



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**EFFECTO DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO
CON CO₂, TIEMPO DE DESANGRADO Y
ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA POST-MORTEM
EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO**

INFLUENCE OF CO₂ STUNNING METHOD,
BLEEDING TIME AND POST-MORTEM
ELECTRICAL STIMULATION ON QUALITY
TURKEY MEAT

TESIS DOCTORAL

M^a SOLEDAD MAURI LÓPEZ

2017

TITULO: *Efecto del sistema de aturdimiento con CO2, tiempo de desangrado y estimulación eléctrica post-mortem en la calidad de la carne de pavo*

AUTOR: *Maria Soledad Mauri López*

© Edita: UCOPress. 2017
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**EFEECTO DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO
CON CO₂, TIEMPO DE DESANGRADO Y
ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA POST-MORTEM
EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO**

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA
POR LA LICENCIADA

M^a SOLEDAD MAURI LÓPEZ

DIRECTORES

Dr. Francisco Peña Blanco

Dra. Carmen Avilés Ramírez

Córdoba, Mayo de 2017

*Tesis doctoral enmarcada en el programa de doctores en empresas y
cofinanciada por ceiA3, el Ministerio de Educación Cultura y
Deporte/Ministerio de Economía y Competitividad y el Banco de
Santander*





TÍTULO DE LA TESIS: Efecto del sistema de aturdimiento con CO₂, tiempo de desangrado y estimulación eléctrica post-mortem en la calidad de la carne de pavo

DOCTORANDA: M^a Soledad Mauri López

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La Tesis Doctoral que se presenta opta a la Mención de Doctorado Industrial. El desarrollo experimental de la misma ha tenido lugar en el seno de una empresa agroalimentaria y la tesis tiene relación directa con el proyecto de investigación industrial llevado a cabo por la doctoranda. El trabajo realizado en esta tesis ha contribuido por tanto a estimular la participación de las empresas en el programa de Doctorado de Biociencias y Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Córdoba

El desarrollo experimental se ha estructurado en 5 capítulos. Todos ellos se han redactado en formato de artículo de investigación, si bien únicamente los dos primeros se encuentran actualmente *aceptado para publicar y en revisión* respectivamente en una revista ISI de gran impacto en el campo de la avicultura internacional.

CAPÍTULO I: Efectos del sistema de aturdimiento con CO₂ y del sexo en la calidad de la carne de pavo. En este primer capítulo se ha evaluado la influencia del método de aturdimiento y del sexo de los animales en los parámetros de calidad de carne de pechuga de pavo. El capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

- Mauri S., Guijarro A., Avilés C. y Peña F. 2017. Influence of carbon dioxide stunning procedure on quality of turkey meat. British Poultry Science. Doi: 10.1080/00071668.2017.1285393. Índice de impacto: 0,933 (2^o cuartil).

CAPÍTULO II: Efectos del sistema de aturdimiento con CO₂ y de la edad de sacrificio en la calidad de la carne de pavo. En este capítulo se ha determinado la influencia del método de aturdimiento y la edad al sacrificio de los animales sobre la calidad de la carne de pechuga de pavo. El capítulo está integrado por el siguiente trabajo:

- Mauri S., Guijarro A., Peña F., Domenech V. y Avilés C. 2017. Relevance of age at slaughter on meat quality of turkeys stunned with CO₂. British Poultry Science. Índice de impacto: 0,933 (2º cuartil).

CAPÍTULO III: Efectos de la edad de sacrificio y el sexo en la composición físico-química de la carne de pavo. Para completar la caracterización integral del producto en estudio que procede de distintos tipos comerciales, en este capítulo se ha evaluado el efecto del sexo y la edad al sacrificio de los animales sobre la composición físico-química de la carne de pechuga de pavo.

CAPÍTULO IV: Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* sobre la calidad de la carne de pavo. En este capítulo se presentan los resultados del primero de los experimentos (aplicación de una corriente eléctrica) que se realizaron sobre las canales tras el sacrificio para favorecer el desangrado óptimo de las mismas.

CAPÍTULO V: Efecto del tiempo de desangrado en la calidad de la carne de pavo. En este capítulo se presentan los resultados del segundo experimento (incremento de la duración del periodo de desangrado) que se realizaron sobre las canales tras el sacrificio para favorecer el desangrado óptimo de las mismas.

Por todo ello, autorizamos la presentación y defensa de esta Tesis Doctoral, para obtener el grado de Doctora con Mención Industrial.

Córdoba, 5 de mayo de 2017
Firma de los directores



Fdo.: Francisco Peña Blanco

Fdo.: Carmen Avilés Ramírez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de tesis, Francisco Peña y Carmen Avilés su esfuerzo y dedicación en todo momento. Quiero mencionar que el desarrollo de esta tesis, al pertenecer al programa de doctores en empresas, ha sido complejo debido a la distancia que me separaba de la Universidad. Sin embargo, aunque yo haya realizado mi trabajo en la empresa, mis directores de tesis han estado guiándome siempre. En especial quiero dar las gracias a mi directora Carmen, que ha estado ahí en todo momento con llamadas interminables a última hora de la tarde, con mensajes y correos los fines de semanas, festivos... Gracias de corazón por esa atención, apoyo y dedicación que han hecho posible que hoy pueda estar escribiendo estas palabras de agradecimiento como punto final de esta tesis.

A la empresa en la que he desarrollado mi trabajo de investigación día a día. En primer lugar, quiero agradecer a todos los profesionales que han colaborado en el desarrollo de todos los experimentos y pruebas realizadas y que han aportado su granito de arena para que este proyecto se llevase a cabo. Quiero agradecer a la empresa la oportunidad que me dio para desarrollar en sus instalaciones un proyecto de investigación, un ejemplo de empresa que se preocupa por el desarrollo y la innovación y por colaborar con la Universidad, para aprovechar el conocimiento de los investigadores. Agradecer la oportunidad de trabajar con grandes profesionales y buenos compañeros de los que he tenido la satisfacción de aprender día a día y compartir muy buenos momentos. En especial a Fran, mi jefe, que ha hecho que hoy sea la profesional que soy. Que me ha dado la oportunidad de aprender la profesión que tanto me gusta y que me hace sentir realizada día a día. La oportunidad de seguir aprendiendo,

formándome y creciendo dentro de la compañía. Por todo eso GRACIAS. Al Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario ceiA3, al Ministerio de Educación Cultura y Deporte, Ministerio de Economía y Competitividad y el Banco de Santander por su aporte económico para el desarrollo del programa de doctores en empresas que han aportado los medios para que el desarrollo de esta tesis y de mi formación como investigadora fuese posible.

A mi familia, por creer siempre en mí. A mi padre José Antonio por enseñarme que la constancia, las ganas y la ilusión son los grandes propulsores para conseguir lo que te propongas. A mi madre Manoli, por ser el motor de mi vida, por enseñarme que el respeto, la amabilidad y la tolerancia son llaves que abren puertas en todo el mundo y que a mí me han servido para abrir la puerta de mi carrera profesional y seguir creciendo en ella. Gracias por su paciencia, por tener siempre el consejo perfecto para hacerme ver el sentido a todo y por estar siempre ahí.

A todas las personas que de algún modo han sido participes para que este trabajo salga adelante, GRACIAS.

ÍNDICE

INDICE DE CONTENIDOS

Índice.	13
Índice de figuras.	17
Índice de imágenes.	19
Índice de tablas.	20
Índice de abreviaturas.	23
Resumen.	27
Abstract.	31
Objetivos.	35
1. Introducción.	39
2. Revisión bibliográfica.	43
2.1. Producción de carne de pavo a nivel mundial y a nivel nacional.	43
2.1.1. El sector de la carne de pavo en el contexto internacional.	43
2.1.2. Producción de carne de pavo en España.	46
2.2. La especie <i>Meleagris gallopavo</i> .	47
2.2.1. Origen de la especie <i>Meleagris gallopavo</i> .	47
2.2.2. Introducción de la especie <i>Meleagris gallopavo</i> en Europa.	51
2.2.3. Descripción general de la especie <i>Meleagris gallopavo</i> .	53
2.2.4. Clasificación taxonómica.	55
2.2.5. Clasificación racial.	56
2.2.6. Características biológicas de la especie <i>Meleagris gallopavo</i> .	56
2.2.6.1. Reproducción.	56
2.2.6.2. Comportamiento y hábitos alimenticios.	57

2.2.6.3. Usos de la especie <i>Meleagris gallopavo</i> por los humanos.	60
2.2.7. Sistemas productivos.	61
2.2.7.1. Sistema extensivo.	63
2.2.7.2. Sistema semi-intensivo.	63
2.2.7.3. Sistema intensivo.	64
2.3. Métodos de aturdimiento.	68
2.3.1. Orígenes de los métodos de aturdimiento.	69
2.3.2. Aturdimiento eléctrico.	70
2.3.3. Aturdimiento por gas.	76
2.4. Transformación del músculo en carne.	80
2.4.1. <i>Rigor mortis</i> .	81
2.4.2. Maduración de la carne.	82
2.5. Factores principales que afectan a la calidad de la carne.	85
2.5.1. pH.	85
2.5.2. Color.	87
2.5.3. Capacidad de retención de agua.	88
2.5.4. Textura.	89
3. Materiales y métodos.	93
3.1. Animales.	93
3.2. Manejo y alimentación.	95
3.3. Transporte y manejo pre-sacrificio.	96
3.4. Aturdimiento y sacrificio.	97
3.5. Análisis de parámetros de calidad de carne.	101
3.5.1. Toma de muestras.	101
3.5.2. Técnicas utilizadas en el análisis de los parámetros de calidad.	103
3.5.3. Metodología utilizada para analizar la sangre residual de la canal.	111
3.6. Análisis estadístico.	115

4. Capítulo I.	119
5. Capítulo II.	131
6. Capítulo III.	159
6.1. Introducción.	159
6.2. Materiales y métodos.	159
6.3. Resultados.	160
6.4. Discusión.	161
6.5. Conclusiones.	163
7. Capítulo IV.	167
7.1. Introducción.	167
7.2. Materiales y métodos.	169
7.3. Resultados.	169
7.3.1. pH.	169
7.3.2. Color.	171
7.3.3. Pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura.	173
7.3.4. Contenido en sangre residual.	174
7.3.4.1. Pechugas.	175
7.3.4.2. Contramuslos.	177
7.3.4.3. Alas.	179
7.4. Discusión.	181
7.5. Conclusiones.	187
8. Capítulo V.	191
8.1. Introducción.	191
8.2. Materiales y métodos.	192
8.3. Resultados.	193
8.3.1. pH.	193
8.3.2. Color.	194
8.3.3. Pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura.	196

8.3.4. Contenido en sangre residual.	197
8.3.4.1. Pechugas.	197
8.3.4.2. Contramuslos.	200
8.3.4.3. Alas.	202
8.4. Discusión.	204
8.5. Conclusiones.	207
9. Discusión general.	211
10. Conclusiones generales	219
11. Bibliografía.	223

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de carne de pavo (Ton) en los diez principales países productores (año 2010-2014).

Figura 2. Proporción por continentes de la producción mundial de carne de pavo (año 2014).

Figura 3. Evolución de la producción mundial de carne de pavo en el periodo 2000-2014.

Figura 4. Evolución de la producción nacional de carne de pavo en el periodo 2000-2014.

Figura 5. Ubicación prehispánica de *M. ocellata* y *M. gallopavo* en Mesoamérica.

Figura 6. Esquema simplificado de un baño de agua eléctrico.

Figura 7. Esquema del proceso de transformación del músculo en carne y su maduración.

Figura 8. Estados de óxido-reducción de la mioglobina en carne fresca.

Figura 9. Representación gráfica del corte del cuello realizado para el sacrificio de los pavos.

Figura 10. Esquema del equipo utilizado para la electo-estimulación de los pavos.

Figura 11. Esquema de la fragmentación de las pechugas.

Figura 12. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de pechugas en condiciones normales y pechugas que han sido sometidas a electro-estimulación.

Figura 13. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de contramuslos en condiciones normales y contramuslos que han sido sometidas a electro-estimulación.

Figura 14. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de alas en condiciones normales y alas que han sido sometidas a electro-estimulación.

Figura 15. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de pechugas en condiciones normales y pechugas procedentes de canales con mayor tiempo de desangrado.

Figura 16. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de contramuslos en condiciones normales y contramuslos procedentes de canales con mayor tiempo de desangrado.

Figura 17. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de alas en condiciones normales y alas procedentes de canales con mayor tiempo de desangrado.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Hembra de pavo silvestre.

Imagen 2. El pavo ocelado (*Meleagris ocellata*).

Imagen 3. Pavo salvaje o guajolote (*Meleagris gallopavo*).

Imagen 4. pH-metro Crison PH25.

Imagen 5. Espectrofotómetro Minolta CM2600d.

Imagen 6. Muestras almacenadas para la determinación de las pérdidas por goteo.

Imagen 7. Muestras en el baño para la determinación de las pérdidas por cocinado.

Imagen 8. Texturómetro TA-XT-2.

Imagen 9. Criterios de referencia para la puntuación de sangre residual en pechugas.

Imagen 10. Criterios de referencia para la puntuación de sangre residual en contramuslos.

Imagen 11. Criterios de referencia para la puntuación de sangre residual en alas.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química media de la carne de algunas especies de aves.

Tabla 2. Principales razas de pavos nacionales e internacionales.

Tabla 3. Corrientes mínimas para el aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza.

Tabla 4. Requisitos eléctricos del equipamiento de aturdimiento por baño de agua (Valores medios por animal).

Tabla 5. Parámetros de crecimiento de los pavos en función del género y la edad de sacrificio.

Tabla 6. Ingredientes de la dieta basal ofrecida a los pavos durante las fases de crecimiento (etapa 1) y engorde (etapa 2).

Tabla 7. Concentración de CO₂ y tiempo en el sistema de aturdimiento por etapas.

Tabla 8. Concentración de CO₂ y tiempo en el sistema de aturdimiento con concentración fija.

Tabla 9. Composición físico-química de la carne de pavo en función de la edad de sacrificio y del sexo.

Tabla 10. Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el pH de las pechugas.

Tabla 11. Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el color de las pechugas.

Tabla 12. Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en las pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura de las pechugas.

Tabla 13. Tabla de contingencia del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el contenido de sangre residual de las pechugas.

Tabla 14. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en pechugas tratadas con electro-estimulación vs. condiciones estándar.

Tabla 15. Tabla de contingencia del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el contenido de sangre residual de los contramuslos.

Tabla 16. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en contramuslos tratados con electro-estimulación vs. condiciones estándar.

Tabla 17. Tabla de contingencia del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el contenido de sangre residual de las alas.

Tabla 18. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en alas tratadas con electro-estimulación vs. condiciones estándar.

Tabla 19. Efecto del aumento del tiempo de desangrado en el pH de las pechugas.

Tabla 20. Efecto del aumento del tiempo de desangrado en color de las pechugas.

Tabla 21. Efecto del aumento del tiempo de desangrado en las pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura de las pechugas.

Tabla 22. Tabla de contingencia del efecto del aumento del tiempo de desangrado en el contenido de sangre residual de las pechugas.

Tabla 23. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en pechugas con tratamiento de mayor tiempo de desangrado vs. condiciones estándar.

Tabla 24. Tabla de contingencia del efecto del aumento del tiempo de desangrado en el contenido de sangre residual de los contramuslos.

Tabla 25. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en contramuslos con tratamiento de mayor tiempo de desangrado vs. condiciones estándar.

Tabla 26. Tabla de contingencia del efecto del aumento del tiempo de desangrado en el contenido de sangre residual en alas.

Tabla 27. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en alas con tratamiento de mayor tiempo de desangrado vs. condiciones estándar.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

aC: antes de Cristo.

AMS: espectrometría de masas con aceleradores.

Ar: Argón.

BUT: British United Turkey Limited

CE: Comisión Europea.

CO: monóxido de carbono.

CO₂: dióxido de carbono.

CRA: Capacidad de retención de agua.

dC: después de Cristo.

E: edad del animal en el momento del sacrificio.

EEG: electroencefalograma.

ES: Estimulación eléctrica.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

g: gramos.

G: Tipo de tratamiento en el aturdimiento, electro-estimulación y tiempo de desangrando de los animales.

Hz: Hercio.

IR: Infrarrojo.

mA: miliamperio.

Min: minutos.

N₂: nitrógeno.

O₂: oxígeno.

S: segundos.

T: grado de maduración de la carne en los análisis de calidad de carne realizados.

Ton: Toneladas.

UE: Unión Europea.

RESUMEN

RESUMEN

El aturdimiento de los animales previo al sacrificio es una práctica obligatoria en todos los mataderos para evitar su sufrimiento. El aturdimiento gaseoso por CO₂ se introdujo en la década de los 90 del siglo XX en las plantas de procesado de aves y presenta mejoras en la calidad final de las canales (ausencia de huesos rotos, disminución de hematomas y petequias) en comparación con el aturdimiento eléctrico, más común en las plantas de procesado de aves. Sin embargo, la forma de aplicación del aturdimiento por CO₂ influye en la calidad final de la carne. El sexo, la edad de sacrificio, la estimulación eléctrica de la canal *post-mortem* y el tiempo de la fase de desangrado son otros aspectos que también afectan a la calidad de la carne y son objeto de análisis en esta tesis doctoral. Los rasgos de calidad que resultan importantes para una carne fresca son el color, la textura, la capacidad de retención de agua y la ausencia de sangre residual. Para ello, se evalúan indicadores de calidad de la carne fresca como el pH, el color, las pérdidas de agua por goteo, las pérdidas por cocinado, la textura, la presencia de sangre residual y la composición fisicoquímica.

Esta tesis doctoral se divide en cinco capítulos. En el primer capítulo se aborda el estudio del efecto del sistema de aturdimiento, con diferentes formas de aplicación del CO₂, y del sexo en la calidad de la carne de pavo. El trabajo que integra este capítulo es:

- ✓ Mauri, S., Guijarro, A., Avilés, C. and Peña, F (2017). Influence of carbon dioxide stunning procedure on quality of turkey meat. Artículo aceptado para publicar en British Poultry Science.

Los resultados de este estudio indicaron que el método de aturdimiento afecta al pH, al color y a la capacidad de retención de agua, mientras que el sexo también afecta al pH y al color de las pechugas de pavo.

En el segundo capítulo se evalúa el efecto del sistema de aturdimiento, con diferentes formas de aplicación del CO₂, y de la edad de sacrificio del animal, en la calidad de la carne de pavo. El trabajo que integra este capítulo es:

- ✓ Mauri, S., Guijarro, A., Peña, F, Domenech, V. and Avilés, C (2017). Effects of controlled atmosphere conditions during stunning and age of slaughter on meat quality of turkey. British Poultry Science. Artículo en revisión en British Poultry Science.

Los resultados de esta experiencia indicaron que el tipo de aturdimiento afecta al pH, al color y a la capacidad de retención de agua, mientras que la edad de sacrificio afecta al color y a la capacidad de retención de agua.

