimus muscle in Kacang goat with aging time. *Meat Science*, 88: 102-108
- Kasapidou, E., Enser, M., Wood, J.D., Richardson, R. I., Wilkinson, R. G. y Sinclair, L. A. (2009). Influence of vitamin E supplementation and basal diet on the vitamin E status, performance and tissue fatty acid concentration in lambs. *Animal*, 3: 516-526.
- Kasapidou, E., Wood, J.D., Richardson, R.I., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. y Enser, M. (2012). Effect of vitamin E supplementation and diet on fatty acid composition and on meat colour and lipid oxidation of lamb leg steaks displayed in modified atmosphere packs. *Meat Science*, 90: 908-916.
- Kemp, J.D., Mayhuddin, M., Ely, D.G., Fox, J.D. y Moody, W.G. (1981). Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties and fatty acid composition of lamb. *Journal of Animal Science*, 51: 321-330.
- Kennedy, C., Buckley, D.J. y Kerry, J.P. (2004). Display life of sheepmeats retail packaged under atmospheres of various volumes and compositions. *Meat Science*, 68: 649-658.
- Kennedy, C., Buckley, D.J. y Kerry, J.P. (2005). Influence of different gas compositions on the short-term storage of mother-packaged retail-ready lamb packs. *Meat Science*, 69: 27-33.
- Kerry, J.P., O'Sullivan, M.J., Buckley, D.J., Lynch, P.B. y Morrissey, P.A. (2000). The effects of dietary α -tocopheryl acetate supplementation and modified atmosphere packaging (MAP) on the quality of lamb patties. *Meat Science*, 56: 61-66.
- Khlijji, S., van de Ven, R., Lamb, T.A., Lanza, M., y Hopkins, D.L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85: 224-229.
- Kincaid, R.L. (1995). The biological basis for selenium requirements of animals. *The Professional Animal Scientist*, 11: 26.

- King, A.J. y Zeidler, G. (2004). Tomato pomace may be a good source of vitamin E in broiler diets. *California Agriculture*, 58: 59-62.
- Knut, F. y Guy G. (2006). Envasado con CO: una nueva tecnología de envasado sin oxígeno para la industria cárnica de la Unión Europea. *Eurocarne*, 143: 195-199.
- Kohrle, J., Jakob, F., Contempré, B. y Dumont, J.E. (2007). Selenium, the thyroid, and the endocrine system. *Endocr. Rev.* 26: 944-984.
- Korhola, M., Vainio, A. y Edelmann, K. (1986). Selenium yeast. *Ann. Clin. Res.*, 18: 65-68.
- Kotsampasi, B., Christodoulou, V., Zotos, A., Liakopoulou-Kyriakides, M., Goulas, P., Petrotos, K., Natas, P. y Bampidis, V.A. (2014). Effects of dietary pomegranate byproduct silage supplementation on performance, carcass characteristics and meat quality of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 197: 92-102.
- Krska, P., Lahucky, R., Kuchenmeister, U., Nurnberg, K., Palanska, O., Bahelka, I., Kuhn, G. y Ender, K. (2001). Effects of dietary organic selenium and vitamin E supplementation on post mortem oxidative deterioration in muscles of pigs. *Arch Tierz*, 44: 193-201.
- Kumar, N., Garg, A.K., Dass, R.S., Chaturvedi, V.K., Mudgal, V. y Varshney, V.P. (2009). Selenium supplementation influences growth performance, antioxidant status and immune response in lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 153: 77-87.
- Kumar, Y., Yadav, D.N., Ahmad, T. y Narsaiah, K. (2015). Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 00: 1-17.
- Langlands, J.P., Donald, G.E., Bowles, J.E. y Smith, A.J. (1991). Subclinical selenium insufficiency. Selenium status and the response in liveweight and wool production of grazing ewes supplemented with selenium. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 31: 25-31.
- Lanza, M., Priolo, A., Biondi, L., Bella, M. y Ben Salem, H. (2001). Replacement of cereal grains by orange pulp and carob pulp in faba bean-based diets fed to lambs: effects on growth performance and meat quality. *Animal Research*, 50: 21-30.
- Lanza, M., Bella, M., Priolo, A., Fasone, V. (2003). Peas (*Pisum sativum* L.) as an alternative protein source in lamb diets: growth performances and carcass and meat quality. *Small Ruminant Research*, 47: 63-68.
- Larick, D.K. y Turner, B.E. (1990). Flavour characteristics of forage and grain-fed beef as influenced by phospholipid and fatty acid compositional differences. *Journal of Food Science*, 55: 312-368.
- Lauzurica, S., De La Fuente, J., Díaz, Mt., Alvarez, I., Perez, C. y Cañeque, V. (2005). Effect of dietary supplementation of vitamin E on characteristics of lamb meat packed under modified atmosphere. *Meat Science*, 70: 639-646.

- Lawler, T.L., Taylor, J.B., Finley, J.W. y Caton, J.S. (2004). Effect of supranutritional and organically bound selenium on performance, carcass characteristics, and selenium distribution in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 82: 1488-1493.
- Lawrie, R.A. (1998). *Ciencia de la carne*. 3ra Edic. Edit. Acribia, S.A. Zaragoza (España). P. 367.
- Ledward, D.A. (1971). Metmyoglobin formation in beef muscles as influenced by water content and anatomical location. *Journal of Food Science*, 36: 138-140.
- Leedle, R.A., Leedle, J.A.Z. y Butine, M.D. (1993). Vitamin E is not degraded by ruminal microorganisms: Assessment with ruminal contents from a steer fed a highconcentrate diet. *Journal of Animal Science*, 71: 3442-3450.
- Linares, M.B., Berruga, M.I., Bórnez, R. y Vergara, H. (2007). Lipid oxidation in lamb meat: Effect of the weight, handling previous slaughter and modified atmospheres. *Meat Science*, 76: 715-720.
- Linares, M.B., Bórnez, R. y Vergara, H. (2008). Effect of stunning systems on meat quality of Manchego suckling lamb packed under modified atmospheres. *Meat Science*, 78: 279-287.
- Linares, M.B. y Vergara, H. (2012). Effect of gas stunning and modified atmosphere packaging on the quality of meat from Spanish Manchego light lamb. *Small Ruminant Research*, 108: 87-94.
- Liu, Q., Lanari, M.C. y Schaefer, D.M. (1995). A review of dietary vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science*, 73: 3131-3140.
- Liu, Z., Xiong, Y.L. y Chen, J. (2010). Protein Oxidation Enhances Hydration but Suppresses Water Holding Capacity in Porcine Longissimus Muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 10697-10704.
- Liu, S.M., Sun, H.X., Jose, C., Murray, A., Sun, Z.H., Briegel, J.R., Jacob, R. y Tan, Z.L. (2011). Phenotypic blood glutathione concentration and selenium supplementation interactions on meat colour stability and fatty acid concentrations in Merino lambs. *Meat Science*. 87: 130-139
- Lopez-Bote, C.J., Daza, A., Soares, M. y Berges, E. (2001) Dose response effect of dietary vitamin E concentration on meat quality characteristics in light-weight lambs. *Anim Sci*, 73: 451-7.
- López , F., López Parra, M.M., Alvarez Martínez, J., Rodríguez Medina, P.L., Chaso Criado, M. A. y Pascual Pascual M.R. (2000). Respuestas en el cebo de corderos utilizando en la dieta subproducto de aceituna (alpeorujó). XXV Jornadas Científicas y 4ª Internacionales de la SEOC. 151-154, 155-158.

