



Facultad de Veterinaria
Universidad Zaragoza



Trabajo Fin de Máster en Calidad, Seguridad y Tecnología de los Alimentos.

*Efecto de la composición de la atmósfera sobre la vida útil
de las hamburguesas de ternera.*

Effect of packaging gas composition on shelf life of beef
burgers

Autor/es

Estefanía Arévalo Mocha

Director/es

**Begoña Panea Doblado
Guillermo Ripoll García**

FACULTAD DE VETERINARIA
2020-2021

RESUMEN

El envasado de alimentos cumple múltiples funciones, la más importante es aumentar la vida útil del alimento, retrasando su deterioro, y garantizar la seguridad del mismo. En las carnes rojas frescas es fundamental un correcto envasado para evitar la contaminación, retrasar el deterioro y mantener las características organolépticas propias de la carne. Por ello, el principal objetivo de este estudio es analizar cómo afectan distintos tipos de envasados a la calidad final de muestras de carne de ternera moldeada en forma de hamburguesa. Para el envasado se utilizaron atmósferas modificadas (MAP) y se dividieron en 4 tratamientos: E70, MAP con 70% O₂ y 30% CO₂; E50, MAP con 50% O₂ y 50% CO₂; EN, MAP 20 %N₂ y CO₂ y EF envasado con film y sin MAP. Estas muestras se almacenaron en refrigeración a 4°C para analizar la evolución de distintos parámetros durante los días 1, 3, 6 y 9. Se estudio la composición atmosférica del envase (O₂ y CO₂), el color y los estados químicos de la mioglobina, la textura (TPA), la oxidación lipídica (TBAR), la microbiología y se realizó un análisis estadístico con los datos obtenidos. En cuanto a la atmósfera del envase, se observa que el tipo de tratamiento afecto a la concentración de los gases estudiados, siendo muy variable en ambos casos en el tratamiento E70, por lo que se cree que ha habido algún problema de sellado con el envase. Los niveles de L* aumentan a lo largo del tiempo, mientras que las variables a* y b* disminuyen. El tratamiento E70 es el que mayores niveles de OMb (oximioglobina) y menores niveles de metamioglobina MMb (metamioglobina) presenta a lo largo del tiempo. En cuanto a la textura, se observa un aumento de la dureza a lo largo del tiempo y un aumento de la cohesividad al final del tiempo de almacenamiento de cada tratamiento. El tratamiento EN presentó los niveles más bajos de oxidación lipídica a lo largo del tiempo. No se obtuvo resultados concluyentes en cuanto a la microbiología, ya que no existía variabilidad en los tratamientos al utilizarse una única réplica. Se pudo determinar que no todos los tratamientos logran conservar de igual manera las características propias de la carne, por lo que debe estudiarse una posible repetibilidad del experimento para obtener resultados confiables.

ABSTRACT

Food packaging has multiple functions, the most important of which is to increase the shelf life of the food, delaying spoilage and guaranteeing food safety. In the case of fresh red meat, correct packaging is essential to avoid contamination, delay spoilage and maintain the meat's organoleptic characteristics. Therefore, the main objective of this study is to analyse how different types of packaging affect the final quality of beef samples moulded into hamburger patties. Modified atmospheres (MAP) were used for packaging and divided into 4 treatments: E70, MAP with 70% O₂ and 30% CO₂; E50, MAP with 50% O₂ and 50% CO₂; EN, MAP 20 %N₂ and CO₂ and EF packaged with film and without MAP. These samples were stored refrigerated at 4°C to analyse the evolution of different parameters during days 1, 3, 6 and 9. The atmospheric composition of the packaging (O₂ and CO₂), the colour and chemical states of myoglobin, texture (TPA), lipid oxidation (TBAR), microbiology and a statistical analysis of the data obtained were studied. Regarding the atmosphere of the packaging, it is observed that the type of treatment affected the concentration of the gases studied, being very variable in both cases in the E70 treatment, so it is believed that there has been a sealing problem with the packaging. The levels of L* increase over time, while the variables a* and b* decrease. Treatment E70 shows the highest levels of OMb (oxymyoglobin) and the lowest levels of MMb (metamyoglobin) over time. In terms of texture, an increase in hardness over time and an increase in cohesiveness at the end of storage time were observed for each treatment. The EN treatment showed the lowest levels of lipid oxidation over time. No conclusive results were obtained for microbiology, as there was no variability in the treatments as only one replicate was used. It was determined that not all treatments are able to preserve meat characteristics in the same way, so that a possible repeatability of the experiment should be studied to obtain reliable results.

Listado de abreviaturas

MAP: atmósfera modificada

OMb: oximoglobina

MMb: metamioglobina

MB: mioglobina

N₂: nitrógeno

O₂: oxígeno

CO₂: dióxido de carbono

CO: monóxido de carbono

LDPE: polietileno de baja intensidad

HDPE: polietileno de alta intensidad

PP: Polipropileno

PTFE: politetrafluoroetileno

EVA: acetato de vinilo

L*: Luminosidad

a*: índice de rojo

b*: índice de amarillo

C*: Tono

H_{ab}: saturación

TPA: análisis del perfil de textura

TBAR: sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico

TBA: Tricloroacético

BHT: Butilhidroxitolueno

ACN: Acetonitrilo

Índice

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
Listado de abreviaturas	3
Índice de Gráficas, Tablas y figuras	5
1. Introducción	7
2. Objetivos	9
3. Material y métodos	9
3.1 Medición de la composición de la hamburguesa	9
3.2 Preparación de las hamburguesas de ternera	9
3.3 Medida de la atmósfera	10
3.4 Medida del color	10
3.5 Análisis de la textura (TPA)	11
3.6 Medida de la oxidación lipídica (TBAR)	12
3.7 Análisis microbiológico	12
3.8 Análisis estadístico	13
4. Resultados y discusión	13
4.1 Composición química	13
4.2 Composición de la atmósfera	14
4.3 Color y estados químicos de la mioglobina (Mb)	16
4.4 TPA	20
4.5 TBAR	22
4.6 Microbiología	24
5. Conclusiones	25
6. Bibliografía	27

Índice de Gráficas, Tablas y figuras

Gráficas

Gráfica 1. Porcentaje de dióxido de carbono en los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).	14
Gráfica 2. Porcentaje de oxígeno en los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y, z.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).	15
Gráfica 3. Concentración de metamioglobina en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c, d.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).	18
Gráfica 4. Concentración de desoximiglobina en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).	19
Gráfica 5. Concentración de oximiglobina en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).	20
Gráfica 6. Oxidación lipídica de las muestras de carne picada en función del tratamiento y del tiempo de almacenamiento; a,b,c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w,x,y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).	23
Gráfica 7. Microorganismos psicrófilos aerobios en las muestras de carne a lo largo del tiempo de almacenamiento en función del tratamiento.	24
Gráfica 8. Microorganismos psicrófilos anaerobios en las muestras de carne a lo largo de los días y en función del tratamiento.	25
Gráfica 9. Lactobacillus en las muestras de carne a lo largo de los días en función del tratamiento.	25

Tablas

Tabla 1. Resultados del análisis químico de la carne picada	13
--	----

Tabla 2. Medias de las medidas del color y valor p de los efectos estudiados del tratamiento y el tiempo y de almacenamiento, en carne picada de ternera. 16

Tabla 3. Media de las medidas de la textura (dureza, cohesividad y adhesividad) y valor p de los efectos estudiados (tratamiento y tiempo de almacenamiento) en carne picada de ternera. 21

Figuras

Figura 1. Estados químicos de la mioglobina..... 7

Figura 2. Analizador de carne 9

Figura 3. Analizar de gases Oxybaby®..... 10

Figura 4. Espectrocolorímetro 11

Figura 5. Texturómetro realizando un ciclo de compresión..... 11

1. Introducción

La carne de ternera es un alimento muy demandado en la actualidad. Sin embargo, la conservación en refrigeración deteriora la carne de vacuno afectando a su calidad. Este deterioro se debe principalmente a procesos autolíticos, al crecimiento de microflora bacteriana, la oxidación de los lípidos y a la oxidación de los pigmentos (Dragoev *et al.*, 2014; Fang *et al.*, 2017).

La oxidación de lípidos es la principal causa no microbiana del deterioro de la calidad en la carne y los productos cárnicos. Las reacciones de oxidación no solo reducen el valor nutricional de las carnes debido a la pérdida de ácidos grasos esenciales y vitaminas, sino que generalmente, el primer cambio observado es una reducción gradual de la calidad sensorial incluyendo cambios de color, textura, así como aparición de olor y sabor rancios, lo que influye en la aceptación del consumidor (Dragoev *et al.*, 2014; Domínguez *et al.*, 2019).

El color rojo de la carne depende fundamentalmente del estado químico de la mioglobina (MB), la cual constituye entre el 80-90% de los pigmentos de la carne. La mioglobina es una proteína globular con un centro activo con un átomo de hierro que posee una gran afinidad por otras moléculas diatómicas como el oxígeno. De este modo encontramos varios estados químicos de la mioglobina (**Figura 1**):

- Desoxioglobina: la mioglobina se encuentra reducida (con poco oxígeno), en estado de oxidación y el color es rojo púrpura. Puede observarse en las carnes envasadas al vacío.
- Oximioglobina: formada cuando la mioglobina se pone en contacto con el oxígeno y se caracteriza por dar un color es rojo brillante (Fe^{2+}).
- Metamioglobina: la mioglobina se encuentra oxidada, es decir, ha estado en contacto con el oxígeno durante un tiempo prolongado (Fe^{3+}) dando un color Marrón a la carne (Aspé *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2019).