En el tercer capítulo se valora la influencia del sexo y la edad al sacrificio en la composición fisicoquímica de la carne de pechuga. Los resultados mostraron que tanto el sexo como la edad al sacrificio afectaron a la composición físico-química de la carne.

En el cuarto capítulo se presenta un estudio del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* de la canal sobre la calidad de la carne de pavo. Los resultados mostraron que la electro-estimulación *post-mortem* afecta al pH, al color y a la capacidad de retención de agua.

En el quinto capítulo se analiza el efecto del tiempo de desangrado en la calidad de la carne de pavo. Los resultados indicaron que el tiempo de desangrado solo afecta al color de las pechugas.

Estos resultados sugieren que el método de aturdimiento, el sexo, la edad de sacrificio y la electro-estimulación *post-mortem* afectaron a parámetros de calidad de la carne, principalmente al pH, color, capacidad de retención de agua y composición físico-química. Sin embargo, el aumento del tiempo de desangrado no tuvo una influencia tan significativa en la calidad final de la carne de pavo.

ABSTRACT

The stunning of animals before the slaughter is a required task in all the slaughterhouse to avoid the animal distress. The gas stunning with CO₂ was introduced in the 90s of the twentieth century in poultry slaughterhouses and this method shows better results for meat quality (absence of broken bones, bruises and red points) rather than electrical stunning, a method more common in poultry slaughterhouses. However, the gas stunning with CO₂ affects the meat quality depending on the way of application of the gas and the gas concentration. The sex, the age of slaughter, the electrical stimulation of carcasses and the bleeding time are other factors that affect the meat quality. All the parameters mentioned are studied in this doctoral thesis. Quality traits such as color, texture, water holding capacity (WHC) and the absence of residual blood are decisive in fresh meat. So, quality indicators such as pH, color, drip loss, cooking loss, shear force, residual blood and physicochemical composition are evaluated.

This doctoral thesis consists of five chapters. The first chapter deals with the study of the influence of carbon dioxide stunning procedure and sex on quality of turkey meat. The paper that integrates this chapter is:

- ✓ Mauri, S., Guijarro, A., Avilés, C. and Peña, F (2017). Influence of carbon dioxide stunning procedure on quality of turkey meat. Article accepted for publication in *British Poultry Science*.

The results of this study showed that the stunning method affects the pH, the color, the water holding capacity (WHC), whereas the sex also affects the pH and the color of turkey breast meat.

The second chapter analyzes the effect of controlled atmosphere conditions during stunning and age of slaughter on meat quality of turkey. The paper that integrates this chapter is:

- ✓ Mauri, S., Guijarro, A., Peña, F, Domenech, V. and Avilés, C (2017). Effects of controlled atmosphere conditions during stunning and age of slaughter on meat quality of turkey. Article under review in British Poultry Science.

The results of this research suggested that the type of stunning affects the pH, the color, the WHC, whereas the age affects color and WHC.

The influence of sex and slaughter age on the physicochemical composition of the breast are assessed in the third chapter. The results showed that both sex and slaughter age had an effect on meat composition

The fourth chapter introduces a study about the effect of the electrical stimulation *post-mortem* of the carcass on the quality of the turkey meat. The conclusions showed that the ES *post-mortem* affected the pH, the color and the WHC of turkey meat.

The fifth chapter analyzes the effect of bleeding time on meat quality of turkey. The bleeding time only affected the color of turkey meat.

These results suggest that the stunning method, the sex, the age of slaughter and the ES *post-mortem* affected the quality of turkey meat, mainly to the pH, the color, the WHC and the physicochemical composition. However, the increase in bleeding time did not significantly affect the final quality of the turkey meat.

OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto del sistema de aturdimiento, con diferentes formas de aplicación del CO₂, y del sexo sobre los principales parámetros de la calidad de la carne.
2. Evaluar el efecto del sistema de aturdimiento, con diferentes formas de aplicación del CO₂, y de la edad de sacrificio del animal, sobre los principales parámetros de la calidad de la carne.
3. Evaluar el efecto del sexo y la edad de sacrificio de los pavos sobre la composición fisicoquímica de la carne.
4. Evaluar el efecto de la estimulación eléctrica *post-mortem* de la canal sobre la calidad de la carne y la presencia de sangre en distintas piezas comerciales.
5. Evaluar el efecto del aumento del tiempo de desangrado de la canal sobre la calidad de la carne y la presencia de sangre en distintas piezas comerciales.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la carne de pavo ha pasado de ser consumida sólo en ocasiones especiales, como las fiestas navideñas o reuniones familiares, a consumirse durante todo el año. La industria que comercializa este tipo de carne ha evolucionado de forma muy acelerada en los últimos años, ofreciendo no sólo carne fresca de pavo sino otros productos transformados, destacando los productos cocidos, productos curados y productos ahumados, proporcionando a los consumidores una amplia gama de productos de pavo e incrementando de este modo el hábito de consumo de este tipo de carne.

El aumento del consumo de este tipo de carne se relaciona también con la cultura de comida sana. La carne de pavo es un alimento saludable y bajo en calorías. Estas propiedades tan beneficiosas de la carne de pavo son consecuencia de su alto contenido en proteínas y su bajo contenido en grasa en relación con otras especies de aves:

Tabla 1. Composición química media de la carne de algunas especies de aves

Animales	Calorías	Proteína (g)	Grasa (g)	Colesterol (mg)
Pavo	111	25	1	62
Pollo	114	21	3	64
Pato	135	18	6	77
Ganso	161	23	7	84
Avestruz	116	22	2	71

Fuente: Mozdziak, 2004.

El aumento en la demanda de este tipo de carne ha llevado consigo un incremento de las exigencias del mercado. La comercialización de la carne de pavo en formato fileteado hace que la presencia de sangre, el color y la textura sean, entre otras, características de gran importancia

en la calidad del producto y en la actitud de compra del consumidor, lo que incide de manera notable en el precio y la posibilidad de venta. En concreto, este sector presenta una problemática en cuanto a los restos de sangre residual en pechugas, contramuslos y alas.

Es por ello que surge la necesidad de emprender un estudio para conocer de forma exhaustiva la calidad del producto y los distintos factores que puedan afectar a su variabilidad. Así, se ha planteado como **hipótesis** de esta tesis que el método de aturdimiento (Salwani et al., 2015), el tipo comercial (Schneider et al., 2012), la estimulación eléctrica *post-mortem* de la canal (Adeyemi et al., 2014) y el aumento del tiempo de desangrado (Patterson, 2015) pueden suponer variables cuyo efecto sea determinante sobre la calidad de la carne y la presencia de sangre en la misma.

En las pruebas realizadas durante la fase de investigación con dos métodos de aturdimiento se ha diferenciado la población de estudio en tres grupos atendiendo a tres tipos comerciales diferentes: pavas hembras, pavos machos pequeños y pavos machos grandes. En el caso de los pavos machos grandes, donde la problemática de presencia de sangre residual es más acentuada, también se han hecho pruebas realizando una estimulación eléctrica de la canal tras el sacrificio y, por otro lado, aumentando el tiempo de la fase de desangrado.

Por tanto, el **objetivo** principal de esta tesis ha sido evaluar el efecto de la modificación de diferentes parámetros en el aturdimiento, el tipo comercial, la estimulación eléctrica *post-mortem* y el tiempo de desangrado del animal tras el sacrificio, en los parámetros de calidad de la carne de pavo a lo largo de la maduración de la misma y en el contenido final de sangre residual.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRODUCCIÓN DE CARNE DE PAVO A NIVEL MUNDIAL Y A NIVEL NACIONAL

2.1.1 EL SECTOR DE LA CARNE DE PAVO EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

Actualmente, los diez principales países productores de carne de pavo en el mundo son, tal y como se muestra en la Figura 1, Estados Unidos (2.610.710 Ton), Brasil (470.000 Ton), Alemania (469.100 Ton), Francia (377.873 Ton), Italia (309.889 Ton), Reino Unido (172.000), Canadá (167.900 Ton), España (158.549 Ton), Polonia (149.921 Ton) y Chile (96.802 Ton) según los datos más recientes recogidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para el año 2014.

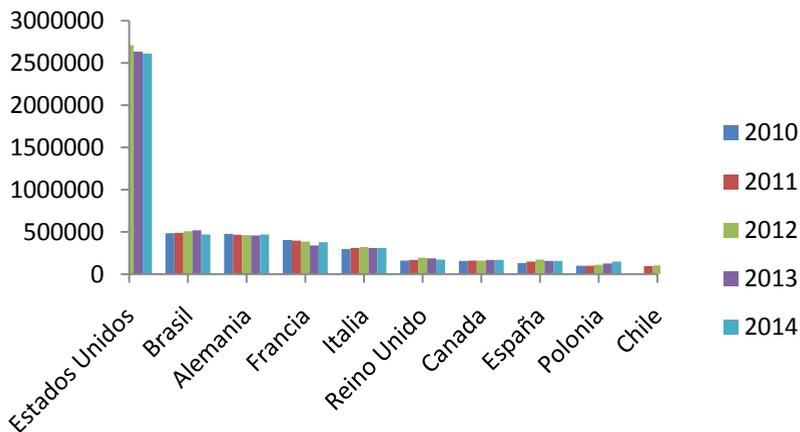


Figura 1. Producción de carne de pavo (Ton) en los diez principales países productores (periodo 2010-2014)

A nivel mundial, atendiendo a la producción de carne de pavo por continentes, la producción de América representó el 60,7% de la producción mundial, Europa el 34,2%, África el 3,1%, Asia el 1,6% y Oceanía el 0,4%, según los datos de la FAO en el año 2014 (Figura 2).

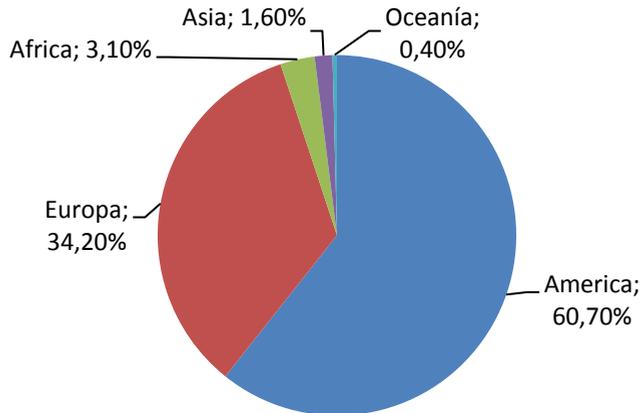


Figura 2 Proporción por continentes de la producción mundial de carne de pavo (año 2014)

De acuerdo con los datos más recientes recogidos por la FAO, la producción mundial de carne de pavo en el año 2014 fue de un total de 5.611.054 Ton. Esta cifra comparada con la cantidad de carne de pavo producida en el año 2000 (5.057.084 Ton.) representa un aumento del 9,87% de su producción en este periodo de tiempo. La evolución de la producción mundial de carne de pavo a lo largo del periodo 2000-2014 se recoge en la Figura 3. En dicha figura se observa el aumento progresivo, aunque con altibajos, de dicha producción. En este gráfico se aprecia que la pendiente de la recta de regresión es positiva, de manera que la tendencia de la producción de carne de pavo en el mundo es creciente en el periodo considerado.

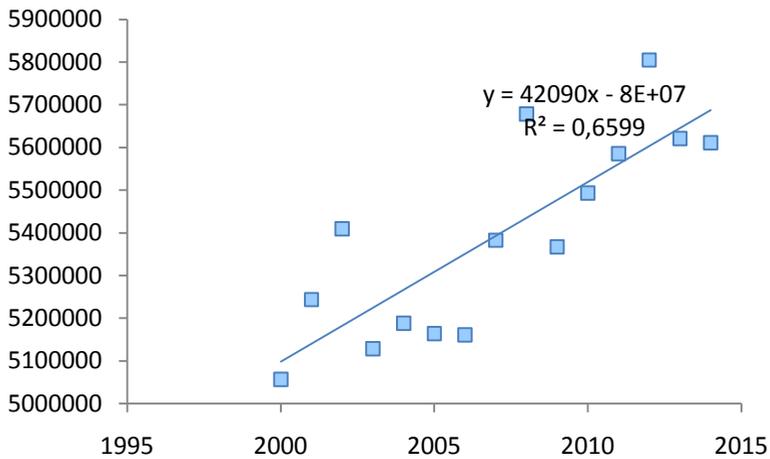


Figura 3. Evolución de la producción mundial de carne de pavo en el periodo 2000-2014

En la Figura 3 se puede observar de manera detallada que hasta el año 2002 la tendencia de la producción de la carne de pavo había sido creciente. Sin embargo, en el año 2003 hubo una disminución en la producción con respecto al año anterior. Esta disminución pudo deberse a la presencia de Influenza Aviar de alta patogenicidad que afectó a la producción avícola a nivel mundial (Naciones Unidas). Esta reducción en la producción de carne de pavo se mantuvo hasta el año 2006, año a partir del cual volvió la tendencia creciente. En los años 2008 y 2012 se observan dos picos de producción. En general la tendencia desde el año 2006 hasta la actualidad ha sido de crecimiento.

2.1.2 PRODUCCIÓN DE CARNE DE PAVO EN ESPAÑA

Atendiendo a los valores recogidos por la FAO, la producción de carne de pavo en España ha tenido una tendencia de crecimiento desde el año 2000 hasta el 2014 (Figura 4). Los datos más recientes indican que la producción de la carne de pavo en España en el año 2014 fue de 158.549 Ton. Esta cifra comparada con la cantidad de carne de pavo producida en el año 2000 (25.000 Ton) representa un aumento del 84,23% en la producción de este tipo de carne.

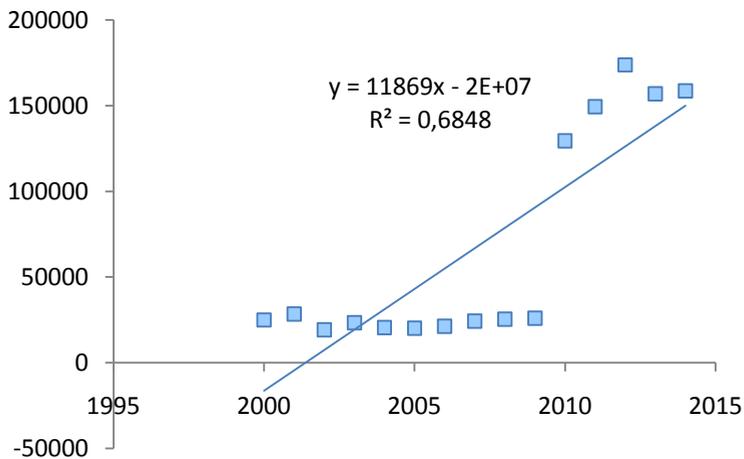


Figura 4. Evolución de la producción nacional de carne de pavo en el periodo 2000-2014.

En España, el mercado de la carne de pavo se encuentra actualmente en desarrollo y atendiendo a los datos expuestos anteriormente la evolución está siendo muy favorable para este país. En la Figura 4 se puede observar de manera detallada que hasta el año 2009 la producción de la carne de pavo se había mantenido prácticamente constante; sin embargo, a partir del año 2009 el crecimiento fue muy acentuado, observándose un pico de producción en el año 2012. En el

año 2010 España consiguió estar entre los 10 principales países productores de carne de pavo en el mundo ocupando la octava posición (Figura 1). En el año 2012 España consiguió subir en el ranking del top 10 de los principales países productores de carne de pavo del mundo ocupando la séptima posición, en la que anteriormente se encontraba Canadá (Figura 1). En el año 2013 Canadá volvió a hacerse con la séptima posición en el ranking y España volvió a la octava posición y se mantuvo así en el año 2014 (Figura 1).

Este crecimiento en la producción de la carne de pavo en España puede explicarse por el cambio en la demanda de este tipo de carne, que ha pasado de ser de carácter estacional a estar disponible en el mercado durante todo el año.

2.2 LA ESPECIE *MELEAGRIS GALLOPAVO*

2.2.1 ORIGEN DE LA ESPECIE *MELEAGRIS GALLOPAVO*



Imagen 1. Hembra de pavo silvestre

Fuente: www.razasautoctonas.es

El origen del pavo doméstico actual (*Melleagris gallopavo*) data del Preclásico Tardío (300 aC-100 dC). La aparición de los restos más antiguos de *M. gallopavo*, encontrados dentro de un contexto urbano y fuera de su rango de distribución geográfica natural, tuvo lugar en el Valle de Tehuacán, México, en el año 180 aC (Flannery,

1967). El Valle de Tehuacán es una región seca, donde era difícil que el guajalote silvestre se distribuyese de forma natural, por tanto, se atribuye a esta localización geográfica la domesticación de la especie.

Los pavos en el Preclásico Tardío no servían sólo de fuente de alimento, también eran importantes ofrendas de sacrificio, y sus plumas, huesos y otros productos se utilizaban para fabricar ventiladores, herramientas, instrumentos musicales y adornos personales (Thornton et al., 2012).

Durante el Período Clásico (200-900 dC) en Teotihuacán existían sectores de la población especializados en su crianza, manteniéndose así hasta el Postclásico (900-1521 dC) (Veladez et al., 2001).

Recientemente, se han hallado restos de *M. gallopavo* en un entierro en Oaxtepec, Morelos, México; dicho hallazgo data del período Preclásico Medio (entre 1.200 y 500 aC). Los restos mostraban signos de haber sido cocidos y formaban parte de una ofrenda funeraria (Corona-Martínez, 2006); no se conoce si el ave era de procedencia silvestre o doméstica; sin embargo, es importante destacar que si se tratase de la especie doméstica la fecha de domesticación de la especie sería anterior a la reportada anteriormente, o bien, en el caso de ser silvestre podría ser una prueba que justificase la existencia de una subespecie de *M. gallopavo* al sur del país (Camacho et al., 2011).

La domesticación del pavo se sitúa en diferentes lugares según diversos autores. En el actual estado de Michoacán (México), se piensa que la cultura responsable de la domesticación de la especie fue la cultura purépecha. Dicha hipótesis se basa en el extenso uso de la especie para el aprovechamiento de sus huesos y plumas en la elaboración de adornos (Leopold, 1959). Se ha señalado también que

para dicha cultura no tuvo importancia su uso como alimento (Crawford, 1990).

Para la FAO, la subespecie mexicana del pavo salvaje *M. gallopavo* es considerada como el ancestro del pavo doméstico de nuestros días. La domesticación ocurrió probablemente cerca de Oaxaca, en México, en una fecha incierta, aunque pudo haber ocurrido aproximadamente en la época correspondiente al Neolítico Europeo.

Hay indicios de que la domesticación de otras subespecies tuvo lugar en diferentes lugares. Sin embargo, únicamente la subespecie de *M. gallopavo* domesticada en México es la que ha perdurado hasta la fecha (Camacho et al., 2011).

Hoy en día, la forma domesticada de *M. gallopavo* se distribuye en todo el mundo, pero su progenitor silvestre se limitaba al este y el suroeste de los Estados Unidos y el centro-norte de México (Howell, 1995) (Figura 5).

