

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS

**Efecto de la fuente de luz en anaquel en la calidad de carne de corderos
criados en dos distintos sistemas de alimentación**

Trabajo final de graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica
Modalidad Tesis

Estudiante

Leonor Corrales Retana

Tutor

Ph.D. Carlos Hernández Aguirre

Asesores

Ph.D. Andrea Serra
M.Sc. Andrés Alpízar Naranjo

Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica, 2020

Efecto de la fuente de luz en anaquel en la calidad de carne de corderos criados en dos distintos sistemas de alimentación

Leonor Corrales Retana

Trabajo final de graduación de tesis sometida a consideración del tribunal examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional, para optar por al grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Dr. Jorge Herrera Murillo
Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M.Sc. Miguel Castillo Umaña
Representante Dirección Escuela de
Ciencias Agrarias

Ph.D. Carlos Hernández Aguirre
Tutor

Ph.D. Andrea Serra
Lector

M.Sc. Andrés Alpízar Naranjo
Lector

Bach. Leonor Corrales Retana
Postulante

RESUMEN

El efecto en la calidad de la carne de las fuentes de luz utilizada en anaquel no es del todo comprendido y sigue existiendo controversia al respecto. De igual manera, no se conocen los efectos intrínsecos del tipo de sistema de alimentación utilizado en los corderos y como este pueda ayudar a proteger o no la carne durante su vida útil en exhibición. Con el fin de evaluar lo anterior, un total de dieciocho muestras de carne, fueron sometidas a dos tipos de fuentes de luz (fluorescente y LED) junto con un tratamiento control (oscuridad), utilizando muestras de seis corderos pertenecientes a dos tipos de sistemas de alimentación (concentrado y forrajes) simulando condiciones de exhibición en anaquel. A través de los análisis del estado de la oxidación lipídica (COV: compuestos orgánicos volátiles y TBARS: Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) y su influencia en sus características físico-químicas (color, mioglobina y pH).

La pérdida de calidad de la carne, es un proceso muy complejo, el cual no está determinado únicamente por un solo factor, sino que todos actúan de forma sincronizada. De los resultados obtenidos, se podría decir que existe una gran correlación entre pérdida de color y el desarrollo de olores y sabores desagradables al consumidor, con el simultáneo aumento de la cantidad de metamioglobina (color rojo-marrón) y la oxidación de los lípidos, representada por un aumento en la concentración de aldehídos. La luz fluorescente resultó ser el tratamiento que obtuvo mayor valor de TBARS y de compuestos secundarios de la oxidación de los lípidos, acompañado a su vez de una coloración de la carne más oscura, menos brillante y un color menos saturado, comparado con el control y la luz LED. Por lo que los resultados sugieren que la luz LED pueda ser una alternativa válida para preservar de mejor manera la carne en exhibición en anaquel.

DEDICATORIA

A la perseverancia, que siempre me siga acompañando...

AGRADECIMIENTOS

A mi familia... Jesús, Astrid e Irene, que siempre me han dado la fuerza y el amor necesario;

A mi amor... Marco, que con el día a día siempre me inspira y me sostiene;

A toda mi familia en Costa Rica que a la distancia siempre han estado conmigo;

Y a mi familia que me adoptó en Sicilia que me hacen sentir como en casa;

A todos los del laboratorio de la UNIPI que en algún momento me ayudaron: Giuseppe, Francesca, a Laura por darme dos manos más y sobre todo a Andrea por su apoyo incondicional y por todo lo que ha contribuido para que esta tesis se terminara.

Y a los profesores de la ECA que me ayudaron a finalizar esta meta después de tantos años.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Marco Teórico	4
3.1. Sistemas de Alimentación en Corderos	4
3.2. Del músculo a la carne	5
3.2.1. Estructura del tejido muscular	6
3.2.2. La mioglobina.....	7
3.3. Proceso de peroxidación de los lípidos en la carne	11
3.4. Fuentes de luz en la exposición en anaquel	14
4. Metodología	18
4.1. Muestras	18
4.2. Diseño Experimental	19
4.3. Análisis de Laboratorio	19
4.3.1. Determinación de los compuestos orgánicos volátiles (COV).....	19
4.3.2. Determinación del pH.....	20
4.3.3. Determinación de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)	20
4.3.4. Determinación del color de la carne	20
4.3.5. Determinación del contenido de mioglobina: contenido de mioglobina, desoximioglobina (DMb), oximioglobina (OxyMb) y metamioglobina (MetMb).....	21
4.4. Análisis estadístico	22
4. Resultados	23
5. Discusión	32
6. Conclusiones	38
7. Recomendaciones	39
8. Anexos	40
9. Referencias Bibliográficas	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentajes promedio de conversión de potencia para distintas fuentes tecnológicas de luz blanca.	16
Tabla 2. Color, MDA, contenido de mioglobina y pH determinado en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación al tiempo T0.	23
Tabla 3. Color, MDA, contenido de mioglobina y pH determinado en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación y fuentes de luz al tiempo T7.	25
Tabla 4. Clases de Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) determinados en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación al tiempo T0.	26
Tabla 5. Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) determinados en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación al tiempo T0.	27
Tabla 6. Clases de Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación y fuentes de luz al tiempo T7.	29
Tabla 7. Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación y fuentes de luz al tiempo T7.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación diagramática de la estructura del músculo	6
Figura 2. Estructura de la mioglobina.	8
Figura 3. Estructura grupo prostético hemo.	8
Figura 4. Mioglobina y estados de oxidación-reducción de la misma.	9
Figura 5. Espectro visible de luz natural y distintas fuentes de luz artificial.	16

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Nombre, fórmula y clase química de los Compuestos Orgánicos Volátiles identificados, con su respectivo tiempo de retención.	40
Anexo 2. Ejemplo de cromatograma de Compuestos Orgánicos Volátiles de la carne.	41

ÍNDICE DE SIGLAS

a*: eje verde-rojo.

C: grupo alimentado con concentrado y referido al color, cromaticidad.

CLA: ácido linoleico conjugado

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.

b*: eje azul-amarillo.

DMb: desoximioglobina.

ES: error estándar.

F: grupo alimentado con forrajes.

Fe: elemento químico hierro.

FL: fluorescente.

H: matiz o tonalidad y referido a química el elemento hidrógeno.

HM: haluro metal.

INC: incandescente.

λ_{max} : máxima longitud de onda.

LED: siglas en inglés de Light emitting diode o diodo emisor de luz.

L*: luminosidad.

Mb: mioglobina.

MDA: malondialdehído.

MEFS: o SPME, Microextracción en fase sólida.

MetMb: metamioglobina.

N: nitrógeno.

O₂: oxígeno.

OxyMb: oximioglobina.

p: p-valor.

P_{O2}: presión parcial de oxígeno.

PUFA: ácidos grasos poliinsaturados.

R: radical libre.

ROS: Especies de Oxígeno Reactivo.

S: sistema de alimentación.

T₀: momento cero o inicial.

T₇: momento final (7 días de conservación).

TBARS: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico.

UCD: University College Dublin.

UNIFI: Università di Pisa.

1. Introducción

La carne ha sido un componente fundamental de la alimentación durante todo el proceso de evolución del ser humano. La calidad de la carne que se consume se ha convertido en un tema de vital importancia entre los consumidores y por ende, toda la cadena relacionada con su producción se ha preocupado por poder cumplir con las exigencias establecidas por el mercado. Dentro de las cualidades de la carne de cordero se encuentran el tener proteína de alto valor biológico, rica en vitaminas del complejo B y de minerales esenciales como hierro, selenio y zinc. Asimismo, tiene un importante aporte de ácidos grasos omega 3, ácido linoleico conjugado (CLA) y ácido vaccénico, los cuales son reconocidos por sus beneficios en la salud humana (Davila, 2017; Escalante, 2019).

Existen factores endógenos o exógenos, los cuales afectan la calidad de la carne, entre ellos: la raza del animal y sus características asociadas, el estado genético dentro de la raza, el tipo de alimentación, el valor del pH post mortem junto con la disminución de la temperatura, y el proceso de maduración (Fraqueza y Barreto, 2010).

En cuanto al tipo de alimentación, los sistemas utilizados para corderos se pueden basar en el pastoreo y/o uso de concentrados. Este factor puede afectar la composición de la canal y grado de engorde, asimismo influencia el contenido y tipo de lípidos presentes en la carne, aspecto que se encuentra relacionado con la jugosidad, el sabor, la firmeza y su conservación (Ramírez-Retamal y Morales, 2014).

Por su parte, el consumidor toma en cuenta parámetros de selección orientados hacia las características sensoriales del producto, los cuales incluyen: color, textura, sabor y retención de agua que tienen un impacto significativo en la satisfacción esperada y su aceptación. El color es la característica principal que repercute en la decisión de compra de los consumidores, el cual es determinado por la mioglobina.

El color de la carne se encuentra relacionado con cambios químicos al interno de la misma. Chan, Faustman y Renner (1997), Papuc, Goran, Predescu y Nicorescu (2016) y Steele et al. (2016) mencionan que existe una correlación entre el hierro¹ de la mioglobina y la peroxidación de los lípidos, la cual después de la alteración microbiológica, es la segunda causa que condiciona negativamente la calidad de la carne. Es importante tener en consideración que los productos cárnicos están expuestos en los supermercados bajo diversas condiciones de luminosidad y empaque, donde se privilegia un mayor contenido de oxígeno

¹ Su estado de oxidación y la presencia o ausencia del oxígeno determina el color de la carne.

para obtener un color rojo vivo, lo cual puede conllevar a un aumento en la tasa de oxidación de los lípidos (Jakobsen y Bertelsen, 2000; Ladeira et al., 2014).

Los lípidos, son los principales responsables de los sabores y aromas deseables e indeseables de la carne. Sin embargo, su peroxidación en la mayoría de los casos deteriora la calidad de esta y causa un sabor inaceptable para los consumidores. También hay otros efectos como la disminución de la vida útil, el aumento del olor desagradable, pérdida de agua, el cambio de las características funcionales y sensoriales, e incluso la formación de sustancias potencialmente tóxicas y/o cancerígenas (Cheng, 2016; Morrissey, Sheehy, Galvin, Kerry y Buckley, 1998).

La peroxidación lipídica puede ocurrir muy fácilmente, no es espontánea, y requiere de la intervención de diversos factores como por ejemplo: calor y luz, catalizadores, contenido de oxígeno, ácidos grasos insaturados, la condición del animal antes del sacrificio, procesos que destruyen las membranas musculares y el pH (Cheng, 2016). El efecto de la luz en la carne, sea esta natural como artificial, ha sido estudiado por distintos autores (Böhner y Rieblinger, 2016; Cooper et al., 2016; Naves Aroeria, Pereira Cardoso, Teixeira de Siqueira, de Lemos Souza Ramos y Mendes Ramos, 2014; Steele et al., 2016) que se han preocupado por entender su influencia en el color de la carne, pues se ha visto que dependiendo del espectro de luz al que viene expuesta la carne se pueden dar modificaciones en su coloración.

Existen pocos trabajos acerca de cómo las fuentes de luz influyen en el color y en el grado de oxidación de los lípidos de la carne fresca de ganado ovino, y la interrelación entre los mismos. Además, los análisis acerca de la oxidación que se han llevado a cabo en los estudios disponibles, comprenden básicamente el uso de la técnica de TBARS (estimación del malondialdehído como sustancia reactiva al ácido tiobarbitúrico), la cual es muy limitada y no permite comprender en manera amplia el estado de oxidación de la fracción lipídica.

Por lo tanto, este trabajo se propone analizar el efecto de distintas fuentes de luminosidad en anaquel de carnes de cordero pertenecientes a dos sistemas de producción (pastoreo y uso concentrado) que se comercializarán de forma fresca, a través del análisis del estado de la peroxidación lipídica (compuestos orgánicos volátiles y TBARS) y su influencia en las características físico-químicas (color, mioglobina y pH); con el fin de plantear las configuraciones tecnológicas que permitan una preservación óptima de la calidad de la carne ovina en condiciones de exhibición en anaquel.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la exposición a fuentes de luminosidad en anaquel en carne ovina (cruce Texel con Scottish Blackface), proveniente de dos tipos de sistemas de alimentación, mediante el análisis de parámetros nutricionales y organolépticos, con el fin de encontrar la configuración tecnológica que mejor preserve su calidad.

2.2. Objetivos específicos

1. Analizar las dinámicas bioquímicas y fisiológicas que determinan la calidad de la carne producida mediante dos tipos de sistemas de alimentación de corderos (pastoreo y uso de concentrado).
2. Determinar el grado de peroxidación lipídica de la carne ovina expuesta a distintas fuentes de luminosidad en anaquel, por medio del contenido de los compuestos orgánicos volátiles y la cantidad de malondialdehído presente.
3. Identificar las variaciones en la composición nutricional mediante la correlación entre la coloración de la carne ovina y su grado de oxidación lipídica bajo distintas fuentes de luminosidad en anaquel.

3. Marco Teórico

3.1. Sistemas de Alimentación en Corderos

El sistema digestivo de los ovinos, típico de los animales rumiantes, les permite utilizar distintos tipos de forrajes, así como alimentos concentrados como granos de cereales y leguminosas. A través de los microorganismos presentes en el tracto digestivo de estos animales, los alimentos son expuestos a procesos fermentativos, existiendo un uso eficiente de los nutrientes contenidos en los distintos ingredientes de la dieta, incluyendo a aquellos con un bajo aporte nutricional. Los microorganismos cumplen la esencial labor de hacer disponibles los nutrientes presentes en los forrajes, ya que sin ellos los rumiantes no serían capaces de metabolizarlos (Castellaro, Orellana y Escanilla, 2015).

El ovino se caracteriza por una amplia variedad de sistemas de producción (extensivos e intensivos) y de alimentación, desde pastoreo a raciones completas. Esta especie es reconocida por su amplia adaptabilidad a diferentes áreas geográficas y climatológicas, y con esto aprovechando la biodiversidad de recursos alimenticios presente en cada zona donde habita (Cannas y Fernández, 2011).