- López, F. (2003). Análisis del sector ovino en Extremadura. Producción y comercialización de corderos. Federación Española de Asociaciones de Ganado Selecto (FEAGAS), 2: 89-104.
- López, F., Rodríguez, P.L., Pascual, M.R., Chaso, M.A y López, M^a.M. (2005). Descriptores básicos de la aplicación de la norma de calidad IGP-Corderex (Cordero de Extremadura): II. Cebo de corderos sin paja: Avances de resultados de variables de la canal. XXX Jornadas Científicas y 9^a Internacionales de la SEOC. 380-382.
- López, F., López Parra, M.M., Espejo Díaz, M., Álvarez Martínez, J., Rodríguez Medina, P., Chaso Criado, M.S., Pascual Pascual, B. y González Sánchez, E. (2009). Repercusión de la utilización de la pulpa de tomate en el cebo de corderos. III Plan Regional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Junta de Extremadura.
- López, M.M., García, S. y López, F. (2003). Acabado de corderos Merinos con diferentes pautas de alimentación. Repercusión sobre la calidad de la canal. Producción ovina y caprina. SEOC, 28: 335-337.
- López, M.M. (2006). Evaluación de los caracteres cuantitativos y cualitativos de los canales de corderos obtenidos en distintos sistemas de explotación. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura.
- López, M.M., Muñoz, B., Aceituno, O. y López, F. (2011). Repercusión de la utilización de la pulpa de tomate en el pienso de cebo de corderos sobre la calidad de la canal y de la carne. Ganadería, Noviembre-Diciembre: 42-46.
- Lowe, T.E., Peachey, B.M. y Devine, C.E. (2002). The effect of nutritional supplements on growth rate, stress responsiveness, muscle glycogen and meat tenderness in pastoral lambs. Meat Science, 62: 391-397.
- Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Pennisi, P., Bella, M. y Priolo, A. (2009). Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. Meat Science, 82: 193-199.
- Luciano, G., Pauselli, M., Servili, M., Mourvaki, E., Serra, A., Monahan, F.J., Lanza, M., Priolo, A., Zinnai, A. y Mele, M. (2013). Dietary olive cake reduces the oxidation of lipids, including cholesterol, in lamb meat enriched in polyunsaturated fatty acids. Meat Science, 93: 703-714.
- Luna-Guevara, M.L. y Delgado-Alvarado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Avances en Investigación Agropecuaria, 18: 51-66.
- Lund, M. N., Lametsch, R., Hviid, M. S., Jensen, O. N. y Skibsted, L.H. (2007). Highoxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage. Meat Science, 77: 295-303.

- Lund M.N., Heinonen M., Baron C.P. y Estevez M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55: 83-95
- Luño, M., Beltrán, J.A. y Roncalés P. (1998). Shelf-life extension and colour stabilisation of beef packaged in a low O₂ atmosphere containing CO: loin steaks and ground meat. *Meat Science*, 48: 75-84.
- MacDougall, D.B. (1977). Colour in meat. In: *Sensory properties of foods*. (Birch, G.C., Brennan, J.G. y Parker, K.J. (Eds)). London, Applied Science Publishers, Ltd., 59-69.
- MacDougall, D.B. (1982). Changes in the colour and opacity of meat. *Food Chem.*, 9(12): 75-88.
- Macedo, F.A.F., Siqueira, E.R. y Martins, E.N. (2000). Qualidade de carcaças de cordeiros Corriedale puros e mestiços terminados em pastagem e confinamento. *Rev. Bras. Zootec.*, 29: 1520-1527.
- Macit, M., Aksakal, V., Emsen, E., Esenbuga, N. y Aksu M.I. (2003a). Effects of vitamin E supplementation on fattening performance, non-carcass components and retail cut percentages, and meat quality traits of Awassi lambs. *Meat Science*, 64: 1-6.
- Macit, M., Aksakal, V., Emsen, E., Aksu M.I., Karaoglu, M. y Esenbuga, N. (2003b). Effects of vitamin E supplementation on performance and meat quality traits of Morkaraman male lambs. *Meat Science*, 63: 51-55.
- MAGRAMA (2013). Análisis de la evolución del sector ovino español. Impacto de los regímenes de ayudas y estrategias a impulsar (2006-2012). Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios.
- MAGRAMA (2015). El sector de la carne de ovino y caprino en cifras: principales indicadores económicos. Subdirección General de Productos Ganaderos.
- Mahan, D.C., Cline, T.R. y Richert, B. (1999). Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. *J. Anim. Sci.* 77: 2172-2179.
- Mainville, A.M., Odongo, N.E., Bettger, W.J., McBride, B.W. y Osborne, V.R. (2009). Selenium uptake by ruminal microorganisms from organic and inorganic sources in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 89(1): 105-110.
- Maiorano, G., Prisciandelli, A., Cavone, C., Gambacorta, M. y Manchisi, A. (2005). Influence of vitamin E treatment starting time on lamb meat quality. *Ital.J.Anim.Sci.*, 4(2): 363-365.
- Mancini, R.A. y Hunt, M.C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71: 100-121.

- Manso, T., Ruiz, A. y Castro, T. (1998). Rendimiento a la canal, quinto cuarto y despiece de corderos de raza Churra sometidos a distintas estrategias de alimentación. *Archivos de Zootecnia*, 47: 73-84.
- Mapiye, C., Dugan, M.E.R., Juárez, M., Basarab, J.A., Baron, V.S. y Turner, T., et al. (2012). Influence of α -tocopherol supplementation on trans-18:1 and conjugated linoleic acid profiles in beef from steers fed a barley-based diet. *Animal*, 6: 1888-1896.
- Maqsood, S. y Benjakul, S. (2011). Comparative studies on molecular changes and pro-oxidative activity of haemoglobin from different fish species as influenced by pH. *Food Chem*, 124: 875-83.
- Martínez-Cerezo, S., Sañudo, C., Panea, B., Medel, I., Delfa, R., Sierra, I., Beltrán J.A., Cepero, R. y Olleta, J.L. (2005). Breed, slaughter weight and ageing time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. *Meat Science*, 69: 325-333.
- Martínez-Gómez, N., Domínguez-López, A., Morales-Rosales, E., Lugo, J., Mariezcurrena-Berasain, M.A. y Mariezcurrena-Berasain, M.D. (2012). Efecto de la levadura enriquecida con selenio y selenito de sodio en la dieta de cerdos en finalización sobre el contenido de grasa intramuscular y ácidos grasos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15: 41-46.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G. y Chesson, A. (2002). *J. Sci. Food Agric.*, 82: 323-330.
- Mateo, R.D., Spallholz, J.E., Elder, R., Yoon, I. y Kim, S.W. (2007). Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. *J. Anim. Sci.*, 85: 1177-1183
- Mason, K.E. (1977). The first two decades of vitamin E. *Fed. Proc.*, 36(6): 1906-1910.
- McDowell, L.R., Velásquez-Pereira, J., Valle, G. (1997). Requerimientos minerales. En: *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. 3ª Ed. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. Pp 84.
- McGeehin, B., Sheridan, J.J. y Butter, F. (2001) Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter. *Meat Science*, 58: 79-84.
- McKenna, D.R., Mies, P.D., Baird, B.E., Pfeiffer, K.D., Ellebracht, J.W. y Savell J.W. (2005). Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science*, 70: 665-682
- McMillin, K.W., Huang, N.Y., Ho, C.P., y Smith, B.S. (1999). Quality and shelf-life of meat in case-ready modified atmosphere packaging. In Y. L. Xiong, F. Shahidi, & C. T. Ho (Eds.), *Quality attributes in muscle foods* (pp. 73-93). New York: ACS Symposium Series, Plenum Publishing Corporation.