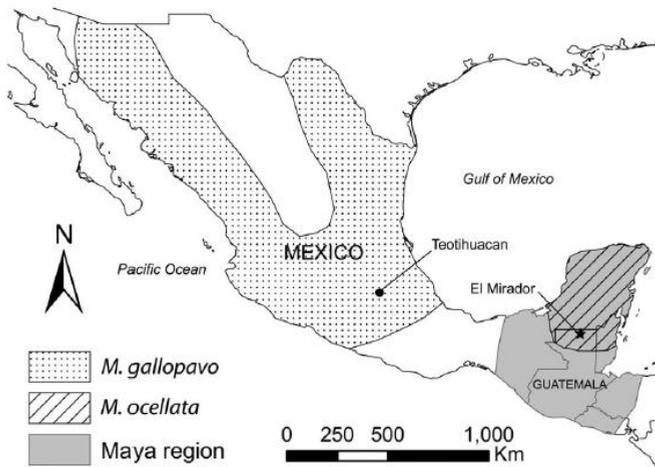


Figura 5. Ubicación prehispánica de *M. ocellata* y *M. gallopavo* en Mesoamérica

Fuente: Thornton et al., 2012.

La ausencia de poblaciones silvestres de *M. gallopavo* en el área maya después del final del Pleistoceno se apoya tanto en los registros paleontológicos como arqueológicos (Camacho-Escobar, 2011; Steadman, 1980). Por el contrario, el pavo *M. ocellata* se extiende a lo largo de la mitad norte del área cultural Maya, incluyendo la Península de Yucatán en México, el norte de Belice y Guatemala, donde permanece actualmente en forma de pequeños grupos en selvas tropicales (Howell, 1995; Steadman, 1979). Aunque algunos pavos de la especie *M. ocellata* pudieran haber sido criados en cautiverio durante la época prehispánica, no hay evidencia de que esta especie haya sido domesticada (Schorger, 1966; Hamblin, 1984). *M. ocellata* está formada por pavos ligeramente menos pesados que *M. gallopavo*. Tienen la cabeza azul, presentan verrugas naranjas-rojizas, menos pronunciadas que en *M. gallopavo* y en la zona infra-orbital poseen un apéndice carnoso particularmente desarrollado en el macho y denominado vulgarmente “moco de pavo”. La coloración de su plumaje es de color verde y azul, con reflejos cobrizos y dorados. Las plumas de la zona de la cola presentan manchas oceliformes (ocelos) que dan nombre a esta especie (Guidobono, 1985).



Imagen 2. El pavo ocelado (*Meleagris ocellata*)

Fuente: www.wikipedia.org

El momento exacto y la ubicación de la domesticación del pavo en el Nuevo Mundo son aún desconocidos: la evidencia reciente apunta a que la domesticación tuvo lugar en el centro de México debido a la identificación de restos de huesos arqueológicos de *M. gallopavo* en esta zona en la época del Preclásico tardío (Flannery, 1967). Los pavos domésticos descienden de la agrupación silvestre *Meleagris gallopavo gallopavo*, aunque no pueden excluirse posibles cruces posteriores con otras razas silvestres (Guidobono, 1985).

2.2.2 INTRODUCCIÓN DE LA ESPECIE *MELEAGRIS GALLOPAVO* EN EUROPA

El pavo doméstico (*M. gallopavo*) se introdujo en Europa a principios del siglo XVI y se extendió rápidamente por todo el continente. La fecha exacta del descubrimiento de los pavos domésticos por los europeos no se conoce. Sin embargo, la historia nos ofrece una serie de fechas y acontecimientos importantes relacionadas con el descubrimiento de los pavos domésticos (Schorger, 1966). En 1499 Pedro Alonso Niño descubrió a los pavos en la costa de Cumaná, Tierra Firme (actual Nicaragua, Costa Rica y Panamá) y los trajo a Europa en el año 1500. Sin embargo, el mapa de distribución del pavo doméstico del siglo XVI (Schorger, 1966) muestra algunos pavos en la costa del Pacífico de Cumaná, pero ninguno en el lado Atlántico. En el año 1500 a Vicente Yáñez Pinzón le dieron aves que posiblemente fueran pavos en el Golfo de Paria, Venezuela. Sin embargo, esa zona se encuentra lejos de los sitios donde se conoce que el pavo doméstico habitaba en aquella época. En 1502 Cristóbal Colón llegó a las costas de Honduras donde le dieron “*gallinas de la tierra*” que probablemente serían pavos. Manuscritos de España con fecha de

1511 y 1512 hacen referencia a la recepción de aves vivas en España. Hernán Cortés inició la conquista de México en el año 1519 y, posteriormente, las referencias a los pavos domésticos eran muy frecuentes.

La primera llegada de pavos domésticos a España de la que se tiene constancia fue en 1511-1512 (Schorger, 1966). En un documento, con fecha de 24 de octubre 1511, en el que se recoge una orden del obispo de Valencia para que cada barco que viniese de las Islas y de Tierra Firme trajese a Sevilla diez pavos, mitad machos y mitad hembras, para la cría. Otro documento del Rey de España del 30 de septiembre 1512 hace referencia a dos pavos que habían llegado a España procedentes de la isla de La Española.

La difusión a otros países europeos fue muy rápida. Las fechas de la primera llegada de los pavos domésticos, según Schorger (1966), son: a Italia en el año 1520, a Alemania en 1530, a Francia en 1538, a Inglaterra en 1541, a Dinamarca y Noruega en 1550 y a Suecia en 1556. La velocidad con la que los pavos se difundieron por toda Europa nunca se ha explicado de forma adecuada.

Según Carter (1971), el gallo y gallina domésticos habrían llegado desde Asia a Europa durante varios siglos aC a razón de 1,5-3 kilómetros por año. Una estimación aproximada para la propagación de pavos a principios de siglo XVI es de 40-50 kilómetros por año. La reproducción natural no podría haber sostenido este crecimiento. Crawford (1984; 1990) especuló que se realizaron envíos masivos de aves vivas de América a España y Europa. Este hecho si podría explicar la rápida expansión del pavo doméstico a través de Europa (Crawford, 1992).

Los pavos domésticos mexicanos traídos a Europa a comienzos del siglo XVI eran pequeños. El tamaño era la mitad de su especie antecesora silvestre. Tenían un plumaje oscuro con las puntas blancas, en particular en la zona de la rabadilla. Los colonos franceses, ingleses y holandeses llevaron los pavos al este de Norteamérica a principios del siglo XVII (Crawford, 1984; 1990), donde hibridaron libremente con la subespecie salvaje del este (*M. g. silvestris*), que nunca se domesticó. La progenie era de mayor tamaño que el pavo mexicano doméstico. Su plumaje tenía un tono bronce procedente del progenitor silvestre. Debido a su mayor tamaño y su facilidad de adaptación reemplazó rápidamente a la especie mexicana domesticada originalmente en América del Norte y Europa. Esta hibridación se convirtió en el pavo comercial moderno (Crawford, 1992).

2.2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE *MELEAGRIS GALLOPAVO*

Los pavos son galliformes con dos géneros, aunque únicamente uno de ellos (*Meleagris*) tiene variedades o razas domésticas. Casi todos los pavos de procedencia industrial son blancos (90%) habiéndose llegado a una situación similar a la de las gallinas donde la estirpe tiene más importancia práctica que la raza.

Para Sañudo (2013) los pavos son morfológicamente de tamaño medio a grande, pudiendo llegar al metro de altura y más de un metro de longitud. Las hembras son más pequeñas y esbeltas. Los pavos machos alcanzan un peso de 4-5 a 13-16 kg y las hembras de 3-4 a 7-7,5 kg (Guidobono, 1985).



Imagen 3. Pavo salvaje o guajolote (*Meleagris gallopavo*)

Fuente: www.wikipedia.org

De cabeza relativamente pequeña, larga y ancha, con poca pluma, los pavos poseen sobre el pico un apéndice carnoso denominado comúnmente "moco", que es de mayor tamaño en el caso de los machos. La cabeza y el cuello del animal están cubiertos de pliegues y verrugas de color rojizo llamados carúnculas o corales. Con pico fuerte y bien desarrollado, ligeramente curvado. El cuello es de longitud media, ligeramente arqueado, generalmente desnudo y con papada discreta. Cuerpo potente, pecho amplio y redondeado, los machos poseen un mechón negro de cerdas denominado escobeta. Alas amplias de longitud media, pegadas al cuerpo con remeras bien desarrolladas y coberteras pobladas. Muslos fuertes, tarsos bien desarrollados, con cuatro dedos levemente palmeados y de un tamaño similar. Presentan espolón proporcionalmente poco desarrollado. Cola no arqueada, de porte ligeramente inclinado, que se abre en rueda en los machos y tiene 18 plumas (Sañudo, 2013).

Poseen plumas corporales con tendencia a abrirse en forma de teja. El plumaje es duro, denso y abigarrado. El color de la pluma del pavo depende de la raza, presentando una variedad desde blanco, bronceado, negro o rojo con predominio de tonos metalizados.

2.2.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Meleagris gallopavo

Taxonomía and Nomenclatura

Reino:	Animalia
Clasificación taxonómica:	Especies
Nombre(s) común(es):	Guajolote norteño (Español) Wild Turkey (Inglés) Dindon sauvage (Francés)

Jerarquía taxonómica

Reino	Animalia
Subreino	Bilateria
Infrareino	Deuterostomia
Filo	Chordata
Subfilo	Vertebrata
Infrafilo	Gnathostomata
Superclase	Tetrapoda
Clase	Aves
Orden	Galliformes
Familia	Phasianidae
Subfamilia	Meleagridinae
Género	<i>Meleagris</i> Linnaeus, 1758
Especie	<i>Meleagris gallopavo</i> Linnaeus, 1758
Subespecies	<i>Meleagris gallopavo gallopavo</i> , Linnaeus, 1758
Subespecies	<i>Meleagris gallopavo intermedia</i> , Sennett, 1879
Subespecies	<i>Meleagris gallopavo merriami</i> , Nelson, 1900
Subespecies	<i>Meleagris gallopavo mexicana</i> , Gould, 1856
Subespecies	<i>Meleagris gallopavo osceola</i> , Scott, 1890
Subespecies	<i>Meleagris gallopavo silvestris</i> , Vieillot, 1817

Fuente: <https://www.itis.gov/>

2.2.5 CLASIFICACIÓN RACIAL

La FAO reconoce la existencia de 78 razas de pavos de ámbito local, 7 de extensión regional y 16 de carácter internacional. El tamaño y el color son las dos características fundamentales que han de servir para la diferenciación racial.

Tabla 2: Principales razas de pavos nacionales e internacionales

Españolas	Gall d'Indies Menorquí (Capa variada con tarsos rojos)
	Indiot Mallorquí (Capa negra metálica)
	Pavo Oscense (Var. Cobriza y var. Plateada)
	Pavo de la Dehesa (Capa bronceada)
Internacionales	Bronceadas: Común, Broad Breasted Bronze
	Negras: Común, Sologne, Norfolk, Bourbonnais, Du Gers
	Blancas: Broad Breasted White, De Holanda, Beltsville Small White, White Midget, Blanco de Avellino, Moscow
	Rojas: Común, Bourbon Red, Des Ardennes, Light Brown (Auburn), Jersey Buff, Leonado de Benevento
	Grises: Slate, Azul, Silver Auburn, Corticella
	Nevadas: Nevada de Virginia, Bourbonnais (var. Crollwitz), Royal Palm, Arlequín Común
	Híbridos: Nicholas, BUT (British United Turkey Limited), Hybrid, Dinde Fermière de Grimaud

Fuente: Sañudo, 2013

2.2.6 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LA ESPECIE *MELEAGRIS GALLOPAVO*

2.2.6.1 REPRODUCCIÓN

Los ejemplares salvajes de la especie *M. gallopavo* establecen una sociedad jerárquica y se comunican entre sí a través de llamadas sonoras y realizando movimientos complejos. Los machos intentan

atraer a las hembras para el cortejo mediante señales como poner su cola en forma de abanico, bajar sus alas arrastrándolas por el suelo, erguir las plumas de la espalda, echar la cabeza hacia atrás e inflar el buche (McCullough, 2001).

Los pavos salvajes se comportan de forma diferente en función de la estación del año. La reproducción tiene lugar a principios de primavera y se produce una cría al año. Cuando el macho cubre a la hembra, ésta comienza con la construcción del nido, que consiste en una depresión poco profunda en el suelo, por lo general rodeado de arbustos, enredaderas, hierbas y hojas. La hembra pone de 4 a 17 huevos (por lo general entre 8 y 15) y el periodo de incubación es de 25 a 31 días. La hembra incuba las crías por la noche durante las primeras 2 semanas posteriores a la eclosión y las defiende de los depredadores. Las crías machos permanecen con la madre hasta el otoño. En el caso de las crías hembras no abandonan el nido hasta el comienzo de la primavera siguiente. Los pavos machos son capaces de reproducirse cuando alcanzan los 10 meses de edad; sin embargo, no suelen tener éxito durante su primera primavera frente a la competencia con los machos mayores. Los pavos machos salvajes no proporcionan ningún cuidado a los huevos ni a las crías, son las hembras las que preparan el nido, incuban los huevos, y cuidan de las crías hasta que abandonan el nido.

2.2.6.2 COMPORTAMIENTO Y HÁBITOS ALIMENTICIOS

Los pavos salvajes son diurnos y no migratorios. Durante el día, se pueden ver picoteando hierba en los campos y bosques. Por la noche, los pavos se posan en los árboles. En general, se comportan de forma

cautelosa y tienen la vista y el oído muy agudo. Los pavos salvajes son corredores y voladores rápidos.

Los pavos son sociales. Durante el invierno, forman agrupaciones en las que pueden darse jerarquías de dominio. En algunas poblaciones, cada agrupación puede defender un territorio frente a otras (Eaton, 1992).

Los pavos salvajes utilizan llamadas sonoras y movimientos complejos para comunicarse. Por ejemplo, durante la primavera, los machos despliegan sus colas y emiten glugluteos intentado atraer a las hembras. Los biólogos reconocen al menos 15 vocalizaciones diferentes de pavos salvajes, incluyendo el glugluteo ampliamente reconocido. La finalidad de esta llamada en los pavos salvajes macho es atraer a las hembras y ahuyentar a los machos competidores. Otras llamadas sonoras se utilizan por ambos sexos para comunicar una variedad de mensajes.

En cuanto a la alimentación, los pavos salvajes son omnívoros. Se alimentan principalmente de materia vegetal como bellotas, nueces, semillas y hojas. También se alimentan de insectos y salamandras que viven en el suelo y que representan aproximadamente el 10% de su dieta. Los pavos salvajes se alimentan principalmente en el suelo, a pesar de que de vez en cuando se montan en los arbustos y árboles de poca altura para llegar a las frutas y brotes. La búsqueda de comida tiene lugar principalmente durante las 2 - 3 horas tras el amanecer y antes del anochecer.

El comportamiento natural y el hábitat de los pavos silvestres difieren de la vida de los pavos criados en sistemas intensivos para la producción de carne. En las granjas superpobladas, los pavos tienen

poca oportunidad de mostrar su amplia gama de comportamientos sociales complejos.

Los pavos son aves con un sistema social altamente competitivo (Buchholz, 1997) por tanto, son propensos a comportamientos que conducen al establecimiento de una jerarquía social. La jerarquía en los grupos de pavos salvajes se basa en relaciones de parentesco cercano, donde los machos externos son rechazados del grupo después de peleas moderadamente agresivas (Balph et al., 1980; Healy, 1992). Buchwalder y Huber-Eicher (2003; 2004; 2005) investigaron los efectos del tamaño y composición del grupo y la disponibilidad de espacio en el comportamiento de los pavos. Estos autores indicaban que la ausencia de espacio podía conducir a un mayor riesgo de encuentros agresivos causados por la falta de familiaridad de los miembros del grupo. Sin embargo, este problema no se ha dado hasta ahora en las granjas comerciales. En otro estudio, Buchwalder y Huber-Eicher (2003), encontraron que la respuesta a los congéneres no familiares dependía principalmente del tamaño del grupo. Cuanto menor era el grupo (mínimo de 6 a 30 aves), la reacción agresiva era más intensa. La falta de familiaridad entre varios miles de aves de una nave comercial es una situación común en los actuales sistemas de cría de pavos. En estos casos el grupo se hace demasiado grande y resulta ineficaz intentar establecer una jerarquía. Se ha especulado que el coste en términos de energía necesaria para la formación de jerarquías en grupos grandes de aves de corral no compensaría a los beneficios (Estévez et al., 1997). Además, la probabilidad de encontrar a los mismos individuos en el tiempo para obtener las ventajas de la dominación sería pequeña (Pagel y Dawkins, 1997). Por tanto, para explicar la dinámica social en grandes grupos de aves domésticas se ha propuesto un sistema social tolerante basado en la

competencia (Estévez et al., 1997), y puede aplicarse también a pavos. Un inconveniente que presenta este sistema social tolerante basado en la competencia es el picaje de las plumas de unos pavos a otros, dando como resultado un importante problema de bienestar y manejo en las granjas. Este problema es más acusado en los machos que en las hembras (Busayi et al., 2006). Los pavos aumentan la incidencia de picaje de plumas y canibalismo con la edad. En un estudio comparativo de estirpes de pavos tradicionales y comerciales de 3 a 9 semanas de edad, se encontró que la frecuencia de picaje de plumas aumentaba con la edad en ambas estirpes, y se encontró una mayor incidencia de picaje en la línea tradicional, pero en ningún caso tuvo efectos sobre la mortalidad (Busayi et al., 2006).

2.2.6.3 USOS DE LA ESPECIE *MELEAGRIS GALLOPAVO* POR LOS HUMANOS

La especie *M. gallopavo* es utilizada por los seres humanos a día de hoy para el aprovechamiento de su carne. Sin embargo, los pavos salvajes se domesticaron por primera vez por americanos nativos en el Preclásico Tardío (300 aC-100 dC) con otros fines. Sus plumas se utilizaban en las ceremonias y para hacer túnicas y mantas. Los pavos se utilizaron por primera vez por los americanos nativos con la finalidad del consumo de carne en torno al año 1100 dC (Viegas, 2010).

A diferencia de los pavos salvajes, los pavos domésticos han sido seleccionados para mejorar sus características productivas adaptándose a sistemas de cría artificiales. Estos sistemas de cría del pavo doméstico difieren sustancialmente con respecto a la forma de vida del pavo salvaje.

2.2.7 SISTEMAS PRODUCTIVOS

Existen diferentes tipos de sistemas de producción. Los más comunes para la producción de carne de pavo son los sistemas intensivos y los sistemas semi-intensivos. En zonas rurales también es común el sistema de producción extensivo, que consiste en la crianza de los pavos en el campo en libertad o en semi-cautiverio. Este tipo de sistema de producción suele darse en las pequeñas producciones familiares (Cantaro et al., 2010).

En general, el manejo y cría de los pavos tiene lugar en dos períodos. En la primera etapa los pavitos son más sensibles por lo que necesitan más cuidados y atenciones. Para ello, es necesario disponer de un medio apropiado, buenas condiciones higiénicas y una alimentación adecuada que cumpla con los requerimientos nutricionales. Al inicio de este periodo es aconsejable la separación de los animales por sexos.