En los animales recién nacidos, el rumen no es funcional, siendo muy pequeño. El abomaso (estómago verdadero) es el que se encarga de la digestión de los alimentos, especialmente de la leche materna durante los primeros días de vida del cordero. A medida que el cordero va ingiriendo alimento sólido (especialmente pasto), el rumen es colonizado por microorganismos y comienza a hacerse funcional, especialmente al ser estimulado por los ácidos producidos en la fermentación de los alimentos sólidos que se produce en dicho compartimento. La alimentación junto con la genética, son los factores que explican mayoritariamente la influencia en la calidad de la carne. Por lo tanto la alimentación de los corderos después del destete juega un rol importante en la calidad de la canal (Scarti, 1992).

Existen dos fuentes de alimentos utilizados en las dietas del cordero después del destete, los cuales se caracterizan a continuación (Schoenian, 2011):

- a. Alimentación con concentrados: la alimentación de corderos con concentrados mejora la eficiencia alimenticia y aumenta la ganancia diaria promedio. Las dietas integrales consisten en granos enteros (sin procesar), mezclados con un suplemento granulado de proteínas, vitaminas y minerales. Con este tipo de dieta, generalmente no es necesario incorporar forraje (heno) en la dieta o complementarlo. En consecuencia, las dietas integrales son ricas en energía y promueven ganancias

aceleradas de cordero, por lo tanto los corderos crecen más rápido y alcanzan el peso de mercado más rápido. Es importante mencionar que los corderos bajo este tipo de dieta generalmente producen carcasas más gordas. Un aspecto negativo, es el de estar sujetos a diversas alteraciones digestivas, ya que debemos recordar que se trabaja con un sistema digestivo de un rumiante.

- b. Alimentación con pastos /forraje: el pasto es una dieta y un entorno más natural para los corderos. Los corderos alimentados con pasto generalmente crecen más despacio y toman más tiempo para alcanzar el peso del mercado y tienden a producir canales más delgadas. La carne del ganado alimentado con pasto generalmente contiene más ácido linoleico conjugado (CLA), vitamina E, ácidos grasos omega-3, betacaroteno y vitamina A que la carne del ganado alimentado con granos. Existe una creciente demanda de consumo de carne y leche alimentada con pasto.

En cuanto a la carne de cordero obtenida bajo los distintos sistemas de alimentación descritos, varios estudios reportan diferencias en la canal y la calidad de la carne entre los corderos criados con dietas altas en concentrados y aquellos con pasto y/o forrajes. Las principales diferencias se encuentran en el color de la grasa subcutánea, la grasa en el cuerpo y el sabor de la carne. Se ha informado que la carne del ganado criado con el pasto es de color más oscuro que la carne de animales criados con concentrados, sin embargo hay poca información publicada sobre comparaciones de pasto y sistemas de alimentación de concentrado en el color de la carne de oveja (De Brito, Ponnampalam y Hopkins, 2017; Priolo, Micol, Agabriel, Prache y Dransfield, 2002).

3.2. Del músculo a la carne

El Codex Alimentarius define carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o que se destinan para este fin” (FAO y OMS, 2009). Para poder comprender más ampliamente el significado de este concepto es necesario iniciar a partir de otra definición, el músculo. El conocimiento de la estructura del músculo es fundamental para entender las relaciones entre las propiedades del músculo y su empleo como carne. Muchas de las propiedades gastronómicas y nutricionales de la carne tales como textura, apariencia y color, se relacionan con la composición del sistema proteico muscular y los cambios químicos y bioquímicos que en él ocurren (Amerling, 2001).

3.2.1. Estructura del tejido muscular

Existen tres tipos de músculos: músculo estriado voluntario o esquelético; músculo estriado involuntario o cardíaco y músculo liso involuntario. Los músculos estriados o esqueléticos cubren la generalidad del esqueleto animal, determinando un papel fundamental en la forma característica de los animales. El color de sus fibras es rojo, pero varía su tonalidad en los diferentes músculos y en diferentes circunstancias. Más de 600 músculos esqueléticos distintos, de diferentes tipos y tamaños constituyen entre el 35 y 60 % del peso de la canal de los mamíferos por lo que este tipo de músculo es el principal componente de la carne (Andrújar, Pérez y Venegas, 2009; Urroz, 1991).

Un músculo completo está rodeado generalmente por una lámina de tejido conectivo denominado epimisio. Los músculos están formados por la unión de numerosas fibras musculares que están separadas en haces o fascículos, mediante tejido conectivo en forma de septos denominado perimisio (Figura 1) (Rodríguez Rivera y Simón Magro, 2008). Debajo del endomisio hay otra capa conocida como el sarcolema, que es de una estructura similar a una red y que está conectada directamente a los filamentos de actina y miosina, los componentes principales de una fibra muscular. El sarcoplasma (citoplasma), es la sustancia intracelular en las fibras musculares y se compone de agua alrededor del 80%, así como de proteínas, enzimas, lípidos, carbohidratos, sales inorgánicas y subproductos metabólicos (Feiner, 2013).

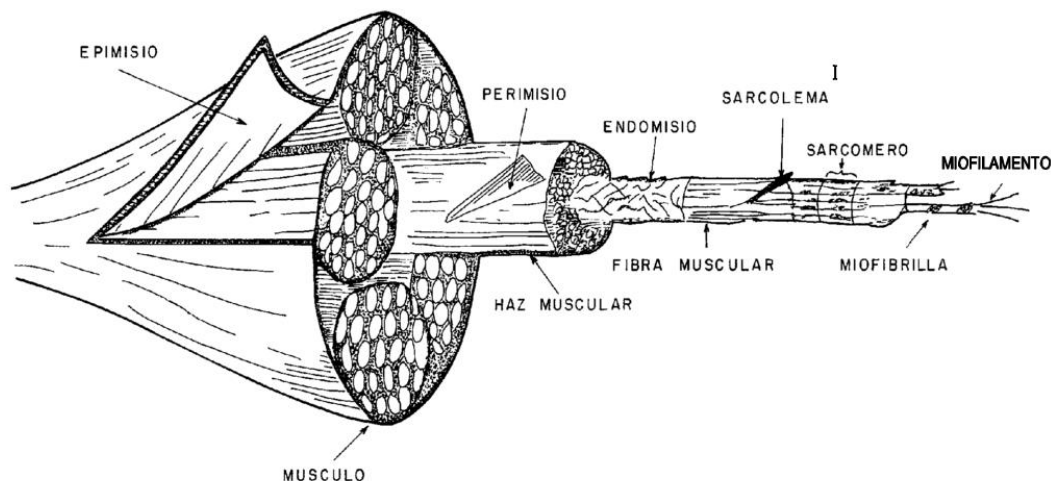


Figura 1. Representación diagramática de la estructura del músculo (Restrepo Molina, Arango Mejía, Amézquita Campuzano, y Restrepo Digiammarco, 2001)

Las fibras musculares esqueléticas se clasifican en tres tipos y lo habitual es que en cualquier músculo estén presentes los tres tipos, cuya proporción varía según la actividad funcional del músculo (Ross, Pawlina y Negrete, 2007). Según Ross et al. (2007) las fibras se clasifican de la siguiente manera:

- Tipo I: el tipo de metabolismo es oxidativo lento, son rojas en el estado fresco, contienen muchas mitocondrias y una gran cantidad de mioglobina y de complejos de citocromos. Además, forman unidades motoras de contracción lenta resistentes a la fatiga.
- Tipo IIa: son glucolíticas oxidativas rápidas, estas son las fibras intermedias que se ven en el tejido fresco. Son de tamaño mediano, con muchas mitocondrias y un contenido elevado de mioglobina. Tienen la capacidad de llevar a cabo la glucólisis anaeróbica y son resistentes a la fatiga.
- Tipo IIb: su metabolismo es glucolítico rápido. Son fibras grandes, que aparecen de color blanquecino en las muestras en estado fresco, contienen menos mioglobina y una cantidad menor de mitocondrias que las fibras anteriores. Exhiben una actividad enzimática anaeróbica importante y almacenan una cantidad considerable de glucógeno.

Resulta necesario profundizar acerca de una proteína que cumple una gran labor y que ha sido mencionada anteriormente, la cual es: la mioglobina.

3.2.2. La mioglobina

Los vertebrados tienen dos tipos de pigmentos respiratorios: mioglobina y hemoglobina. La mioglobina se localiza en el músculo donde parece actuar como reservorio de oxígeno (O₂) y como facilitador de la difusión del mismo desde los capilares hasta las mitocondrias. Mientras que la hemoglobina, se presenta altamente concentrada en los eritrocitos de vertebrados, donde actúa como transportador de oxígeno por sangre, desde los capilares pulmonares a los tisulares (Pagés Costas, Blasco Mínguez, Palacios Raufast y Alfaro, 2005).

La mioglobina es una hemoproteína intracelular pequeña del músculo, que consiste en una sola cadena polipeptídica de 154 aminoácidos y la cual consta de ocho hélices α asignadas con las letras de la A a la H. Las mioglobinas contienen un solo grupo hemo, el cual es un anillo tetrapirrólico con un hierro, Fe²⁺(ferroso), que tiene una afinidad por el oxígeno. Este hemo está estrechamente calzado en un bolsillo hidrófobo entre las hélices E

y F (Figura 2). El tipo de anillo heterocíclico del hemo es un derivado de la porfirina que contiene cuatro anillos pirrólicos (rotulados A-D) unidos por puentes metilo, formando un anillo tetrapirrólico, al que están entrelazados cuatro grupos metilo, dos vinilo y dos propionato, como cadenas laterales. El átomo de Fe (II) en el centro del hemo está coordinado con cuatro átomos de nitrógeno (N) de la porfirina y un N de una cadena lateral de Histidina (Stryer, Berg y Tymoczko, 2008; Ordway y Garry, 2004; Pagés Costas et al., 2005; Voet, Voet, Pratt y Gismondi, 2007).

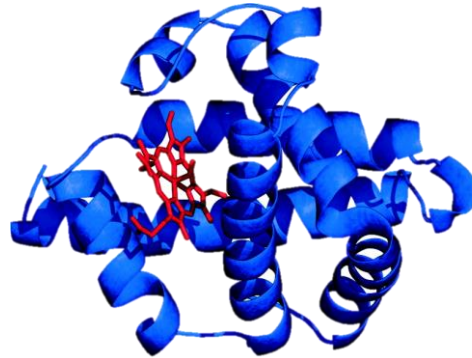


Figura 2. Estructura de la mioglobina (Ordway y Garry, 2004).

En condiciones normales el hierro está en estado de oxidación ferroso (Fe^{2+}). Este ion todavía puede formar dos enlaces adicionales, uno a cada lado del plano del hemo. Los centros de estos enlaces se llaman el quinto y sexto centros de coordinación. En la mioglobina, el quinto centro está ocupado por el anillo imidazólico de una histidina de la proteína. En la desoximioglobina el sexto centro de coordinación permanece desocupado, esta posición está disponible para unirse al oxígeno (Figura 3) (Voet et al., 2007).

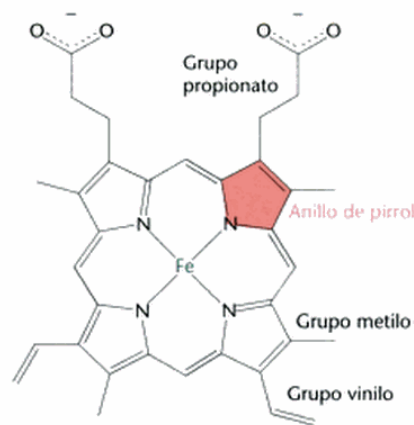


Figura 3. Estructura grupo prostético hemo (Stryer et al., 2008).

Algunas de las funciones que ejerce esta proteína se describen en Ordway y Garry (2004): almacenamiento de oxígeno, tampón de la presión parcial del oxígeno (P_{O_2}) y difusión facilitada de O_2 .

Este pigmento en la carne varía su coloración dependiendo de la forma en la que se presente: desoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina; las cuales son interconvertibles entre sí y varían en función de la presencia o no del oxígeno al interno del grupo heme y del grado de oxidación del hierro.

La mioglobina puede estar en dos formas: sin oxígeno, denominada *desoximioglobina*; o unida a una molécula de oxígeno, denominada *oximioglobina*. La capacidad de la mioglobina para unirse al oxígeno depende de la presencia del grupo hemo. Dicho grupo proporciona su característico color rojo al músculo y a la sangre (Stryer et al., 2008).

La oximioglobina (rojo brillante) aparece cuando la mioglobina (rojo púrpura), es sometida a la acción del oxígeno, produciéndose inicialmente una oxidación de sustratos disponibles, y manteniéndose el hierro en una valencia 2+. La metamioglobina (rojo marrón), aparece precisamente cuando esas sustancias oxidables se acaban y hay una acción específica del oxígeno sobre el hierro, el cual pasa a una valencia 3+. La metamioglobina y la oximioglobina coexisten y mediante apropiados agentes reductores y el desfavorecimiento de las condiciones de oxigenación, las reacciones son reversibles (Figura 4) (Restrepo Molina, Arango Mejía, Amézquita Campuzano y Restrepo Digiammarco, 2001). Es importante mencionar que cuanto el átomo de hierro se oxida a Fe^{3+} (férrico) deja de atraer al oxígeno (Pagés Costas et al., 2005).