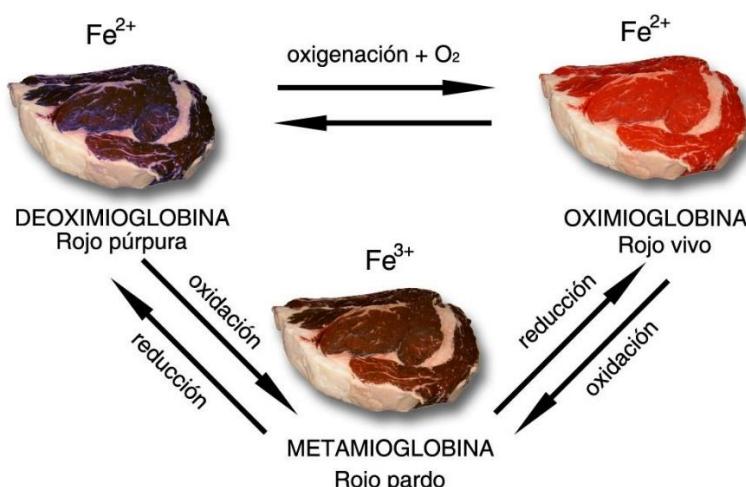


Figura 1. Estados químicos de la mioglobina
Fuente: Ángel and Lurueña, 2011

Las propiedades de calidad y seguridad de la carne dependen en gran medida de los materiales y tecnologías de envasado aplicado (Dragoev *et al.*, 2014; Fang *et al.*, 2017). De hecho, existe una relación entre el envasado y las interacciones de comprar de los consumidores, ya que el envasado afecta a propiedades importantes de la carne, como la apariencia, la capacidad de la retención del agua, el color, la calidad microbiana, la estabilidad de los lípidos, el valor nutritivo y la palatibilidad (textura, sabor, aroma) (Dragoev *et al.*, 2014; McMillin, 2017). Por todo ello, la industria busca alternativas para preservar la calidad de la carne mediante un correcto envasado. Recientemente, se han desarrollado una serie de nuevas tecnologías y materiales de envasado, como el envasado activo, los envases inteligentes, revestimientos/películas comestibles, envases biodegradables y envases con nanomateriales. Sin embargo, solo un número limitado de estas tecnologías son relevantes para la carne. La tecnología de envasado tradicional utilizada para la carne fresca y los productos cárnicos procesados consiste fundamentalmente en envasado al vacío, envasado permeable al aire y envasado en atmósfera modificada (MAP) (Lee, 2010; Fang *et al.*, 2017).

El envasado en atmósfera modificada es la modificación y/o sustitución de la atmósfera que rodea al producto mediante materiales barrera tanto para la humedad como para la permeabilidad del gas a través del envase. En el envasado de atmósfera modificada el aire se elimina por vacío y se reemplaza con otra mezcla de gases (CO₂, CO, N₂, O₂, etc.) previo al sellado del envase. El oxígeno (O₂) promueve la formación de oximoglobina que, eventualmente, se oxida y pasa a un color marrón. El nitrógeno (N₂) se utiliza principalmente para eliminar el aire del envasado al vacío o como gas de relleno para evitar el colapso del envase y el dióxido de carbono (CO₂) se utiliza para la inhibición microbiana y el monóxido de carbono (CO), también bacteriostático, crea un pigmento rojo, carboximoglobina, que es muy estable durante períodos de tiempo mucho más largos que la oximoglobina (Singh *et al.*, 2011; Luzardo, 2017; McMillin, 2017; Dalla Rosa, 2018).

Además, también se han desarrollado materiales de envasados que contribuyen a mantener la calidad de la carne durante su almacenamiento y distribución. Uno de los materiales más utilizados son los plásticos, ya que éstos poseen propiedades óptimas para el envasado de alimentos. Los polímeros más comúnmente utilizados son polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (PTFE) y nailon (poliamida) también se utilizan poliésteres, PVC, PVDC, poliestireno, poliamidas, etileno acetato de vinilo (EVA) (McMillin, 2017).

Así pues, el presente estudio pretende observar cómo afecta el tipo de envasado en la calidad final de carne picada moldeada en forma de hamburguesa y refrigerada durante distintos días de almacenamiento.

2. Objetivos

El objetivo principal del experimento fue investigar el efecto de la composición de la atmósfera utilizada sobre la vida útil (color, textura, oxidación lipídica y calidad microbiológica) de carne picada de ternera con forma de hamburguesa conservadas en envases de EVOH.

3. Material y métodos

3.1 Medición de la composición de la hamburguesa

Para el presente experimento se utilizó falda de ternera. La carne se troceó y pico utilizando una picadora Elma (Udom, S. L, España) y un rallo de 8mm. Una vez picada la carne de ternera se analizó su composición química de una muestra de 200g. Los parámetros que se midieron fueron humedad, proteínas, colágeno, grasa, grasa saturada y cenizas. Para ello se utilizó un analizador de carne de la marca *FoodScan* TM 2.



Figura 2. Analizador de carne

3.2 Preparación de las hamburguesas de ternera

La carne picada se moldeó a modo de hamburguesa, sin la adición de ningún aditivo y seguidamente, fueron envasadas en bandejas fabricadas con un material multicapa PP-EVOH-PE (Coimbra Pack, S.L., Zaragoza, España).

Las atmósferas utilizadas fueron:

- Envase E70: atmósfera con 70% O₂ y 30% CO₂
- Envase E50: atmósfera con 50% O₂ y 50% CO₂,
- Envase EN: atmósfera con una mezcla de 20% de CO₂ y 80% de N₂
- Envase EF: sin atmósfera protectora

Los envases E70, E50 y EN se cerraron utilizando una máquina Tecnovac SL (Italia) y un film Lintop PE HB A (Linpack Packaging, Puzol, España) con un espesor de 40 micras y una permeabilidad al O₂ de 4,7 E-20kg/mm²·s·Pa (23°C, 0% RH) y al vapor de agua de 2,0 E-16kg/mm²·s·Pa (23°C, 90% RH). El film utilizado en el envase EF es polietileno de baja densidad (PE-LD), permeable de O₂ (Coimbra Pack, S.L, Zaragoza, España).

Todas ellas se analizaron en los días 1,3,6, y 9 de almacenamiento a 4°C en oscuridad. Para cada tiempo y atmósfera se elaboraron 7 bandejas, para estudiar la composición de los gases de la atmósfera (bandeja 1-7), el color (bandejas 1-7), la oxidación lipídica mediante el índice de TBAR (bandejas 1-3), la textura (TPA) (bandejas 4-6) y un análisis microbiológico (bandeja 7).

3.3 Medida de la atmósfera

Las concentraciones de O₂ y CO₂ de la atmósfera se midieron en todas las bandejas mediante un analizador de gases Oxybaby®, pinchando cada uno de los envases en una zona libre de líquido o de la muestra para evitar sesgos.



Figura 3. Analizar de gases Oxybaby®

3.4 Medida del color

El color se midió en todas las muestras mediante un espectrofotómetro de la marca *Minolta CM600d*. Puesto que la carne de la hamburguesa no es homogénea, pues contiene vetas de grasa, se realizaron 5 repeticiones por muestra, intentando alcanzar las zonas donde solo había carne. El espectrofotócolorímetro (Iluminante D65 y en un ángulo de 10°) se calibró antes de cada sesión de medida mediante la utilización de un blanco. Se registraron la luminosidad (*L), el índice de rojo (*a) y el índice de amarillo(*b) y se calcularon la saturación (C*) y el tono (H_{ab}), expresado en grados sexagesimales. El porcentaje relativo del pigmento de cada uno de los estados químicos de la mioglobina se calculó siguiendo las fórmulas propuestas por (Krzywicki, 1982):

$$[\text{Mb}] = 0.369\text{R1} + 1.140\text{R2} - 0.941\text{R3} + 0.015\ 19$$

$$[\text{MMb}] = -2.514\text{R1} + 0.777\text{R2} + 0.800\text{R3} + 1.098$$

$$[\text{OMb}] = 0.882\text{R1} - 1.267\text{R2} + 0.809\text{R3} - 0.361$$

Donde R1, R2 y R3 son las relaciones de absorbancia A572/A525, A565/A525 y A545/A525 respectivamente.



Figura 4.Espectrocolorímetro

3.5 Análisis de la textura (TPA)

Para la realización del análisis del perfil de la textura o TPA de la hamburguesa se utilizó un texturómetro de la marca *INSTRON modelo 5543*. Consta de dos ciclos de compresión al 50% y con un tiempo de espera entre los ciclos de unos 5 segundos. Para ello, primero se cortaban pequeñas muestras de hamburguesa de unos 25mm de diámetro y 10mm de altura. Para cada bandeja se hicieron varias muestras y se realizó el TPA, registrándose la media de los resultados de cada porción y obteniendo una media de las porciones medidas en cada bandeja. En todas las muestras se cuantificaron los siguientes parámetros:

- *Dureza* o fuerza máxima ejercida en el primer ciclo de compresión.
- *Cohesividad* o relación de áreas originadas en los dos ciclos de compresión; representa el trabajo necesario para comprimir la muestra por segunda vez respecto al que ha sido necesario para comprimirla la primera vez.
- *Adhesividad* o área de fuerza negativa que se obtiene tras la primera compresión y que representa el trabajo necesario para separar el émbolo de compresión del alimento.