Las instalaciones tienen que ser de ambiente controlado, que permita regular parámetros como la temperatura y la humedad, según las exigencias de los pavitos. Al menos 24 horas antes de la llegada de los pavitos la temperatura tiene que ser regulada. La llegada de los animales a las instalaciones debe ser por la mañana para que durante el día puedan ir adaptándose al nuevo entorno. Los pavitos deben llegar a este primer periodo con un peso de 45-60 g, estar bien hidratados y bien equilibrados sobre las patas y sin ningún tipo de malformaciones.

La temperatura óptima para este primer periodo oscila entre 35-37°C en la primera semana de vida del animal, disminuyendo progresivamente a medida que van creciendo. Este primer periodo comprende desde la primera semana de vida hasta las 4-7 semanas. La temperatura ambiente de la nave puede variar entre 22-27°C en la fase

final de este periodo. A medida que los pavitos van creciendo, debe bajarse la temperatura ambiente de la nave y aumentar la ventilación. Los comederos y los bebederos deben situarse próximos y regular la altura de los mismos, a medida que van creciendo los animales. En este primer periodo el índice de mortalidad es del 12-13% para pavos machos y del 7-8% para pavos hembras (Cantaro et al., 2010).

El manejo del segundo periodo tiene lugar una vez que el pavo alcanza los 50-60 días de vida hasta el traslado de los animales a matadero. Esta etapa no requiere de tantos cuidados ni atenciones como el primer periodo, ya que los pavos han superado la etapa más delicada de su vida.

Un aspecto importante a tener en cuenta en este periodo, en el caso de utilizar terrenos al aire libre, consiste en evitar la presencia de charcos y barro en el terreno. Para ello, el suelo debe tener cierta pendiente que evite la acumulación de agua.

El manejo durante esta etapa consiste en controlar que los alimentos y el agua siempre estén disponibles para los animales. Es importante regular la altura de los comederos y los bebederos a medida que van creciendo los pavos para que siempre tengan fácil acceso. Al final de esta fase, 12 horas antes de trasladar los pavos a matadero es conveniente que a los animales se les retire el alimento, teniendo solo acceso al agua.

Durante la carga de los animales, para su traslado a matadero, se deben evitar golpes que ocasionen lesiones en los pavos. Estos daños suelen derivar en hematomas o huesos rotos que hacen que disminuya la calidad final de la canal una vez faenada (Cantaro et al., 2010).

2.2.7.1 SISTEMA EXTENSIVO

El sistema de producción extensivo consiste en la cría de los pavos en libertad. Este sistema requiere de terrenos que no hayan tenido pavos durante dos años. El terreno es delimitado por vallas de 3 metros de altura aproximadamente, formando diferentes corrales como protección contra los depredadores (Sainsbury, 1987).

Para el descanso de los animales, estos corrales disponen de perchas o pacas de paja. En cuanto a los comederos y bebederos deben estar protegidos de los pájaros silvestres, de los depredadores y de los temporales climatológicos. Kijowski et al. (2005) indicaron que el sistema extensivo era beneficioso para el bienestar de las aves. Sin embargo, Herendy et al. (2004) encontraron que el rendimiento de la canal disminuía tanto en aves macho como hembra en el sistema extensivo. Burs y Faruga (2006) también observaron problemas en el sistema al aire libre y encontraron un aumento en la mortalidad en las últimas dos semanas de crecimiento (20 a 22 semanas) debido a las heladas durante la noche. Sin embargo, las aves criadas en un sistema extensivo presentaban una menor incidencia de dermatitis en comparación con los sistemas intensivos (Sarica y Yamak, 2009; 2010) donde las aves tienen una mayor exposición a la cama húmeda de las naves.

2.2.7.2 SISTEMA SEMI-INTENSIVO

Este sistema de explotación consiste en ampliar los espacios disponibles al aire libre en zonas de clima favorable, principalmente en las etapas de recría y finalización. El inicio de la cría de los pavitos tiene lugar en recintos con condiciones controladas. A partir de la

tercera semana de vida los animales pueden empezar a salir a los espacios disponibles al aire libre. El terreno del recinto donde habitan los animales tiene que tener cierta pendiente para evitar la acumulación de charcos de agua, que son un riesgo de parasitosis para los pavos. Además, la presencia de árboles que proporcionen sombra en estas zonas también resulta muy favorable.

Para la alimentación de los animales se utilizan comederos circulares móviles, de manera que se pueden cambiar de sitio dentro del recinto. Además, deben ser regulables en altura y poseer un sistema protector que evite el desperdicio y derrame de la comida. Los bebederos suelen ser de tipo canaleta, regulables en altura y su disposición debe ser cercana a los comederos.

Este tipo de sistema de producción, en el que los animales disponen de espacios al aire libre donde tienen libertad para moverse y respirar aire limpio, conlleva la mejora de las funciones vitales de los animales y como consecuencia se mejora la calidad de la carne de los pavos (Cantaro et al., 2010).

2.2.7.3 SISTEMA INTENSIVO

En este tipo de explotación la crianza de los animales tiene lugar en naves cerradas. El sistema más eficiente consiste en disponer de dos naves independientes, una para la primera fase, la crianza, y otra para la fase de cebo.

En la primera fase, los pavitos permanecen en la nave los 28 - 49 primeros días de vida. En esta etapa el ambiente tiene que estar muy controlado, ya que es fundamental para el arranque de vida del animal. En la segunda fase los animales se encuentran también en un ambiente

controlado, pero no resulta tan exigente como en la primera etapa. En ambas etapas se debe evitar el exceso de densidad de animales en la nave.

Desde el punto de vista sanitario, todos los pavos deben entrar y salir de la nave al mismo tiempo. Además, es importante evitar la convivencia dentro de la misma nave con otras aves como pollos y gallinas. Al mismo tiempo, el ganadero que gestione el manejo de la explotación debe evitar el contacto con otras aves. Estas medidas preventivas y normas de higiene son fundamentales para obtener una buena crianza en este tipo de sistemas de producción (Cantaro et al., 2010).

En los sistemas de producción intensiva es necesario que los ganaderos sean muy estrictos en la aplicación de buenas prácticas de cría y manejo (Case et al., 2010). La nutrición es un factor clave para lograr altas tasas de crecimiento y buen rendimiento de la carne, pero factores de manejo como la temperatura y la iluminación de la nave también influyen en el crecimiento (Glatz y Rodda, 2013). El bienestar animal cada vez está tomando un papel más importante en los sistemas de producción intensivo de pavos (Kijowski et al., 2005).

Por otro lado, la selección genética de estirpes de pavos de crecimiento rápido y de mayor peso corporal ha dado lugar en algunos casos a problemas de salud, principalmente problemas de locomoción (Nestor, 1984; Nestor et al., 1985). Como consecuencia, el apareamiento natural de los pavos comerciales resulta difícil debido a su alto peso corporal y la inseminación artificial pasa a ser la práctica más común en las granjas de criadores.

A nivel de las granjas, la alta densidad de población en las naves va en detrimento de la calidad del aire (polvo, patógenos y gases nocivos

como el amoníaco y dióxido de carbono procedentes de las propias aves, sus piensos y excrementos) y contribuye al canibalismo, así como a la dificultad en la inspección de las aves.

En cuanto a la carga y al transporte, el estrés sufrido durante estas etapas, especialmente asociado a jaulas inapropiadas durante largos trayectos, da lugar a problemas de calidad de la canal. La mortalidad de las aves de corral en relación con el transporte ha sido durante mucho tiempo una preocupación por parte de los productores (Bayliss y Hinton, 1990). Durante el transporte las aves están expuestas a una serie de factores como temperaturas extremas, aceleración repentina y frenado del vehículo, vibración, ayuno y ruido que afectan a los niveles de estrés del animal. Por último, el aturdimiento y la matanza también pueden tener un alto impacto sobre el bienestar de los animales y, por consiguiente, en la calidad final de la canal (Glatz y Rodda, 2013).

El sistema intensivo presenta una serie de inconvenientes desde el punto de vista del bienestar, que acaban afectando a la calidad final de la carne. Sin embargo, la industria tiene que hacer uso de este sistema para poder abastecer a las demandas comerciales por lo que la investigación para mejorar el manejo en granja y en matadero resulta decisiva. Algunas medidas de mejora para evitar el estrés de los animales en granja consisten en:

- Cortar el pico de los animales recién nacidos para evitar el picaje y agresiones entre las aves (Ostovic et al., 2009). Desde el año 2002, el despique con tratamiento infrarrojo es el método más popular utilizado en todo el mundo. Se trata de un procedimiento innovador y utiliza una fuente de energía infrarroja (IR) para cortar y cauterizar el pico

simultáneamente (Glatz, 2005). Inmediatamente después del tratamiento, el pico se observa físicamente igual que antes del tratamiento y el ave es capaz de seguir usando su pico con normalidad. El método IR ha demostrado ser seguro, eficaz y el método más compatible con la normativa de bienestar actualmente vigente para controlar el canibalismo y el picoteo de plumas en aves de corral.

- Utilizar estirpes de peso medio, evitando así los problemas de salud, principalmente de locomoción, característico de las estirpes pesadas.
- Reducir la densidad de animales por m² en granja. Abdel-Rahman (2005) observó que a medida que aumentaba la densidad de pavos en las naves el bienestar del animal disminuía afectando al comportamiento, mostrando mayor número de incidencias, reducción del peso corporal y problemas de salud.
- Implantar sistemas de ventilación en las naves para mejorar la calidad del aire.
- Controlar la temperatura, humedad y horas de luz en ambas etapas del crecimiento de los animales.

A nivel de manejo durante la carga:

- Extremar las medidas para evitar hematomas o hueso rotos. En la carga la manipulación de los animales debe ser lo más cuidadosa posible. Algunos productores están avanzando hacia sistemas más automatizados que implican cargar los pavos usando una cinta transportadora (O'Keefe, 2006). Este es un método prometedor que puede mejorar el bienestar del pavo.
- Utilizar jaulas completamente limpias y desinfectadas.

- Reducir la densidad de animales por jaulas.
- Organizar las cargas y transportes de los animales desde granja a matadero en horarios en los que la temperatura sea lo más óptima posible para los animales.

En cuanto al manejo en el matadero:

- Hay un tiempo de aclimatación con temperatura, humedad y condiciones de luz controladas para que el animal se relaje.
- Para la insensibilización del animal muchos mataderos de aves están optando por el aturdimiento por gas que mejora de forma notable la calidad final de la canal. Glatz y Rodda (2013) evaluaron el efecto del método de aturdimiento (gas vs. eléctrico) en algunos rasgos de calidad de carne de pechuga de pavo. La carne de pechuga de pavo de aves aturdidas con gas parecía tener características de calidad más favorables en comparación con la carne de pechuga de aves aturdidas mediante electronarcosis. Las innovaciones en los procesos de sacrificio de pavos han ido ganando aceptación. El uso de sistemas de gas, en lugar de baños de agua electrificados, se empezó a utilizar en algunas plantas de procesamiento en los Estados Unidos (O'Keefe, 2006) y Europa (Appleby et al., 2004) hace más de 10 años, y estos esfuerzos se han realizado para conseguir una mejora en el bienestar de los animales.

2.3. MÉTODOS DE ATURDIMIENTO

Según el Reglamento CE 1099/2009 el aturdimiento se define como todo proceso inducido deliberadamente que cause la pérdida de

consciencia y sensibilidad sin dolor, incluido cualquier proceso que provoque la muerte instantánea.

Los métodos de aturdimiento contemplados en el Reglamento se clasifican en:

- Métodos mecánicos: pistola de perno cautivo penetrante, pistola de perno cautivo no penetrante, arma de proyectil libre, trituración, dislocación cervical, golpe contundente en la cabeza.
- Métodos eléctricos: aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza, aturdimiento por electrocución de cabeza-tronco, baño de agua eléctrico.
- Métodos de gas: dióxido de carbono en concentraciones altas, dióxido de carbono en dos fases, dióxido de carbono asociado con gases inertes, gases inertes, monóxido de carbono (fuente pura), monóxido de carbono asociado a otros gases.
- Otros métodos: inyección letal.

Además, existe una excepción respecto a la obligación de aturdimiento en caso de sacrificio religioso en mataderos concedida por la Directiva 93/119/CE. En el caso de animales que sean objeto de métodos particulares de sacrificio prescritos por ritos religiosos, no serán de aplicación los requisitos de aturdimiento, a condición de que el sacrificio se lleve a cabo en un matadero.

2.3.1 ORÍGENES DE LOS MÉTODOS DE ATURDIMIENTO

El aturdimiento tuvo su origen en la necesidad de inmovilizar a los animales para un manejo más fácil y más seguro durante el sacrificio. Esto es especialmente cierto en animales pesados de carne roja como

es el caso de los bovinos. En el caso de las aves de corral, la inmovilización no era un punto crítico para el sacrificio manual, sino más bien un requisito para el desarrollo de las plantas de procesado automatizadas.

Inicialmente, el aturdimiento eléctrico se desarrolló para que el animal estuviese inconsciente y así pudiese ser manipulado mecánicamente y permitir los procesos automatizados a alta velocidad.

Actualmente, las empresas o cualquier persona implicada en la matanza de animales deben llevar a cabo el aturdimiento para evitar el dolor y reducir al mínimo la angustia y el sufrimiento de los animales durante los procesos de sacrificio o matanza, teniendo en cuenta las buenas prácticas en ese campo y los métodos autorizados por el Reglamento CE 1099/2009.

Los dos métodos más comunes utilizados en el aturdimiento de aves de corral son el aturdimiento eléctrico y aturdimiento por gas, introducido posteriormente (Fletcher, 1999).

2.3.2 ATURDIMIENTO ELÉCTRICO

El aturdimiento eléctrico es el método más común utilizado para inmovilizar a las aves de corral antes del sacrificio. El sistema desarrollado para las aves es principalmente diseñado para que los animales permanezcan inconscientes el tiempo suficiente para permitir hacer el corte del cuello de forma automática y así reducir los daños de la canal debido a la lucha en el sacrificio inducido y las convulsiones durante la fase de desangrado. El equipo es relativamente barato, simple de utilizar, no requiere de mucho espacio y es compatible con la velocidad a la que trabaja normalmente la línea

de matanza (Bilgili, 1999). En general, existen diferentes métodos de aturdimiento eléctrico según Reglamento CE 1099/2009:

- Aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza: Exposición del cerebro a una corriente que genere una forma de epilepsia generalizada en el electroencefalograma (EEG).

Al utilizar el aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza, los electrodos deben abarcar el cerebro del animal y adaptarse al tamaño de este. El aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza se debe efectuar respetando las corrientes mínimas detalladas en la Tabla 3 para pollos y pavos. Este método de aturdimiento es apto para todas las especies.

Tabla 3: Corrientes mínimas para el aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza

Categoría de animales	Pollos	Pavos
Corriente mínima	240 mA	400 mA

- Aturdimiento por electrocución de cabeza-tronco: Exposición del cuerpo a una corriente eléctrica que provoque al mismo tiempo una forma de epilepsia generalizada en el EEG y una fibrilación o parada cardíaca. Este método de aturdimiento es apto para todas las especies; sin embargo, no aparece ninguna especificación para las aves de corral.
- Baño de agua eléctrico: Exposición de todo el cuerpo a una corriente eléctrica que genere una forma de epilepsia generalizada en el EEG y posiblemente una fibrilación o parada cardíaca mediante un baño de agua.

Los ganchos de suspensión deben mojarse antes de colgar y exponer las aves vivas a la corriente. Las aves se deben

suspender por las dos patas y el aturdimiento por baño de agua se debe efectuar respetando las corrientes mínimas establecidas (Tabla 4), que se deben aplicar a los animales durante un mínimo de 4 s.

Tabla 4: Requisitos eléctricos del equipamiento de aturdimiento por baño de agua (Valores medios por animal)

Frecuencia (Hz)	Pollos	Pavos	Patos y Ocas	Codornices
< 200 Hz	100 mA	250 mA	130 mA	45 mA
Entre 200 y 400 Hz	150 mA	400 mA	No está permitido	No está permitido
Entre 400 y 1 500 Hz	200 mA	400 mA	No está permitido	No está permitido

Por lo general, el método de aturdimiento más utilizado en el sector avícola es el baño de agua eléctrico. El baño se dispone debajo de la línea de sacrificio de la que las aves están suspendidas. La bañera se llena de agua o de una solución salina (normalmente se recomienda al 1% de sal) para transmitir la corriente eléctrica. El baño suele ser ajustado en posición vertical a la altura de las aves para asegurar que las cabezas de los animales estén completamente inmersas en el agua. El aturdimiento se lleva a cabo pasando la suficiente cantidad de corriente eléctrica a través de las aves durante un determinado periodo de tiempo. El estado de inconsciencia resulta de la inhibición de impulsos del sistema somatosensorial y reticular. La corriente eléctrica que alcanza el cerebro tiene que ser adecuada para inducir un ataque epiléptico. La corriente normalmente es menor que la requerida para la fibrilación ventricular y por lo tanto la muerte por electrocución. Si la corriente es insuficiente puede inmovilizar

físicamente al animal, pero no lo previene de la percepción de estrés y del dolor. Por lo tanto, se debe usar una corriente eléctrica adecuada (ajustada en las aves en función del tamaño y número), seguida de un rápido desangrado para que las aves no recuperen la consciencia.

Con el fin de aplicar la corriente eléctrica, se sumerge una rejilla metálica en el fondo del baño y se extiende en toda la longitud del mismo. La cadena de sacrificio se conecta a la tierra mediante una toma de tierra para completar el circuito eléctrico. Las aves pasan a través del aturdidor en continuo. Cuando se aplica el voltaje entre el electrodo sumergido y la toma de tierra, la corriente fluye a través del cuerpo del animal. En este sentido, las aves en la cadena representan una serie de resistencias conectadas en paralelo. La cantidad de corriente que fluye a través de cada animal depende del voltaje aplicado, la resistencia eléctrica de los animales y el número de aves. Se ha demostrado que la resistencia de los pollos de engorde está entre 1.000 y 2.600 Ω (Woolley et al., 1986). Mientras que las aves entran y salen del aturdidor, los mismos animales cambian la resistencia total del sistema. A un voltaje constante, las aves reciben una corriente proporcional a su propia resistencia. Aunque en la realidad parece que el circuito eléctrico es más complejo (Sparrey et al., 1992), la simplificación del circuito de resistencias en paralelo, permite entender fácilmente el concepto de que en él se cumple la ley de Ohm. Es decir, que la intensidad de corriente que circula por el circuito (amperios), es la suma de las intensidades de corriente que pasa por cada una de las aves, y que esta última depende de la diferencia de potencial aplicada en el circuito (voltios) y la propia resistencia (ohmios) del ave (Sparrey et al., 1992).