- McMillin, K. (2008). Where is MAP going? A review and future potencial of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80: 43-65.
- Mestre, J.A., Gonçalves, M., Branquinho, R.J., Andrade, C. y Mateus, C. (2006). Simultaneous HPLC quantification of total cholesterol, tocopherols and β -carotene in Barrosa-PDO veal. *Food Chemistry*, 94: 469-477.
- Michal, J.J., Heirman, L.R., Wong, T.S., Chew, B.P., Frigg, M. y Volker, L. (1994). Modulatory effects of dietary beta-carotene on blood and mammary leukocyte function in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 77: 1408-1421.
- Miguélez, E., Zumalacárregui, J.M., Osorio, M.T., Beteta, O., Mateo, J. (2006). Carcass characteristics of suckling lambs protected by the PGI "Lechazo de Castilla y León" European quality label: Effect of breed, sex and carcass weight. *Meat Science*, 73: 82-89.
- Miguélez, E., Zumalacárregui, J.M., Osorio, M.T. y Mateo, J. (2007). Características de la canal de cordero lechal de diversas razas producidas en España (revisión bibliográfica). *Información Técnica Económica Agraria*, 103: 14-30.
- Miguélez, E., Zumalacárregui, J.M., Osorio, M.T., Figueira, A.C., Fonseca, B. y Mateo, J. (2008). Quality traits of suckling-lamb meat covered by the protected geographical indication "Lechazo de Castilla y León" European quality label. *Small Ruminant Research*, 77: 65-70.
- Mirzaei-Aghsaghali, A. y Maheri-Sis, N. (2008a). Nutritive Value of Some Agro-Industrial By-products for Ruminants - A Review. *World Journal of Zoology*, 3(2): 40-46.
- Mirzaei-Aghsaghali, A. y Maheri-Sis, N. (2008b). By-products from fruits and vegetable generation, characteristics and their nutritional value. *Proceeding of Third national congress of recycling and reuse of renewable organic resources in agriculture*. 13-15 May, Isfahan, Iran.
- Miyazaki, S. (1991). Effect of chemicals on glutathione peroxidase of chick liver. *Research in Veterinary Science*, 51: 120-122.
- Modaresi, J., Fathi Nasri, M.H., Rashidi, L., Dayani, O. y Kebreab, M.H. (2011). Effects of supplementation with pomegranate seed pulp on concentrations of conjugated linoleic acid and puniceic acid in goat milk. *J. Dairy Sci.*, 94: 4075-4080.
- Mohamed, A., Jamilah, B., Abbas, K.A. y Rahman, R.A. (2008). A review on lipid oxidation of meat in active and modified atmosphere packaging and usage of some stabilizers. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6: 76-81.
- Monahan, F.J., Gray, J.I., Asghar, A., Haug, A., Strasburg, G.M., Buckley, D.J. y Morrissey, P.A. (1994). Influence of diet on lipid oxidation and membrane structure in porcine muscle microsomes. *J. Agric. Food Chem.*, 42: 599.

- Moore, V.L. y Gill, C.O. (1987). The pH and display life of chilled lamb after prolonged storage under vacuum or under CO₂. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 30: 449-452.
- Morán, L., Andrés, S., Bodas, R., Prieto, N. y Giráldez, F.J. (2012). Meat texture and antioxidant status are improved when carnosic acid is included in the diet of fattening lambs. *Meat Science*, 91: 430-434.
- Morán, L., Giráldez, F.J., Panseri, S., Aldai, N., Jordán, M.J., Chiesa, L.M. y Andrés, S. (2013). Effect of dietary carnosic acid on the fatty acid profile and flavour stability of meat from fattening lambs. *Food Chem.* 138: 2407-2414.
- Morán, L., Andrés, S., Mateo, J., Blanco, C., Soto, S. y Giráldez, F.J. (2014). Effect of dietary carnosic acid on meat quality from suckling lambs. *Small Ruminant Research*, 121: 314-319.
- Morrissey, P.A., Buckley, D.J., Sheehy, P.J.A. y Monahan, F.J. (1994). Vitamin E and quality meat quality. *Proc. Nutr. Soc.*, 53: 289-295.
- Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerry, J.P. y Buckley, D.J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Science*, 49: 73-86.
- Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P.E., Hugo, A. y Raats, J.G. (2009). Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chemistry*, 112: 279-289.
- Muela, E., Alonso, V., Campo, M.M., Sañudo, C. y Beltrán, J.A. (2014). Antioxidant diet supplementation and lamb quality throughout preservation time. *Meat Science*, 98: 289-295.
- Muñoz, I., Apeleo, E., De la Fuente, J., Pérez-Santaescolástica, C., Rivas-Cañedo, A., Pérez, C., Díaz, M.T., Cañeque, V. y Lauzurica, S. (2014). Effect of dietary supplementation with red wine extract or vitamin E, in combination with linseed and fish oil, on lamb meat quality. *Meat Science*, 98: 116-123.
- Munteanu, A., Zingg, J.M., Ogru, E., Libinaki, R., Gianello, R., West, S., et al. (2004). Modulation of cell proliferation and gene expression by α -tocopheryl phosphates: relevance to atherosclerosis and inflammation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 318(1): 311-316.
- Murphy T.A., Loerch S.C., McClure K.E. y Solomon M.B. (1994). Effects of restricted feeding on growth performance and carcass composition of lambs subjected to different nutritional treatments. *J. Anim. Sci.*, 72: 3131-3137.
- Murphy, K.M., O'Grady, M.N. y Kerry, J.P. (2013). Effect of varying the gas headspace to meat ratio on the quality and shelf-life of beef steaks packaged in high oxygen modified atmosphere packs. *Meat Science*, 94: 447-454.

- Murray, A.C. (1989) Factors affecting beef colour at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.*, 69: 347-355.
- Naczki, M., Shahidi, F., J. *Pharma. Biomed. Anal.* 2006, 41: 1523-1542.
- Narashima Rao, D. y Sachindra, N.M. (2002). Modified atmosphere and vacuum packaging of meat and poultry products. *Food Reviews International*, 18(4): 263-293.
- Naveena, B.M., Sen, A.R., Vaithyanathan, S., Babji, Y. y Kondaiah, N. (2008). Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties. *Meat Science*, 80: 1304-8.
- Negis, Y., Zingg, J.M., Ogru, E., Gianello, R., Libinaki, R. y Azzi, A. (2005). On the existence of cellular tocopheryl phosphate, its synthesis, degradation and cellular roles: a hypothesis. *IUBMB Life*, 57(1): 23-25.
- Ng, M.H., Choo, Y.M., Ma, A.N., Chuah, C.H. y Hashim, M.A. (2004). Separation of vitamin E (tocopherol, tocotrienol, and tocomonoenol) in palm oil. *Lipids* 39 (10), 1031–1035.
- Nicholson, J.W.G., McQueen, R.E. y Bush, R.S. (1991). Response of growing cattle to supplementation with organically bound or inorganic sources of selenium or yeast cultures. *Can. J. Anim. Sci.*, 71: 803-811.
- Nielsen, J.H., Sorensen, B., Skibsted, L.H. y Bertelsen, G. (1997). Oxidation in pre-cooked minced pork as influenced by chill storage of raw muscle. *Meat Science*, 46: 191-197.
- Niki, E., in: Cadenas, E., Packer, L. (Eds), *Handbook of Antioxidants*, Marcel Dekker, New York 1996, p. 3.
- Nikolakakis I., Banakis D., Florou-Paneri P., Dotas, V., Giannenas I. y Botsoglou, N. (2004): Effect of dried tomato pulp on performance and carcass characteristics of growing quails. *Archiv fur Geflugelkunde*, 68: 34-38.
- Nockels, C.F., Odde, K.G. y Craig, A.M. (1996). Vitamin E supplementation and stress affect tissue α -tocopherol content of beef heifers. *J. Anim. Sci.*, 74: 672-677
- Norwegian Food Control Authority (2001). Application for assessment of carbon monoxide as component in packaging gases (Modified Atmospheres) for meat products. Report submitted to the EU Commission.
- Noziere, P., Graulet, B., Lucas, A., Martin, B., Grolier, P. y Doreau, M. (2006). Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Animal Feed Science and Technology*, 131: Issues 3–4, Pages 418-450.
- NRC (National Research Council) (2007). Nutrient requirements of small ruminants. U.S. National Academy of Science, 134-143.
- Nuernberg, K., Wegner, J. y Ender, K. (1998). Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. *Liv. Prod. Sci.*, 56: 145-156.