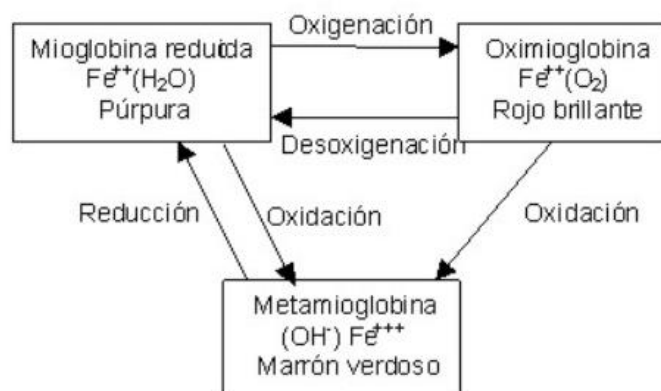


Figura 4. Mioglobina y estados de oxidación-reducción de la misma (Oyagüe, 2007).

Sin embargo, se debe prestar atención al hecho de que la apariencia visual de un corte de carne está no sólo influenciada por la absorción de luz de los pigmentos, sino también por la dispersión de la luz de la superficie de la fibra muscular. Se obtiene un color rojo brillante cuando el coeficiente de absorción es alto y el de dispersión de la luz es bajo. La mioglobina (Mb) es púrpura ($\lambda_{\max}=555$ nm); la oximioglobina (MbO₂), es rojo brillante ($\lambda_{\max} = 542$ y 580 nm); y el producto de la oxidación de Mb en el estado férrico, metamioglobina (MMb⁺), es marrón ($\lambda_{\max}=505$ y 635 nm) (Belitz et al., 2009).

La oximioglobina, comúnmente conocido como el color de carne fresca, es el color más deseable para las carnes frescas. El mantenimiento de este color requiere que la superficie de la carne esté libre de cualquier contaminación que pudiera causar una reacción química que resulte en la formación de la metamioglobina (pigmento marrón). Además, el oxígeno debe estar disponible a una concentración suficiente para combinar con la mioglobina para formar oximioglobina. Por otro lado, la metamioglobina se asocia con carne refrigerada que se ha almacenado demasiado tiempo (es decir, la reducción de la actividad enzimática disponible para reducir la metamioglobina a la mioglobina se ha agotado), pero también aparece cuando la presión parcial de oxígeno es baja, como cuando las piezas de carne se apilan una encima de otra. La presión parcial de oxígeno también puede reducirse cuando las bacterias aerobias consumen el oxígeno y no está más disponible para reaccionar con la mioglobina (Boles y Pegg, 2000).

Finalmente, después del proceso de cocción, se forma la metamioglobina desnaturalizada, que normalmente no se puede cambiar para formar otro pigmento (Boles y Pegg, 2000).

La transformación de la oximioglobina a metamioglobina está favorecida por varios factores como son un bajo pH de la carne, la temperatura (0-30 °C), el tiempo de conservación, la incidencia de luz, la presencia de sal y la oxidación lipídica, el tipo de fibra muscular, ya que las fibras rojas, gracias a su elevada actividad respiratoria, son capaces de oxidar la grasa y son más susceptibles al enranciamiento y por lo tanto a la decoloración. Por el contrario, la oxidación se retrasa por la presencia de antioxidantes en la carne, por ejemplo, vitamina E en el alimento de los animales. Aumentando la cantidad de vitamina E en la ración de los animales se incrementa la cantidad de α -tocoferol en el músculo. Este es un antioxidante que retarda la conversión de mioglobina reducida y oximioglobina a metamioglobina (Oyagüe, 2007).

3.3. Proceso de peroxidación de los lípidos en la carne

La carne y los productos cárnicos son susceptibles al deterioro dada su rica composición nutricional. Este deterioro se produce como resultado de una serie de cambios químicos y microbianos. La forma más común de daño químico es la oxidación de los lípidos en la carne, debido a que estos últimos presentan en su composición lípidos como ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), que los hacen muy susceptibles a las reacciones oxidativas (Isaza Maya, Restrepo Molina y López Vargas, 2013). La oxidación de los lípidos es un factor importante que limita tanto la calidad de los productos cárnicos como su aceptabilidad de parte del cliente (Králová, 2015).

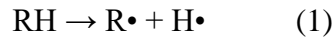
Es un proceso complejo que depende de la composición química de la carne, la presencia de luz y oxígeno y la temperatura de almacenamiento (Belitz et al., 2009). Los procesos oxidativos son aquellas reacciones químicas/bioquímicas que implican la transferencia de uno o más electrones de un donante de electrones (reductor) a un aceptor de electrones (oxidante) que conduce a la transformación tanto del oxidante como del reductor. Estas reacciones están comúnmente asociadas con patologías significativas en humanos y animales, y también cambios indeseables en los sistemas alimentarios (Bekhit, Hopkins, Fahri y Ponnampalam, 2013).

La peroxidación lipídica se produce principalmente a través de una reacción en cadena de radicales libres que generalmente tienden a atacar a los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA, es importante mencionar que la reactividad del ácido graso insaturado aumenta con su longitud de cadena y con el número de dobles enlaces), y el oxígeno es el factor más importante en el desarrollo de la peroxidación lipídica en la carne. Se sabe que el oxígeno es esencial para la vida, pero que al mismo tiempo puede causar daño a las células. Teóricamente, la molécula de oxígeno y los PUFA no pueden interactuar entre sí debido a limitaciones termodinámicas. A pesar de que el oxígeno en su estado fundamental no tiene reactividad suficientemente fuerte, puede convertirse en Especies de Oxígeno Reactivo (ROS) (Min y Ahn, 2005; Min, 2006; Sampels, 2013).

Existen tres principales mecanismos: autooxidación, la fotooxidación y la oxidación llevada a cabo por las enzimas (Cheng, 2016). Además, numerosos agentes, tales como enzimas y metales de transición, pueden catalizar estos procesos oxidativos de manera enzimática y no enzimática.

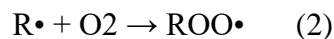
El proceso de oxidación está dividido en tres fases, las cuales se describen a continuación según Králová (2015):

1. Iniciación: durante la iniciación, la escisión homolítica del enlace covalente en la cadena de hidrocarburo C-H tiene lugar con la formación de un radical libre de hidrógeno (H•) y radical libre de ácido graso (R•) (1). Los catalizadores de esta reacción incluyen calor, radiación, iones metálicos y otros radicales libres.



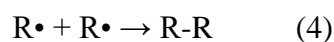
La escisión también se produce por medio de una reacción con otro radical libre o una reacción con metales con valencia transitoria.

2. Propagación: se produce una reacción en la segunda etapa de autoxidación entre el radical de ácidos grasos altamente reactivo y el oxígeno atmosférico para formar un radical peróxilo (ROO•) (2), el cual es altamente reactivo y es capaz de reaccionar con ácidos grasos insaturados para formar hidroperóxidos (ROOH) (3).



La secuencia de dos reacciones dadas puede repetirse varias veces, razón por la cual la autoxidación se conoce como reacción en cadena. La reacción de un radical libre de ácidos grasos con oxígeno es mucho más rápida que la reacción entre un radical peróxilo y una cadena de hidrocarburo lipídico. Por lo tanto, la segunda reacción determina la velocidad de la autoxidación.

3. Terminación: en la fase final de autoxidación, se forman productos no radicales relativamente estables si la concentración de radicales libres es suficientemente alta (4, 5 y 6).



Algunos autores mencionan que la presencia de metales puede promover el proceso de oxidación de manera más eficiente que la temperatura y la luz (Chaijan y Panpipat, 2017). El sistema de acción de los metales es complejo, pero su papel como catalizadores de la oxidación de lípidos se debe a que son capaces de catalizar la producción

de ROS. Estos procesos se explican con frecuencia por la reacción de Fenton. Esta reacción es efectiva cuando Fe^{3+} puede reducirse a Fe^{2+} al reducir los compuestos (Domínguez et al., 2019). Especialmente, el hierro desempeña un papel crítico en el proceso de peroxidación de lípidos como catalizador principal (Min y Ahn, 2005).

El primer paso de la reacción de Fenton es la oxidación de la forma ferrosa (Fe^{+2}) a férrica (Fe^{+3}). En esta oxidación, Fe^{+2} reacciona con oxígeno y produce Fe^{+3} y anión superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$). El $\text{O}_2^{\bullet-}$ puede reaccionar con ácidos grasos para producir radicales alquilo e iniciar la oxidación de lípidos. Además, $\text{O}_2^{\bullet-}$ podría transformarse en peróxido de hidrógeno por dismutación², que podría reaccionar con Fe^{+2} para producir un radical hidroxilo (OH^{\bullet}). En este sentido, la reacción de Fenton es la vía principal para producir OH^{\bullet} . Es probable que sea la especie de oxígeno más reactiva y es muy importante en la etapa de iniciación del proceso de oxidación (Domínguez et al., 2019).

El proceso de oxidación de la oxi-hemoproteína da como resultado met-hemoproteína y radical hidropéroxilo (OOH^{\bullet}) u $\text{O}_2^{\bullet-}$, que se convierten en peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Entonces, la met-hemoproteína puede reaccionar con H_2O_2 o un hidropéroxido lipídico ya formado para producir un radical altamente reactivo, ferril (Fe^{4+}). Por lo tanto, todas las especies reactivas de oxígeno generadas durante la oxidación de la oxi-hemoproteína (H_2O_2 , OOH^{\bullet} u $\text{O}_2^{\bullet-}$) así como el radical ferril pueden extraer hidrógeno del ácido graso poliinsaturado y, por lo tanto, iniciar la oxidación de lípidos (Domínguez et al., 2019).

Los productos primarios formados a partir de la oxidación, los hidropéroxidos, son muy inestables, por lo tanto, es fácil romper estos compuestos en productos oxidativos secundarios, que representan un amplia gama de productos volátiles y no volátiles tales como aldehídos, alquenos, cetonas y alcoholes que causan aromas y olores desagradables en la carne (deteriorando la calidad), al contrario de los primarios, que son inodoros e insípidos, y que por ende no contribuyen directamente al sabor (Cheng, 2016; Dabrowska, Zielińska y Nowak, 2015).

En cuanto a los productos secundarios, su formación se puede dar a partir de tres tipos distintos de reacciones: a) no se da un cambio en el número de átomos de carbono en la molécula (peróxidos, endoperóxidos cíclicos, ácidos epoxi, hidroxiaácidos y oxoácidos); b) descomposición de la molécula con la formación de productos con un número menor de

² Reacciones de Dismutación o Reacciones de Desproporción son aquellas en las que un elemento es al mismo tiempo oxidado y reducido.

átomos de carbono (aldehídos, hidrocarburos u oxoácidos) y c) polimerización (un aumento del número de carbonos en la molécula) (Králová, 2015).

La mayor parte de estos productos son utilizados en algunos métodos para la determinación del nivel de oxidación de un producto alimenticio, resultando de suma importancia su cuantificación dada su particular peligrosidad para la salud del ser humano (Dabrowska et al., 2015).

Asimismo, uno de los biomarcadores más utilizados para medir el grado de peroxidación de un alimento es la concentración del malondialdehído (producto de la oxidación de los PUFA tanto omega 3 como 6), aún así tiende a ser controversial su cálculo porque se ha visto que puede no ser tan específico (Ayala, Muñoz y Argüelles, 2014). Por lo tanto últimamente se están utilizando otras técnicas como la Cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas con la cual se pueden determinar compuestos secundarios que se generan durante la oxidación.

3.4. Fuentes de luz en la exposición en anaquel.

La carne ha de ser considerada como uno de los alimentos más perecederos y las medidas de conservación han de aplicarse tras el sacrificio del animal con el objetivo de retrasar o prevenir cambios que hacen a la carne inadecuada para el consumo o degradan alguna de las características de calidad. Los modos de alteración son múltiples y pueden ser físicos, químicos o microbiológicos (Rodríguez Rivera y Magro, 2009; Sánchez Escalante, Torrescano Urrutia, Camou Arriola, González Méndez y Hernandez Watanabe, 2008).

Las tiendas de alimentos asignan un espacio relativamente amplio para poner a disposición del cliente los cortes de carne con alto valor comercial (Kropf, 1980). Para atraer consumidores, utilizan carteles atractivos, vitrinas de exposición y luces brillantes (Sánchez Escalante et al., 2008). Durante la exhibición de la carne al por menor, el paquete se expone a la luz, sea natural a través de ventanas o por las luces incandescentes o fluorescentes en vitrinas. El color percibido de la carne varía con el perfil espectral de la luz incidente. Se utilizan perfiles específicos para destacar la calidad buscada por los consumidores, a menudo mediante el aumento del extremo rojo del espectro así que las longitudes de onda rojas reflejadas impactan la vista (Hui, 2001).

Las fuentes de iluminación varían ampliamente desde aquellas que se colocan en techos, que pueden ser luces fluorescentes (FL), incandescentes (INC) y de haluro metal (HM), hasta luces colocadas dentro de la vitrina de exposición. Estos últimos usualmente

son del tipo FL, y son usados debido a que producen menos calor, comparados con los INC y HM. Las lámparas FL, que emiten mucho menos calor que las INC, no producen tanto estrés sobre las unidades de refrigeración de la vitrina de exposición. Sin embargo, tanto las lámparas FL como las HM son ampliamente usadas debido a su alta eficacia, en comparación con las INC. No obstante, ni la FL ni la HM se consideran como una fuente de iluminación de espectro completo. La lámpara FL “Cool White” es la menos cara y la más popular, pero tiene una pobre emisión en la región del rojo. Este tipo de lámpara utilizada dentro o encima de las vitrinas de exposición, puede dar lugar a problemas con la apariencia del producto (Kropf, 1980; Sánchez Escalante et al., 2008).

Los bombillos fluorescentes son la fuente de luz más comúnmente utilizadas en las vitrinas en los establecimientos minoristas, sin embargo, se ha visto que el uso de los diodos emisores de luz (LED) está evolucionando rápidamente dentro estos establecimientos. Estos bombillos tienen la ventaja de una vida útil más larga, y una mayor eficiencia energética (Cooper et al., 2016).