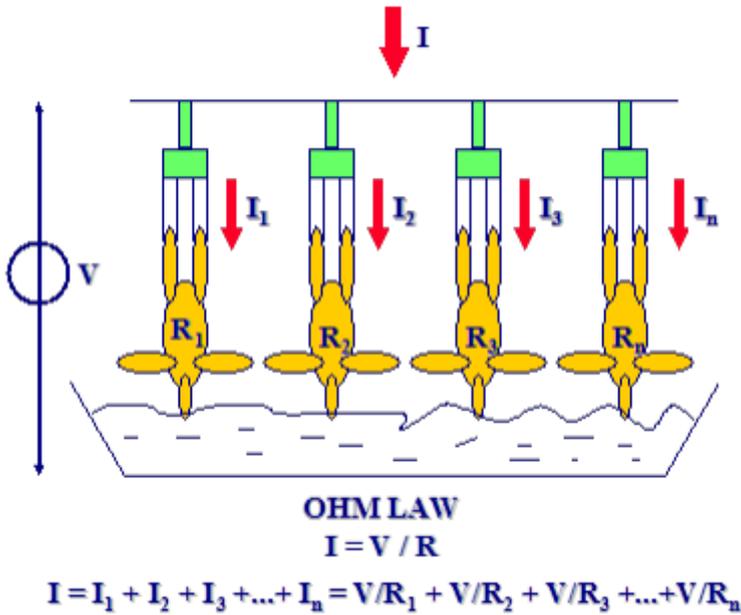


Figura 6: Esquema simplificado de un baño de agua eléctrico

Fuente: Sanz, 2013

La mayor parte de los aturridores de baño eléctrico empleados comúnmente son los llamados “de voltaje constante”, lo que significa que, solo es posible variar manualmente el voltaje que se aplica al circuito, y que por tanto la intensidad de corriente que pasa por el conjunto de las aves en cada momento, depende de la resistencia de las aves que en ese momento están pasando por el baño. Por tanto, la variación natural en la resistencia eléctrica de las aves, provoca que la intensidad de corriente que pasa por ellas también varíe (Kettlewell y Hallworth, 1990; Bilgili, 1999). Esto puede ocasionar que los animales no lleguen a aturdirse correctamente (los animales que no están aturridos correctamente y caen inconscientes) o que queden sobre-aturridos (conlleva altos porcentajes de hemorragias y huesos fracturados).

En Estados Unidos el sistema de aturdimiento eléctrico más popular son los aturdidores de bajo voltaje (Heath et al., 1994). Sin embargo, en Europa y en otras partes del mundo el sistema de aturdimiento más utilizado es de alto voltaje. La razón por la que en Europa se utiliza este sistema de alto voltaje se basa en informes de principios de 1980 que indicaban que había problemas con el aturdimiento eléctrico en las aves. Algunos informes mostraban que el aturdimiento eléctrico no era fiable ya que un tercio de las aves salían muertas del aturdimiento, mientras que otro tercio salía mal aturdido (Heath et al., 1984). Por lo tanto, en Europa se estableció un aturdimiento de “alta corriente” y se diseñó un aturdimiento irreversible de las aves para asegurar el bienestar animal. Estas recomendaciones se basan en cuestiones de bienestar animal y no por los daños que pueda ocasionar en la canal. La aplicación de altos voltajes se ha asociado con más incidencias en la canal como huesos rotos, vísceras dañadas, hematomas en las articulaciones de las alas, puntas de alas rojas, hemorragias en la carne de pechuga, espoleta partida y separación de tendones de los músculos del hombro (Bilgili, 1999). Es importante señalar que, en condiciones comerciales, es difícil aislar el efecto del aturdimiento eléctrico de otras causas como la carga, el manejo, el aleteo, defectos de desangrado y picaje de las plumas. Aunque no haya una relación directa entre la corriente durante el aturdimiento y calidad final de la canal, se ha demostrado que las hemorragias internas en la pechuga aumentan con las altas corrientes en el aturdimiento eléctrico (Barbut, 2002).

Ante esta problemática, ya en los años 90, Sparrey et al. (1993) desarrollaron un prototipo que además era capaz de garantizar una intensidad de corriente constante individualmente a cada ave dentro del baño de agua. Sin embargo, la comercialización y uso de este tipo

de aturdidores ha sido muy limitado. En un matadero comercial que trabaja a alta velocidad, es muy complicado aislar cada ave para determinar su resistencia y suministrar de forma precisa la corriente requerida.

En general, es difícil recomendar un estándar de corriente eléctrica para el aturdimiento. La referencia a seguir en todas las plantas de la Unión Europea consiste en los mínimos establecidos por el Reglamento CE 1099/2009 que en función del tamaño de los animales deberán ajustar los parámetros óptimos en cada caso.

2.3.3 ATURDIMIENTO POR GAS

El aturdimiento por gas en el sector avícola comenzó a investigarse en los años 50 del pasado siglo (Kotula et al., 1957). Sin embargo, su uso comercial no se consideró hasta los siguientes 25-30 años. Así, en el año 1990 empezó a aparecer en algunas plantas comerciales. El interés en el aturdimiento por gas para aves de corral surge debido a los problemas relacionados con las prácticas tradicionales de sacrificio que, como se ha mencionado anteriormente, en algunos casos utilizan corrientes eléctricas altas que pueden incrementar la presencia de hemorragias y huesos rotos. Además, el aumento de la demanda de canales de aves despiezadas y productos más elaborados, también hizo que los defectos de la carne (huesos rotos, hemorragias internas) fuesen más visibles para el consumidor y como consecuencia la comercialización adecuada de estos productos resultara crítica. Debido a que el aturdimiento con corrientes eléctricas altas y bajas frecuencias (para el caso de pavos, 250 mA; <200 Hz, requerido por cuestiones de bienestar animal en la UE) aumentaba la incidencia de fracturas óseas

y hemorragias musculares (Gregory y Wilkins, 1989), en Europa se investigaron alternativas al aturdimiento eléctrico (Barbut, 2002).

Durante la década de los 90, varios estudios examinaron el efecto de las mezclas de gases en la calidad de la carne. Uno de los enfoques evaluados fue aturdir las aves antes de sacarlas de las jaulas con el objeto de reducir los daños asociados con la descarga de las aves vivas de las jaulas. Otro sistema de aturdimiento por gas utilizó un mecanismo de descarga automatizado seguido de un túnel de gas. En este sistema, los hematomas también se vieron reducidos debido a que las aves no se sacaban de las jaulas de forma manual, sino mediante cintas automatizadas que llevaban al animal desde la jaula al túnel donde se realizaba el aturdimiento del mismo (Abeyesinghe, 2007).

En cuanto a los gases utilizados para el aturdimiento se han hecho estudios con diferentes mezclas de gases, que incluyen principalmente diversas proporciones de dióxido de carbono (CO_2), argón (Ar), nitrógeno (N_2), monóxido de carbono (CO) y oxígeno (O_2). Aunque el aturdimiento por gas puede reducir algunos problemas de bienestar asociados al aturdimiento eléctrico, es importante que la inducción del aturdimiento mediante el gas anestésico no provoque una respuesta aversiva en las aves y se induzca de forma rápida. Un problema potencial es que las aves tienden a recuperar la consciencia rápidamente a la salida de la atmósfera del gas anestésico si el gas no ha ocasionado la muerte del animal (Raj, 1998). En general, hay diferencias en el efecto inicial de los gases y, por lo tanto, se deben utilizar en las concentraciones adecuadas. El Ar, por ejemplo, es un gas inerte que puede inducir anoxia a una concentración del 90%. El CO_2 , por otro lado, es un gas ácido que puede resultar acre al inhalarlo a altas concentraciones. Este gas también es un estimulante respiratorio potente que puede causar la falta de respiración antes de la

pérdida de la consciencia. Desde el punto de vista del bienestar, se puede decir que las aves experimentarían una sensación desagradable durante la inhalación de una alta concentración de CO₂ (Barbut, 2002).

Según el Reglamento CE 1099/2009, algunos métodos de aturdimiento pueden provocar la muerte, evitando el dolor y reduciendo al mínimo la angustia o el sufrimiento de los animales. Otros métodos de aturdimiento no provocan la muerte y los animales pueden recuperar la consciencia o la sensibilidad durante los procedimientos dolorosos subsiguientes. Por tanto, se deben completar dichos métodos con otras técnicas que provoquen una muerte segura antes de la recuperación de los animales. Este tipo de aturdimiento que no provoca la muerte instantánea del animal se denomina aturdimiento simple.

Los diferentes métodos de aturdimiento por gas recogidos en el reglamento CE 1099/2009 son:

- Dióxido de carbono en concentraciones altas: Exposición directa o progresiva de animales conscientes a una mezcla de gas con un contenido de CO₂ superior al 40%. Este método puede emplearse en fosas, túneles, contenedores o edificios previamente estanqueizados. Se trata de un aturdimiento simple en el caso de sacrificio de cerdos. Se utiliza para situaciones distintas del sacrificio para aves de corral, mustélidos, chinchillas y cerdos.
- Dióxido de carbono en dos fases: Exposición sucesiva de animales conscientes a una mezcla de gas con un contenido de hasta el 40% de CO₂ seguida, una vez que los animales hayan perdido consciencia, de una concentración más elevada de CO₂. Este método de aturdimiento es apto para aves de corral.

- Dióxido de carbono asociado con gases inertes: Exposición directa o progresiva de animales conscientes a una mezcla de gas con un contenido de CO₂ inferior a un 40% asociado con gases inertes hasta llegar a la anoxia. El método puede emplearse en fosas, sacos, túneles, contenedores o edificios previamente estanqueizados. Este sistema de aturdimiento es apto para cerdos y aves de corral. En el caso de las aves de corral, se trataría de un aturdimiento simple si la duración total de la exposición a una concentración de CO₂ no inferior al 30% es menor de 3 min.
- Gases inertes: Exposición directa o progresiva de animales conscientes a una mezcla de gases inertes, como el Ar o el N₂ hasta llegar a la anoxia. Este método puede emplearse en fosas, sacos, túneles, contenedores o edificios previamente estanqueizados. Este método de aturdimiento es apto para cerdos y aves de corral. En el caso de las aves de corral, se considera aturdimiento simple si la duración de la exposición a la anoxia es menor de 3 min.
- Monóxido de carbono (fuente pura): Exposición de animales conscientes a una mezcla de gases con un contenido de CO superior a un 4%. Este método es apto para animales de peletería, aves de corral y cochinitos en situaciones distintas del sacrificio. En este sistema los animales se mantendrán en todo momento bajo supervisión visual. Con este sistema de aturdimiento hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - Los animales se introducirán uno por uno, y se velará porque cada animal esté inconsciente o muerto antes de introducir el siguiente.
 - Los animales permanecerán en la cámara hasta que estén muertos.

- Monóxido de carbono asociado a otros gases: Exposición de animales conscientes a una mezcla de gases que contenga más de un 1% de CO asociado a otros gases tóxicos. Este sistema es apto para las mismas especies que el aturdimiento por CO (fuente pura) y con la misma finalidad. Con este sistema hay que atender a los mismos aspectos mencionados en método anterior y además hay que controlar que los animales no se introduzcan en la cámara hasta que se haya alcanzado la concentración mínima de CO.

Una vez se ha producido el aturdimiento y sacrificio del animal, la fibra muscular experimenta diferentes modificaciones que dan como resultado la transformación del músculo en carne.

2.4. TRANSFORMACIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE

Los músculos de los animales sufren tras el sacrificio de los mismos una serie de transformaciones, de carácter físico-químico y bioquímico, que dan lugar al desarrollo de la fase de *rigor mortis* y de la etapa de maduración de la carne.

La primera fase de transformación es el *rigor mortis*. Esta fase se desarrolla de forma obligada y es donde tiene lugar la verdadera transformación del músculo en carne.

La segunda fase de transformación es la maduración de la carne. El desarrollo y duración de esta fase es variable debido a que el momento de consumo de la carne presenta gran variabilidad, dependiendo del modo de conservación o del deseo del consumidor, pudiendo ser casi inexistente o prolongarse hasta llegar al final de la vida útil de la carne.

El desarrollo de ambas fases *post-mortem* (*rigor mortis* y maduración) va a determinar en gran medida la calidad de la carne, por tanto, es de gran interés conocer las condiciones de desarrollo de dichas etapas y los factores que pueden afectar a la evolución de las mismas.

2.4.1 RIGOR MORTIS

El *rigor mortis* comienza tras el sacrificio del animal y consiste en la transformación del músculo en carne. Debido a la muerte del animal se producen una serie de procesos que dan lugar al desarrollo del *rigor mortis*. Algunos de estos procesos son la falta de regulación central, a nivel hormonal y nervioso, por lo que la regulación de cada fibra muscular es a nivel local, la ausencia de oxígeno en el sistema que impide el desarrollo de un metabolismo aeróbico. Además, comienza la despolarización de las membranas que provoca la salida de Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico al espacio miofibrilar.

Sin embargo, la actividad enzimática se conserva casi sin alteraciones tras el sacrificio del animal y esto tiene un papel fundamental en el desarrollo del *rigor mortis*. La fuente de energía ATP es degradada por completo por la ATPasa de la miosina y la ATPasa del retículo sarcoplásmico. Para la síntesis de este nucleótido se utilizan mecanismos anaeróbicos mediante vía glucolítica utilizando el glucógeno de reserva y la creatina-fosfato como sustratos. Como resultado de la glucólisis se obtiene ATP y ácido láctico. Este ácido láctico provoca un descenso de pH; bajada que está directamente relacionada con la cantidad de glucógeno presente en el músculo. Cuando la fuente de energía ATP desaparece y el Ca^{2+} está presente en la célula tiene lugar la interacción de la actina y miosina, formando actomiosina. La actomiosina se trata de una unión irreversible de

actina y miosina que provoca la rigidez y tensión muscular y el establecimiento del *rigor mortis*.

El resultado del metabolismo *post-mortem* tras el desarrollo del *rigor mortis* es la desaparición del ATP, una bajada del pH y la aparición de la tensión y rigidez muscular, que se traduce en la pérdida de extensibilidad del músculo. En los estudios realizados en esta tesis, para medir el desarrollo del *rigor mortis* se analiza la evolución del pH.

El desarrollo del *rigor mortis* se ve puede ver afectado por el estrés sufrido por el animal antes del sacrificio y por la temperatura en la que se almacena la canal tras el sacrificio.

El estrés ante-mortem puede ocasionar el desarrollo anormal del *rigor mortis* que tiene como consecuencia la aparición de carnes defectuosas que se conocen como carnes DFD (Dark-Firm-Dry) y carnes PSE (Pale-Soft-Exudative).

2.4.2 MADURACIÓN DE LA CARNE

Tras el desarrollo del *rigor mortis* y hasta unas 24 horas *post-mortem* aproximadamente la carne muestra unas características poco deseables desde el punto de vista de la calidad, ya que presenta una alta dureza y un aroma y sabor escasos. Durante la maduración de la carne se llevan a cabo una serie de procesos que hacen que mejore su calidad. En concreto, se produce un enternecimiento de la carne de forma progresiva y se desarrolla un aroma y sabor característicos de la carne cruda.

El enternecimiento de la carne se debe a la degradación progresiva de la estructura de las miofibrillas, como consecuencia de la rotura hidrolítica de determinadas proteínas miofibrilares y por la acción de proteasas endógenas del músculo.

Los cambios que tienen lugar en la degradación de las estructuras miofibrilares, que favorecen el enternecimiento de la carne, son la degradación de la línea Z y la degradación de los filamentos longitudinales y transversales.

Por otro lado, las proteasas existentes en el músculo, que también participan en el enternecimiento de la carne, son las calpaínas y las catpesinas. Las calpaínas actúan degradando proteínas musculares que son constituyentes de estructuras musculares (tropomiosina, titina, α -actina, nebulina, troponina T y desmina). Las calpaínas se encuentran en el sarcoplasma, se activan a concentraciones de Ca^{2+} y valores de pH existentes en el músculo *post-mortem* y a bajas temperaturas mantienen parte de su actividad, por lo que dichas endoproteasas están directamente relacionadas con el enternecimiento de la carne durante la maduración.

Las captesinas también presentan una actividad proteolítica sobre las proteínas de la carne. En el caso de las células musculares, se encuentran en los lisosomas, tienen un pH de activación ácido (4-5) y a bajas temperaturas presentan bajos niveles de actividad. Sin embargo, al tener que salir de los lisosomas para su actuación sobre las proteínas musculares y tener una baja actividad a temperaturas de refrigeración se concluye que su papel en el enternecimiento de la carne no es tan significativo como el de las calpaínas. Sin embargo, al tratarse de enzimas más estables que las calpaínas y mantenerse

activas tras varios meses *post-mortem* hace que tengan un papel muy importante en la maduración de los productos cárnicos curados.

En los estudios realizados en esta tesis, se analizó la evolución de la maduración mediante la determinación del pH y la textura de la carne. La ternura de la carne aumenta con valores de pH próximos a pH neutro, debido a que es el pH óptimo para la actividad de las calpaínas. En el caso de carnes defectuosas como las DFD, donde el pH es alto, la carne presenta una textura gomosa que no permite apreciar la ternura como consecuencia de la maduración. En el caso de pH bajos, se favorece la desnaturalización de las proteínas y la acción de las enzimas catepsinas por lo que cabe esperar un aumento de enternecimiento de la carne. Sin embargo, a pH más ácidos aparecen carnes defectuosas (PSE), que se caracterizan principalmente por ser carnes muy exudativas.

En la industria cárnica existen tratamientos tecnológicos, como la estimulación eléctrica de la canal que pueden provocar un aumento de la velocidad de enternecimiento de la carne y por tanto, reducir el tiempo necesario para la maduración de la misma. La estimulación eléctrica provoca la rotura de lisosomas y otros orgánulos, de manera que las enzimas que actúan degradando las miofibrillas quedan libres en el sarcoplasma y aceleran la degradación proteolítica. El efecto de la electro-estimulación sobre la maduración de la carne ha sido muy discutido y por ello, es objetivo de esta tesis analizar cómo afecta la estimulación eléctrica sobre la calidad de la carne y sobre el desangrado final de la canal.

Atendiendo al aroma y sabor durante la maduración de la carne, el desarrollo de un aroma y sabor característico de la carne cruda se debe también a la presencia de productos nitrogenados procedentes de la

degradación y a la acción de enzimas proteolíticas que dan lugar a aminoácidos libres y pequeños péptidos. Estos productos nitrogenados son resultado por un lado de la acción de proteasas y otras enzimas y por otro lado, proceden del metabolismo de los microorganismos que se encuentran en la superficie de la carne en condiciones normales. Ambas reacciones se desarrollan a velocidad lenta a bajas temperaturas.