Figura 5.Texturómetro realizando un ciclo de compresión

3.6 Medida de la oxidación lipídica (TBAR)

Se realizó un análisis del grado de oxidación lipídica de las muestras, mediante el procedimiento TBAR (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico). Con este análisis se quiere determinar el manoaaldehído como marcador de dicha oxidación lipídica.

Primero se pesan 10g de la hamburguesa sin procesar de cada bandeja en un tubo de polipropileno al que se le añade 50 μ l de BHT (Butilhidroxitolueno) al 7,2% (antioxidante). Una vez realizado esto con todas las muestras, se les añade 10ml de TCA (Tricloroacético) al 10% y se homogeniza en el ultraturrax durante 30-45 segundos. Seguidamente se limpia los restos de carne en el ultraturrax con otros 10ml de TCA al 10% y se realiza esto con cada una de las muestras. Además, el ultraturrax se debe desmontar para su limpieza entre cada muestra.

Después, los tubos de polipropileno se centrifugan a 4000 rpm, 4°C y 15 min. Más tarde se sacan y se filtran en botes de plástico de 100 ml los cuales se tapan y se agitan. De este contenido se pipetea 1ml a tubos de vidrios de 12 ml marcados con el número de muestra, y se añade 1ml de la solución 10 mM de TBA. Luego los tubos de vidrio se cierran y se agitan en el vortex durante 5-10 segundos y seguidamente se incuban en un baño termostatizado a 100°C durante 45 minutos con una agitación a 10 rpm.

Una vez transcurrida la incubación se enfriá durante 10-15 minutos en un baño de agua a temperatura ambiente, y luego se agita en el vortex durante 5-10 segundos. Seguidamente se toman 150 μ l del extracto y se vierten sobre viales de 2ml para cromatografía, y se añaden 850 μ l de una mezcla de ACN (Acetonitrilo) en cada uno de los viales. Tras el tratamiento completo de las muestras, los viales cromatográficos se congelan a -80°C, con el aducto MDA-TBA2 ya formado, se descongelan a temperatura ambiente, se agitan, y se procede a su inyección en el UPLC. La detección se realiza mediante fluorescencia con λ excitation=530 nm and λ emission=550 nm. La absorbancia se midió a 532 nm con un Betaspectrofotómetro Helios y se utilizó una muestra blanco (Thermo Electron Corporation, España) (Bertolín, Joy and Blanco, 2019).

3.7 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico de las hamburguesas lo llevo a cabo el Área de Análisis y Asistencia Técnica del CITA por lo que solo se valoran los resultados recibidos. Se cuantificaron aerobios psicrófilos anaerobios psicrófilos, *Listeria monocytogenes*, y bacterias ácido-lácticas.

Los procedimientos utilizados fueron los siguientes: los aerobios psicrófilos, se siembran en Agar PCA (Plate Count Agar) e incuban a 22° C/3-5 días. Los anaerobios psicrófilos totales se siembran en PCA e incuban a 22° C/3-5 días en anaerobiosis. Las bacterias acido-lácticas se siembran en Agar

MRS (Man Rogosa Sharpe) y se incuban a 37° C/24-72 h en atmósfera con el 5% de CO₂. Para la *Listeria monocytogenes* se utiliza un método basado en la Norma UNE-EN-ISO 11290-1:2018 "Método horizontal para la detección y recuento de *Listeria monocytogenes* y *Listeria spp.* Parte 1".

3.8 Análisis estadístico

Las bases de datos obtenidas con los resultados de cada una de las medidas mencionadas se analizaron mediante el programa estadístico XLStat 17.03 (Addinsoft, Barcelona, Spain.). Se calcularon las medias y el error estándar de las medias y se establecieron diferencias entre medias mediante un test de Duncan, con una significación del 5%.

Además, los datos se sometieron a un modelo lineal general (GLM) con el tipo de atmósfera y el tiempo de almacenamiento como efectos fijos. Sin embargo, en la microbiología no se pudo someter los datos un GLM ya que solo se obtuvo un resultado por tratamiento y por día, por lo que no existe variabilidad.

4. Resultados y discusión

4.1 Composición química

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podemos observar la composición química de la carne picada de ternera utilizada. Sin tener en cuenta la humedad, el mayor porcentaje es el contenido de proteínas y el de menor porcentaje es el de grasas insaturadas. En comparación con los datos obtenidos en la literatura científica se puede determinar que la composición química de la falda de ternera se encuentra dentro o alrededor de los rangos encontrados de proteínas (20-22,3%), humedad (73,9-76,4%), grasa (1,8-5,4%), cenizas (1,2%), colágeno (2%) y grasa saturada (2%) (FAO, 2013; Ministerio, 2013; Łopacka, Półtorak and Wierzbicka, 2016; Soren and Biswas, 2019). La variabilidad de algunos de los datos con respecto a los de la bibliografía consultada puede deberse al músculo empleado en cada uno de los ensayos.

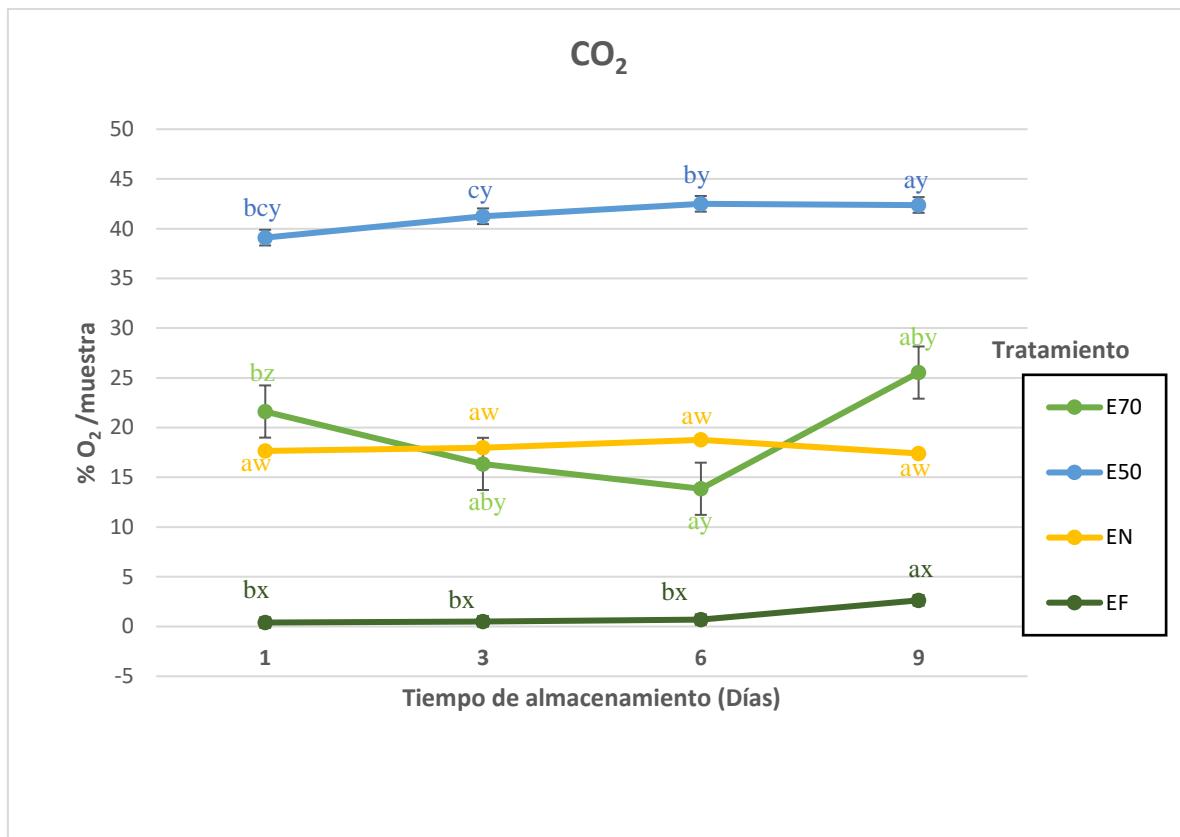
Tabla 1. Resultados del análisis químico de la carne picada

Parámetro	Valor	EE
Humedad (%)	75,04	0,77
Proteína (%)	21,73	0,38
Grasa (%)	5,14	0,75
Colágeno (%)	2,16	0,30
Cenizas (%)	2,58	0,11
Grasas Saturadas (%)	1,65	0,36

EE: Error estándar de la media

4.2 Composición de la atmósfera

En la **Gráfica 1** podemos ver la evolución del porcentaje de CO₂ a lo largo del tiempo de almacenamiento en cada uno de los tratamientos.