A continuación se describen las características principales de los dos tipos de lámparas que se utilizarán en este estudio (Tabla 1 y Figura 5):

- ✓ Lámparas fluorescentes: formadas por un tubo de vidrio con un electrodo de tungsteno en cada extremo, además, llevan en su interior una pequeña gotita de mercurio y un gas inerte a baja presión, o una mezcla de gases para el encendido. Las paredes internas del tubo están cubiertas con una capa de fósforo en polvo. Estas lámparas realzan principalmente los colores azules, violeta, verdes, y opacan del rojo y anaranjado, lo cual puede ser también una desventaja (Chapa Carreón, 2004).
- ✓ LED: es el acrónimo inglés de Light Emitting Diode (diodo emisor de luz). Se trata de un dispositivo semiconductor que emite luz con una longitud de onda monocromática específica muy bien definida cuando se polariza de forma directa pasando, por tanto, una corriente eléctrica entre sus dos extremos. Es un encapsulado que incluye uno o varios cristales semiconductores de silicio junto con una óptica para regular la salida de la luz emitida. En los últimos años con la introducción de nuevos materiales en los procesos de fabricación ha permitido crear LEDs que emiten prácticamente en todo el espectro visible y ofreciendo una eficiencia lumínica que

supera con mucho a la de las lámparas incandescentes³ (Gago y Fraile, 2012) (Tabla 1).

Tabla 1. Porcentajes promedio de conversión de potencia para distintas fuentes tecnológicas de luz blanca (Gago y Fraile, 2012).

	Incandescencia (60W)	Fluorescencia* (CFL)	Halogenuro Metálico**	LED***
Luz Visible	8%	21%	27%	20-40%
Emisión IR	73%	37%	17%	~ 0%
Emisión UV	0%	0%	19%	0%
Energía Radiante Total	81%	58%	63%	20-40%
Calor (Conducción + Convección)	19%	42%	37%	60-80%
Uso Energético Total	100%	100%	100%	100%

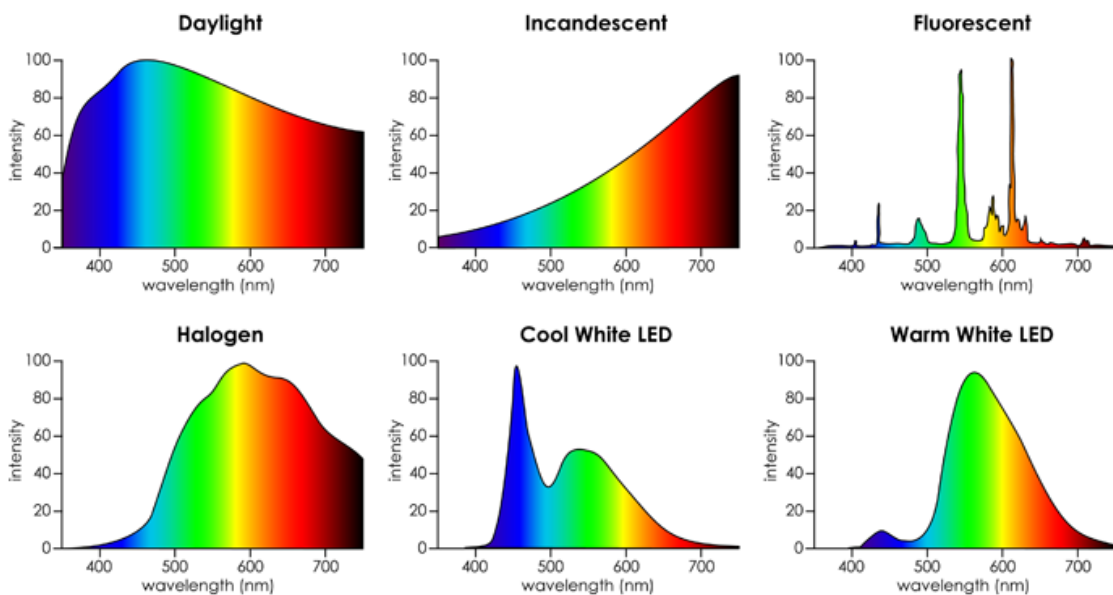


Figura 5. Espectro visible de luz natural y distintas fuentes de luz artificial (Ledrise eCommerce, s.f.).

De manera generalizada, algunos de los efectos luminosos en las vitrinas de exposición sobre la apariencia o la tasa de decoloración de la carne (Kropf, 2006) podrían

³ La luz cálida de este tipo de lámpara resalta todos los colores pero más los rojos anaranjados y amarillos; asimismo su luz es muy parecida a la luz solar y reproduce casi toda la gama del espectro visible (Chapa Carreón, 1990).

resultar en: elevación de la temperatura en la superficie de la carne (la temperatura de la superficie de la carne aumenta proporcionalmente con el aumento de la intensidad de la luz), efectos fotoquímicos (causados por ciertas energías de longitud de onda que excitan una o más moléculas e inician o catalizan reacciones tales como la oxidación que conduce a un cambio en el pigmento de la carne) y la reproducción del color (las fuentes de luz con un "ajuste" más cercano al patrón reflectante para un producto cárnico se acercarán a su verdadera apariencia).

A pesar de que existen algunos estudios sobre los efectos de la luz en carnes que se encuentran expuestas en vitrinas para su comercialización, aún existe cierta controversia al respecto (Sánchez Escalante et al., 2008). Asimismo, sería importante conocer el efecto que puedan tener otros factores como el tipo de alimentación que han tenido los animales durante la cría para comprender si pueden afectar positiva o negativamente los cambios físico-químicos de la carne expuesta en anaquel y su vida útil.

4. Metodología

El siguiente trabajo de investigación se desarrolló en el marco de una colaboración ya existente entre la Università di Pisa (UNIFI, Italia) y el University College Dublin (UCD, Irlanda). La carne que se utilizó para la realización de esta tesis proviene de corderos criados por el UCD, los cuales enviaron las muestras a la Unidad de Investigación de Ciencias Animales del Laboratorio QualiNutraFood de la UNIFI (Pisa, Italia), donde se ejecutó la investigación.

4.1. Muestras

Las muestras de carne provenían de corderos machos no castrados producidos en Irlanda, los cuales eran un cruce de las razas Texel con Scottish Blackface. Los corderos fueron sacrificados con un peso aproximado de 50 kg y una edad de 130 días. Los cuales después del destete, fueron sometidos a dos tipos de dietas: un primer grupo (C) fue alimentado en la fase de acabado (durante 54 días) con concentrados, la ración tenía la siguiente composición: maíz (*Zea mays*, 30%), cebada (*Hordeum vulgare*, 30%), cascarilla (16,5%) y harina de soya (*Glycine max*, 15,5%), melaza (5%) y minerales (3%); el segundo grupo (F) consumió forrajes (pradera polifita) y por lo tanto se mantuvieron al pastoreo por todo el período de engorde.

Una vez sacrificados, se muestreó el músculo semimembranoso, se conservó al vacío y a -20°C, de esta manera fueron enviados al laboratorio QualiNutraFood para ser analizados.

En dicho laboratorio, se realizó una prueba para simular la exposición de la carne en anaquel. Cada músculo se dividió en tres partes, se procesaron separadamente para obtener carne molida y manualmente se confeccionó una torta de carne, la cual se colocó en un recipiente plástico envuelto con plástico adhesivo. Para las muestras testigo se agregó además papel aluminio con el fin de garantizar una completa oscuridad. Seguidamente, se ubicaron en un refrigerador con temperatura aproximada de 4°C y se mantuvieron con condiciones constantes por un período de siete días. Es importante mencionar que tanto la luz fluorescente como la luz LED tenían una potencia de 8 watts.

4.2. Diseño Experimental

Aleatoriamente se seleccionaron tres corderos pertenecientes al grupo C y tres del grupo F. Posteriormente cada músculo (muestra) fue subdividido en tres partes (submuestras), y cada submuestra fue sometida a un tratamiento distinto: oscuridad (control), luz fluorescente y luz LED.

De esta manera cada submuestra fue sometida a los análisis descritos en los siguientes apartados (compuestos orgánicos volátiles, pH, color, sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico y mioglobina) en dos distintos tiempos: un momento cero o T0, donde se evaluaron las condiciones iniciales de la muestra y un tiempo final o T7, después de los siete días de conservación y exposición a los distintos tratamientos.

4.3. Análisis de Laboratorio

4.3.1. Determinación de los compuestos orgánicos volátiles (COV).

Se realizó a través de la técnica de Microextracción en fase sólida (MEFS) o SPME (por sus siglas en inglés). Se colocaron aproximadamente 5 g de carne molida en un vial con estándar interno 2-metil-3-heptanona (Sigma-Aldrich), posteriormente cubierta con una tapa de aluminio con un tabique PTFE (politetrafluoroetileno). Se extrajo con una fibra para SPME Stable Flex de Divinilbenceno/Carboxen/Polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) (50/30 μm ; 2 cm de largo) (Supelco, Bellefonte, PA, EE. UU.) y luego se analizó con un instrumento de Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (SPME-GC/MS, single quadrupole GC/MS TRACE GC/MS, Thermo-Finnigan, Waltham, MA, USA).

En la primera etapa de extracción se acondicionaron las muestras en baño maría a 40°C durante 30 minutos; mientras que en la segunda parte se introdujo la fibra para realizar la absorción (espacio de cabeza) de los analitos, en baño maría a 40°C durante 30 minutos. Finalmente, la fibra se transfirió al sistema de inyección del cromatógrafo; la temperatura del inyector fue de 250°C, mientras que la temperatura inicial del horno fue de 40°C, seguida de un incremento lineal hasta alcanzar los 220°C con un aumento de 3°C cada minuto y los últimos 10 min se mantuvo constante. El analizador cuadrupolar se ajustó a 180°C en la fuente de impacto electrónico a 70 eV; con un rango de adquisición de los espectros de 30-300 m/z.

La adquisición se realizó mediante una señal electrónica utilizando el modo Full Scan (TIC). La identificación de los COV se llevó a cabo en tres maneras diferentes: comparación con los espectros de masas de la biblioteca Wiley (versión 2.0-11/2008), inyección de estándares y determinación del Índice de Kováts utilizando una serie de alcanos C8 – C20.

4.3.2. Determinación del pH.

Se determinó el pH y la temperatura de la muestra mediante un medidor de pH XS Instruments pH8 + DHS.

4.3.3. Determinación de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)

Para la determinación de los TBARS, se procedió a pesar 2 g de carne molida y se depositaron en un tubo cónico para centrifuga de 50 ml. Posteriormente se añadieron 8 mL de solución tampón fosfato pH=7 y se homogeneizaron con un equipo Ultra-turrax por 30 segundos. Luego se agregaron 2 mL de ácido tricloroacético y se homogeneizaron de nuevo por 30 segundos. Se sometió la muestra a una centrifuga a 4200 xg durante 30 minutos, y posteriormente, se procedió a filtrar con un filtro Whatman grado 41.

Del filtrado se tomaron 2 mL que se hicieron reaccionar con 2 mL de una solución acuosa 0.02 M de TBA (ácido tiobarbitúrico) en un tubo de ensayo, el cual fue puesto en un baño maría a 90°C por 20 minutos. Una vez transcurrido tiempo, se tomaron los tubos de ensayo y se agitaron para eliminar el gas presente antes de la lectura de las muestras. Se realizó una centrifuga final a 3500 xg durante 5 min a 2°C con el fin de sedimentar cualquier tipo de partícula en suspensión. La absorbancia de las muestras se leyó en un espectrofotómetro (SpectraMax M2 Multi-mode Microplate Reader, Molecular Devices, Estados Unidos) a 532 nm.

4.3.4. Determinación del color de la carne

La medición del color se realizó en la superficie de las muestras de carne, después de ser descongeladas, se dejaron pasar 45 minutos antes de realizar la lectura. Los valores de enrojecimiento (valores a*) se determinaron usando un colorímetro portátil (Minolta Co. Ltd. Osaka, Japón) evaluando valores de color L*, a*, b*. L* indica la claridad de 0 a 100% (Negro a blanco); a*, es el eje de verde a rojo (valores negativos indican los colores verdes

y los valores positivos indican los colores rojos) y b^* es el eje de azul a amarillo (valores negativos indican los colores azules y los valores positivos indican los colores amarillos). El instrumento se calibró con una placa blanca estándar antes de cada medición. En cada muestra se realizaron cuatro mediciones en distintas posiciones y para el análisis estadístico se utilizó el promedio de todas las mediciones. También se calculó el matiz ($H = \tan^{-1}(b/a)$) y la cromaticidad ($C = (a^2 + b^2)^{1/2}$).

4.3.5. Determinación del contenido de mioglobina: contenido de mioglobina, desoximioglobina (DMb), oximioglobina (OxyMb) y metamioglobina (MetMb)

Se tomó una alícuota de 2 g de la carne molida libre de grasa externa y tejido conectivo, se homogeneizaron con 20 ml de tampón fosfato frío 0,04 M (pH 6,8) durante 20s con un homogeneizador POLYTRON® a 12000 rpm (Ultra Turrax T25, IKA). El homogeneizado se centrifugó a una velocidad de 10000 xg a 4°C durante 30 minutos. El sobrenadante se filtró con un papel de filtro (tamaño de poro de 50 μ m, análisis cualitativo, Barcelona, España). Después de la primera filtración, se añadió tampón fosfato hasta completar 25 mL y la solución fue filtrada nuevamente a través de una jeringa con filtro de 0.22 μ m. La absorbancia del sobrenadante filtrado se leyó a 525, 545, 565 y 572 nm en un espectrofotómetro (SpectraMax M2 Multi-mode Microplate Reader, Molecular Devices, Estados Unidos). El porcentaje de contenido de DMb, OxyMb y MetMb se determinó usando la fórmula de Krzywicki (1982):

$$\text{DMB (\%)} = (0,369R_1 + 1,140R_2 - 0,941R_3 + 0,015) \times 100$$

$$\text{OxyMb (\%)} = (0,882R_1 + 1,267R_2 + 0,809R_3 - 0,361) \times 100$$

$$\text{MetMb (\%)} = (-2,541R_1 + 0,777R_2 + 0,800R_3 + 1,098) \times 100$$

Donde,

R_1 , R_2 , R_3 relaciona la absorbancia de $A_{572\text{nm}}/A_{525\text{nm}}$, $A_{565\text{nm}}/A_{525\text{nm}}$ y $A_{545\text{nm}}/A_{525\text{nm}}$, respectivamente.