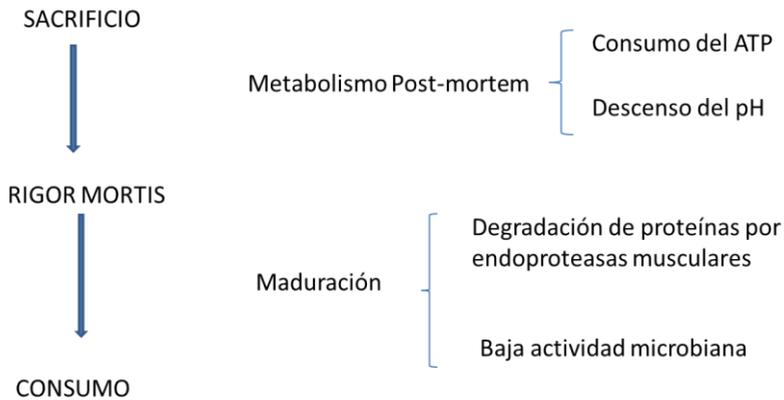


Figura 7. Esquema del proceso de transformación del músculo en carne y su maduración

Fuente: Elaboración propia

2.5 FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN A LA CALIDAD DE LA CARNE

2.5.1 pH

El pH de la carne determina varios factores de calidad de la carne. Por un lado, afecta a la conservación de la carne y por otro a la capacidad de retención de agua (CRA).

En cuanto a la conservación, la proliferación de la flora microbiana contaminante de la carne se ve favorecida cuando el pH se acerca a 7. Por tanto, el pH ligeramente ácido característico de la carne favorece su vida útil. Desde el punto de vista de la conservación, cuanto más ácido sea el pH mejor será la conservación y durabilidad de la carne.

En el caso de la CRA hay que tener en cuenta el punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares. Dado que el valor del punto isoeléctrico de estas proteínas está en torno a 5,5, valor muy similar al del pH alcanzado en la carne tras el *rigor mortis*, hace que la fuerza de repulsión entre las miofibrillas sea mínima y por tanto la CRA sea pequeña. Cuando el pH de la carne tiene un valor por encima o por debajo del punto isoeléctrico de las miofibrillas, existen cargas negativas o positivas que conllevan una repulsión entre las proteínas y resulta en un mayor espacio entre ellas y como consecuencia en una mayor CRA.

Otro factor de calidad que determina el pH es la capacidad de la carne para ser transformada. Las carnes PSE no son buenas para ser procesadas ya que la desnaturalización de las proteínas provoca que tengan escasa CRA, de gelificación, de emulsión, etc. En el caso de las carnes DFD el pH elevado facilita el crecimiento microbiano y la actividad enzimática por lo que disminuye la durabilidad de la carne. Sin embargo, el pH elevado favorece a la CRA y por tanto mejora el rendimiento de estas carnes.

2.5.2 COLOR

El color de la carne depende de la luminosidad, del pH final, de la estructura de las proteínas y de la cantidad de mioglobina y su estado químico.

La cantidad de mioglobina de la carne depende de diferentes factores como la edad, el tipo de músculo, etc. La cantidad de mioglobina aumenta con la edad del animal y atendiendo al tipo de músculo, los músculos blancos tienen menor contenido en mioglobina que los músculos rojos.

El estado químico de la hemoglobina determina el color de la carne fresca. La mioglobina reducida presenta un color rojo vivo. Cuando esta se oxida da lugar a la metamioglobina, que se caracteriza por tener un color indeseable marrón pardo. En presencia de oxígeno la mioglobina reducida se transforma en oximioglobina que da lugar a un color rojo claro característico de la carne fresca. Esta forma es poco estable ya que al necesitar el oxígeno para su formación puede provocar la oxidación del pigmento dando lugar a la metamioglobina. Actualmente es muy utilizada la conservación de la carne en envases con atmósferas modificadas que permiten controlar el estado de oxidación u oxigenación de la mioglobina y por tanto, el color de la carne.

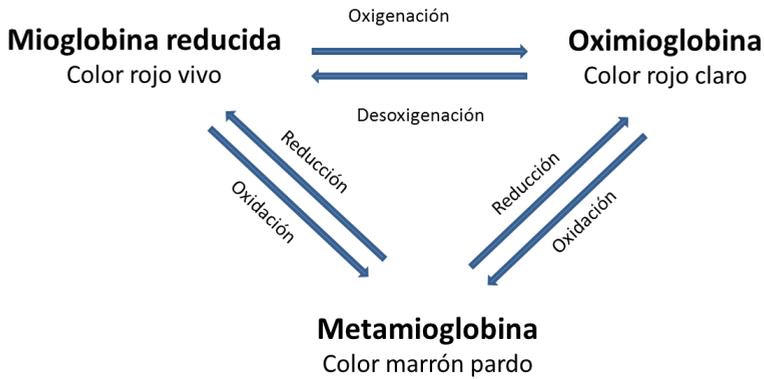


Figura 8. Estados de óxido-reducción de la mioglobina en carne fresca

Fuente: Elaboración propia

2.5.3 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

El contenido de agua en la carne es aproximadamente del 75%. El agua se mantiene unida a la carne mediante fuerzas eléctricas y fuerzas físicas. El agua forma dipolos que resultan atraídos por las cargas de las proteínas, formando capas de hidratación alrededor de éstas. Además, el agua se mantiene unida a la carne mediante fuerzas de capilaridad (Offer y Trinick, 1983). Las diferencias en la CRA se deben a cambios de la estructura de la carne. Como se ha visto anteriormente, la CRA está directamente relacionada con el valor de pH final de la carne y con la rapidez en la que se produce la bajada de pH en la carne.

La CRA es un parámetro muy importante desde el punto de vista de la tecnología de la carne. La CRA también acaba afectando a color y a la jugosidad. Además, tiene un papel fundamental en procesos como la difusión de sal y otros conservadores en el interior de la carne.

2.5.4 TEXTURA

La consistencia de la carne depende esencialmente de la cantidad de tejido conectivo que tenga la carne, de la estabilidad de los enlaces entre diversas moléculas de colágeno y del grado de contracción del sarcómero (Bailey y Robins, 1976). La formación de enlaces entre moléculas de colágeno y por consiguiente la dureza de la carne se ve condicionada por la edad del animal, ya que a medida que aumenta la edad del animal aumenta el número de enlaces irreversibles. También por el sexo del animal, pues la formación de estos enlaces es promovida por hormonas sexuales como los andrógenos, el ejercicio que haga el animal, etc. Además del papel del colágeno en la dureza de la carne, el grado de contracción de las miofibrillas tras el *rigor mortis* afecta directamente a la textura final de la carne.

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ANIMALES

Actualmente, en la producción industrial de pavos, no se habla de razas sino de cruzamientos industriales o híbridos comerciales. Los pavos que encontramos en el mercado no pertenecen a una determinada raza, sino que son producto de cruzamientos expresamente programados. Estos híbridos tienen diversos nombres, a veces se identifican con el nombre del propietario o fundador de la firma productora, mientras que otras veces se corresponden con siglas.

La demanda del mercado es diferente según las costumbres y exigencias de los consumidores en los diferentes países. Debido a esto se contempló la necesidad de contar con pavos de peso diverso. Las casas comerciales de pavos han categorizado los pavos en tres tipos: un pavo ligero, uno medio y otro pesado (Guidobono, 1985).

Los pavos utilizados para el estudio pertenecen a la estirpe B.U.T. Premium (híbrido de distintas variedades de pavos blancos entre las que se encuentra la Broad-Breasted White). Se trata de una estirpe de peso medio, elegida por muchas industrias avícolas al tratarse de una estirpe de fácil manejo, con un rendimiento comercial alto y costes de producción bajos.

En la presente tesis, las pruebas se realizaron con pavos de género macho y hembra y dentro de los machos de dos edades diferentes por condiciones comerciales: pavos machos pequeños (15 semanas de edad), pavos machos grandes (17 semanas de edad) y pavos hembras (15 semanas de edad). En la tabla 5 se detallan las especificaciones de crecimiento de los pavos dependiendo del género y la edad de sacrificio:

Tabla 5: Parámetros de crecimiento de los pavos en función del género y la edad de sacrificio

Sexo	Edad de sacrificio (semanas)	Ganancia de peso diaria (g/día)	Tasa de conversión del alimento FCR (kg/kg)	Rendimiento canal eviscerada (%)	Rendimiento pechuga (%)
Macho	15-16	176	2,16	76	26,5
Macho	17	175	2,23	76,35	27
Hembra	15	102	2,36	74,9	26,95

Fuente: Aviagen Turkeys

A lo largo del desarrollo de la tesis se emplearon un total de 206 pavos de los que 50 eran hembras, 50 machos pequeños y 106 machos grandes.

Para analizar el efecto del sistema de aturdimiento con CO₂ y el sexo en la calidad de la carne de pavo se utilizaron 50 pavos hembras y 50 pavos machos pequeños.

En el caso del estudio del efecto del sistema de aturdimiento con CO₂ y peso en la calidad de la carne de pavo se utilizaron 50 pavos machos pequeños y 50 pavos machos grandes.

Para analizar el efecto de la estimulación eléctrica *post-mortem* de la canal sobre la calidad de la carne de pavo se utilizó el tipo comercial en el que se observa de forma más acentuada un desangrado inadecuado de la canal, el pavo macho grande, dado que tanto en las hembras como en los machos pequeños la presencia de restos de sangre es menor, consiguiéndose un desangrado más eficiente de la canal. Así la población para este estudio estuvo compuesta por 25 pavos machos grandes sacrificados en condiciones estándar y 28

pavos machos grandes cuyas canales fueron estimuladas eléctricamente durante el desangrado.

En el caso del efecto del aumento del tiempo de desangrado de la canal en la calidad de la carne se utilizaron pavos machos grandes por el mismo motivo que en el análisis anterior. En este caso la población estuvo compuesta por 25 pavos machos grandes sacrificados en condiciones estándar y 28 pavos machos grandes cuyas canales se sometieron al aumento del tiempo de desangrado tras el degüelle.

3.2 MANEJO Y ALIMENTACIÓN

Los pavos se criaron en granjas industriales en un sistema intensivo. Las naves estaban equipadas con sistemas de calefacción y ventilación de manera que las condiciones ambientales se mantuvieron controladas durante la fase de recría y la fase de finalización o cebo de los animales (Fase de recría: T^a inicial 38°C, T^a final 26°C, Humedad 50%; Fase de cebo: T^a inicial: 26°C, T^a final: 18°C, Humedad: 40%).

Las dimensiones de las naves y las densidades de animales en la fase de recría fueron 1.300 m² y 20 pavos/m², respectivamente, y en fase de cebo 1.500 m² y 4 pavos macho/m² o 5 pavos hembra/m², respectivamente. En cuanto a la iluminación, desde el tercer día de vida los pavos tuvieron 6 horas de oscuridad durante las noches, tanto en la fase de recría como en la fase de cebo.

La alimentación de los pavos consistió en el suministro *ad libitum* de agua y concentrado basado en cereales, cuyo acceso estaba disponible para los pavos durante las 24 horas del día. En la tabla 6 se detalla la composición de los piensos en las fases de recría y de cebo, que

satisfacen todas las necesidades nutricionales de los pavos en crecimiento.

Tabla 6. Ingredientes de la dieta basal ofrecida a los pavos durante las fases de crecimiento (etapa 1) y engorde (etapa 2)

Materia prima	Fase de recría (kg)	Fase de cebo (kg)
Trigo	38,2	43,5
Maíz	15	5
Soja 47%	30	25,27
Cebada	5	-
Soja extrusionada	-	9
Girasol	5	10
Aceite de soja	2	3
Bicarbonato	0,2	0,2
Fosfato	2	2
Carbonato	2	0,03
Sal mineral	0,1	0,5
Corrector vitamínico mineral ¹	0,5	1,5

¹Cantidad suministrada por kg de pienso:

Fase de recría: retinol, 4,5 mg; colecalciferol, 0,1 mg; 25 - hidroxicolecalciferol, 0,092 mg; tocoferol, 100 mg; cobalamina, 30 mg; piridoxina, 6 mg; menadiona, 4 mg; tiamina, 4,5 mg; riboflavina, 15 mg; ácido nicotínico, 75 mg; pantotenato de calcio, 30 mg; ácido fólico, 4 mg; biotina: 0,25 mg; Mn, 100 mg; Zn, 100 mg; Fe, 75 mg; Cu, 10 mg; I, 3 mg; Se, 0,35 mg.

Fase de cebo: retinol, 2,4 mg; colecalciferol, 0,0875 mg; tocoferol, 30 mg; menadiona, 4 mg; tiamina, 2 mg; riboflavina, 8 mg; ácido pantoténico, 15 mg; piridoxina, 3 mg; cobalamina, 0,015 mg; ácido nicotínico, 54 mg; pantotenato de calcio, 20 mg; ácido fólico, 2 mg; biotina, 0,20 mg; Mn, 105 mg; Zn, 95 mg; Fe, 40 mg; Cu, 10 mg; I, 2 mg; Se, 0,30 mg.

3.3 TRANSPORTE Y MANEJO PRE-SACRIFICIO

Cuando los pavos alcanzaron el peso comercial de sacrificio, tanto en el caso de los machos pequeños y grandes como en el de las hembras, se procedió al transporte de los animales desde la granja al matadero. El transporte tuvo lugar en jaulas de 7 pisos. La densidad de animales por m² en cada uno de los pisos de la jaula fue de 8 hembras/m² y 6

machos/m² tanto pequeños como grandes. El desarrollo experimental del estudio se llevó a cabo durante la primavera por lo que la carga y el transporte de los animales se efectuó a las 7:00 de la mañana, cuando la temperatura ambiente era la idónea para minimizar el estrés térmico sufrido por los animales durante el viaje. La distancia que había desde la granja al matadero era de 60 km, por lo que el tiempo del transporte fue de 1 hora aproximadamente. Los animales fueron privados de alimento 12 horas antes del sacrificio.

Cuando los pavos llegaron al matadero, las jaulas con los animales se colocaron en una nave acondicionada con ventiladores y aspersores de agua a fin de mantener unas condiciones estables (20-25°C y 60% de humedad). Las condiciones de luz de las naves eran de semioscuridad para reducir el estrés de los animales. El tiempo de reposo tras el transporte y previo al sacrificio fue de aproximadamente 1 hora, tiempo que se considera suficiente para que los animales se recuperen del estrés ocasionado durante la carga y el transporte. Tras ese tiempo de reposo, las jaulas de pavos se introdujeron en la cámara de aturdimiento.

3.4 ATURDIMIENTO Y SACRIFICIO

El aturdimiento gaseoso cada vez está más presente en las plantas de procesado avícola debido a que presenta mejoras en la calidad final de las canales (ausencia de huesos rotos, hematomas, petequias) en comparación con el aturdimiento eléctrico, más primitivo y común en las plantas de procesado de aves.

El método empleado para insensibilizar a los pavos fue el sistema de aturdimiento por gas utilizando como gas anestésico el CO₂. El CO₂

aturde a los animales por depresión de la función neuronal debido a la hipoxia (el CO₂ se distribuye por la sangre y desplaza al oxígeno) y a la disminución del pH tisular en el sistema nervioso central (Córdoba y Martín, 2001).

En los capítulos I y II se emplearon dos sistemas de aturdimiento diferentes:

1. Aturdimiento por etapas (Tratamiento Estándar).
2. Aturdimiento con concentración fija de gas.

En cada ciclo de aturdimiento se introdujeron en la cámara dos jaulas de pavos, un total de 210 pavos en el caso de las hembras y 168 pavos en el caso de los machos pequeños y grandes. La selección de los pavos para realizar cada una de las pruebas se llevó a cabo al azar.

La duración y las concentraciones de CO₂ empleadas en cada uno de los sistemas se detallan en las tablas 7 y 8:

Tabla 7. Concentración de CO₂ y tiempo en el sistema de aturdimiento por etapas

	[CO ₂]	Tiempo (s)
Etapa 1	30%	15
Etapa 2	55%	40
Etapa 3	70%	45

Tabla 8. Concentración de CO₂ y tiempo en el sistema de aturdimiento con concentración fija

[CO ₂]	Tiempo (s)
80%	100

Tras el aturdimiento, los pavos se colgaron por las extremidades inferiores en los ganchos de la cadena de matadero. El sacrificio tuvo lugar de forma manual mediante un corte bilateral seccionando las dos arterias carótidas y las dos venas yugulares, tal y como se observa en la Figura 9.

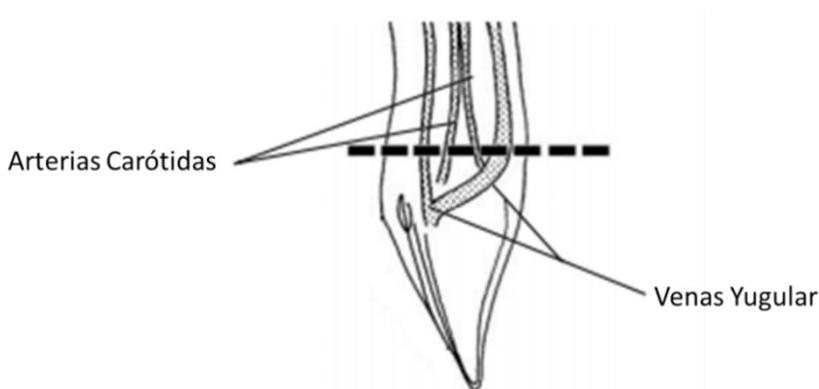


Figura 9. Representación gráfica del corte del cuello realizado para el sacrificio de los pavos

Fuente: Humane Slaughter Association

El tiempo transcurrido desde que el animal fue aturdido hasta su sacrificio fue de 20 s aproximadamente. A continuación, los pavos pasaron por las fases de desangrado (el tiempo de desangrado estándar fue de 2 min 30 s), escaldado (los pavos se sumergieron en agua a una temperatura de 54-58°C durante 3 min 20 s), desplumado (mediante desplumadoras automáticas) y evisceración manual (se extrajo todo el paquete intestinal, hígado, corazón y molleja). Tras la evisceración, tuvo lugar el corte de la cabeza, la rabadilla, las puntas de alas, el cuello y las patas, obteniendo finalmente la canal del pavo. El tiempo que transcurrió desde que el pavo fue aturdido hasta la obtención de la canal fue de 20 min aproximadamente.

En el estudio realizado en el Capítulo IV los pavos siguieron el mismo tratamiento de aturdimiento y sacrificio descrito anteriormente. Sin embargo, justo después del sacrificio se aplicó a una descarga eléctrica sobre las canales.

Para la estimulación eléctrica se utilizó un transformador (Figura 10) conectado a dos barras de aplicación de corriente eléctrica (2 polos). La batería generó electricidad a una frecuencia de 50 Hz y a una intensidad de 870 mA, que fue la misma intensidad de la descarga que se llevó a cabo sobre la canal durante 15 s. Una de las barras de aplicación se colocó en la zona del muslo y la otra en la zona de la pechuga cercana al cuello. De esta forma, se consiguió que la corriente eléctrica circulase por toda la canal.