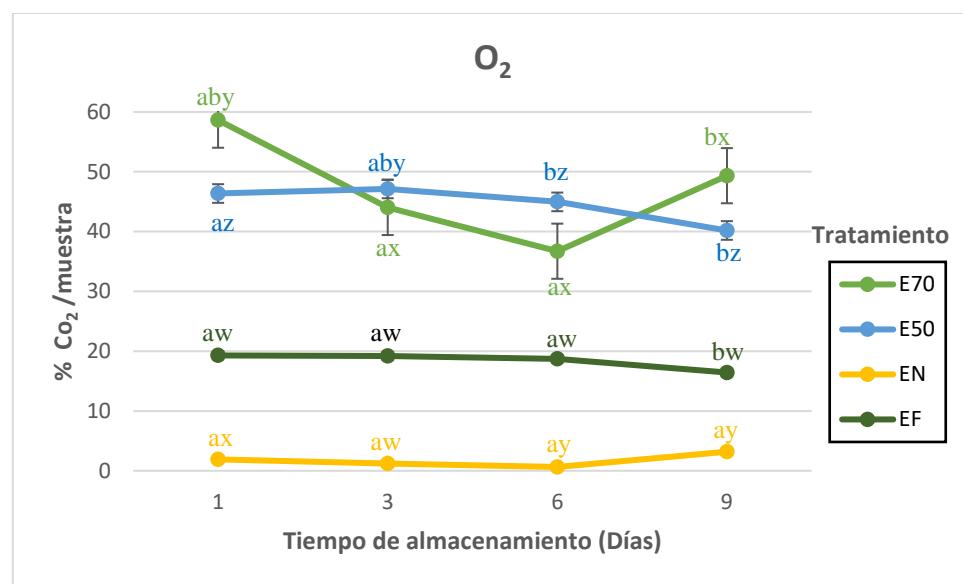
Gráfica 1. Porcentaje de dióxido de carbono en los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).

Podemos ver que el tratamiento afectó al porcentaje de *dióxido de carbono* de la atmósfera ($p<0,001$). Sin embargo, no se ha visto efecto del tiempo de almacenamiento ($p=0,437$) ni de la interacción entre tratamiento y tiempo ($p=0,935$).

El tratamiento EF presenta los valores más bajos y el tratamiento E50 los más altos, independientemente del tiempo de almacenamiento. En los tratamientos E70 y EN, no existen diferencias significativas hasta el día 9. En los tratamientos EF, E50, y EN hay muy poca variación a lo largo del tiempo, pero en el tratamiento E70 se observa una disminución significativa del porcentaje de dióxido de carbono desde el día 1 y el día 3, con un aumento significativo entre el día 6 hasta el día 9. La literatura científica indica que la reducción de CO₂ a lo largo del tiempo puede deberse a que parte de este CO₂ es absorbido por la carne (Zouaghi and Cantalejo, 2016). En otros

estudios se ha visto que el aumento de CO₂ puede ser el resultado de la permeación de gas y la rotura o perforación de la película de envasado (Demirhan and Candogán, 2017). Sin embargo, no podemos asegurar que esto ocurra en los tratamientos E50 y EN, donde se observa una disminución de dióxido de carbono al final del almacenamiento. Como podemos ver en la gráfica el tratamiento que más variaba a lo largo de los días es el E70, esto puede ser debido a un mal sellado del envase, ya que en una atmósfera modificada no se espera tal variación en los datos.

En la **Gráfica 2** podemos observar la evolución del porcentaje de O₂ a lo largo del tiempo de almacenamiento para cada uno de los tratamientos.



Gráfica 2. Porcentaje de oxígeno en los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y, z.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).

El tratamiento afectó al porcentaje de oxígeno de la atmósfera en la bandeja ($p<0,001$). Sin embargo, no se encontró efecto del tiempo ($p=0,358$) de almacenamiento ni de la interacción tratamiento x tiempo ($p=0,912$).

Además, podemos observar que los niveles más bajos de oxígeno lo presenta el tratamiento EN y que, junto al tratamiento EF, son los que menos varían a lo largo del tiempo. Además, estos tratamientos se diferencian estadísticamente de los tratamientos E70 y E50 ($p>0,05$). El tratamiento E50 apenas varía a lo largo del tiempo. Por su parte, el tratamiento E70 es el que más varía a lo largo de los días, con una tendencia al aumento de oxígeno entre el día 6 y día 9 ($p<0,1$). Al igual que en el caso del CO₂, observamos que el tratamiento E70 hay mucha variabilidad en comparación con el

resto de los tratamientos, es por ello que se cree que esta variabilidad se debe a un mal sellado del envase.

4.3 Color y estados químicos de la mioglobina (Mb)

En la **Tabla 2** podemos observar las distintas medidas del color de la carne picada en cada tratamiento a lo largo del tiempo de almacenamiento y el valor p del efecto del tratamiento y del tiempo de almacenamiento.

Tabla 2. *Medias de las medidas del color y valor p de los efectos estudiados del tratamiento y el tiempo y de almacenamiento, en carne picada de ternera.*

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento	L*	a*	b*	C*	H _{ab}
E70	1 día	38,1 ^{aw}	21,0 ^{cx}	21,6 ^{cx}	30,1 ^{cx}	45,8 ^{aw}
	3 días	39,9 ^{abw}	18,6 ^{cy}	19,6 ^{by}	27,0 ^{by}	46,5 ^{aw}
	6 días	42,0 ^{bw}	13,9 ^{bx}	16,4 ^{ax}	21,6 ^{ax}	49,7 ^{aw}
	9 días	42,1 ^{bx}	9,4 ^{aw}	17,2 ^{ax}	19,8 ^{aw}	62,1 ^{bw}
E50	1 día	40,0 ^{awx}	20,2 ^{dx}	22,0 ^{bx}	29,9 ^{cx}	47,6 ^{aw}
	3 días	41,5 ^{aw}	16,7 ^{cxy}	17,5 ^{ax}	24,2 ^{bx}	46,4 ^{aw}
	6 días	41,7 ^{aw}	13,5 ^{bx}	18,7 ^{ay}	23,1 ^{bx}	54,7 ^{bwx}
	9 días	41,4 ^{awx}	8,8 ^{aw}	17,1 ^{ax}	19,3 ^{aw}	63,0 ^{cw}
EN	1 día	43,0 ^{ax}	10,5 ^{bw}	15,5 ^{bw}	18,7 ^{bw}	56,1 ^{ax}
	3 días	44,7 ^{ax}	8,4 ^{aw}	13,6 ^{aw}	16,0 ^{aw}	58,2 ^{ay}
	6 días	46,1 ^{ax}	8,7 ^{aw}	12,8 ^{aw}	15,6 ^{aw}	55,8 ^{ax}
	9 días	46,0 ^{ay}	9,3 ^{abw}	15,4 ^{bw}	18,0 ^{bw}	59,2 ^{aw}
EF	1 día	37,8 ^{aw}	18,7 ^{cx}	20,6 ^{cx}	27,9 ^{dx}	47,9 ^{aw}
	3 días	39,6 ^{abw}	15,6 ^{bx}	19,1 ^{bxy}	24,7 ^{cxy}	50,9 ^{ax}
	6 días	42,5 ^{bw}	7,9 ^{aw}	14,6 ^{awx}	16,7 ^{aw}	61,7 ^{by}
	9 días	38,6 ^{aw}	9,8 ^{aw}	17,3 ^{bx}	19,9 ^{bw}	60,8 ^{bw}
E.E.M		0,38	0,41	0,28	0,45	0,66
B		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,007
T		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
B*T		0,395	<0.001	<0.001	<0.001	0,004

B: Efecto del tratamiento; T: Efecto del tiempo de almacenamiento; EEM: Error estándar de la media; a,b,c.- *diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado (p<0.05); x,y,z.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado (p<0.05)*

Tanto el tratamiento como el tiempo de almacenamiento afectaron a todas las variables del color ($p<0,001$) existiendo una interacción significativa entre efectos para todas las variables excepto para la L^* ($p=0,395$). Estos valores concuerdan con los hallados en el siguiente artículo donde se estudian los parámetros del color a lo largo de almacenamiento de carne de potro (Gómez and Lorenzo, 2012) de ganso (Orkusz *et al.*, 2013) o de avestruz. (Bingol and Ergun, 2011). En la tabla podemos observar que la L^* va aumentado a lo largo del tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos, aunque se observa una disminución significativa en el tratamiento EF entre el día 6 y el 9. Algunos autores han informado que la luminosidad (L^*) aumenta en los productos cárnicos almacenados mediante refrigeración, lo que concuerda con los datos obtenidos (Bingol and Ergun, 2011).