4.4. Análisis estadístico

La información fue analizada estadísticamente usando los siguientes modelos mixtos, con el software JMP 11.0 (SAS, 2014).

- ✓ Para el tiempo T0: $Y_{jkl} = \mu + S_j + A_l(S_j) + e_{jkl}$,
- ✓ Para el tiempo T7: $Y_{ijkl} = \mu + L_i + S_j + LS_{ij} + A_l(S_j) + e_{ijkl}$,

donde,

Y_{ijkl} = color (L^* , a^* , b^*), pH, compuestos orgánicos volátiles, TBARS, contenido de mioglobina, (DMb, OxyMb y MetMb) de la k-ésima muestra analizada;

μ = media general de todas las observaciones;

L_i = Efecto fijo de la i-ésima fuente de luz (fluorescente, LED y control),

S_j = Efecto fijo del j-ésimo del sistema de alimentación (concentrado y forrajes);

A_l = Efecto aleatorio del l-ésimo animal (6 niveles).

e_{ijkl} = Error experimental.

Las diferencias fueron consideradas significativas con un P-valor menor a 0,05. Además, se realizó la prueba de Tukey para evaluar la diferencia entre las distintas fuentes de luz utilizada y la interacción de los factores.

4. Resultados

Con el fin de determinar el estado inicial (T0) de las tortas de carne molida de cordero, se realizaron los análisis del color, MDA, la mioglobina y sus distintos pigmentos presentes en la carne, así como el pH. Como es posible observar, ninguno de los parámetros estudiados tiene una diferencia estadísticamente significativa a nivel de sistema de alimentación (uso de concentrado o forrajes).

Tabla 2. Color, MDA, contenido de mioglobina y pH determinado en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación al tiempo T0.

	Sist. Alimentación		ES	P-valor
	Concentrado	Forraje		
Color				
L*	45,19	42,27	1,28	0,14
a*	14,80	15,09	1,62	0,90
b*	17,91	16,83	0,96	0,44
H	51,16	49,20	2,03	0,51
C	23,37	22,73	1,69	0,79
TBARS				
MDA (mg/g carne)	0,71	0,67	0,14	0,86
Mioglobina				
Desoximioglobina(%)	30,50	28,08	1,30	0,22
Oximioglobina (%)	31,53	31,99	3,41	0,93
Metamioglobina (%)	23,59	26,70	2,23	0,35
Mioglobina total (mg/g carne)	7,03	7,37	0,76	0,76
pH				
pH	5,85	5,66	0,10	0,22

Notas: L*: luminosidad; a*: eje verde-rojo; b*: eje azul-amarillo; H: matiz; C: cromaticidad; MDA: malondialdehído; ES: error estándar; S: sistema de alimentación.

Una vez que fueron sometidas a los siete días de conservación (T7) bajo las tres distintas modalidades de fuente de luz consideradas (oscuridad, fluorescente y LED) y teniendo en cuenta el sistema de alimentación al que pertenecía cada muestra, se procedió a realizar de la misma forma los análisis realizados para el tiempo T0 (Tabla 3).

En este caso tampoco el sistema de alimentación puede ser considerado como un factor que afecta los cambios físico-químicos de la carne. En cambio, si se observan los datos obtenidos con la fuente de luz en sus tres distintos tipos de tratamientos (oscuridad, fluorescente y LED) se notan diferencias estadísticamente significativas.

Para la evaluación general del color, los parámetros que presentaron diferencias significativas fueron: la luminosidad (L^* , $p < 0,001$), el eje verde-rojo (a^* , $p < 0,001$), el eje azul-amarillo (b^* , $p < 0,05$) y la cromaticidad (C , $p < 0,001$) donde claramente se observan que todos presentaron una misma tendencia, es decir las muestras que fueron utilizadas como tratamiento control, es decir el tratamiento oscuridad junto con aquellas sometidas a la luz LED no presentan diferencias significativas entre ellas y presentan valores más altos comparados con el tratamiento con la luz fluorescente, con el cual sí son estadísticamente diferentes. Solo el matiz no presentó diferencias significativas.

En el caso del análisis efectuado para determinar el contenido de malondialdehído, el cual es un parámetro que se utiliza para evaluar el nivel de oxidación de los ácidos grasos polinsaturados presentes al interno de la matriz, también se dieron diferencias significativas estadísticamente. Al contrario de lo descrito anteriormente para el color, en este caso las muestras con luz fluorescente presentaron un promedio de casi el doble del contenido de MDA comparado con las muestras que pertenecían a los tratamientos oscuridad y LED ($p < 0,05$). Estas últimas no son estadísticamente diferentes entre ellas.

La determinación de la mioglobina no dio diferencias significativas a nivel del porcentaje con el cual sus distintas formas (desoximioglobina, oximioglobina y metamioglobina) están presentes en la carne. Mientras que el contenido total de mioglobina en la carne si presentó un valor menor (4.51 mg/g carne) diferente estadísticamente de las muestras conservadas en oscuridad y con luz LED (5.75 y 5.49 mg/g carne respectivamente, $p < 0,05$); estas últimas no son diferentes entre ellas, siguiendo el mismo patrón descrito para las demás variables. Por último, el valor de pH no demostró ser distinto entre los tratamientos efectuados.

De la misma manera fueron analizados los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) (Tabla 4), los resultados muestran que para el T0, las clases de compuestos identificados no presentan diferencias significativas estadísticamente con la excepción de la clase de los Aldehídos, donde se observa claramente que el grupo que fue alimentado con concentrado presenta 12 veces más cantidad de esta clase con respecto al grupo con forrajes ($p < 0,05$). Esta misma categoría de compuestos influye de manera directa en la cantidad total de COV determinada con el análisis, y por lo tanto presentan diferencias significativas entre los dos grupos, en el cual el total de ppm de COV en el grupo C es más del triple del grupo F ($p < 0,05$).

Tabla 3. Color, MDA, contenido de mioglobina y pH determinado en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación y fuentes de luz al tiempo T7.

	Sist. Alimentación		Fuente de luz			ES	P-valor		
	Concentrado	Forraje	Oscuridad	Fluorescente	LED		S	L	SxL
Color									
L*	32,70	32,11	34,80 ^A	28,33 ^B	34,10 ^A	1,28	0,75	0,00	0,07
a*	7,88	7,15	9,68 ^A	4,85 ^B	8,01 ^A	0,64	0,44	0,00	0,81
b*	10,49	9,97	12,42 ^a	7,14 ^b	11,13 ^a	0,87	0,69	0,01	0,58
H	53,76	53,33	52,45	54,06	54,13	2,47	0,91	0,77	0,16
C	13,19	12,35	15,80 ^A	8,74 ^B	13,76 ^A	0,98	0,56	0,00	0,75
TBARS									
MDA (mg/g carne)	4,83	3,75	3,43 ^b	6,53 ^a	2,92 ^b	0,61	0,25	0,02	0,07
Mioglobina									
Desoximioglobina (%)	28,67	25,54	26,01	27,08	28,23	1,70	0,23	0,75	0,96
Oximioglobina (%)	19,85	18,98	20,57	20,52	17,15	4,57	0,90	0,87	0,88
Metamioglobina (%)	39,59	45,33	42,31	42,17	42,89	3,43	0,27	0,99	0,87
Mioglobina total (mg/g carne)	5,14	5,35	5,75 ^a	4,51 ^b	5,49 ^a	0,40	0,72	0,01	0,86
pH									
pH	5,94	5,67	5,80	5,94	5,67	0,12	0,16	0,17	0,65

Notas: L*: luminosidad; a*: eje verde-rojo; b*: eje azul-amarillo; H: matiz; C: cromaticidad; MDA: malondialdehído; ES: error estándar; S: sistema de alimentación; L: Fuente de Luz. a, b: Medias con letra distinta son significativamente diferentes con un P<0.05. A, B: Medias con letra distinta son significativamente diferentes con un P<0.01

Tabla 4. Clases de Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) determinados en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación al tiempo T0.

	Sist. Alimentación		ES	P-valor
	Concentrado	Forraje		
Ácidos carboxílicos	1,982	1,326	0,628	0,503
Alcanos	0,542	0,594	0,139	0,813
Alcoholes	3,216	1,159	0,711	0,106
Aldehídos	21,826	1,774	1,248	0,004
Cetonas	0,873	1,753	0,462	0,223
Compuestos de azufre	0,378	0,394	0,164	0,948
Ésteres	0,870	0,167	0,454	0,314
Furanos	0,699	0,500	0,295	0,659
Hidrocarburos				
Aromáticos	0,380	0,622	0,221	0,476
Total	34,852	9,312	1,990	0,008

Notas: ES: error estándar; S: sistema de alimentación.

En la tabla 5, se reportan los datos detallados de los COV encontrados en el tiempo T0 para las clases mencionadas en la tabla 4. Como se mencionó anteriormente la clase de los aldehídos es la que presentó diferencias entre grupos, lo cual es el reflejo del contenido de dos compuestos que forman parte de esta categoría como lo son el hexanal y el heptanal que están presentes en mayor cantidad en el grupo C ($p < 0,05$).

Asimismo, el 1-pentanol y el 1-octen-3-ol, dos tipos de alcoholes, presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con la misma tendencia ya descrita para los anteriores compuestos, cabe mencionar que esto no se vio a nivel de clase de compuestos químicos.

El 2-pentil-furano, perteneciente a la clase de furanos, es otro compuesto que resultó ser significativamente distinto ($p < 0,05$), siendo mayor la cantidad determinada para el grupo C, sin embargo este es un compuesto de poca importancia para efectos de este trabajo.

Tabla 5. Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) determinados en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación al tiempo T0.

	Sist, Alimentación		ES	P-valor
	Concentrado	Forraje		
<i>Ácidos carboxílicos</i>				
Ácido acético	0,164	0,033	0,094	0,365
Ácido butanoico	0,301	0,407	0,192	0,715
Ácido nonanoico	0,481	0,430	0,206	0,869
Ácido octanoico	0,210	0,087	0,119	0,498
Ácido pentanoico	0,052	0,117	0,078	0,578
Ácido n-hexanoico	0,687	0,230	0,206	0,187
<i>Alcanos</i>				
Heptano	0,018	0,087	0,030	0,138
Octano	0,501	0,519	0,138	0,933
<i>Alcoholes</i>				
1-hexanol	0,053	0,110	0,054	0,491
1-nonanol	0,000	0,028	0,011	0,122
1-octen-3-ol	2,624	0,368	0,163	0,006
1-pentanol	0,529	0,071	0,055	0,040
Heptan-1-ol	0,645	0,462	0,311	0,695
<i>Aldehídos</i>				
(Z)-non-2-enal	0,166	0,149	0,094	0,903
Heptanal	3,127	0,248	0,237	0,018
Hexanal	7,510	0,125	0,087	0,027
Nonanal	5,926	0,784	0,807	0,099
Octanal	0,727	0,334	0,300	0,398
Pentanal	0,062	0,000	0,028	0,166
<i>Cetonas</i>				
2,3-pentanodiona	0,057	0,000	0,034	0,278
Acetoína	0,500	1,402	0,339	0,099
Propanona	0,313	0,350	0,178	0,890
<i>Compuestos de azufre</i>				
Disulfuro de carbono	0,378	0,394	0,164	0,948
<i>Ésteres</i>				
Acetato de etilo	0,020	0,045	0,016	0,310
Ácido n-caproico vinil ester	0,862	0,124	0,450	0,290
<i>Furanos</i>				
2-etilfurano	0,035	0,018	0,024	0,631
2-pentil-furano	0,198	0,000	0,006	0,000
γ -butirolactona	0,514	0,477	0,274	0,929
<i>Hidrocarburos Aromáticos</i>				
Etilbenceno	0,380	0,622	0,221	0,476

Notas: ES: error estándar; S: sistema de alimentación,

De igual manera se determinaron los COV para el tiempo T7. En la tabla 6, se puede observar que a nivel de sistema de alimentación, no hubo ningún tipo de diferencia estadística. Únicamente, importante señalar que en el caso del grupo C, se reconoció una menor cantidad de compuestos volátiles, alrededor del 47% excepto en el T7.

Mientras tanto, la fuente de luz tuvo un efecto en las siguientes clases de compuestos: alcanos ($p < 0,05$), aldehídos ($p < 0,05$), cetonas ($p < 0,05$), compuestos de azufre ($p < 0,05$), hidrocarburos aromáticos ($p < 0,05$) y terpenos ($p < 0,05$). Específicamente en los alcanos, hidrocarburos aromáticos y compuestos del azufre se presenta una tendencia similar a la observada para en los análisis del color, TBARS y mioglobina total del T7; es decir, las muestras de carne sometidas a la luz fluorescente presentan mayores cantidades de COV y son significativamente diferentes de aquellas tratadas con oscuridad y LED, estas dos últimas estadísticamente iguales.

Sucede lo opuesto en el caso de los compuestos de azufre, el único compuesto perteneciente a esta clase es el Disulfuro de carbono (tabla 7), donde la carne con el LED presenta aproximadamente el triple de ppm comparado con el fluorescente y la oscuridad que no se diferencian entre ellos. En el caso de las cetonas, se da una situación distinta, se diferencia claramente el tratamiento con la luz fluorescente de las muestras que se mantuvieron sin luz, pero ninguno de los dos es estadísticamente distinto del tratamiento con LED. La mayor cantidad de cetonas se encontraron en el tratamiento con LED.