- Nychas, G.J.E. (1994). Modified atmosphere packaging of meats. In R. P. Singh, & F. A. R. Oliveira (Eds.), *Minimal processing of foods and process optimization* (pp. 417-436). London: An Interface CRC Press.
- Oblitas, F., Contreras, P. A., Bohmwald, H. y Wittwer, F. (2000). Efecto de la suplementación con selenio sobre la actividad sanguínea de glutatión peroxidasa (GSH-Px) y ganancia de peso en bovinos selenio deficientes mantenidos a pastoreo. *Archivos de medicina veterinaria*, 32: 55-62.
- Observatorio Tecnológico del Tomate (2015). Temporada 2015: el aumento de la actividad se confirma. *Revista Sectorial del Tomate*, 11: 7-9.
- Offer, G. (1984). Progress in the biochemistry, physiology and structure of meat. En: *Proceedings of the 30th European Meet. of Meat Res. Workers*, 87-94. Bristol, R.U.
- Offer, G. y Knight, P. (1988). The structural basis of water-holding in meat. In *Developments in Meat Sci.* 4, part 2 (ed R. Lawrie), pp. 173.
- Offer G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., Elsey, J., Parsons, N., Sharp, A., Starr, R. y Purslow, P. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure*, 8: 151.
- O'Grady, M.N., Monahan, F.J., Fallon, R.J. y Allen, P. (2001). Effects of dietary supplementation with vitamin E and organic selenium on the oxidative stability of beef . *J. Anim. Sci.* 79: 2827.
- Ogru, E., Gianello, R., Libinaki, R., Smallridge, A., Bak, R., Geytenbeck, S., Kannar, D., West, S. (Eds.), (2003). *Vitamin E phosphate: an endogenous form of vitamin E: Medimond S.r.l.*, 127-132.
- Okabe, Y., Watanabe, A., Shingu, H., Kushibiki, S., Hodate, K., Ishida, M., Ikeda, S. y Takeda, T. (2002). Effects of α -tocopherol level in raw venison on lipid oxidation and volatiles during storage. *Meat Science*, 62: 457-462.
- O'Keffe, M. y Hood, D.E. (1981). Anoxic storage of fresh beef 2: Color stability and weight loss. *Meat Science*, 5: 267-281.
- Okeudo, N.J. y Moss, B.W. (2007). Intramuscular lipid and fatty acid profile of sheep comprising four sex-types and seven slaughter weights produced following commercial procedure. *Meat Science*, 76(2): 195-200.
- Olcott, H.S. y Emerson, O.H. (1937). Antioxidants and the autoxidation of fats. IX. The antioxidant properties of the tocopherols. *J. Am. Chem. Soc.* 59: 1008-1009.
- Oldham, E.R., Eberhart, R.J. y Muller, L.D. (1991). Effects of supplemental Vitamin A or beta-carotene during the dry period and early lactation on udder health. *Journal of Dairy Science*, 74: 3775-3781.

- Onega, M.E. (2003). Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral.
- Ordoñez, J.A., Cambero, M.I., Fernández, L., García, M.L., García, G., de la Hoz, L. y Selgas, M.D. (1998). Características sensoriales de la carne (pg 188-224). En Tecnología de los Alimentos Vol. 2, Alimentos de origen animal. Editorial Síntesis.
- Ordóñez, A., Balanza, M., Martín, F. y Flores, C. (2009). Estabilidad del carotenoide licopeno en tomates en conserva. *Inform Tecnol*, 20: 31-37.
- Ortega, A., Basabe, T. y Sobaler, L. (2004). Frutas, hortalizas y verduras. Frutas y verduras y salud, Editorial Elsevier: 268.
- Ortuño, J., Serrano, R. y Bañón, S. (2015). Antioxidant and antimicrobial effects of dietary supplementation with rosemary diterpenes (carnosic acid and carnosol) vs vitamin E on lamb meat packed under protective atmosphere. *Meat Science*, 110: 62-69.
- Ortuño, J., Serrano, R., Jordán, M.J. y Bañón, S. (2016). Relationship between antioxidant status and oxidative stability in lamb meat reinforced with dietary rosemary diterpenes. *Food Chemistry*, 190: 1056-1063.
- Osorio, M.T., Sierra, I., y Sañudo, C. (1999). Influência da raça, sexo e peso/idade sobre o rendimento da carcaça em cordeiros. *Ciencia Rural*, v.29, n.1, p.139-142.
- Osorio, M.T., Zumalacárregui, J.M., Figueira, A. y Mateo, J. (2007). Fatty acid composition in subcutaneous, intermuscular and intramuscular fat deposits of suckling lamb meat: Effect of milk source. *Small Ruminant Research*, 73: 127-134.
- Ouali, A. (1991). Sensory quality of meat as affected by muscle biochemistry and modern technologies. In: *Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production*, Fiems, L.O., Cottyn, B.G. and Demeyer, D.I. (eds). Elsevier, Amsterdam, pp. 85-105.
- Ouali, A., Herrera-Mendez, C.H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L. y Sentandreu, M.A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74: 44-58.
- Palombo, R. y Wijngaards, G. (1990) Characterization of changes in psychometric colour attributes of comminuted porcine lean meat during processing. *Meat Science*, 28: 61-76.
- Palomo, I., Moore-Carrasco, R., Carrasco, G., Villalobos, P. y Guzmán, L. (2010). El consumo de tomates previene el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Idesia*, 28: 121-129.
- Papastergiadis, A., Mubiru, E., Van Langenhove, H. y De Meulenaer, B. (2012). Malondialdehyde Measurement in Oxidized Foods: Evaluation of the Spectrophotometric

- Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) Test in Various Foods. *J. Agric. Food Chem.*, 60: 9589-9594.
- Pavlata, L., Pechova, A. y Illek, J. (2000). Direct and indirect assessment of selenium status in cattle – a comparison. *Acta Vet. Brno*, 69: 281-287.
- Payne, S.R., Durham, C.J., Scott, S.M. y Devine, C.E. (1998). The effects of nonvacuum packaging systems on drip loss from chilled beef. *Meat Science*, 49(3): 277-287.
- Peiretti, P.G., Gai, F., Rotolo, L., Brugiapaglia, A. y Gasco, L. (2013). Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Meat Science*, 95: 345-351.
- Peña, R. (2006). Características físico-químicas y sensoriales del ovino Merino en Extremadura: efecto del peso de sacrificio y el sexo. Trabajo de Grado, Universidad de Extremadura.
- Pérez, O., Díaz, M.T., Ruiz De Huidobro, F., Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Manzanares, C. y Onega, E. (1999). Engorde de corderos de raza Talaverana en pastoreo o aprisco con distintos sistemas de alimentación. II. Efecto sobre la proporción de piezas y composición tisular. XXIV Jornadas Científicas y 3ª Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. 439-442.
- Pérez-Álvarez, J.A. (1996). Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.
- Perez-Alvarez, J.A., Fernandez-Lopez, J., Sayas-Barberá, M.E., y Cartagenagracia, R. (1998) Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. *Eurocarne*, 63: 115-122.
- Pérez-Palacios, T., Ruiz, J., Martín, D., Muriel, E., y Antequera, T. (2008). Comparison of different methods for total lipid quantification in meat and meat products. *Food Chemistry*, 110: 1025-1029.
- Periago, M.J., Rincón, F., Agüera, M.D., Ros, G., *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52: 5796-5802.
- Perlo, F., Bonato, P., Teira, G., Tisocco, O., Vicentin, J., Pueyo, J. y Mansilla, A. (2008). Meat quality of lambs produced in the Mesopotamia region of Argentina finished on different diets. *Meat Science*, 79: 576-581.
- Petrera, F., Calamari, L. y Bertin, G. (2009). Effect of either sodium selenite or Se–yeast supplementation on selenium status and milk characteristics in dairy goats. *Small Ruminant Research*, 82: 130-138.
- Polawska, E., Zdanowska-Sasiadek, Z., Horbanczuk, J., Franciszek, J., Jozwik, A., Tolik, D., Raes, K. y De Smet, S. (2015). Effect of dietary organic and inorganic selenium supplementation on chemical, mineral and fatty acid composition of ostrich meat, *CyTA - Journal of Food*, DOI: 10.1080/19476337.2015.1046940.