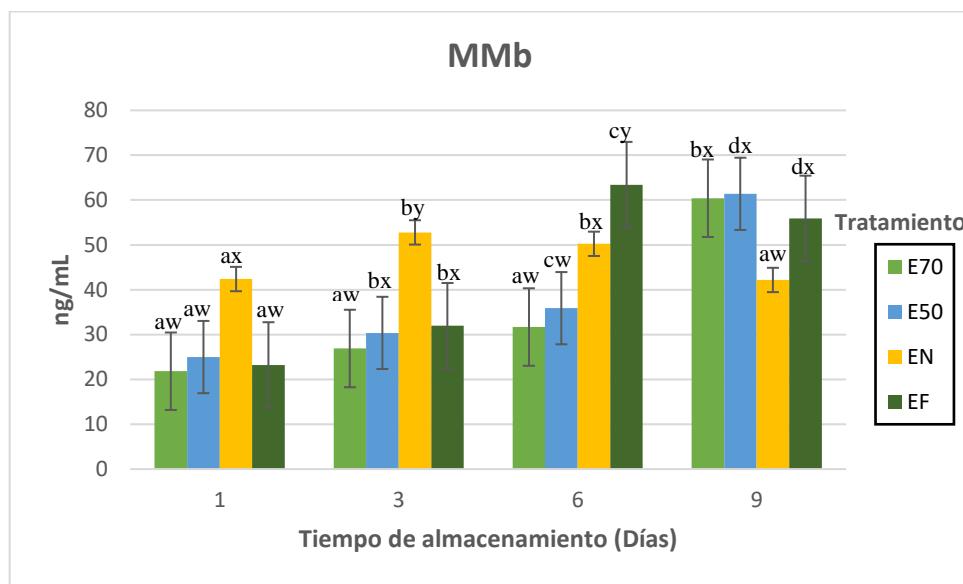
En el caso de la a^* podemos ver que, en los tratamientos E70 y E50, disminuye a lo largo del tiempo de almacenamiento. En el caso de los tratamientos EN y EF se observa también una disminución de la a^* a lo largo del tiempo, pero en ambos hay un aumento entre los días 6 y 9. El almacenamiento prolongado en una atmósfera con alto contenido de oxígeno induce la transformación de la oximioglobina (color rojo brillante) en metamioglobina (marrón). Por ello, la variable a^* disminuye con el tiempo de almacenamiento (Bingol and Ergun, 2011; Orkusz *et al.*, 2013).

Respecto a la b^* podemos observar variación a lo largo del tiempo especialmente en el tratamiento EN, donde primero disminuye entre el día 1 y el día 6 y luego aumenta de forma significativa hasta el día 9. Lo mismo ocurre con los tratamientos E50 y EF, donde primero disminuye y luego hay un aumento: en el caso del E50 entre el día 3 y el 6 y en el caso del EF entre el día 6 y el 9. En el tratamiento E70 se observa una disminución a lo largo del tiempo de almacenamiento. En la literatura científica podemos encontrar distintos resultados respecto a la b^* , la mayoría de los estudios encontrados indican una disminución a lo largo del tiempo (Esmer *et al.*, 2011), similares a los datos obtenidos en este experimento. Sin embargo, en otras investigaciones indican un aumento de la b^* en carne envasada en MAP (Gómez and Lorenzo, 2012). Por lo general, el valor b^* no contribuye en gran medida a la apariencia de la carne y a menudo no se discute (Gómez and Lorenzo, 2012).

En el caso de la C^* podemos ver una disminución a lo largo del tiempo en los tratamientos E70, E50 y EF. Por último, en la variable H_{ab} se observa un aumento a lo largo del tiempo en todos los tratamientos.

En cuanto al efecto del tratamiento podemos ver que los tratamientos E50 y E70 evolucionan de forma similar a lo largo del tiempo en todas las características del color (a^* , b^* , C , H_{ab}), excepto en la L^* . En cuanto al tratamiento EN y EF, se observan diferencias significativas entre ellos en las variables a^* , b^* , C ($p<0,001$), entre los días 1 y 3, pero no en los días 6 y 9. En cuanto a la H_{ab} , existen diferencias EF y EN para todos los tiempos de almacenamiento, excepto para el día 9.

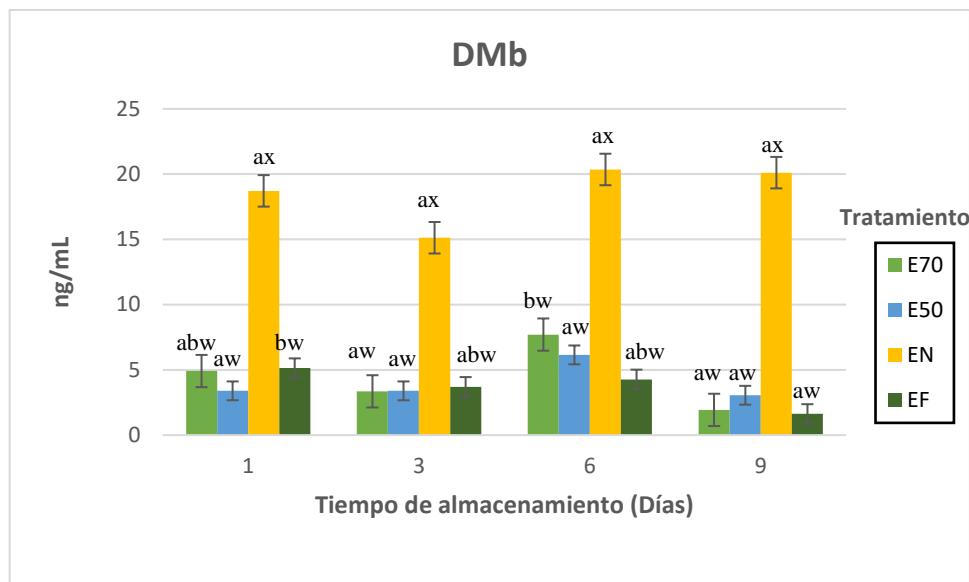
En las gráficas **Gráfica 3, Gráfica 4, Gráfica 5**, podemos ver la evolución de las formas químicas de la mioglobina a lo largo del tiempo de almacenamiento



Gráfica 3. Concentración de metamioglobina en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c, d.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0,05$); w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0,05$).

Podemos observar diferencias significativas tanto en el tratamiento como en el tiempo de almacenamiento y en la interacción del tiempo con el tratamiento ($p<0,05$). La gráfica muestra que los niveles de metamioglobina en la carne picada aumenta a lo largo del tiempo de almacenamiento en cada uno de los tratamientos.

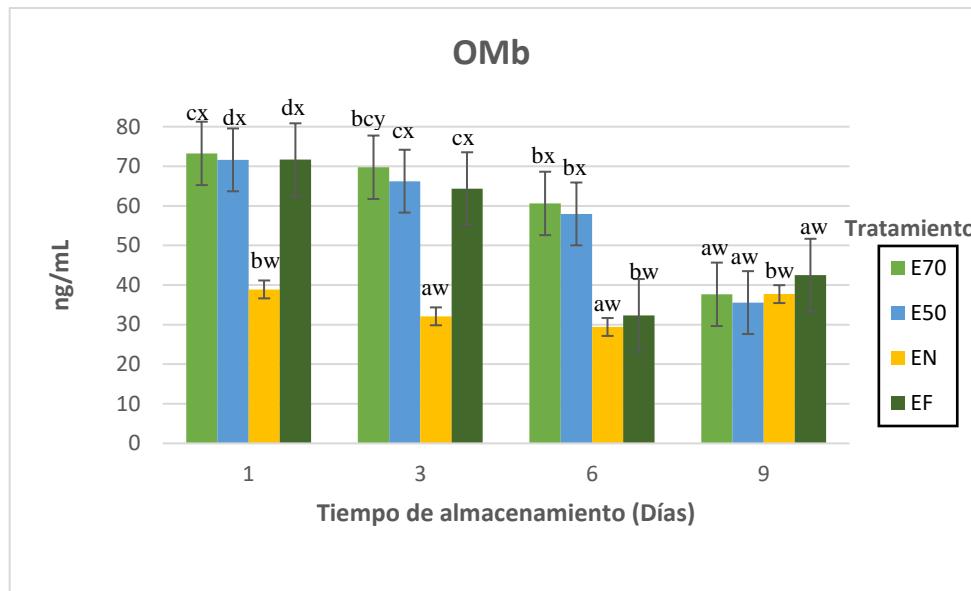
El tratamiento EN entre el día 1 y el día 3 presenta niveles de metamioglobina estadísticamente significativos, mientras que en los días 6 y 9 disminuye significativamente, respecto al resto de tratamientos. El tratamiento EF en el día 6 presenta un aumento significativo, siendo el tratamiento que tiene mayores niveles de metamioglobina en este día. Sin embargo, disminuye significativamente entre el día 6 al 9. En cuanto al tratamiento E50 podemos observar un aumento significativo en cada uno de los días, que junto al tratamiento E70 presentan los mayores niveles de metamioglobina en el día 9 de almacenamiento. Estos valores concuerdan con los hallados en la literatura científica (Argyri, Panagou and Nychas, 2012). Por ejemplo, en el siguiente artículo científico se evaluó el calor de carne de ganso envasada en atmósfera protectora con un 80% de O₂ y 20% CO₂ y al vacío, refrigeradas durante 14 días. Se observó que MMb aumento gradualmente y de forma significativa a lo largo de los días de almacenamiento(Orkusz *et al.*, 2013).



Gráfica 4. Concentración de desoximioglobina en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).

Podemos ver que el tratamiento afectó a los niveles de desoximioglobina de las muestras de carne ($p<0,001$). Sin embargo, no existe efecto del tiempo de almacenamiento ($p=0,421$) ni de la interacción del tiempo y el tratamiento ($p=0,123$).