De igual manera, se determinaron los compuestos más relevantes para cada clase identificada para el tiempo T7 (ver tabla 7). El octano (alcano, $p < 0,05$) y el etilbenceno (hidrocarburo aromático, $p < 0,05$) se encontraron en mayor cantidad en el tratamiento con fluorescente, el cual es significativamente distinto de los tratamientos LED y oscuridad.

En el caso del heptano, la mayor cantidad está presente en las muestras con luz fluorescente, que se diferencian significativamente de las muestras utilizadas como testigo ($p < 0,05$), aquellas tratadas con luz LED muestran valores intermedios que estadísticamente no las diferencia de los otros tratamientos.

Los tratamientos LED y fluorescente presentan diferencias significativas en las cantidades determinadas para los siguientes compuestos: propanona (cetonas, $p < 0,05$), (Z)-non-2-enal (aldehído, $p < 0,001$), octanal (aldehído, $p < 0,05$) y 1-nonanol (alcohol, $p < 0,05$). Las muestras testigo no se diferencian de ninguno de los dos. Por último, la acetoína (cetona, $p < 0,05$), está presente en una proporción del doble para el fluorescente y del triple para el LED con respecto a la cantidad encontrada en el grupo oscuridad.

Tabla 6. Clases de Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación y fuentes de luz al tiempo T7.

	Sist, Alimentación		Fuente de luz			ES	P-valor		
	Concentrado	Forraje	Oscuridad	Fluorescente	LED		S	L	SxL
Ácidos carboxílicos	1,686	0,867	0,745	1,908	1,177	0,337	0,142	0,317	0,130
Alcanos	1,544	0,775	0,225 ^b	2,528 ^a	0,727 ^b	0,302	0,123	0,011	0,038
Alcoholes	1,876	1,996	1,416	1,540	2,852	0,580	0,891	0,357	0,412
Aldehídos	9,801	3,702	6,346 ^b	9,719 ^a	4,189 ^b	0,885	0,105	0,047	0,244
Cetonas	1,196	0,991	0,446 ^B	1,388 ^A	1,446 ^{AB}	0,270	0,610	0,004	0,002
Compuestos de azufre	0,166	0,206	0,124 ^b	0,102 ^b	0,332 ^a	0,028	0,405	0,015	0,356
Ésteres	1,175	0,309	0,969	0,858	0,399	0,352	0,141	0,626	0,496
Furanos	0,724	0,404	0,339	0,714	0,639	0,097	0,074	0,365	0,127
Hidrocarburos									
Aromáticos	0,390	0,240	0,181 ^B	0,557 ^A	0,206 ^B	0,058	0,114	0,001	0,003
Total	18,601	9,605	10,870	19,382	12,058	3,202	0,111	0,354	0,126

Notas: ES: error estándar; S: sistema de alimentación; L: Fuente de Luz, a, b: Medias con letra distinta son significativamente diferentes con un P<0,05, A, B: Medias con letra distinta son significativamente diferentes con un P<0,01

Tabla 7. Compuestos Orgánicos Volátiles (en ppm) en la carne de cordero para los dos tipos de sistemas de alimentación y fuentes de luz al tiempo T7.

	Sist, Alimentación		Fuente de luz			ES	P-valor		
	Concentrado	Forraje	Oscuridad	Fluorescente	LED		S	L	SxL
<i>Ácidos carboxílicos</i>									
Ácido acético	0,592	0,030	0,098	0,802	0,033	0,199	0,093	0,194	0,268
Ácido butanoico	0,162	0,260	0,180	0,238	0,215	0,062	0,306	0,622	0,346
Ácido nonanoico	0,291	0,243	0,130	0,265	0,405	0,039	0,411	0,065	0,112
Ácido octanoico	0,099	0,079	0,050	0,138	0,079	0,021	0,510	0,566	0,591
Ácido pentanoico	0,276	0,022	0,113	0,334	0,000	0,109	0,140	0,091	0,215
Ácido n-hexanoico	0,214	0,233	0,174	0,052	0,445	0,096	0,896	0,069	0,864
<i>Alcanos</i>									
Heptano	0,437	0,197	0,039 ^b	0,699 ^a	0,211 ^{ab}	0,106	0,165	0,031	0,041
Octano	1,108	0,579	0,186 ^B	1,829 ^A	0,515 ^B	0,202	0,114	0,008	0,041
<i>Alcoholes</i>									
1-hexanol	0,009	0,018	0,000	0,027	0,013	0,015	0,680	0,632	0,392
1-nonanol	0,050	0,010	0,014 ^{ab}	0,074 ^a	0,00 ^b	0,013	0,077	0,043	0,019
1-octen-3-ol	1,297	0,860	0,911	0,704	1,622	0,211	0,179	0,228	0,438
1-Pentanol	0,490	0,298	0,231	0,525	0,426	0,127	0,352	0,481	0,386
Heptan-1-ol	0,478	0,810	0,260	0,881	0,791	0,198	0,295	0,263	0,882
<i>Aldehídos</i>									
(Z)-non-2-enal	0,068	0,044	0,057 ^B	0,112 ^A	0,000 ^C	0,008	0,086	0,000	0,059
Heptanal	3,011	1,061	1,150	3,575	1,384	0,851	0,159	0,280	0,094
Hexanal	3,199	0,505	2,833	1,840	0,882	0,455	0,003	0,330	0,146
Nonanal	3,413	1,065	1,931	3,141	1,645	0,707	0,059	0,575	0,137
Octanal	0,884	0,997	0,331 ^{ab}	2,258 ^a	0,232 ^b	0,373	0,845	0,049	0,965
Pentanal	0,048	0,030	0,045	0,027	0,046	0,038	0,760	0,796	0,350

Continúa en la próxima página

Continuación de la tabla 7

	Sist, Alimentación		Fuente de luz			ES	P-valor		
	Concentrado	Forraje	Oscuridad	Fluorescente	LED		S	L	SxL
<i>Cetonas</i>									
2,3-pentanodiona	0,075	0,027	0,009	0,143	0,000	0,033	0,363	0,089	0,337
Acetoína	1,045	0,849	0,345 ^B	1,050 ^A	1,446 ^A	0,262	0,626	0,003	0,001
Propanona	0,072	0,115	0,091 ^{ab}	0,190 ^a	0,000 ^b	0,035	0,427	0,035	0,830
<i>Compuestos de azufre</i>									
Disulfuro de carbono	0,166	0,206	0,124 ^b	0,102 ^b	0,332 ^a	0,028	0,405	0,015	0,356
<i>Ésteres</i>									
Acetato de etilo	0,104	0,124	0,084	0,161	0,098	0,040	0,738	0,157	0,329
Ácido n-caproico vinil ester	1,103	0,184	0,886	0,745	0,301	0,335	0,115	0,604	0,575
<i>Furanos</i>									
2-etilfurano	0,136	0,046	0,050	0,168	0,055	0,030	0,095	0,136	0,090
2-pentil-furano	0,335	0,100	0,078	0,378	0,195	0,044	0,015	0,072	0,046
γ-butirolactona	0,256	0,258	0,211	0,171	0,389	0,037	0,961	0,081	0,400
<i>Hidrocarburos Aromáticos</i>									
Etilbenceno	0,390	0,240	0,181 ^B	0,557 ^A	0,206 ^B	0,058	0,114	0,001	0,003

Notas: ES: error estándar; S: sistema de alimentación; L: Fuente de Luz, a, b: Medias con letra distinta son significativamente diferentes con un P<0,05, A, B, C: Medias con letra distinta son significativamente diferentes con un P<0,01

5. Discusión

De los resultados presentados anteriormente, se puede observar que el experimento se inicia con muestras que desde el punto de vista de los parámetros que se escogieron para analizar como color, contenido de mioglobina, contenido de MDA y el pH de la carne tienden a ser muy homogéneos, en este caso la única fuente de variación importante era el sistema de alimentación al que habían sido sometidos los animales, y esto no se refleja en los datos.

En cambio, después de los siete días en que se mantuvieron en conservación, se hacen evidentes cambios a nivel físico-químico, los cuales son el resultado de las distintas fuentes de luz a las que fueron sometidos. En el caso del color, se observa claramente que las muestras tratadas con la luz fluorescente son diferentes de aquellas con luz LED y del tratamiento control. Básicamente, en términos descriptivos la carne con fluorescente presenta los índices del rojo y del amarillo y la luminosidad (a^* , b^* , L^*) más bajos, por ende cambia también la saturación del color, es decir, la carne presentaba una coloración más oscura, menos brillante y un color menos saturado que implica que sea más descolorida y/o grisácea, comparado con el control y luz LED. Mientras tanto, el valor de H no cambió, lo que indica que la carne presentaba una misma tonalidad de color.

Algunos estudios mencionan el problema de la pérdida de color, Faustman y Cassens (1990) mencionan que no existe un único factor que sea el responsable de estos cambios y que se debe más bien a una combinación de factores que pueden influir en este proceso. Moore (1988) en un estudio acerca del efecto de la luz en chuletas de cordero expuestas a luz blanca fría en conservación, reporta que con respecto al control, la carne presentó pérdida de brillo (medida importante de la cantidad de gris en la carne) y de saturación del color.

De igual manera se analizó espectrofotométricamente el contenido total de mioglobina y la concentración en que están presentes sus distintas formas químicas, las cuales en conjunto determinan la coloración total que tendrá la carne. Si se observa, inicialmente (T_0) tanto en las muestras con alimentación con concentrado como con forrajes, la desoximioglobina y la oximioglobina representan juntas un 60% aproximadamente del total de la mioglobina, otorgando un color entre rojo púrpura y rojo brillante respectivamente.

Dicha situación cambia en el momento T_7 (Tabla 3), pues gran parte de la oximioglobina se oxida en metamioglobina, la cual al acumularse da el característico color rojo-marrón en la carne, y además deja de ser fisiológicamente activa (Faustman y Cassens,

1990). La acumulación de este pigmento se dio de manera similar en todas las muestras, sin embargo si se relaciona con los resultados obtenidos en el análisis del color, el tratamiento que más reflejó este daño sensorial fue el de la luz fluorescente. Resultados similares obtuvo Kannan, Kouakou, y Gelaye (2001) en su estudio donde indica que el enrojecimiento y la saturación del color disminuyeron con el aumento de la acumulación del pigmento metamioglobina en la carne, dato que coincide con lo mencionado anteriormente de la pérdida de color en la carne de las muestras con fluorescente.

Es importante mencionar, que en el caso del tiempo T7 se observa un contenido total de mioglobina en el tratamiento fluorescente menor al de los otros dos tratamientos. A pesar de que las distintas formas se pueden interconvertir entre ellas dependiendo de las condiciones en las que se conserva el producto, en este caso pareciera que hubo una pérdida o una desnaturalización de la hemoproteína. Escasos estudios se encuentran que mencionen este proceso, con excepción de Luciano et al., (2009) donde menciona que disminuyó la concentración de mioglobina durante el tiempo de conservación, lo cual se debió probablemente a una pérdida de integridad del grupo hemo debido a las fuertes condiciones de oxidación presentes. Por lo tanto, si se desnaturaliza la proteína, al ser un análisis espectrofotométrico, no se puede determinar más.

De esta manera, es de gran importancia también determinar la estabilidad oxidativa de la carne, por lo cual se realizó la determinación del MDA, que es uno de los aldehídos más importantes que se producen durante el proceso de oxidación de los ácidos grasos, es un producto de origen secundario y es capaz de dar un olor a rancio incluso a bajas concentraciones. El MDA es uno de los indicadores más utilizados en la oxidación lipídica, los límites aceptados se encuentran entre los 2-2.5 mg MDA/kg de carne (Domínguez et al., 2019).

Lo anterior indica, que en las muestras analizadas existía un nivel avanzado de oxidación (Tabla 3). Aun así, considerándose todas sobre el límite establecido, sobresale entre los tratamientos la luz fluorescente que presenta aproximadamente el doble de la cantidad con respecto al control y al LED, pareciera por lo tanto que el espectro de luz puede acelerar el proceso de oxidación, y por lo tanto la carne se deterioraría más rápido.

A pesar de que probablemente las condiciones de exposición de la carne (luz y temperatura) y el tiempo de exposición pudieran resultar un poco extremos y que son variables que inciden enormemente en la estabilidad oxidativa de los productos cárnicos en anaquel, siempre es importante tomar en cuenta el corte (su composición lipídica) y la forma de preparación del producto.

La carne que fue utilizada fue molida antes de ser expuesta a los distintos tratamientos, por lo tanto se dio un primer factor desencadenante de la oxidación. En Gray, Gomaa, y Buckley (1996) se menciona que el moler representa un estrés de deterioro significativo para la carne, al interrumpir la compartimentación celular y dar como resultado la liberación y difusión de prooxidantes. Por ende, era de esperar que bajo las condiciones planteadas se diera un deterioro del producto, el cual fue todavía más acelerado en el tratamiento con luz fluorescente.

Pareciera ser que todos estos parámetros de alguna u otra manera se interrelacionan. Es decir, a mayor exposición a condiciones de oxidación del producto, al interno se inician ciertos cambios químicos, como la oxidación de la mioglobina a metamioglobina y la consecuente oxidación de ácidos grasos que se observa en el incremento de MDA, todo lo anterior determina cambios físicos que se perciben de manera sensorial como es el color y el olor. Por ejemplo, Hutchins et al. (1967) citado por Faustman y Cassens (1990) obtiene una correlación positiva entre la acumulación de la metamioglobina y la producción de malondialdehído en carne molida de res.

Zareian et al. (2019) menciona que durante la conservación, se puede reducir la calidad sensorial, nutricional y tecnológica y la vida en anaquel, por la formación de radicales libres que promueven la oxidación de la mioglobina, la cual acelera la pérdida de color y la formación de olores rancios y sabores desagradables. Además, la oxidación de los lípidos en la carne se rige por el contenido y las formas de mioglobina, así como por el hierro no hemo, metal que desencadena la fotooxidación.