- Pollott GE, Guy DR, Croston D, 1994. Genetic parameters of lamb carcass characteristics at three end-points: fat level, age and weight. *Animal Production*, 58: 65-75.
- Ponnampalam, E. N., Trout, G. R., Sinclair, A. J., Egan, A. R., & Leury, B. J. (2001). Comparison of the color stability and lipid oxidative stability of fresh and vacuum packaged lamb muscle containing elevated omega-3 and omega-6 fatty acid levels from dietary manipulation. *Meat Science*, 58, 151–161.
- Ponnampalam E.N., Hopkins D.L., Butler K.L., Dunshea F.R., Sinclair A.J., Warner R.D. (2009) Polyunsaturated fats in meat from Merino, first- and secondcross sheep slaughtered as yearlings. *Meat Science*, 83, 2: 314-319.
- Preziuso, G., Russo, C., Casarosa, L., Campodoni, G., Piloni, S. y Cianci, D. (1999). Effect of diet energy source on weight gain and carcass characteristics of lambs. *Small Ruminant Research*, 33: 9-15.
- Priolo, A., Bella, M., Lanza, M., Galofaro, V., Biondi, L., Barbagallo, D., Ben Salem, H. y Pennisi, P. (2005). Carcass and meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium* L.) with or without polyethyleneglycol or concentrate. *Small Ruminant Research*, 59: 281-288.
- 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: 129-140.
- Radmila, M., Jovanović, B.I., Baltić, Z.M., Šefer, D., Petrujkić, B. y Sinovec, Z (2008). Effects of selenium supplementation as sodium selenite or selenized yeast and different amounts of vitamin E on selenium and vitamin E status of broilers. *Acta Veterinaria*, 58(4): 369-380
- Raharjo, S. y Sofos, N. (1993). Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues: a review. *Meat Science*, 35:145-169.
- Ramandeep, K.T. y Geoffrey, P.S. (2005). Antioxidant activity in different fraction of tomatoes. *Food Res. Int.* 38(5): 487-494.
- Ramírez, J.E., Tórtora, J.L., Huerta, M., Aguirre, A. y Hernández, L.M. (2001). Diagnosis of selenium status in grazing dairy goats on the Mexican Plateau. *Small Ruminant Research*, 41: 81-85.
- Rayman, M.P. (2004). The use of high-selenium yeast to raise selenium status: how does it measure up? *Br. J. Nutr.*, 92: 557-573.
- Realini, C.E., Duckett, S.K., Brito, G.W., Dalla Rizza, M. y 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: 567-577.
- Reed Larsen, P., Mammalian type 2 deiodinase sequences: finally, the end of the beginning. *J Clin Invest* 1996; 98: 242-243.

- Renner, M. (1981). La couleur de la viande et sa mesure. *Viandes et Produits Carnes*, 2: 10.
- Renner, M. (1988). Quelles recommandations pour mesurer la couleur de la viande au laboratoire. *Industries Alimentaires et Agricoles*, Juin: 530.
- Renner, M. y Labadie, J. (1993). Fresh red meat packaging and meat quality. In *Proceedings 39th international congress of meat science and technology* (pp. 361-387), 1-6 August 1993, Calgary, Canada.
- Rey, A., López, C., Scares, M. e Isabel B. (1996). Determinación de α -tocoferol en carne de cerdo con alto contenido en grasa intramuscular. *Grasas y Aceites*, 47: No 5.
- Reynoso, C.R., Mora, O., Nieves, V., Shimada, A. y De Mejia, E.G. (2004). Beta-carotene and lutein in forage and bovine adipose tissue in two tropical regions of Mexico. *Animal Feed Science and Technology*, 113: 183-190.
- Ricciarelli, R., Zingg, J.M., Azzi, A. (2002). The 80th anniversary of vitamin E: beyond its antioxidant properties. *Biol. Chem.*, 383(3-4): 457-465.
- Richardson, J.M., Wilkinson, R.G. y Sinclair, L.A. (2003). Synchrony of nutrient supply to the rumen and dietary energy source and their effects on the growth and metabolism of lambs. *Journal of Animal Science*, 81: 1332-1347.
- Ripoll, G., Albertí, P., La Hoz, F. y Delfa, R. (2005). Uso de ultrasonidos en vivo y en la canal y de la clasificación SEUROP como estimador de la composición tisular de la canal de bovino. *XI Jornadas sobre Producción Animal. Información Técnica Económica Agraria.*, 26(II): 729-731.
- Ripoll, G., Joy, M., Muñoz, F. y Albertí, P. (2008). Meat and fat colour as a tool to trace grass-feeding systems in light lamb production. *Meat Science*, 80(2): 239-248.
- Ripoll, G., Joy, M. y Muñoz, F. (2011). Use of dietary vitamin E and selenium (Se) to increase the shelf life of modified atmosphere packaged light lamb meat. *Meat Science*, 87: 88-93.
- Ripoll, G., Albertí, P. y Joy, M. (2012). Influence of alfalfa grazing-based feeding systems on carcass fat colour and meat quality of light lambs. *Meat Science*, 90(2): 457-464.
- Ripoll, G., González-Calvo, L., Molino, F., Calvo, J.H. y Joy, M. (2013). Effects of finishing period length with vitamin E supplementation and alfalfa grazing on carcass color and the evolution of meat color and the lipid oxidation of light lambs. *Meat Science*, 93: 906-913
- Rissanen, T.H., Voutilainen, S., Virtanen, J.K., Venho, B., Vanharanta, M., Mursu, J. y Salonen, J.T. (2003). Low intake of fruits, berries and vegetables is associated with excess mortality in men: the Kuopio Ischaemic Heart Disease Risk Factor (KIHD) Study. *Journal of Nutrition*, 133: 199-204.
- Rivas-Cañedo, A., Apeleo, E., Muíño, I., Pérez, C., Lauzurica, S., Pérez-Santaescolástica, C., Díaz, M. T., Cañeque, V. y De la Fuente, J. (2013). Effect of dietary supplementation with

- either red wine extract or vitamin E on the volatile profile of lamb meat fed with omega-3 sources. *Meat Science*, 93: 178-186.
- Roche, A., Ripoll, G., Joy, M., Alabart, J.L., Panea, B., Calvo, J.H. y Alabarta, J.L. (2012). Effects of the FecXR allele of BMP15 gene on the birthweight, growth rate and carcass quality of Rasa Aragonesa light lambs. *Small Ruminant Research*, 108: 45-53.
- Rodrigues, G.H., Susin, I., Vaz Pires, A., Mendes, C.Q., Urano, F.S. y Contreras Castillo, C.J. (2008). Citrus pulp in diets for feedlot lambs: carcass characteristics and meat quality. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 10: 1869-1875.
- Rodríguez, A.B., Landa, R., Giráldez, F.J., Frutos, P. y Mantecón, A.R. (2003). Estrategias de alimentación basadas en la libre elección de alimentos en el cebo de corderos de raza Assaf. *Información Técnica Económica Agraria*, 24(2): 591-593.
- Rodríguez, A.B. (2005). Alternativas a los sistemas actuales de alimentación en el cebo intensivo de corderos: efecto de la supresión de la paja de la ración y la utilización del cereal en grano sobre la ingestión, el crecimiento y las características de la canal y de la carne. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- Rodríguez, A.L.C., Mendoza, M.G.D., Mota, S.N., Osorio, T.A.I., Lee, R.H. y Hernández, G.P.A. (2011). Effect of organic selenium and chromium on sheep performance in finalization. *Revista Científica FCV-LUZ*, 21: 152-155.
- Rosenfeld, L. (1997). Vitamine–vitamin. The early years of discovery. *Clin. Chem.*, 43(4): 680-685.
- Rotruck, J.K., Pope, A.L., Ganther, H.E., Swanson, A.B., Hafeman, D.G., Hoekstra, W.G. (1973). Selenium: biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science*, 179: 588-590.
- Rousset-Akrim, S., Young, O.A., y Berdagué, J.L. (1997) Diet and growth effects in panel assessment of sheep meat odour and flavour. *Meat Science*, 45: 169-181.
- Rowe, A., Macedo, F.A.F., Visentainer, J.V., Souza, N.E. y Matsushita, M. (1999). Muscle composition and fatty acid profile in lambs fattened in drylot or pasture. *Meat Science*, 51: 283-288.
- Rowe, L.J., Maddock, K.R., Lonergan, S.M. y Huff-Lonergan, E. (2004a). Influence of early postmortem protein oxidation on beef quality. *J. Anim. Sci.*, 82: 785-793
- Rowe L.J., Maddock K.R., Lonergan S.M. y Huff–Lonergan E. (2004b). Oxidative environments decrease tenderization of beef steaks through inactivation of calpain. *J. Anim. Sci.*, 82: 3254-3266
- Rozzi, N.L., Singh, R.K., Vierling, R.A. y Watkins, B.A. (2002). Supercritical fluid extraction of lycopene from tomato processing byproducts. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 2638-2643.