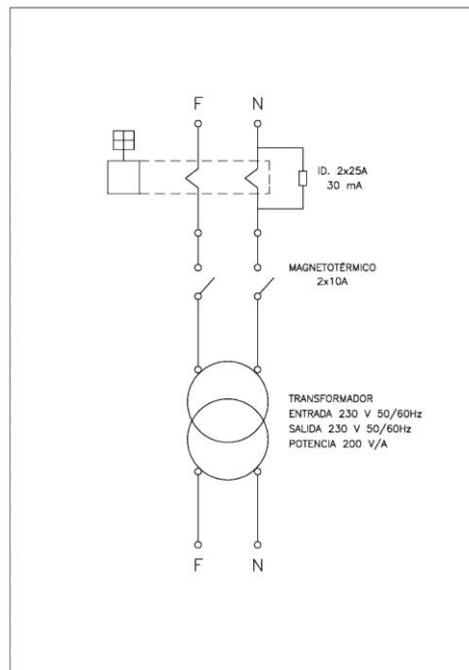


Figura 10. Esquema del equipo utilizado para la electroestimulación de los pavos

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en el análisis para comprobar el efecto del incremento del tiempo en la etapa de desangrado (Capítulo V), la población en estudio fue sometida a una ampliación de dicho periodo en 4 min, es decir, los animales tuvieron el tratamiento de aturdimiento y sacrificio estándar pero el tiempo de desangrado total antes del escaldado tuvo una duración de 6 min 30 s.

3.5 ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE CARNE

3.5.1 TOMA DE MUESTRAS

Para el análisis de la calidad de la carne se tomó de cada canal en estudio la pechuga derecha. La pechuga es la parte más voluminosa de la canal del pavo, es decir, el músculo que más se desarrolla en estos animales. Esta pieza presenta facilidad de extracción y uniformidad muscular. Además, se trata de la carne que tiene más interés y valor comercial. Se realizaron análisis de parámetros de calidad a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*.

Al final de la cadena de sacrificio (20 min *post-mortem*) se procedió a determinar el peso de las canales, la temperatura, pH y color del músculo de la pechuga. Las determinaciones se efectuaron en la parte superior de la pechuga derecha del pavo (músculo pectoral superficial). Inmediatamente después las canales pasaron a refrigeración en dos fases. Inicialmente hubo una fase de refrigeración rápida, con una duración aproximada de 1 hora 30 min, en la que la temperatura de la canal descendió hasta 20°C. La temperatura de la cámara de refrigeración estaba entre 0 - 2°C. Posteriormente, las canales pasaron a otra cámara (2 - 4°C) donde permanecieron hasta las

24 horas *post-mortem* aproximadamente, donde alcanzaron una temperatura por debajo de 4°C.

Seguidamente, las pechugas de cada animal se extrajeron en el despiece de la canal por un profesional experto. Tras el despiece, las pechugas se pesaron antes de quitarles la piel y se envasaron al vacío para su traslado. A continuación, las pechugas se almacenaron en neveras de poliespán con placas acumuladoras de frío y fueron trasladadas al Laboratorio de Calidad de Carne del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba (España). El tiempo del traslado fue de 50 min aproximadamente. A la llegada al laboratorio, las pechugas derechas de cada animal se sacaron del envase al vacío y se dividieron longitudinalmente en dos submuestras (B1 y B7).

Las muestras B1 se utilizaron para los diferentes análisis fisicoquímicos e instrumentales que se realizaron con 1 día de maduración. Estos análisis se llevaron a cabo inmediatamente tras la llegada de las muestras al laboratorio. La temperatura ambiente del laboratorio era de 15°C. Los parámetros de calidad de carne evaluados en las submuestras B1 fueron la composición química, pH, color, CRA y terniza. La CRA se valoró mediante pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado en la carne.

Por otro lado, las submuestras B7 se envasaron de nuevo al vacío, se identificaron individualmente y se conservaron en una cámara a 2 - 4°C. A los 7 días *post-mortem* se determinó el pH, color, temperatura, CRA (pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado) y terniza.

Para realizar los análisis de los parámetros de calidad, las submuestras B1 y B7 se dividieron en diferentes fragmentos. Para ello, se utilizó el mismo protocolo de fragmentación en todas las pechugas (Figura 11).

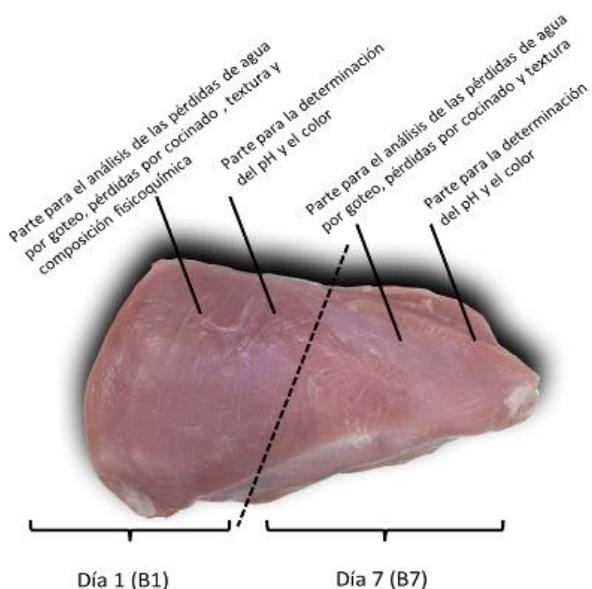


Figura 11- Esquema de la fragmentación de las pechugas

3.5.2 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD

pH y temperatura

Para determinar el pH y la temperatura se utilizó un pH-metro portátil de penetración Crison PH25 (Imagen 4), equipado con un electrodo de cristal adecuado para penetrar la carne y un compensador de temperatura automático. Antes de realizar las medidas, el pH-metro se calibró con



Imagen 4. pH-metro Crison PH25

unas soluciones buffer estándares de pH 9, pH 7 y pH 4 almacenadas a temperatura ambiente. Los electrodos se insertaron aproximadamente a 1 cm de profundidad en las muestras de pechuga de pavo (músculo Pectoral superficial). Las mediciones se realizaron a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*.



**Imagen 5. Espectrofotómetro
Minolta CM2600d**

Color

Para medir el color se utilizó un espectrofotómetro portátil CM2600d (Minolta Co., Osaka, Japan) (iluminante D65; ángulo de visión 10° y medida de apertura 8 mm), estandarizado frente a un azulejo blanco ($L^* = 97.78$, $a^* = 0.19$, $b^* = 1.84$), siguiendo el método descrito por Honikel (1998) (Imagen 5). Se realizaron dos mediciones en lugares diferentes de las pechugas.

Los cambios de color en la superficie se monitorizaron mediante las mediciones de las coordenadas cromáticas L^* , a^* y b^* (CIE, 1976). Los valores de color incluyen la luminosidad (L^* , una medida de la luz reflejada, 100 corresponde a blanco y 0 a negro), el rojizo-verdoso (a^* , donde medidas positivas corresponden al rojo y medidas negativas al verde) y el amarillento-azulado (b^* , medidas positivas corresponden al amarillo y medidas negativas al azul). Las mediciones del color se realizaron a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*, en la

superficie de los fragmentos de pechugas destinados a esta medición, tras 30 min de oxigenación (blooming) a temperatura ambiente. Se hizo el promedio de las dos mediciones.

Pérdidas por goteo

Las muestras de carne de pechuga utilizadas para determinar las pérdidas por goteo se pesaron (≈ 20 g) y se introdujeron en unos recipientes cerrados e identificados (Imagen 6). Las muestras de carne permanecieron colgadas desde la tapa sin estar en contacto con el recipiente. Los recipientes cerrados e identificados se almacenaron en una cámara a 4°C durante 24 horas. Tras este tiempo, se tomaron de forma cuidadosa los trozos de pechuga, se secaron y se volvieron a pesar. Las pérdidas por goteo se determinaron aplicando la siguiente fórmula (Honikel, 1998):

$$\text{Pérdidas por goteo} = \frac{(P_{inicial} - P_{final})}{P_{inicial}} \times 100$$

Donde:

$P_{inicial}$ = Peso de la muestra antes del almacenaje (g)



Imagen 6. Muestras almacenadas para la determinación de las pérdidas por goteo

P_{final} = Peso de la muestra tras 24 horas de almacenaje (g)

Pérdidas por cocinado

Para determinar las pérdidas por cocinado se cortaron muestras de 150 g aproximadamente de pechuga de pavo. Estas muestras se limpiaron de la grasa superficial que pudieran contener, se pesaron y se envasaron en bolsas de polietileno. A continuación, se introdujeron en un baño de agua a 72°C hasta que las muestras de carne alcanzaron una temperatura en el centro de la pieza de 70°C (Imagen 7). Para controlar la temperatura de la carne se utilizó una sonda flexible de alta temperatura tipo K (Omega, Laval, QC) que se introdujo en el centro geométrico de la muestra de carne. Tras alcanzar dicha temperatura, las muestras cocinadas se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 30 min. Tras equilibrarse la temperatura de la carne con la temperatura de la sala (15°C), las muestras cocinadas se secaron en papel de filtro sin comprimirlas y se volvieron a pesar. Las pérdidas por cocinado se obtuvieron por diferencia entre el peso inicial y el peso tras el cocinado utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas por cocinado} = \frac{(P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}})}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

Donde:

P_{inicial} = Peso de la carne cruda (Peso inicial) (g)



Imagen 7. Muestras en el baño para la determinación de las pérdidas por cocinado

P_{final} = Peso de la carne cocinada (Peso final) (g)

Textura

Para el análisis de la textura o resistencia al corte, las muestras cocinadas se equilibraron con la temperatura ambiente de 15°C durante 30 min. A continuación, se cortaron en piezas de 1 × 1 × 3 cm (altura, anchura, longitud). Estas piezas se utilizaron para medir la resistencia al corte, utilizando el Texturómetro TA-



Imagen 8. Texturómetro TA-XT-2

XT-2 (Texture Analyser®, Stable Micro Systems, Surrey, UK), equipado con una cuchilla Warner–Bratzler de 30 kg de célula de carga y a una velocidad de corte de 200 mm/min (Imagen 8). La distancia de corte fue de 3 cm (la cuchilla debía cortar la muestra de carne por completo). El parámetro registrado fue la resistencia máxima que presentaba la muestra al corte, que coincidía con el pico más alto de la curva (en kg/cm²). La resistencia al corte se midió de forma perpendicular a las fibras musculares. Se cortaron 5 piezas (1 × 1 × 3 cm) por muestra de pechuga, en las que el eje longitudinal era siempre paralelo a las fibras musculares. En cada pieza se midió diez veces la resistencia al corte y los 10 picos obtenidos de la máxima resistencia presentada al corte por submuestra se les hizo una media.

Análisis fisicoquímico

- **Humedad:** la cuantificación del porcentaje de humedad se realizó por medio de una gravimetría. Para ello, se picó un fragmento de cada una de las pechugas de pavo del estudio. Se pesó y se anotó el peso del crisol vacío. A continuación, se añadió al crisol unos 25 g de muestra y se anotó el peso dispensado. Posteriormente, se añadieron 10 - 15 g de arena de mar y se anotó el peso. El siguiente paso consistió en añadir un poco de etanol al 96% al crisol removiendo la mezcla de arena y carne con ayuda de una varilla. El siguiente paso consistió en mantener el crisol en la estufa de desecación a 100°C durante 22-24 horas. Transcurrido este tiempo, se dejó el crisol en un desecador para que tomase la temperatura ambiente sin que adquiriera la humedad del exterior. Una vez que el crisol estaba a temperatura ambiente se volvió a pesar y anotar el resultado. La humedad se determinó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad} = \frac{(P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}})}{P_{\text{muestra}}} \times 100$$

Donde:

P_{inicial} = peso crisol + peso muestra + peso arena

P_{final} = peso tras la desecación en estufa y una vez alcanzada temperatura ambiente

P_{muestra} = peso de la muestra

- **Proteínas:** la proteína total se determinó mediante el método Kjeldahl (digestión en medio ácido, destilación y volumetría). Este método consiste en determinar el contenido total de Nitrógeno y multiplicarlo por la constante 6,25 con el fin de hallar el contenido total de proteína. El procedimiento a seguir fue picar una muestra de cada una de las pechugas del estudio y realizar una digestión de la muestra en medio ácido (sulfato potásico, sulfato amónico y selenio disuelto en ácido sulfúrico). Por último, tuvo lugar la valoración del contenido de nitrógeno de la muestra.
- **Cenizas:** La determinación de las cenizas tuvo lugar mediante gravimetría (tras incineración a 550°C). En primer lugar, se retiró la humedad de la muestra mediante el mismo procedimiento seguido para determinar el porcentaje de humedad. Posteriormente, se introdujo el crisol en el horno mufla a 550°C durante 3 horas. Transcurrido este tiempo, se sacó el crisol y se llevó al desecador para que adquiriera temperatura ambiente. Por último, se pesó el crisol y se anotó el peso. La determinación de las cenizas se realizó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Ceniza = \frac{(P_{calcinado} - P_{inicial})}{P_{muestra}} \times 100$$

Donde:

$P_{calcinado}$ = peso tras la calcinación el mufla y una vez alcanzado temperatura ambiente

$P_{inicial}$ = peso crisol + peso arena

$P_{muestra}$ = peso de la muestra.

- **Grasas:** La determinación del contenido graso tuvo lugar mediante gravimetría (tras hidrólisis ácida y extracción Soxhlet). Para ello se picó una muestra de carne de cada una de las pechugas de pavo del estudio. A continuación, se pesaron 25 gramos de carne aproximadamente ($P_{muestra}$). Tras esto, las muestras se sometieron a hidrólisis ácida con agua destilada y ácido clorhídrico. La pasta resultante de la hidrólisis se dejó enfriar y posteriormente se filtró y lavó con agua. Se desecó en un papel de filtro durante 1 hora y 30 min en una estufa a 95°C. Posteriormente, se introdujo el papel con la pasta en un cartucho de extracción del Soxhlet llevándose a cabo la extracción de la grasa por arrastre con éter de petróleo. Los vasos de recogida de la grasa se desecaron y se pesaron previamente ($P_{inicial}$) y volvieron a ser desecados y enfriados y pesados de nuevo (P_{final}). La grasa se determinó mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Grasa = \frac{(P_{final} - P_{inicial})}{P_{muestra}} \times 100$$

Donde:

P_{inicial} : Peso inicial

P_{final} : Peso final

P_{muestra} : Peso de la muestra

3.5.3 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA ANALIZAR LA SANGRE RESIDUAL DE LA CANAL

En los capítulos IV y V se analizó el efecto de la estimulación eléctrica de la canal y el aumento del tiempo en el periodo de desangrado, respectivamente, sobre la calidad final de la carne. Para ello se determinó el contenido de sangre residual en las venas principales de tres de las piezas comerciales de interés económico: pechugas, contramuslos y alas. Para analizar el contenido en sangre se utilizaron los siguientes criterios de referencia para la puntuación de las distintas piezas:

- 0: Vena completamente limpia de sangre.
- 1: Vena con pequeños restos de sangre residual.
- 2: Mitad de la vena llena de sangre.
- 3: Vena llena de sangre.
- 4: Vena llena de sangre y presencia de coágulos.

A continuación, se muestran las imágenes de referencia de pechugas, contramuslos y alas para cada una de las puntuaciones descritas.

Pechugas:

Puntuación 0



Puntuación 1



Puntuación 2



Puntuación 3



Puntuación 4



Imagen 9. Criterios de referencia para la puntuación de sangre residual en pechugas

Contramuslos:

Puntuación 0



Puntuación 1



Puntuación 2



Puntuación 3



Puntuación 4



Imagen 10. Criterios de referencia para la puntuación de sangre residual en contramuslos

Alas:

Puntuación 0



Puntuación 1 Puntuación 2



Puntuación 3



Puntuación 4



Imagen 11. Criterios de referencia para la puntuación de sangre residual en alas

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para llevar a cabo el análisis estadístico se utilizó el paquete informático SAS University Edition 3.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC). Para el análisis de los caracteres de la canal (peso y porcentaje de pechuga) y de la composición físico-química (humedad, cenizas, grasa y proteínas) se utilizó en procedimiento GLM. El modelo incluyó como efectos fijos el sexo, el método de aturdimiento y su interacción en el primer estudio (Capítulo I), la edad al sacrificio, el método de aturdimiento y su interacción en el segundo (Capítulo II) y el sexo y la edad al sacrificio en el tercero (Capítulo III).

En cuanto a los parámetros de calidad de la carne (pH, color y dureza de la carne) se utilizó el procedimiento MIXED, empleando un análisis de medidas repetidas. El modelo incluyó como efectos fijos el sexo, el método de aturdimiento, el tiempo de maduración de la carne y sus interacciones en el primer estudio (Capítulo I), la edad al sacrificio, el método de aturdimiento, el tiempo de maduración de la carne y sus interacciones en el segundo (Capítulo II), la aplicación de electro-estimulación sobre la canal durante el faenado, el tiempo de maduración de la carne y su interacción en el cuarto análisis (Capítulo IV) y el aumento del tiempo en la etapa de desangrado, el tiempo de maduración de la carne y su interacción en el último análisis (Capítulo V). En cada uno de los estudios se usó el test de Tukey para comparar las medias mínimo cuadráticas poblacionales. Las diferencias entre poblaciones se consideraron significativas cuando la probabilidad de rechazar la hipótesis nula fue igual o menor a 0,05.

La evaluación del efecto de la aplicación de electro-estimulación sobre la canal y del incremento del tiempo en la etapa de desangrado en las principales piezas comerciales (Capítulos IV y V) se llevó a cabo un

mediante un análisis de variables categóricas. Para ello se realizaron unas tablas de contingencia mediante el procedimiento FREQ y a partir de ellas se llevaron a cabo dos test de independencia: χ^2 de Pearson y Máxima Verosimilitud de Fisher. Como en los análisis anteriores, las diferencias entre poblaciones se consideraron significativas cuando la probabilidad de rechazar la hipótesis nula fue igual o menor a 0,05.

CAPÍTULO I

4. CAPÍTULO I: EFECTOS DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO CON CO₂ Y DEL SEXO EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO.

Mauri S., Guijarro A., Avilés C. y Peña F. 2017. Influence of carbon dioxide stunning procedure on quality of turkey meat. *British Poultry Science*. Doi: 10.1080/00071668.2017.1285393.

Influence of carbon dioxide stunning procedure on quality of turkey meat

S. Mauri, Á. Guijarro, C. Avilés and F. Peña

Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain

ABSTRACT

1. The objective of this study was to evaluate the effect of sex and gas stunning on quality attributes of turkey breast meat.
2. One hundred B.U.T. Premium turkeys (50 males and 50 females) were divided into two groups of 25 animals and subjected to either CO₂ stunning procedures: G1 stepwise (step 1: 30% CO₂, 15 s; step 2: 55% CO₂, 40 s; step 3: 70% CO₂, 45 s) or G2 fixed concentration (80% CO₂, 100 s). The pH and meat colour at 20 min post-mortem, and pH, colour (L*, a*, b*), water holding capacity (WHC), drip loss (DL), cooking loss (CL) and Warner–Bratzler shear force (WBSF) in breast samples at 24 h and 7 d post-mortem were assessed.
3. There were significant differences between stunning groups for pH, meat colour and CL, whereas no significant differences were found for DL and WBSF. Sex had a significant effect on pH and b* and ageing of meat affected pH, colour coordinates, DL and WBSF.
4. It was concluded that the G2 treatment affected negatively the pH value and colour coordinates. However, G2 stunning affected positively the WHC parameters. Female turkeys had better results than males for pH, and the colour of female turkey breast meat was less yellow than male breast meat.