De igual manera, en un estudio in vitro con muestras del músculo bovino *Longissimus*, Chen, Yu, Han, Zhang, y Guo (2018) observan que la mayor causa de pérdida de color durante la fase de maduración postmortem y de la conservación después del sacrificio, es la oxidación de los lípidos.

Ahora bien, es importante entender que la oxidación de los lípidos es un proceso muy complejo, que no lleva a la formación de un único compuesto sino de muchos, los cuales se dividen generalmente en primarios y secundarios. El MDA es un compuesto secundario, y su análisis se realiza mediante un método de medición colorimétrico, sin embargo no es la forma más precisa de conocer el estado de oxidación de un producto, aunque sí una de las más simples y fáciles de realizar. Domínguez et al. (2019) explica que el método que utiliza el TBA no es específico solo para el MDA sino que también existen otros aldehídos y productos de la oxidación que pueden reaccionar con este ácido y por lo mismo el método

se llama Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), con el fin de contemplar todas las sustancias.

Además, el MDA, es un compuesto que deriva de la oxidación de los ácidos polinsaturados, por lo tanto, da limitada información acerca de la oxidación de todas las grasas al interno de la matriz de estudio. Es por esto, que se realizó el análisis de los Compuestos Orgánicos Volátiles, los cuales pueden dar una visión más general de la estabilidad oxidativa de la muestra de carne.

Como se puede observar en la primera parte de los análisis (Tablas 2 y 3), a nivel de sistema de alimentación no se da ningún tipo de diferencia significativa estadísticamente entre los dos sistemas a los que fueron sometidos los corderos. Por ende, surge la duda si el sistema de alimentación de verdad no tiene ningún efecto posterior en ayudar a la conservación de la carne. Luciano et al. (2009) en su estudio confirma que comparado a una dieta basada en concentrados, la dieta con forrajes efectivamente incrementa la estabilidad de la carne ante la oxidación lipídica incluso bajo altas condiciones prooxidativas como moler, cocinar y empacar con alta concentración de oxígeno. Los análisis de color, mioglobina, TBARS y pH no aportan esta información.

Sin embargo, los COV dan resultados ligeramente diferentes (Tablas 4 y 5). La categoría más utilizada para evaluar el estado de oxidación de una muestra de carne es la de los aldehídos, ya que como menciona Domínguez et al. (2019) y Faustman y Cassens (1990) son una de las categorías más abundantes. Esto es posible verlo ya desde el tiempo T0 donde como categoría presenta diferencias a nivel de sistema de alimentación, resultando la dieta basada en concentrados más abundante de estos compuestos. De manera similar se manifiesta en el T7, aunque en este caso la alimentación no es significativa, aun así el grupo C tiene valores más altos. Es necesario recordar que son compuestos volátiles, por lo que es posible hipotetizar, que muchos de los compuestos oxidados se hayan también volatilizado y dada la tipología de análisis no es posible evaluar completamente cuántos aldehídos se generaron en realidad.

A nivel de fuente de luz aplicada, en este caso en el tiempo T7 es posible observar que la mayor parte de aldehídos se generó en el tratamiento con luz fluorescente, confirmando, junto con los análisis anteriores, que este tratamiento acelera el proceso de deterioro en la carne.

Se identificaron también otros productos típicos de la oxidación de los ácidos grasos, a continuación se mencionan para los principales ácidos grasos, las distintas categorías de compuestos químicos⁴:

- 1) Ácido oleico (C18:1)
 - a) Ácidos carboxílicos: n-hexanoico y octanoico.
 - b) Alcanos: heptano y octano.
 - c) Alcoholes: 1-pentanol, 1-hexanol, heptan-1-ol y 1-nonanol.
 - d) Aldehídos: hexanal, heptanal, octanal, nonanal.
- 2) Ácido linoleico (C18:2n6)
 - a) Ácidos carboxílicos: octanoico.
 - b) Alcoholes: 1-pentanol.
 - c) Aldehídos: pentanal y hexanal.
- 3) Ácido α -linolénico (C18:3n3)
 - a) Ácidos carboxílicos: octanoico.

A pesar de que son compuestos que no se tienden a utilizar como indicadores de la oxidación, se encontraron en mayores cantidades (estadísticamente significativas) en el tratamiento con fluorescente, los siguientes: heptano, octano, 1-nonanol y octanal.

Regresando a la relación de la oxidación de los lípidos con la mioglobina, Luciano et al. (2009) sugiere que podrían existir dos posibles rutas de oxidación: la primera, en donde existe un rol directo por parte de los productos secundarios de la oxidación lipídica, como los aldehídos, en favorecer la oxidación de la mioglobina; la segunda, en la cual el agotamiento de oxígeno debido a la oxidación de lípidos podría ser el responsable de la oxidación de mioglobina.

De igual manera, Chen et al. (2018) menciona que el efecto de los aldehídos en el color de la carne podría atribuirse a las interacciones entre estos y la mioglobina o la mitocondria. Más específicamente, acelerarían la oxidación de la oximioglobina, resultando en una acumulación de metamioglobina, y la interacción directa de los aldehídos y la mioglobina podría ser responsable de la inestabilidad de la mioglobina inducida por la oxidación lipídica.

⁴ Referencia Schaich (2013) citado por (Domínguez et al., 2019).

Por último, siempre es necesario tener en cuenta, lo importante que resulta un estudio acerca del deterioro en los productos cárnicos, más allá de un cambio físico o químico, el impacto que este tiene en la salud de los consumidores, pues muchas veces se consumen compuestos dañinos que no tienen un efecto inmediato y visible. Domínguez et al. (2019) señala como evidente que los productos de la oxidación están involucrados en el desarrollo o promoción de innumerables enfermedades. Así como en Sottero et al. (2019), donde han encontrado que los aldehídos y oxisteroles, derivados de la oxidación de lípidos tendrían efectos proinflamatorios, citotóxicos y mutagénicos.

6. Conclusiones

- ✓ La carne de cordero es considerada una de las mejores carnes para consumir desde el punto de vista nutricional, debido a su alto contenido de ácidos grasos omega 3, los cuales aportan gran beneficio a la salud del ser humano. Sin embargo, esta característica la hace ser una carne más susceptible al deterioro.
- ✓ El tiempo de conservación es un factor sumamente evidente para la pérdida de calidad nutricional y sensorial. Y por lo tanto, es ideal que la carne expuesta en anaquel dure el menor tiempo posible.
- ✓ La pérdida de calidad de la carne es un proceso muy complejo, el cual no está determinado únicamente por un solo factor, sino que todos actúan de forma sincronizada, donde algunos tienden a prevalecer. En este estudio se consideró analizar únicamente parámetros físico-bioquímicos, sin contemplar uno de los grandes problemas del deterioro de los alimentos, el microbiológico, el cual es uno de los primeros agentes que afectan la inocuidad de los alimentos.
- ✓ De los resultados obtenidos, se podría decir que existe una gran correlación entre pérdida de color y el desarrollo de colores, olores y sabores desagradables al consumidor, con el cambio de porcentaje de las distintas formas químicas de la mioglobina y la oxidación de los lípidos.
- ✓ La fuente de luz utilizada influye de manera considerable en lo anterior, pues la luz fluorescente, la cual es generalmente utilizada en los sistemas en anaquel donde se expone la carne, generó una mayor oxidación de las muestras de carne sometidas a la prueba, así como una afectación directa en el color de estas. No siendo así para la luz LED, que se mantuvo muy similar al tratamiento control.
- ✓ El análisis de los Compuestos Orgánicos Volátiles, permitió comprender que también existe un efecto de protección en la estabilidad oxidativa de la carne por parte del sistema de alimentación. Siendo los aldehídos la clase química que se demuestra tener una gran aplicación como parámetros de estudio de la oxidación lipídica.
- ✓ Finalmente, la importancia de realizar distintos análisis con el fin de tener una mejor “fotografía” de la muestra que se analiza en un determinado momento. Ya que se trabaja con diferentes parámetros, algunos más simples o eficientes que otros, los cuales nos pueden ayudar a comprender de mejor manera el estado de la calidad de un producto alimenticio tan complejo como lo es la carne.

7. Recomendaciones

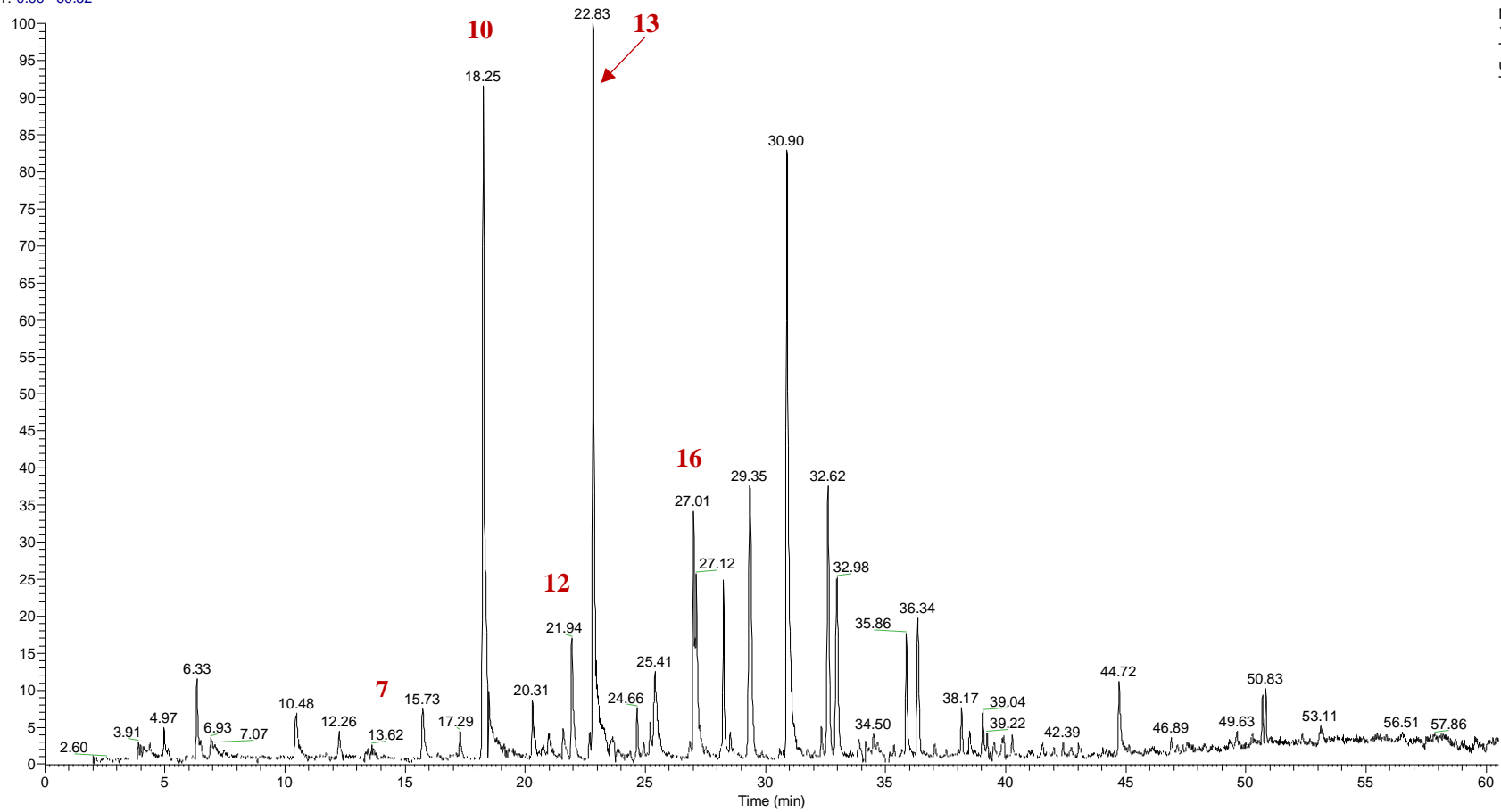
- ✓ Dada la ya mencionada complejidad de los procesos físicos y bioquímicos que se manifiestan, es necesaria la realización de más estudios en esta área de la investigación de las tecnologías de alimentos.
- ✓ De igual manera, la importancia de realizar un estudio similar de cómo afecta la fuente de luz en anaquel a otras tipologías de carnes, como la bovina, avícola y porcina, que son las que mayormente se consumen en Costa Rica. Al mismo tiempo, que se puedan analizar distintos cortes y preparaciones, pues estos son factores que inciden en modo importante en los procesos de deterioro y la velocidad en la que se manifiestan.
- ✓ Resulta sustancial también comprender, cuánto tiempo puede permanecer una carne expuesta en anaquel con un determinado tipo de luz, antes de que pierda su calidad y ya no sea más aceptada por el consumidor. Por lo tanto, se podrían realizar estudios donde se muestrea a intervalos menores de tiempo (por ejemplo un día) y no solamente al inicio y al final.
- ✓ Se podría implementar un mayor uso de luz LED en las vitrinas de exposición, siempre cuando también se realicen más estudios comprobando que esta luz es más adecuada para los productos cárnicos, comparada con la fluorescente.
- ✓ Se podrían incluir más estudios desde el punto de vista sensorial y microbiológico que ayuden a comprender de mejor manera qué efecto tiene la luz utilizada en los anaqueles donde se conserva la carne.

8. Anexos

Anexo 1. Nombre, fórmula y clase química de los Compuestos Orgánicos Volátiles identificados, con su respectivo tiempo de retención.