- Rufino, L.D.A., Pereira, O.G., Ribeiro, K.G., Valadares Filho, S.C., Cavali, J. y Paulino, P.V.R. (2013). Effect of substitution of soybean meal for inactive dry yeast on diet digestibility, lamb's growth and meat quality. *Small Ruminant Research*, 111: 56-62.
- Ruiz De Huidobro, F. y Cañeque, V. (1994). Producción de carne en corderos de raza Manchega. IV Ecuaciones predictoras de la composición tisular de las canales. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales*, 9: 71-82.
- Russo, C., Preziuso, G., Casarosa, L., Campodoni, G. y Cianci, D. (1999). Effect of diet energy source on the chemical-physical characteristics of meat and depot fat of lambs carcasses. *Small Ruminant Research*, 33: 77-85.
- Sacco, D., Brescia, M.A., Buccolieri, A. y Caputi Jambrenghi, A. (2005). Geographical origin and breed discrimination of Apulian lamb meat samples by means of analytical and spectroscopic determinations. *Meat Science*, 71: 542-548.
- Sahin, K., Onderci, M., Sahin, N., Gursu, M.F., Khachik, F. y Kucuk, O. (2006). Effects of lycopene supplementation on antioxidant status, oxidative stress, performance and carcass characteristics in heat-stressed Japanese quail. *Journal of Thermal Biology*, 31: 307-312.
- Sahin, K., Yazlak, H., Orhan, C., Tuzcu, M., Akdemir, F. y Sahin, N. (2014). The effect of lycopene on antioxidant status in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared under high stocking density. *Aquaculture* 418-419, 132-138.
- Sánchez, A., Alfonso, M., Sañudo, C., Pardos, J.J., Delfa, R., Sierra, I. y Fisher, A. (1998). Caracterización de la calidad de la canal de los tipos ternasco y lechal con Denominación de Origen. *Producción Ovina y Caprina*, 23: 133-137.
- Sandler, S.R. y Karo, W. (1992). *Source book of advances organic laboratory preparations*. San Diego: Academic Press.
- Santé-Lhoutellier, V. (2008). Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chemistry*, 109: 573-579.
- Santos-Silva, J., Mendes, I.A. y Bessa, R.J. (2002). The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 1. Growth, carcass composition and meat quality. *Livestock Production Science*, 76: 17-25.
- Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B. y Mendes, I.A. (2003). The effect of supplementation with expanded sunflower seed on carcass and meat quality of lambs raised on pasture. *Meat Science*, 65: 1301-1308.
- Sañudo, C. (1991a). La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a a especie ovina: factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. *Curso Internacional de Producción Ovina*. SIA, Zaragoza.

- Sañudo, C. y Sierra, I. (1991b) Calidad de la canal y de la carne en el cerdo ibérico en producción intensiva. ANAPORC, diciembre, 107, 27.
- Sañudo, C., González, C. y Delfa, R. (1992a). El peso de la canal. *Ovis*, 16: 9-19.
- Sañudo, C. (1992b). La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a a especie ovina: factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Curso Internacional de Producción Ovina. SIA, Zaragoza.
- Sañudo, C., Delfa, R., Gonzalez, C., Alcalde, M.J., Casas, M., Santolaria, P., y Vigil, E. (1992c) Calidad de la carne de ternasco. *Información Técnica Económica Agraria*, 88A: 221-227, Zaragoza.
- Sañudo, C., Sierra, I., Alcalde, M.J., Rota, A. y Osorio, J.C. (1993a). Calidad de la canal y de la carne en corderos ligeros y semipesados de las razas Rasa Aragonesa, Lacoune y Merino Alemán. *Información Técnica Económica Agraria*, 89: 203-214.
- Sañudo, C., Sierra, I., Osorio, M.T., Alcalde, M.J., Santolaria, P., y Alberti, P. (1993b). Variation of meat quality in light lamb depending on weight increase of the carcass (7,4-15,4 Kg), Alberta. Canada.
- Sañudo, C., Santolaria, P., Maria, G., Osorio, M., y Sierra, I. (1996). Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive productions systems. *Meat Science*, 42: 195-202.
- Sañudo, C., Campo, M.M., Sierra, I.M., María, G.A., Olleta, J.L. y Santolaria, P. (1997). Breed effect on carcass and meat quality of sucking lambs. *Meat Science*, 46: 357-365.
- Sañudo, C., Alfonso, M., Sánchez, A., Delfa, R. y Teixeira, A. (2000a). Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science*, 56: 89-94.
- Sañudo, C., Enser, M.E., Campo, M.M., Nute, G.R., María, G., Sierra, I. y Word, J.D. (2000b). Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Science*, 54: 339-346.
- Sayas, M.E. (1997) Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido. Tesis Doctoral., Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Scerra, V., Caparra, P., Foti, F., Lanza, M. y Priolo, A. (2001). Citrus pulp and wheat straw silage as an ingredient in lambs diets: effects on growth and carcass and meat quality. *Small Ruminant Research*, 40: 51-56.
- Schaefer, D.M., Liu, Q., Faustman, C. y Yin, M.C. (1995). Supranutritional administration of vitamins E and C improves oxidative stability of beef. *J. Nutr.*, 125: 1792-1798.

- Schrauzer, G.N. (2003). The nutritional significance, metabolism, and toxicology of selenomethionine. *Adv. Food Nutr. Res.*, 47: 73-112.
- Scollan, N., Hocquette, J.F., Nuernberg, K., Dannenberg, D., Richardson, I. y 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.
- Scott, D. (1975). Changes in mineral, water and acid–base balance associated with feeding and diet. In A. C. I. Warner & I.W.McDonald (Eds.), *Digestion and metabolism in the ruminant. Proceedings of the IV International Symposium on Ruminant Physiology* (pp. 205–215). Armidale (Australia): The University of New England Publishing Unit.
- Seko, Y., Saito, Y., Kitahara, J. e Imura, N. (1989). Active oxygen generation by the reaction of selenite with reduced glutathione in vitro, in *Selenium in Biology and Medicine*, A. Wendel, ed., Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 70-73.
- Sevcikova, S., Skrivan, M. y Dlouha, G. (2008). The effect of lycopene supplementation on lipid profile and meat quality of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.*, 53: 431-440.
- Seybold; C., Frohlich, K., Bitsch, R., Otto, K. y Bohm, V. (2004). Changes in Contents of Carotenoids and Vitamin E during Tomato Processing. *J. Agric. Food Chem.*, 52: 7005-7010
- Sgoifo, C.A., Compiani, R., Baldi, G., Bernardi, C.E.M., Muraro, M., Marden, J.P. y Dell'Orto V. (2015). The effect of different selenium sources during the finishing phase on beef quality. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 24: 93-99.
- Sgorlon, S., Stradaoli, G., Zanin, D. y Stefanon, B. (2006). Biochemical and molecular responses to antioxidant supplementation in sheep. *Small Ruminant Research*, 64: 143-151.
- Shabtay, A., Nikbachat, M., Zenou, A., Yosef, E., Arkin, O., Sneer, O., Shwimmer, A., Yaari, A., Budman, E., Agmon, G. y Miron, J. (2012). Effects of adding a concentrated pomegranate extract to the ration of lactating cows on performance and udder health parameters. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 175: 24-32.
- Shahidi, F., Yun, J., Rubin, L.J y Wood, D.F. (1987). The hexanal content as an indicator of oxidative stability and flavour acceptability in cooked ground pork. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 20: 104-106.
- Shahidi, F. y Pegg, R.B. (1994). Hexanal as an indicator of meat flavor deterioration. *J. Food Lipids*, 1: 177-186.
- Shahidi, F. y Zhong, Y. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chem. Soc. Rev.*, 39: 4067-4479.
- Shi, J., y Le Maguer, M. (2000). Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit. Rev. Food Sci. Technol.*, 40: 1-42.