El tratamiento EN presenta niveles de desoximioglobina estadísticamente significativos respecto al resto de tratamientos en cada uno de los días de almacenamiento, siendo el día 9 el más significativo ya que el tratamiento E70 y EF disminuyen significativamente entre el día 6 y el día 9. El tratamiento E70 tiene un aumento significativo entre el día 3 y 6.



Gráfica 5. Concentración de oximioglobina en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).

Podemos observar diferencias significativas tanto en el tratamiento, en el tiempo de almacenamiento y en la interacción del tiempo y el tratamiento ($p<0,001$). La gráfica muestra como los niveles de oximioglobina en las muestras de carne disminuyen a lo largo del tiempo en cada uno de los tratamientos. Sin embargo, encontramos un aumento significativo en el tratamiento EN entre el día 6 y el día 9.

El tratamiento EN se mantiene en unos niveles de oximioglobina inferiores al resto de tratamientos (E70, E50, EF) a lo largo del tiempo, excepto en el día 9, donde no hay diferencia entre tratamientos. Entre el día 1 y 3 se observan valores estadísticamente significativos de los tratamientos E70, E50, EF respecto al tratamiento EN. En el día 6 podemos observar una diferencia significativa entre los niveles de oximioglobina del tratamiento E70 y E50 superiores a los tratamientos EN y EF. Los resultados obtenidos concuerdan con los que se observan en la literatura científica, donde los valores de oximioglobina disminuyen a lo largo del tiempo de forma gradual (Bingol and Ergun, 2011; Argyri, Panagou and Nychas, 2012). Las concentraciones altas en O_2 promueven la formación de oximioglobina en la carne tal y como se observa en la **Gráfica 5** en los tratamientos E70 y E50.

4.4 TPA

En la **Tabla 3** podemos observar cómo varían la dureza, cohesividad y adhesividad de las muestras en distintos tratamientos a lo largo del tiempo.

Tabla 3. Media de las medidas de la textura (dureza, cohesividad y adhesividad) y valor *p* de los efectos estudiados (tratamiento y tiempo de almacenamiento) en carne picada de ternera.

Tratamiento	Tiempo de almacenamiento	Dureza	Cohesividad	Adhesividad
E70	1 día	4,4 ^{aw}	0,28 ^{abw}	-0,0002 ^{abw}
	3 días	6,4 ^{aw}	0,27 ^{abw}	-0,0001 ^{bx}
	6 días	21,1 ^{aw}	0,23 ^{ax}	-0,0003 ^{ax}
	9 días	8,3 ^{aw}	0,31 ^{bw}	-0,0001 ^{bx}
E50	1 día	6,0 ^{ax}	0,27 ^{abw}	0,00003 ^{bx}
	3 días	9,2 ^{ax}	0,30 ^{bcw}	-0,0003 ^{awx}
	6 días	34,0 ^{bwx}	0,23 ^{ax}	-0,0003 ^{ax}
	9 días	9,9 ^{aw}	0,36 ^{cx}	-0,0002 ^{abwx}
EN	1 día	5,9 ^{ax}	0,28 ^{bw}	-0,0002 ^{bwx}
	3 días	8,9 ^{ax}	0,30 ^{bw}	-0,0003 ^{bwx}
	6 días	42,3 ^{bx}	0,17 ^{aw}	-0,0006 ^{aw}
	9 días	8,2 ^{aw}	0,31 ^{bw}	-0,0002 ^{bwx}
EF	1 día	6,4 ^{ax}	0,29 ^{aw}	-0,0001 ^{bwx}
	3 días	9,1 ^{bx}	0,30 ^{abw}	-0,0004 ^{abw}
	6 días	19,0 ^{cw}	0,26 ^{ay}	-0,0004 ^{awx}
	9 días	8,8 ^{bw}	0,33 ^{bwx}	-0,0003 ^{abw}
E.E.M	Total	12,74	0,28	-0,0003
B		0,001	0,014	0,004
T		<0,001	<0,001	<0,001
B*T		<0,001	0,028	0,056

B: Efecto del tratamiento; T: Efecto del tiempo de almacenamiento; EEM: Error estándar de la media; a, b, c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado (*p*<0,05) w, x, y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado (*p*<0,05)

Se encontraron diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento para todas las variables de la textura (*p*<0,001), así como para el efecto del tratamiento y la interacción del tratamiento con el tiempo (*p*<0,05). Independientemente del tratamiento, podemos observar que hay un aumento significativo de la dureza entre el día 3 y el día 6 y una disminución significativa entre los días 6 y 9 de todos los tratamientos excepto el tratamiento E70.

El aumento de la dureza a lo largo del tiempo concuerda con los resultados obtenidos en otras investigaciones(Gómez and Lorenzo, 2012; Zouaghi and Cantalejo, 2016).En varios estudios se ha determinado que el aumento de la dureza puede deberse a que durante el proceso de picado de la

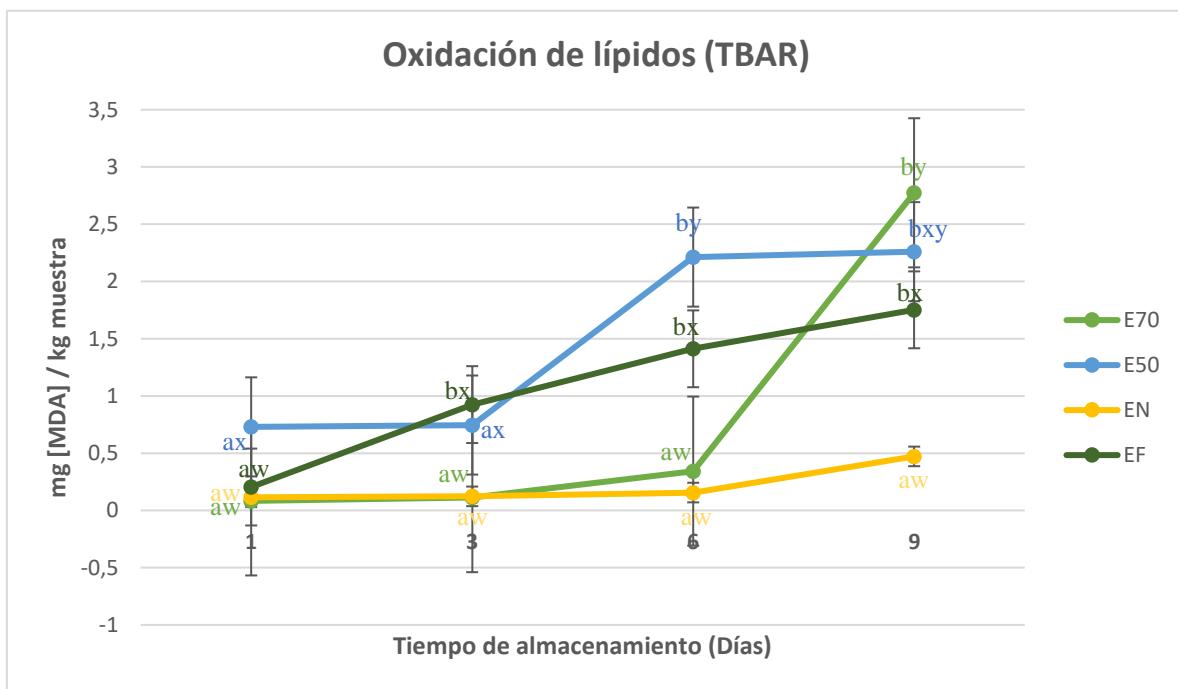
carne envasada se aumenta el área de la superficie por lo que hay una mayor exposición del envase al oxígeno y a la oxidación de las proteínas lo que provoca un endurecimiento por formación de puentes disulfuro (Gómez and Lorenzo, 2012; Bao, Puolanne and Ertbjerg, 2016; Zouaghi and Cantalejo, 2016). Sin embargo, en nuestro caso no se explica que el tratamiento EN que no tiene oxígeno tenga los valores más elevados de dureza, por lo que puede deberse a otros factores como la perdida de agua de la carne de ternera, tal y como se sugiere en el siguiente estudio (Chmiel *et al.*, 2019). Aun así, no podemos afirmar que el aumento de dureza se deba a la perdida de agua, por lo que debe someterse a estudio.

En cuanto a la cohesividad, podemos observar que hay un aumento significativo entre el día 6 y el día 9 de cada uno de los tratamientos siendo más significativo en el tratamiento E50. En el día 1 de almacenamiento podemos ver que no hay diferencias entre los tratamientos E50, EN, EF, mientras que en el tratamiento EF encontramos una disminución significativa entre el día 3 y día 6 de almacenamiento. En el día 3 no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, mientras que el día 6 se observan diferencias significativas entre los tratamientos EN y EF. En el día 9 de almacenamiento en el día EF y E50 respecto al resto de tratamientos.

En cuanto a la adhesividad, podemos observar que en el tratamiento E70 hay un aumento significativo entre el día 2 y el día 6. En el tratamiento EN se observa un aumento significativo de la adhesividad en los días 3 y 6 y una disminución significativa entre los días 6 y 9. En el tratamiento EF se observa un aumento significativo entre el día 1 y el día 3. En el tratamiento E50 se observa una disminución significativa entre el día 1 y el día 3 de almacenamiento.