N° compuesto	Clase	Nombre IUPAC	Formula química	Tiempo de retención (aprox.)
1	Alcanos	Heptano	C ₇ H ₁₆	5,01
2	Compuestos de azufre	Disulfuro de carbono	CS ₂	5,48
3	Alcanos	Octano	C ₈ H ₁₈	6,38
4	Cetonas	Propanona	C ₃ H ₆ O	7,05
5	Alcanos	2-octene	C ₈ H ₁₆	8,07
6	Furanos	2-etilfurano	C ₆ H ₈ O	12,3
7	Aldehídos	Pentanal	C ₅ H ₁₀ O	13,5
8	Ésteres	Acetato de etilo	C ₄ H ₈ O ₂	13,57
9	Cetonas	2,3-pentanodiona	C ₅ H ₈ O ₂	17,4
10	Aldehídos	Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	18,35
11	Hidrocarburos aromáticos	Etilbenceno	C ₈ H ₁₀	20,35
12	Estándar	2-metil-3-heptanona	C ₆ H ₁₂ O	21,94
13	Aldehídos	Heptanal	C ₇ H ₁₄ O	22,86
14	Furanos	2-pentil-furano	C ₉ H ₁₄ O	24,67
15	Alcohol	1-pentanol	C ₅ H ₁₂ O	25,47
16	Aldehídos	Octanal	C ₈ H ₁₆ O	27,01
17	Cetonas	Acetoína	C ₄ H ₈ O ₂	27,09
18	Ésteres	Ácido n-caproico vinil ester	C ₈ H ₁₄ O ₂	28,27
19	Alcohol	1-hexanol	C ₆ H ₁₄ O	29,14
20	Aldehídos	Nonanal	C ₉ H ₁₈ O	30,88
21	Aldehídos	(Z)-non-2-enal	C ₉ H ₁₆ O	31,7
22	Alcohol	1-octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	32,55
23	Alcohol	Heptan-1-ol	C ₇ H ₁₆ O	32,9
24	Ácidos carboxílicos	Ácido acético	C ₂ H ₄ O ₂	32,92
25	Alcohol	1-nonanol	C ₉ H ₂₀ O	36,41
26	Ácidos carboxílicos	Ácido butanoico	C ₄ H ₈ O ₂	38,94
27	Furanos	γ-butirolactona	C ₄ H ₆ O ₂	39,3
28	Ácidos carboxílicos	Ácido n-hexanoico	C ₆ H ₁₂ O ₂	44,67
29	Ácidos carboxílicos	Ácido pentanoico	C ₅ H ₁₀ O ₂	44,69
30	Ácidos carboxílicos	Ácido octanoico	C ₈ H ₁₆ O ₂	50,16
31	Ácidos carboxílicos	Ácido nonanoico	C ₉ H ₁₈ O ₂	53

RT: 0.00 - 60.52



NL:
1.14E6
TIC MS
ucd_77_SE
TTE

Anexo 2. Ejemplo de cromatograma de Compuestos Orgánicos Volátiles de la carne.

9. Referencias Bibliográficas

- Amerling, C. (2001). *Tecnología de la carne: antología*. UNED.
- Andrújar, G., Pérez, D., y Venegas, O. (2009). Química y Bioquímica de la carne y los productos cárnicos. In *Ciencia y Tecnología de la Carne y Productos Cárnicos*. Recuperado de <https://anatomiaayplastinacion.wikispaces.com/file/view/Quimica+y+bioquimica.pdf>
- Ayala, A., Muñoz, M. F., y Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, 360438. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>
- Bekhit, A. E. D. A., Hopkins, D. L., Fahri, F. T., y Ponnampalam, E. N. (2013). Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: Sources, markers, and remedies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 565–597. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12027>
- Belitz, H. D., Grosch, W., Schieberle, P., Lim, T. Y., Lim, Y. Y., Yule, C. M., y Frazier, R. a. (2009). Food Chemistry. In *Food Chemistry* 114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.093>
- Böhner, N., y Rieblinger, K. (2016). Impact of different visible light spectra on oxygen absorption and surface discoloration of bologna sausage. *Meat Science*, 121, 207–209. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.06.019>
- Boles, J. A., y Pegg, R. (2000). *Meat Color Basic Meat Color*. 14–17.
- Cannas, A., y Fernández, C. (2011). *Nuevo Sistema de Alimentación y Recomendaciones Nutritivas para Pequeños Rumiantes: SRNS*. 25. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/158-nutritivas.pdf
- Castellaro, G., Orellana, C., y Escanilla, J. P. (2015). *Manual Básico de Nutrición y Alimentación de Ganado*. 56p. Recuperado de <http://ficovino.agronomia.uchile.cl/wp-content/uploads/2016/07/Manual-Básico-de-Nutrición-y-Alimentación-Ovina.pdf>
- Chaijan, M., y Panpipat, W. (2017). Mechanism of oxidation in foods of animal origin. *Natural Antioxidants. Applications in Foods of Animal Origin*, 1–38.
- Chan, W. K. M., Faustman, C., y Renerre, M. (1997). Model systems for studying pigment and lipid oxidation relevant to musclebased foods. *Natural Antioxidants*, 319–330.

- Chapa Carreón, J. (2004). *Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría* (Noriega Editores, Ed.). Limusa.
- Chen, C., Yu, Q., Han, L., Zhang, J., y Guo, Z. (2018). Effects of aldehyde products of lipid oxidation on the color stability and metmyoglobin reducing ability of bovine Longissimus muscle. *Animal Science Journal*, 89(5), 810–816. <https://doi.org/10.1111/asj.12993>
- Cheng, J. H. (2016). Lipid Oxidation in Meat. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 06(03), 12–14. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000494>
- Cooper, J. V., Wiegand, B. R., Koc, A. B., Schumacher, L., Grünš, I., y Lorenzen, C. L. (2016). Rapid communication: Impact of contemporary light sources on oxidation of fresh ground beef. *Journal of Animal Science*, 94(10), 4457–4462. <https://doi.org/10.2527/jas2016-0728>
- Dabrowska, M., Zielińska, A., y Nowak, I. (2015). Lipid oxidation products as a potential health and analytical problem. *Chemik*, 69(2), 89–94. Recuperado de <http://pharma.metrohm.com/OxidationStability>
- Davila, K. (2017). Carne de Cordero, una carne que deberíamos consumir más - Informe Agrícola. Recuperado de <https://www.informeagricola.com/carne-de-cordero-una-carne-que-deberiamos-consumir-mas/>
- De Brito, G. F., Ponnampalam, E. N., y Hopkins, D. L. (2017). The Effect of Extensive Feeding Systems on Growth Rate, Carcass Traits, and Meat Quality of Finishing Lambs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 23–38. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12230>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., y Lorenzo, J. M. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8, 31. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Escalante, J. L. (2019). Alimentos: propiedades, beneficios y valor nutricional del Cordero. *La Vanguardia*. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/comer/materia-prima/20190103/453829443040/cordero-propiedades-beneficios-valor-nutricional.html>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y OMS (Organización Mundial de la Salud). (2009). Codex Alimentarius. Producción de Alimentos de Origen Animal (2nd ed.). Recuperado de https://books.google.com/books?id=pqSxKch0_ywC&pgis=1
- Faustman, C., y Cassens, R. G. (1990). The Biochemical basis for discoloration in fresh

- meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1(3), 217–243.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1990.tb00366.x>
- Feiner, G. (2013). *Meat products Handbook. Practical sciencee and technology*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fraqueza, M., y Barreto, A. (2010). HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point. En *Handbook of meat processing*. <https://doi.org/10.1002/9780813820897>
- Gago, A., y Fraile, J. (2012). *Iluminación con tecnología LED*. Paraninfo.
- Gray, J. I., Gomaa, E. A., y Buckley, D. J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, 111–123. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)00059-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00059-9)
- Hui, Y. H. (Yiu H. . (2001). *Meat science and applications*. Marcel Dekker.
- Isaza Maya, Y. L., Restrepo Molina, D. A., y López Vargas, J. H. (2013). Oxidación lipídica y antioxidantes. *Journal of Engineering and Technology*, 2(2), 50–66. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1422/1/933-2732-1-PB.pdf>
- Jakobsen, M., y Bertelsen, G. (2000). Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time, and modified atmosphere composition. *Meat Science*, 54(1), 49–57. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00069-8)
- Kannan, G., Kouakou, B., y Gelaye, S. (2001). Color changes reflecting myoglobin and lipid oxidation in chevon cuts during refrigerated display. *Small Ruminant Research*, 42(1), 67–75. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00232-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00232-2)
- Králová, M. (2015). The effect of lipid oxidation on the quality of meat and meat products. *Maso International – Journal of Food Science and Technology*, 2, 125–132.
- Kropf, D. (2006). *Meat Display Lighting*. 6p. American Meat Science Association.
- Kropf, D. H. (1980). Effects of Retail Display Conditions on Meat Color. *Proceedings of Reciprocal Meat Conference*, 15–32. Recuperado de <http://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/1980/effects-of-retail-display-conditions-on-meat-color.pdf?sfvrsn=2>
- Ladeira, M. M., Santarosa, L. C., Chizzotti, M. L., Ramos, E. M., Neto, O. R. R. M., Oliveira, D. M., ... Ribeiro, J. S. (2014). Fatty acid profile, color and lipid oxidation of meat from young bulls fed ground soybean or rumen protected fat with or without monensin. *Meat Science*, 96(1), 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.062>
- Ledrise eCommerce. (n.d.). Human Centric Lighting, a return to daylight basics. Recuperado de https://www.ledrise.eu/blog/human_centrig_lighting/
- 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(2), 193–199. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2009.01.010>
- Min, B., y Ahn, D.U. (2005). Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products -A Review. *Food Science and Biotechnology*, 14(1), 152–163.
- Min, B, y Ahn, D. U. (2005). Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products -A Review. *Food Science and Biotechnology*, 14(1), 152–163.
- Min, Byungrok. (2006). *Mechanisms of lipid peroxidation in meats from different animal species*. Iowa State University.
- Moore, V. J. (1988). Effect of packaging and display variables on retail display of frozen lamb chops. *Meat Science*, 22(4), 313–320. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(88\)90070-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(88)90070-8)
- 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(98), S73–S86. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)90039-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)90039-0)
- Naves Aroeria, C., Pereira Cardoso, G., Teixeira de Siqueira, L., de Lemos Souza Ramos, A., y Mendes Ramos, E. (2014). Efecto de la luz sobre los parámetros de calidad de la carne porcina en exhibición refrigerada. *La Industria Cárnica Latinoamericana*, (186), 32–36.
- Ordway, G. A., y Garry, D. J. (2004). Myoglobin: an essential hemoprotein in striated muscle. *The Journal of Experimental Biology*, 207, 3441–3446. <https://doi.org/10.1242/jeb.01172>
- Oyagüe, J. M. (2007). Estabilidad del color de la carne fresca. *Nacameh*, 1(1), 67–74. Recuperado de http://www.geocities.com/nacameh_carnes/index.html
- Pagés Costas, T., Blasco Mínguez, J., Palacios Raufast, L., y Alfaro, V. (2005). *Fisiología animal*. Universitat de Barcelona.
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., y Nicorescu, V. (2016). Mechanisms of Oxidative Processes in Meat and Toxicity Induced by Postprandial Degradation Products: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 96–123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241>
- Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., Prache, S., y Dransfield, E. (2002). Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Science*, 62(2), 179–185. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00244-3)
- Ramírez-Retamal, J., y Morales, R. (2014). Influence of breed and feeding on the main quality characteristics of sheep carcass and meat: A review. *Chilean Journal of*

- Agricultural Research*, 74(2), 225–233. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000200015>
- Restrepo Molina, D. A., Arango Mejía, C. M., Amézquita Campuzano, A., y Restrepo Digiammarco, A. . (2001). Industria de Carnes. In *Industria de carnes* (Universida). Recuperado de <http://decarnes.wikispaces.com/file/view/Libro+de+carnes.pdf>
- Rodríguez Rivera, V. M., y Magro, S. (2009). Bases de la alimentación humana. *Actividad Dietética*, 13(2), 90–91. [https://doi.org/10.1016/s1138-0322\(09\)71741-9](https://doi.org/10.1016/s1138-0322(09)71741-9)
- Rodríguez Rivera, V. M., y Simón Magro, E. (2008). *Bases de la alimentación humana*. España: Netbiblo.
- Ross, M. H., Pawlina, W., y Negrete, J. H. (2007). *Histología : texto y atlas color con biología celular y molecular*. Médica Panamericana.
- Sampels, S. (2013). Chapter 6. Oxidation and Antioxidants in Fish and Meat from Farm to Fork. *Intech - Food Industry*, 115–144. <https://doi.org/41625>
- Sánchez Escalante, A.; Torrescano Urrutia, G.R.; Camou Arriola, J.P.; González Mñendez, N.F.; Hernandez Watanabe, G. (2008). Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *Nacameh*, 2(2), 124–159. Recuperado de <http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/>
- Scarti, D. M. (1992). Qualità delle carni ovine. In *Ovinocultura* (pp. 311–314). Roma, Italia: UNAPOC.
- Schoenian, S. (2011). Sheep 201. Feeding lambs. Recuperado de <http://www.sheep101.info/201/about.html>
- Sottero, B., Leonarduzzi, G., Testa, G., Gargiulo, S., Poli, G., y Biasi, F. (2019). Lipid Oxidation Derived Aldehydes and Oxysterols Between Health and Disease. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(1), 1700047. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700047>
- Steele, K. S., Weber, M. J., Boyle, E. A. E., Hunt, M. C., Lobaton-Sulabo, A. S., Cundith, C., ... Roenbaugh, T. L. (2016). Shelf life of fresh meat products under LED or fluorescent lighting. *Meat Science*, 117, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.032>
- Stryer, L., Berg, J. M., y Tymoczko, J. L. (2008). *Bioquímica* (7a ed.). Reverté.
- Urroz, C. (1991). *Elementos de anatomía y fisiología animal*. UNED.
- Voet, D., Voet, J. G., Pratt, C. W., y Gismondi, M. I. (2007). *Fundamentos de bioquímica : la vida a nivel molecular*. Médica Panamericana.
- Zareian, M., Tybussek, T., Silcock, P., Bremer, P., Beauchamp, J., y Böhner, N. (2019).

Interrelationship among myoglobin forms, lipid oxidation and protein carbonyls in minced pork packaged under modified atmosphere. *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 8. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100311>