- Shi L., Xun W., Yue W., Zhang C., Ren Y., Shi L., Wang Q., Yang R. y Lei F. (2011). Effect of sodium selenite, Se-yeast and nano-elemental selenium on growth performance, Se concentration and antioxidant status in growing male goats. *Small Ruminant Res.*, 96: 49-52.
- Sierra, I. (1988) La denominación de origen en el ternasco de Aragón. *Información Técnica Económica Agraria*, 66: 3. Zaragoza.
- Silva, J., Quiroga, M.A. y Auza N.J. (2000). Selenio en el rumiante. Relaciones suelo, planta, animal. *Medicina Veterinaria*, 17: 229-246.
- Skrivan, M., Dlouha, G., Masata, O. y Sevcikova, S. (2008). Effect of dietary selenium on lipid oxidation, selenium and vitamin E content in the meat of broiler chickens. *Czech J. Anim. Sci.*, 53: 306-311.
- Skrivanova, E., Marounek, M., De Smet, S. y Raes, K. (2007). Influence of dietary selenium and vitamin E on quality of veal. *Meat Science*, 76: 495-500.
- Slimestad, R. y Verheul, M.J. (2005). *J. Agric. Food Chem.*, 53: 7251-7256.
- Smiddy, M., Papkovskaia, N., Papkovsky, D.B. y Kerry, J.P. (2002). Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties: impact of oxygen content on lipid oxidation. *Food Res. Int.*, 35: 577-584.
- Sørheim, O., Aune, T. y Nesbakken, T. (1997). Technological, hygienic and toxicological aspects of carbon monoxide used in modified-atmosphere packaging of meat. *Trends in Food Science y Technology*, 8: 307-312.
- Spencer, K.C. y Humphreys, D.J. (2002). Argon packaging and processing preserves and enhances flavor, freshness, and shelf life of foods. *ACS Symposium*, 836: 270-291.
- Spencer, K.C. (2005). Modified atmosphere packaging of ready-to-eat foods. *Innovations in food packaging*, 185-203.
- Stadtman, T.C. (1977). Biological function of selenium. *Nutr Rev*, 35: 161-170.
- Stadtman, T.C. (2005). Selenoproteins—tracing the role of trace element in protein function. *PLoS Biol.* 3, 2077.
- Stanley, D.W. (1991). Biological membrane deterioration and associated quality losses in food tissues. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 30: 487.
- Steen, A., Strøm, T. y Bernhoft, A. (2008). Organic selenium supplementation increased selenium concentrations in ewe and newborn lamb blood and in slaughter lamb meat compared to inorganic selenium supplementation. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50: 7-13.

- Strohecker, M.G., Faustman, C., Furr, H., Hoagland, T.A. y Williams, S.N. (1997). Vitamin E supplementation effects on color and lipid stability of whole and ground lamb. *Journal of Muscle Foods*, 8: 413-426.
- Sturdivant, C.A., Lunt, D.K., Smith, G.C. y Smith, S.B. (1992). Fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular adipose tissues and M. longissimus dorsi of Wagyu cattle. *Meat Science*, 32: 449-458.
- Sunde, R.A. (1990). Molecular biology of selenoproteins. *Ann Rev Nutr*, 10: 451-474.
- Surai, P.F. (2006). Selenium distribution and reserves in human body. In: *Selenium in Nutrition and Health*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, 161-171.
- Sure, B. (1924). Dietary requirement for reproduction. II. The existence of a specific vitamin for reproduction. *J. Biol. Chem.*, 58: 693-709.
- Suzuki, K.T. y Ogra, Y. (2002). Metabolic pathway for selenium in the body: speciation by HPLC-ICP MS with enriched Se. *Food Addit. Contamin.*, 19: 974-983.
- Svoboda, M., Fajt, Z., Banoch, T., Salakova, A. y Drabek, J. (2011). The effects of soybean selenium proteinate on tissue selenium and meat quality traits in finishing pigs. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 14(1): 147-148.
- Tappel, A.L. (1954). Studies of the mechanism of vitamin E action. II. Inhibition of unsaturated fatty acid oxidation catalyzed by hematin compounds. *Arch. Biochem. Biophys.*, 50(2): 473-485.
- Tappel, A.L. (1955). Studies of the mechanism of vitamin E action. III. In vitro copolymerization of oxidized fats with protein. *Arch. Biochem.*, 54(2): 266-280.
- Tappel, A. y Zalkin, H. (1960). Inhibition of lipid peroxidation in microsomes by vitamin E. *Nature* 185, 35.
- Tayer, S.R. y Byant, M.J. (1988). The response of store lambs to dietary supplements of fish meal. Effects of the preceding pattern of growth. *Animal Production*, 47: 393-399.
- Teixeira, A., Delfa, R. y González, C. (1992). El grado de engrasamiento. *Ovis*, 19: 21-35.
- Teixeira, A., Delfa, R., y Treacher, T. (1996). Carcass composition and body fat depots of Galego Bragançano and crossbred lambs by Suffolk and Merino Precoce sire breeds. *Animal Science*, 63: 389-394.
- Teixeira, A., Batista, S., Delfa, R. y Cadavez, V. (2005). Lamb meat quality of two breeds with protected origin designation. Influence of breed, sex and live weight. *Meat Science*, 71: 530-536.
- Tejeda, J.F., Peña, R.E. y Andrés, A.I. (2008). Effect of live weight and sex on physico-chemical and sensorial characteristics of Merino lamb meat. *Meat Science*, 80: 1061-1067.

- Thomson, C.D. (2004). Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 58: 391-402.
- Tiwary, A.K., Stegelmeier, B.L., Panter, K.E., James, L.F. y Hall, J.O. (2006). Comparative toxicosis of sodium selenite and selenomethionine in lambs. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 18: 61-70.
- Toor, R.K. y Savage, G.P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res. Intern.*, 38: 487.
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins—Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70: 493-508.
- Travnicek, J., Pisek, L., Herzig, I., Duchá, J., Kvicala, J., Kropova, V. y Rodinova, H. (2007). Selenium content in the blood serum and urine of ewes receiving selenium-enriched unicellular alga *Chlorella*. *Vet. Med.*, 52(1): 42-48.
- Trout, G.R. (1988). Techniques for measuring water-holding capacity in muscle foods. A review of methodology. *Meat Science*, 23: 235-252.
- Turner, K.E., McClure, K.E., Weiss, W.P., Borton, R.J. y Foster, J.G. (2002). Alpha-tocopherol concentrations and case life of lamb muscle as influenced by concentrate or pasture finishing. *Journal of Animal Science*, 80(10): 2513-2521.
- Uchida, K. (2003). Histidine and lysine as targets of oxidative modification. *Amino Acids*, 25(3-4): 249-257.
- Ursini, F., Maiorino, M. y Roveri, A. (1997). Phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPx): more than an antioxidant enzyme? *Biomed Environ Sci*; Sept 10: 327-332.
- Vagi, E., Simandi, B., Vasarhelyine, K.P., Daood, H., Kery, A., Doleschall, F., et al. (2007). Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids, tocopherols and sitosterols from industrial tomato byproducts. *Journal of Supercritical Fluids*, 40: 218-226.
- Vainio, H. y Weiderpass, E. (2006). Fruit and Vegetables in Cancer Prevention. *Nutrition and Cancer*, 54: 111-142.
- Vasta, V. y Priolo, A. (2006). Ruminant fat volatiles as affected by diet. A review. *Meat Science*, 73: 218-228.
- Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza M. y Priolo, A. (2008). Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 147: 223-246.
- Vasta V., Priolo A., Scerra M., Hallett K.G., Wood J.D. y Doran O. (2009) $\Delta 9$ desaturase protein expression and fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in lambs fed green herbage or concentrate with or without added tannins. *Meat Science*, 82(3): 357-364.