4.5 TBAR

En la **Gráfica 6** podemos ver la evolución de la oxidación lipídica a lo largo del tiempo de almacenamiento



Gráfica 6. Oxidación lipídica de las muestras de carne picada en función del tratamiento y del tiempo de almacenamiento; a,b,c.- diferencias entre tiempos de almacenamiento para un tratamiento dado ($p<0.05$); w,x,y.- diferencias entre tratamientos para un tiempo de almacenamiento dado ($p<0.05$).

El tratamiento, el tiempo de almacenamiento y la interacción del tratamiento con el tiempo afectaron a los niveles de oxidación lipídica de las muestras de carne ($p<0,001$). Independientemente del tiempo de almacenamiento, el tratamiento E50 presentó valores de oxidación superiores al tratamiento EN ($p>0,05$) que no presenta diferencias significativas. Tal y como se observa en la gráfica, la oxidación lipídica con el tiempo aumenta en todos los tratamientos, como era de esperar, siendo significativa en el tratamiento E70 entre los días 6 y el 9 ($p<0,05$). Podemos observar que entre el día 1 y el día 3 solo se encuentran diferencias significativas en el tratamiento EF, mientras que en el día 6 se observan diferencias significativas en el tratamiento E50.

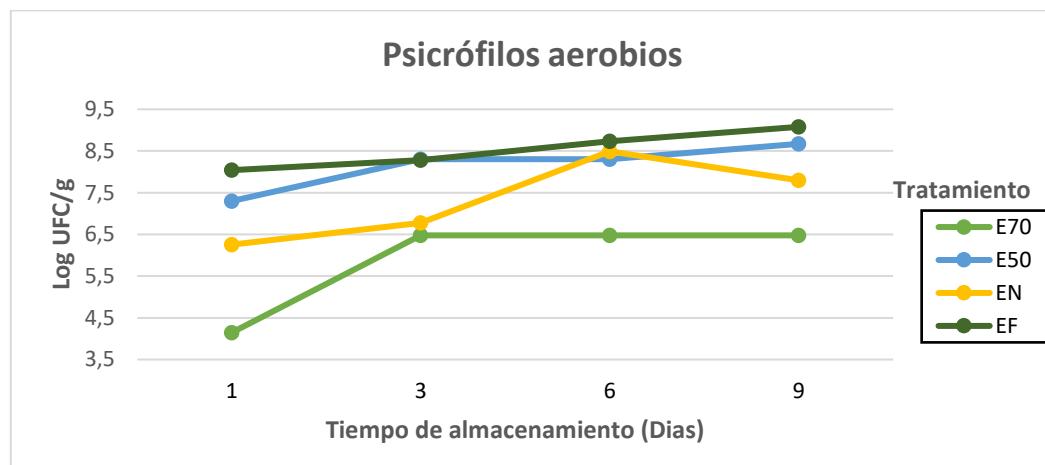
La literatura científica indica que existe una relación entre la cantidad de oxígeno de la atmósfera protectora con el aumento de la oxidación lipídica, lo que provocaría sabores indeseables en la carne. Es por eso que la oxidación de lípidos es un factor limitante para la vida útil de la carne de ternera envasada en atmósfera modificada con alto contenido de oxígeno (Zakrys *et al.*, 2007; Gómez and Lorenzo, 2012; Chmiel *et al.*, 2019). En nuestro caso podemos observar esta relación en el tratamiento E50 a partir del día 6 y en el tratamiento E70 en el día 9 de almacenamiento. También se ha indicado que las atmósferas con un mayor contenido en dióxido de carbono retrasan el aumento de la oxidación lipídica en la carne (Bingol and Ergun, 2011). En nuestro caso vemos diferencias entre las dos atmósferas con CO₂. El tratamiento EN muestra niveles bajos de oxidación hasta el día

6 aumentando hasta el día 9. En cambio, el tratamiento E50 muestra un rápido aumento de la oxidación entre el día 3 y día 6 manteniendo estos niveles hasta el día 9. Sin embargo, no podemos afirmar a que estas diferencias se deban a los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, sino que puede ser debida a otros factores.

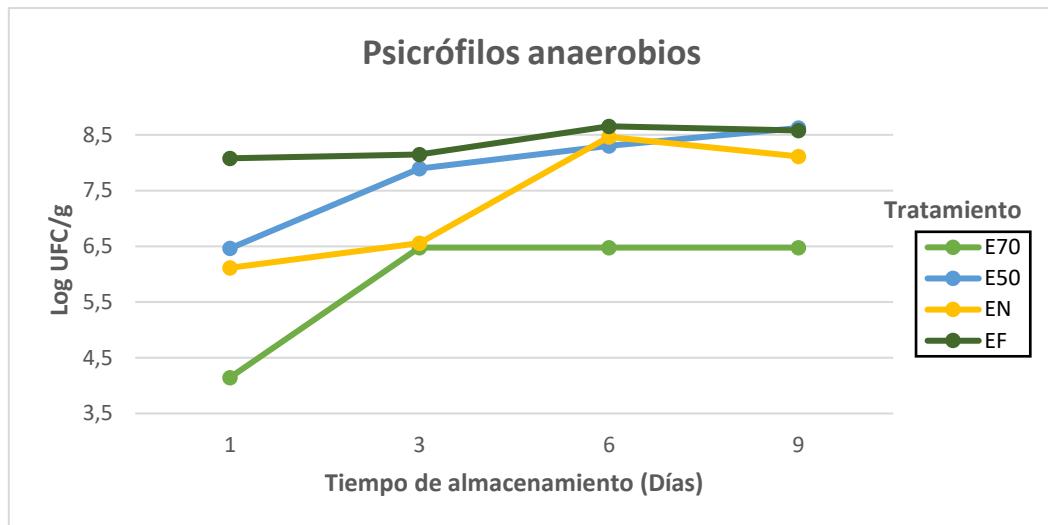
Algunos autores, han establecido unos valores límite de TBARS para detectar la rancidez de la carne y con ello la aceptabilidad de la carne por parte del consumidor. Este valor se encuentra entre 2-2,28mg MDA/kg carne, las muestras de carne con valores por debajo de este límite presenta menor grado de rancidez y mal olor. Si comparamos este valor con los resultados obtenidos podemos observar que los tratamientos con mayor rancidez son El 70 a partir del día 9 de almacenamiento, y El E50 a partir del día 6 de almacenamiento(Nam and Ahn, 2003; Gómez and Lorenzo, 2012).

4.6 Microbiología

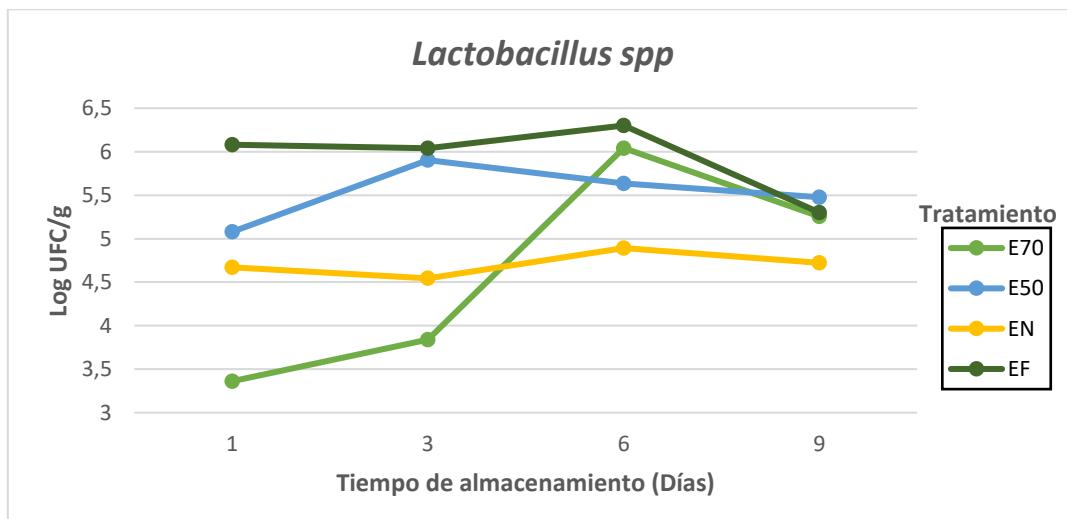
En las siguientes graficas podemos observar el crecimiento microbiano de psicrófilos aerobios, psicrófilos anaerobios, y *Lactobacillus spp* en los distintos tratamientos a lo largo del tiempo de almacenamiento. Podemos observar que el crecimiento de microorganismos aumenta con el tiempo, como era de esperar, aunque no se observa grandes diferencias entre los tratamientos.



Gráfica 7. Microorganismos psicrófilos aerobios en las muestras de carne a lo largo del tiempo de almacenamiento en función del tratamiento.



Gráfica 8. Microorganismos psicrófilos anaerobios en las muestras de carne a lo largo de los días y en función del tratamiento.



Gráfica 9. Lactobacillus spp en las muestras de carne a lo largo de los días en función del tratamiento.