- Velasco, S., Cañeque, V., Pérez, C., Lauzurica, S., Díaz, M.T., Huidobro, F., Manzanares, C. y González, J. (2001). Fatty acid composition of adipose depots of suckling lambs raised under different production systems. *Meat Science*, 59: 325-333.
- Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Pérez, C. y Huidobro, F. (2004). Effect of different feeds on meat quality and fatty acid composition of lambs fattened at pasture. *Meat Science*, 66: 457-465.
- Vergara H. (1996). Características del crecimiento y de la calidad de la canal de corderos de raza Manchega. Universidad de Castilla la Mancha. Tesis doctoral.
- Vergara, H., Fernández, C., García, A., Gallego, L. (1997). Estudio comparativo de la calidad de la canal de corderos de raza Manchega en función del peso de sacrificio, pp. 712-714. *Información Técnica Económica Agraria*. Vol. Extra 18.
- Vergara, H., Berruga, M.I. y Gallego, L. (2001). Efecto del tipo de lactancia, artificial vs natural en la calidad de la canal y de la carne de corderos lechales de raza Manchega. *SEOC*, 26: 313-316.
- Vergara, H., Linares, M.B., Berruga, M.I. y Gallego, L. (2005). Meat quality in suckling lambs: effect of pre-slaughter handling. *Meat Science*, 69: 473-478.
- Vignola, G., Lambertini, L., Mazzone G., Giammarco M., Tassinari M., Martelli G. y Bertin, G. (2009). Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science*, 81: 678-685.
- Wang, Y.X., Zhan, X.A., Yuan, D., Zhang, X.W., Wu, R.J. (2011a). Effects of selenomethionine and sodium selenite supplementation on meat quality, selenium distribution and antioxidant status in broilers. *Czech J. Anim. Sci.* 56: 305-313
- Wang, Y.X., Zhan, X.A., Zhang, X.W., Wu, R.J. y Yuan, D. (2011b). Comparison of different forms of dietary selenium supplementation on growth performance, meat quality, selenium deposition, and antioxidant property in broilers. *Biol. Trace Elem. Res.*, 143: 261-273.
- Warris, P.D. (2003). *Ciencia de la carne*. Edición Acribia, S.A., Zaragoza.
- Warris, P.D. (2010). *Meat science: An introductory text*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Weiss. W.P., Forbose, D.L. y Koch, M.E. (1997). Wet tomato pomace ensiled with corn plants for dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 80: 2996-2900
- Weiss, W.P. (2003). Selenium nutrition of dairy cows: comparing responses to organic and inorganic selenium forms. In: Lyons, P., Jaques, K.A. (Eds.), *Proceedings of the 19th Alltech Annual Symposium on Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp. 333–334.

- Weiss, W.P. (2005). Selenium sources for dairy cattle. In: Proceedings tri-state Dairy nutrition conference (pp. 61–71). Fort Wayne, IN, USA.
- Whanger, P.D. (2002). Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *J. Am. Coll. Nutr.*, 21: 223-232.
- Wilkinson, B.H.P., Janz, J.A.M., Morel, P.C.H., Purchas, R.W. y Hendriks, W.H. (2006). The effect of modified atmosphere packaging with carbon monoxide on the storage quality of master-packaged fresh pork. *Meat Science*, 73: 605-610.
- Willcox, J. K., Catignani, G. L. y Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular health. *Crit. Rev. Food Sci.* 43(1): 1-8.
- Williams, P.E.V., Ballet, N. y Robert, J.C. (1998). Provision of vitamins and amino acids for ruminants. *Rhone Poulenc Animal Nutrition*, 7-37.
- Wolf, G. (2005). The discovery of the antioxidant function of vitamin E: the contribution of Henry A. Mattill. *J. Nutr.*, 135(3): 363-366.
- Wood, J.D., Enser, M., Fischer, A.V., Nute, G.R., Richardson, R.I. y Sheard, P.R. (1999). Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.*, 58: 363-370.
- WPTC (World Processing Tomato Council) (2015). AMITOM & WPTC: Crop update as of 16 September 2015. *Tomato News*, October 2015: 6-11.
- Wu, W., Zhang, C.M. y Hua, Y.F. (2009). Structural modification of soy protein by the lipid peroxidation product malondialdehyde. *J. Sci. Food Agric.*, 89: 1416-1423.
- Wulf, D. M., Morgan, J. B., Sanders, S. K., Tatum, J. D., Smith, G. C. y Williams, S. (1995). Effects of dietary supplementation of vitamin E on storage and caselife properties of lamb retail cuts. *J. Anim. Sci.*, 75, 399.
- Xia, Y. y Zweier, J. (1995). Substrate Control of Free Radical Generation from Xanthine Oxidase in the Postischemic Heart. *The Journal of Biological Chemistry*, 270: 18797-18803.
- Xiong, Y.L., Decker, E., Faustman, C. y Lopez-Bote, C. (2000). Protein oxidation and implications for muscle food quality. En: *Antioxidants in muscle foods: nutritional strategies to improve quality*, Willey Interscience, Danvers, (EEUU). pp. 85-111.
- Yamamoto, Y., Fujisawa, A., Hara, A. y Dunlap, W.C. (2001). An unusual vitamin E constituent (atocomonoenol) provides enhanced antioxidant protection in marine organisms adapted to cold-water environments. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98(23): 13144-13148.
- Yang, A., Brewster, M.J., Lanari, M.C. y Tume, R.K. (2002). Effect of vitamin E supplementation on α -tocopherol and β -carotene concentrations in tissues from pasture- and grain-fed cattle. *Meat Science*, 60: 35-40.

- Yeh, J.Y., Vendeland, S.C., Gu, Q.P., Butler, J.A., Ou, B.R. y Whanger, P.D. (1997). Dietary selenium increases selenoprotein W levels in rat tissues. *The Journal of Nutrition*, 127: 2165-2172.
- Yin, M. C. y Faustman, C. (1993). Influence of temperature, pH, and phospholipids composition on the stability of myoglobin and phospholipids: A liposome model. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 41: 853-857.
- Zhan X.A., Wang M., Zhao R.Q., Li W.F. y Xu Z.R. (2007). Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 132: 202-211.
- Zhang, Y., Luo, H., Chen, Y., Yan, L., Chang, Y., Jiao, L.J. y Liu, K. (2013). Effects of liquorice extract on the pH value, temperature, drip loss, and meat color during aging of Longissimus dorsi muscle in Tan sheep. *Small ruminant research*, 113: 98-102.
- Zhao, Y., Wells, J.H. y McMillen, K.W. (1994). Application of dynamic modified atmosphere packaging systems for fresh red meats: Review. *Journal of Muscle Foods*, 5: 299-328.
- Zhao, T., Luo, H., Zhang, Y., Liu, K., Jia, H., Chang, Y., Jiao, L. y Gao, W. (2013). Effect of vitamin E supplementation on growth performance, carcass characteristics and intramuscular fatty acid composition of Longissimus dorsi muscle in 'Tan' sheep. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73: 358-365.
- Zimmerman M. (2010). pH de la carne y factores que lo afectan. Aspectos estratégicos para obtener carne de ovino de calidad en el cono sur americano. 1 ed. Bariloche, Argentina: INTA;
- Zingg, J-M. (2007). Vitamin E: An overview of major research directions. *Molecular Aspects of Medicine*, 28: 400-422.