Además, también se cuantificó la *Listeria monocytogenes* en cada una de las muestras. Sin embargo, no se encontró presencia de *Listeria monocytogenes* en ninguna de ellas, algo similar ocurre en otros estudios (Dragoev *et al.*, 2014)

5. Conclusiones

Los resultados de este experimento permitieron obtener las siguientes conclusiones:

1. El tipo de tratamiento afectó a los niveles de oxígeno y dióxido de carbono, siendo el tratamiento E70 donde más varían estos gases. Esta marcada variación, puede ser debida a un mal envasado de las muestras.
2. En cuanto a las variables del color, podemos determinar que la luminosidad aumenta con el tiempo, algo característico en las carnes almacenadas en refrigeración tal y como lo reflejan

algunos autores. Por su parte, el índice de rojo disminuye a lo largo del tiempo, sobre todo en los tratamientos E50 y E70. El índice de amarillo es una variable poco discutida por que no contribuye en gran medida a la apariencia de la carne, sin embargo, podemos observar una disminución a lo largo del tiempo en todos los tratamientos, tal y como lo refleja la bibliografía.

3. La metamioglobina aumenta en cada uno de los tratamientos a lo largo del tiempo mientras que la oximioglobina disminuye. Esto se debe a la oxidación de la OMb en MMb durante periodos largos de almacenamiento provocando cambios en de color en la carne de un color rojo a uno marrón. Esto explica a su vez, la disminución del índice de rojo de las muestras. El tratamiento E70 es el que más concentración de MMb tiene y el que presenta a su vez los niveles más bajos de OMb.
4. En cuanto a la textura la dureza aumenta a lo largo de los días en todos los tratamientos salvo en el E70. Además, hay un aumento de la cohesividad de las muestras en todos los tratamientos entre los días 6 y 9 de almacenamiento, siendo más significativo en el tratamiento E50.
5. La oxidación lipídica aumenta con el tiempo de almacenamiento, siendo significativa en el E70 entre los últimos días de almacenamiento. Los niveles de oxidación lipídica más bajos los presenta el tratamiento EN. En los tratamientos con mayores niveles de oxígeno, E70 y E50 se observa como aumenta la oxidación lipídica, a partir del día 6 y 9, respectivamente.
6. Los resultados microbiológicos no fueron representativos ya que solo se obtuvieron resultados de una replica por día y tratamiento. Sin embargo, podemos ver el crecimiento microbiano aumenta a lo largo de los días y no se aprecian grandes diferencias entre tratamientos.
7. Tanto en la literatura como en nuestros resultados se establece una relación entre las atmósferas con un alto contenido de oxígeno con el aumento de la oxidación lipídica y el aumento de la formación de metamioglobina. Esto afecta directamente a la vida útil y a la aceptabilidad de la carne por parte del consumidor.

Teniendo en cuenta todo esto podemos determinar que cada uno de los tratamientos mantiene mejor algunas, pero no todas las características organolépticas de la carne de ternera. El tratamiento E50 mantuvo estable la composición atmosférica del envase, y unos valores superiores de OMb a los de MMb. Sin embargo, no consigue retrasar la oxidación lipídica, puesto que se mantiene en unos niveles intermedios-altos. Por su parte, el tratamiento EN mantiene niveles atmosféricos estables a lo largo del tiempo, y unos niveles de oxidación bajos, sin embargo, no consiguió conservar el color de la carne, ya que contenía niveles de MMb muy superiores a los de OMb. Por ello, no podemos concluir en un envase óptimo que preserve las características propias de la carne, por lo que los resultados obtenidos deben estudiarse de cara a posibles investigaciones futuras.

6. Bibliografía

- Ángel, M. and Lurueña (2011) *color de la carne (I)*. Available at: <http://www.gominolasdepetroleo.com/2011/09/sobre-el-color-de-la-carne-i.html> (Accessed: 13 November 2021).
- Argyri, A. A., Panagou, E. Z. and Nychas, G. J. E. (2012) *Advances in vacuum and modified atmosphere packaging of poultry products, Advances in Meat, Poultry and Seafood Packaging*. Woodhead Publishing Limited. doi: 10.1533/9780857095718.2.205.
- Aspé, E. R. *et al.* (2008) 'Envasado de Carne de Vacuno con Hueso y Grasa en Atmósfera Modificada con CO₂ y CO', *Información tecnológica*, 19(6), pp. 57–69. doi: 10.4067/S0718-07642008000600007.
- Bao, Y., Puolanne, E. and Ertbjerg, P. (2016) 'Effect of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on color and texture of beef patties cooked to different temperatures', *Meat Science*, 121, pp. 189–195. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.06.014.
- Bertolín, J. R., Joy, M. and Blanco, M. (2019) 'Malondialdehyde determination in raw and processed meat products by UPLC-DAD and UPLC-FLD', *Food Chemistry*, 298, p. 125009. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2019.125009.
- Bingol, E. B. and Ergun, O. (2011) 'Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on the microbiological quality and shelf life of ostrich meat', *Meat Science*, 88(4), pp. 774–785. doi: 10.1016/J.MEATSCI.2011.03.013.
- Chmiel, M. *et al.* (2019) 'Influence of storage and packaging method on chicken breast meat chemical composition and fat oxidation', *Poultry Science*, 98(6), pp. 2679–2690. doi: 10.3382/PS/PEZ029.
- Dalla Rosa, M. (2018) *Packaging sustainability in the meat industry, Sustainable Meat Production and Processing*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/B978-0-12-814874-7.00009-2.
- Demirhan, B. and Candoğan, K. (2017) 'Active packaging of chicken meats with modified atmosphere including oxygen scavengers', *Poultry Science*, 96(5), pp. 1394–1401. doi: 10.3382/PS/PEW373.
- Domínguez, R. *et al.* (2019) 'A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products', *Antioxidants*, 8(10). doi: 10.3390/ANTIOX8100429.
- Dragoev, S. G. *et al.* (2014) 'Improvement of the quality and the shelf life of the high oxygen modified atmosphere packaged veal by superficial spraying with dihydroquercetin solution', *International Journal of Food Science*, 2014. doi: 10.1155/2014/629062.
- Esmer, O. K. *et al.* (2011) 'The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological

- criteria, color and oxidation values of minced beef meat', *Meat Science*, 88(2), pp. 221–226. doi: 10.1016/J.MEATSCI.2010.12.021.
- Fang, Z. *et al.* (2017) 'Active and intelligent packaging in meat industry', *Trends in Food Science and Technology*, 61(2), pp. 60–71. doi: 10.1016/j.tifs.2017.01.002.
- FAO (2013) 'FAO - División de Producción y Sanidad Animal', *Ganado y medio ambiente*, p. 1. Available at: https://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html (Accessed: 11 November 2021).
- Gómez, M. and Lorenzo, J. M. (2012) 'Effect of packaging conditions on shelf-life of fresh foal meat', *Meat Science*, 91(4), pp. 513–520. doi: 10.1016/J.MEATSCI.2012.03.007.
- Krzywicki, K. (1982) 'The determination of haem pigments in meat', *Meat Science*, 7(1), pp. 29–36. doi: 10.1016/0309-1740(82)90095-X.
- Lee, K. T. (2010) 'Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials', *Meat Science*, 86(1), pp. 138–150. doi: 10.1016/J.MEATSCI.2010.04.035.
- Lopacka, J., Póltorak, A. and Wierzbicka, A. (2016) 'Effect of MAP, vacuum skin-pack and combined packaging methods on physicochemical properties of beef steaks stored up to 12 days', *Meat Science*, 119, pp. 147–153. doi: 10.1016/J.MEATSCI.2016.04.034.
- Luzardo, B. (2017) *VIDA ÚTIL DE LA CARNE: INFLUENCIA DEL ENVASADO Y SISTEMA DE PRODUCCIÓN*.
- McMillin, K. W. (2017) 'Advancements in meat packaging', *Meat Science*, 132, pp. 153–162. doi: 10.1016/J.MEATSCI.2017.04.015.
- Ministerio, A. (2013) *Ternera*. Available at: http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/ternera_tcm7-315435.pdf.
- Nam, K. C. and Ahn, D. U. (2003) 'Double-packaging is effective in reducing lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated raw Turkey meat', *Poultry Science*, 82(9), pp. 1468–1474. doi: 10.1093/ps/82.9.1468.
- Orkusz, A. *et al.* (2013) 'Effect of protective atmosphere on color of goose meat', *Poultry Science*, 92(8), pp. 2188–2194. doi: 10.3382/PS.2012-02913.
- Singh, P. *et al.* (2011) 'Understanding critical factors for the quality and shelf-life of MAP fresh meat: A review', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(2), pp. 146–177. doi: 10.1080/10408390903531384.
- Soren, N. M. and Biswas, A. K. (2019) *Methods for nutritional quality analysis of meat, Meat Quality Analysis: Advanced Evaluation Methods, Techniques, and Technologies*. Elsevier Inc. doi: 10.1016/B978-0-12-81500-0-5.00001-1.

10.1016/B978-0-12-819233-7.00002-1.

Zakrys *et al.* (2007) 'Effects Modified, oxygen concentration on the quality of beef steak packed under Anatmosphere.', *Proceeding of 53rd International Congress of Meat Science Technology*, pp. 525–526.

Zouaghi, F. and Cantalejo, M. J. (2016) 'Study of modified atmosphere packaging on the quality of ozonated freeze-dried chicken meat', *Meat Science*, 119, pp. 123–131. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.04.032.