ARTICLE HISTORY

Received 31 March 2016
Accepted 17 November 2016

KEYWORDS

Stunning; carbon dioxide (CO₂); turkeys; meat quality

Introduction

Slaughtering is a process of bleeding an animal to induce its death. The demand for consumers of foods produced in accordance with animal welfare standards, associating them with better quality and food safety (Kyrianiou, 2007), has led most developed countries to employ humane slaughter regulations for food animals, including poultry species. Animals must be killed quickly and without pain or suffering in other ways, which requires that animals be stunned prior to slaughter. In the case of poultry species, the stunning is usually electrical or gas. However, both electrical and gas stunning procedures are not always completely effective. This is of great concern from a welfare point of view, and there is also evidence that meat quality may be reduced. Most guidelines and regulations related to animal welfare at slaughter include a list of stunning methods and certain minimum standards for each method required to induce immediate unconsciousness that lasts until death occurs by bleed-out (EFSA, 2004).

Many disadvantages have been observed with the application of electrical stunning (ES), e.g. animal welfare (Pearson *et al.*, 1977) and carcass quality (Vergara *et al.*, 2005). Some ES methods (particularly those required by European regulations) have been reported to increase the incidence of carcass damage such as red wings tips, broken bones and muscle haemorrhages (Gregory and Wilkins, 1989).

Fletcher (1993) suggested that, of the alternative stunning methods, gaseous stunning seems to be the only practical alternative for ES. Controlled atmosphere stunning for turkeys was commercially introduced about

10–20 years ago and is currently used much more in Europe but is also gaining ground in the US. The anaesthetic properties of CO₂ have been known for a century and attempts have been made to use it as a general anaesthetic agent (Sieker and Hickam, 1956). This property of the gas would make it useful in pre-slaughter stunning by quickly rendering the birds unconscious. Furthermore, the use of CO₂ in stunning of birds resulted in improved bleed-out (Kotula *et al.*, 1957) and better meat quality (Zeller *et al.*, 1988). Hirschler and Sams (1993) reported that CO₂ stunning reduced the incidence of carcass defects, such as broken clavicles and breast, thigh and shoulder haemorrhages, compared to ES. Kang and Sams (1999a) reported that the lower incidence of damage to the carcasses of birds stunned by CO₂ was due to the calmer nature of birds during the gas stunning. Later, Linares *et al.* (2008) concluded that stunning with CO₂ gas could be a valid alternative to prevent the negative effects. Gas stunning has been adopted as an alternative to ES (Raj, 1998), although this procedure has numerous variations in CO₂ concentration and exposure time. According to Council Regulation (1099/2009) in CO₂ stunning procedures, one method consists of using CO₂ gas in two phases (successive exposure of conscious animals to a gas mixture containing up to 40% of CO₂ followed, when animals have lost consciousness, by a higher concentration of CO₂). Another method is based on a single phase with CO₂ at high concentration (direct or progressive exposure of conscious animals to a gas mixture containing more than 40% CO₂). Although the

CONTACT S. Mauri ✉ r22malom@uco.es 📍 Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid – Cádiz Km. 396-a. 14071, Córdoba, Spain

While British Poultry Science is committed to upholding the highest standards of ethics and research conduct, we have taken the unusual step of allowing this study to be published without specific ethical approval. The work utilised relevant treatments to produce novel and useful findings and we feel it was legitimate to study animals in the context of commercial slaughter to obtain information of scientific value. We also note that the study was carried out under commercial conditions and took place before the implementation of the current EU regulation protecting the welfare of animals at slaughter.

© 2017 British Poultry Science Ltd

EFFECTO DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO CON CO₂, TIEMPO DE DESANGRADO Y ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA POST-MORTEM EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO

2 S. M. LÓPEZ ET AL.

second method is not indicated for the slaughter of turkeys, it is very effective in regard to proper slaughter and exsanguination.

Thus, the purpose of this study was to investigate the effect of two gas stunning procedures (in a single phase or three phases) on turkey meat quality.

Material and methods

Animals

The study was carried out under commercial conditions before the current regulation became effective (Council Regulation, 1099/2009), and for this reason, no ethical approval was requested. In previous controlled trials, the behaviour of the animal was monitored using a video camera in the stunning chamber, and no signals of distress (gaspings, wing flapping, convulsions) were observed.

A population of 100 B.U.T. Premium (Aviagen, UK) turkeys (50 male and 50 female turkeys), a modern line of medium heavy turkeys, were obtained from a commercial flock. The turkeys were reared on deep litter to 15 weeks of age in farms (intensive system) with heating and ventilation systems. The environmental conditions in farms during growth and fattening of turkeys (stage 1: the first 28 d of life; stage 2: from d 28 to d 105 of life) are described in Table 1. The density was 20 turkeys/m² in stage 1 and 4 male turkeys/m² and 5 female turkeys/m² in stage 2. From the third day of life, the turkeys had 6 h of darkness at night for grower and finisher stages. During both periods (stage 1 and stage 2), all birds were fed the same commercial pelleted diets that satisfied the nutrient requirements of growing turkeys. Feed and water were freely available. The composition of the grower (stage 1) and finisher (stage 2) diets is shown in Table 2.

When the turkeys reached the commercial slaughter age (105 d), they were transported from farms to an officially approved slaughterhouse equipped with the infrastructure needed to kill 37 000 animals per day. Only turkeys are killed in these facilities. The turkeys were transported in cages (8 female turkeys/m², 6 male turkeys/m²) by a lorry. The test was done in spring. The animals were transported at 7:00 in the morning, when the temperature was more suitable to avoid animal stress. The distance between the farm and the slaughterhouse was 60 km, so the transports lasted around 1 h. The birds were deprived of food for 12 h before slaughter.

Pre-slaughter handling

When the turkeys arrived at the slaughterhouse, the cages with animals were placed in an industrial unit equipped with fans and sprinklers (temperature: 20–25°C and humidity: 60%) and lairage for 1 h. This time was considered enough for animals to recover from the stress caused during

Table 1. Temperature and humidity in farms during growth and fattening of the turkeys.

Stage	Days	Temperature (°C)	Humidity (%)
Stage 1 initial	3	38	50
Stage 1 final	28	26	50
Stage 2 initial	29	26	40
Stage 2 final	105	18	40

Table 2. Ingredients of the basal diet offered to turkeys during the two phases of growth (stage 1) and fattening (stage 2).

Raw material	Stage 1 (kg)	Stage 2 (kg)
Wheat	38.2	43.5
Maize	15	5
Soya bean meal (47%)	30	25.27
Barley	5	-
Extruded soya bean	-	9
Sunflower meal	5	10
Soya bean Oil	2	3
Sodium bicarbonate	0.2	0.2
Monocalcium phosphate	2	2
Calcium carbonate	2	0.03
Sodium chloride	0.1	0.5
Vitamin-mineral premix ¹	0.5	1.5

¹Supplied per kg of feed:

Stage 1 feed: retinol, 4.5 mg; cholecalciferol, 0.1 mg; 25-hydroxycholecalciferol, 0.092 mg; tocopherol, 100 mg; cobalamin, 30 mg; pyridoxine, 6 mg; menadione, 4 mg; thiamine, 4.5 mg; riboflavin, 15 mg; nicotinic acid, 75 mg; calcium pantothenate, 30 mg; folic acid, 4 mg; biotin, 0.25 mg; Mn, 100 mg; Zn, 100 mg; Fe 75 mg; Cu, 10 mg; I, 3 mg; Se, 0.35 mg.
 Stage 2 feed: retinol, 2.4 mg; cholecalciferol, 0.0875 mg; tocopherol, 30 mg; menadione, 4 mg; thiamine, 2 mg; riboflavin, 8 mg; pantothenic acid, 15 mg; pyridoxine, 3 mg; cobalamin, 0.015 mg; nicotinic acid, 54 mg; calcium pantothenate, 20 mg; folic acid, 2 mg; biotin, 0.20 mg; Mn, 105 mg; Zn, 95 mg; Fe: 40 mg; Cu, 10 mg; I: 2 mg; Se, 0.30 mg.

loading and transport. Lighting condition of the industrial unit was semidarkness to reduce animal stress.

Stunning

After the lairage, turkey cages were introduced into the stunning chamber. Turkeys were distributed into four groups according to the type of stunning (G1-successive exposure in three steps: 30% – 15 s, 55% – 40 s, 70% – 45 s; G2-progressive exposure to a maximum CO₂ concentration: 80% – 100 s) and sex (males; females). After stunning, the turkeys were shackled by their legs and slaughtered manually by a bilateral cut to two carotid arteries and two jugular veins in the neck. The duration of the stun-to-neck-cut was approximately 20 s. The birds were then bled (bleed-out time = 2 min 30 s), scalded between 54°C and 58°C for 3 min 20 s and plucked. After manual evisceration, removal of the head and distal part of the legs, carcasses were obtained. The whole process took approximately 20 min.

A total of 25 turkeys within each sex and type of stunning were used in this work. In each of 5 gas stun sessions (a cage with 210 females or 168 males per session), 5 turkeys were chosen at random, in order to study the influence of the stunning method in carcass characteristics and meat quality.

Carcass and meat quality

Before entering the chilling room, the turkey carcasses were removed from the slaughter chain and weighed (20 min post-mortem). Next, the temperature, pH and colour of breast muscle were determined. The measures were made in top of the right breast. A portable pH meter (Crison PH25) equipped with a glass electrode suitable for meat penetration and an automatic temperature compensator were used to determine muscle pH and temperature. Before each measurement, the pH meter was calibrated with standard buffer solutions of pH 9.0, pH 7.0 and pH 4.0 stored at room temperature. The pH-meter electrodes were inserted approximately 1 cm into the *M. pectoralis*.

Colour was measured with a spectrophotometer, Minolta CM2600d. Two colour measurements were performed at two different locations of the breast. The carcasses were cooled in two phases: the first stage consisted of fast cooling (1 h 30 min), where the temperature of the carcasses decreased to 20°C. The temperature of the cooling chamber was between 0°C and 2°C. In the second stage, the carcasses were moved to another cooling chamber (2–4°C) up to 24 h post-mortem, until carcasses achieved less than 4°C. The right breasts were carefully excised from the carcasses by an experienced operator and weighed, after removal of the skin, and packaged in a vacuum bag. The breasts were wrapped and placed in chilly bins containing ice and transported to the Laboratory of Meat Quality (Department of Animal Production of the University of Cordoba, Spain) within 50 min of processing. On arrival at the laboratory, the right breasts were removed from the vacuum bag and were further divided into two subsamples (B1 and B7). B1 samples (aged for 1 d) were kept at room temperature (15°C) and immediately analysed. B7 subsamples were packaged in vacuum bags, aged for 7 d at 2–4°C and then analysed. A rheological analysis was performed (pH, meat colour, water holding capacity (WHC) and Warner–Bratzler shear force) and data recorded at 1 and 7 d post slaughter.

The methods used to analyse meat quality parameters in the laboratory at 24 h and 7 d post-mortem are detailed below:

- Colour coordinates: colour changes of the surface of samples were monitored by measuring the CIE (CIE, 1986) colour values, including lightness (L*, a measure of the light reflected: 100 = white; 0 = black), redness (a*, measuring positive red and negative green), yellowness (b*, measuring positive yellow, negative blue), using a handheld CM-2600d spectrophotometer (Minolta Co., Osaka, Japan) (illuminant: D65; visual angle: 10°; measurement aperture: 8 mm), standardised against a white tile (L* = 97.78, a* = 0.19, b* = 1.84), following the method described by Vergara *et al.* (1999). Two random measurements were taken from each sample of *M. pectoralis* after 30 min of blooming at room temperature.
- Drip loss (DL): the sample used for the DL assessment was weighed (~20 g) and hung in an airtight container using a hook under the lid. The samples remained hanging from the lid where it was not in contact with the container walls. After storage at 4°C, the slice of breast meat was carefully dabbed and weighed at 24 h after the sample was hung. The DL was calculated as follows:

$$DL(\%) = [(W_1 - W_2) / W_1] * 100$$

W₁ = Weight of sample before storing (g)
 W₂ = Weight of sample after 24 h of storing (g)

- Cooking loss (CL): to determine the CL, approximately 150 g of sample was trimmed of external fat, weighed prior to cooking, placed in a polyethylene bag and immersed in a water bath at 72°C until the internal temperature of sample reached 70°C. The temperature was continually monitored by a Type K

flexible high-temperature thermo couple (Omega, Laval, QC) inserted into the geometric centre of each piece. The sample was cooled at room temperature for 30 min. After equilibrating to room temperature (approximately 15°C), the cooked pieces were weighed (after gently blotting on filter paper). The CL was calculated as follows:

$$CL = [(W_u - W_c) / W_u] * 100$$

W_u = Weight of uncooked meat (g)
 W_c = Weight of cooked meat (g)

- Shear force (WBSF): the cooked samples were equilibrated to room temperature and then were cut into cubes (1 × 1 × 3 cm) for WBSF measurements using a T.A.XT-2 texture analyser (Texture Analyser, Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipped with a Warner–Bratzler shear device (30 kg load cell) and a crosshead speed of 200 mm/min. The down stroke distance was 3 cm (the probe should cut the meat completely). The parameter recorded was the maximum resistance of the sample to shearing or the maximum shear force, which is the highest peak (recorded in kg) of the curve. Peak WBSF was measured perpendicular to the muscle fibres. Five cores per piece were removed parallel to the muscle fibre orientation from the lateral end of the cooked steaks. Each core was assessed two times, and the 10 peak shear forces recorded per subsample were averaged.

Statistical analysis

SAS University Edition 3.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC) was used in all statistical analyses. Carcass traits were analysed with the GLM procedure. The model included the fixed effects of sex, stunning procedure and their interaction. Meat traits were analysed with the MIXED procedure, using a repeated measurements analysis. The statistical model included the fixed effects of sex, stunning procedure, ageing time and their interactions. Tukey’s test was used to compare least squares means. Statistical significance was declared at P < 0.05.

Results

Carcass weight and breast percentage in turkeys

The carcass weight and the breast percentage are shown in Table 3. The sex of the turkey had a significant influence (P < 0.001) on the carcass weight and the breast percentage. The carcass weight of males was higher than females, with average values of 7.69 kg in males and 6.13 kg in females.

Table 3. Effects of sex and stunning procedure on carcass weight and breast percentage of turkeys (least squares means and SEM).

Trait	Females		Males		SEM	P		
	G1	G2	G1	G2		S	G	SxG
Carcass weight (kg)	6.18 ^b	6.08 ^b	7.76 ^a	7.62 ^a	0.084	***	ns	ns
Breast (%)	32.58 ^b	30.88 ^b	30.94 ^b	30.04 ^a	0.092	***	ns	*

ns: not significant; * P < 0.05; ** P < 0.01; *** P < 0.001.
^{a,b} Means in a row with no common superscript letter differ significantly (P < 0.05).
 G1 and G2 = stunning treatments; S = sex; G = stunning/killing treatment.

EFFECTO DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO CON CO₂, TIEMPO DE DESANGRADO Y ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA POST-MORTEM EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO

4 S. M. LÓPEZ ET AL.

The breast weight represented 31.11% of the weight of the hot carcass. The average breast percentages in turkeys were 31.73% and 30.49% of carcass weight in females and males, respectively. When considering the effect of stunning procedure, differences in the carcass weight and percentage of the breasts were not found. Females from Group 1 had higher ($P < 0.05$) breast percentages than those recorded in the other groups. There was no explanation for this fact.

pH

Sex had a significant ($P < 0.01$) influence on pH, although the differences decreased with ageing (0.13 units at slaughter and 0.04 and 0.03 units at 1 and 7 d post-mortem, respectively). With respect to stunning treatment (Table 4), the average pH in stepwise stun (G1) was 6.03 and was higher ($P < 0.001$) than the mean value recorded (5.95) in fixed concentration stun (G2). The pH values of the breast muscle determined immediately after slaughter ($\text{pH}_{20 \text{ min}}$) did not differ ($P > 0.05$) between treatments (6.18 vs. 6.17 for G1 and G2, respectively); whereas at 1 and 7 d, the average values were higher in treatment G1 (5.93 vs. 5.82 and 5.90 vs. 5.85, respectively). Post-mortem storage influenced ($P < 0.001$) pH: The average pH values at 20 min, 24 h and 7 d post-mortem were 6.17, 5.87 and 5.92, respectively.

The rate of pH decline in turkey breast during ageing of meat is described in Table 5. The rate of decline was more pronounced in the first 24 h than in the next 6 d (0.30 units/day vs. 0.04 units/day, respectively).

Sex had no effect in any of the periods considered. However, the CO₂ stunning procedure caused significant differences in the first 24 h ($P < 0.001$) and the whole of the period considered ($P < 0.01$), but had no significant influence on the rate of decline in the last 6 d. The average rates of pH decline in each of the reviewed periods were 0.25, 0.19 and -0.06 units for G1, and 0.32, 0.32 and -0.04 units for G2, respectively. The slowest decrease in muscle pH was found after the G1 method.

There were highly significant differences ($P < 0.001$) in the interaction of $\text{pH}_{20 \text{ min}} - \text{pH}_{24 \text{ h}}$, sex and type of stunning. In

females, the pH decline for the first 24 h of ageing was different in the G1 and G2 treatments and was higher in the G2 treatment. In males, the pH decline did not depend on the type of stunning.

Colour

Sex had no significant effect on L* and a* colorimetric values. The b* parameter was significantly higher ($P < 0.01$) in males than females (5.81 vs. 5.61). Turkey breast was more pale (lighter, $P < 0.001$ vs. less red, $P < 0.001$; and less yellow, $P < 0.01$) in animals stunned by G2 methodology compared with the G1 system. Colour was also influenced by ageing time. Consistent with the decrease of pH after 24 h, the meat paleness (L*) in breast increased with time.

Drip loss, cooking loss, and shear force

The results for DL, CL and shear force value are presented in Table 7. In the present study, the DL had an average value of 0.74%. The sex and CO₂ stunning procedure had no effect on DL. However, DL increased ($P < 0.05$) as post-mortem storage continued (0.69% at d 1 post-mortem vs. 0.79% at d 7 post-mortem). The mean CL value was 12.6%. The stunning/slaughter process had significant influence ($P < 0.001$) on CL, obtaining higher mean CL value in G1 (13.35%) than in G2 (11.89%). While the pH decreased with time, the CL increased.

The mean values of WBSF tended ($P < 0.1$) to be slightly lower in females (2.89 kg/cm²) than in males (3.12 kg/cm²). Even with differences in pH, there was no influence of the stunning/slaughter process on WBSF of the meat. Regardless of stunning/slaughter method, WBSF decreased ($P < 0.001$) as post-mortem ageing continued (3.55 kg/cm² and 2.47 kg/cm² at 24 h and 7 d post-mortem, respectively). A low but statistically significant correlation ($P < 0.05$) (data not shown) was found between pH and L*, CL and WBSF at 24 h post-mortem (-0.52, -0.28 and -0.29, respectively) and at 7 d post-mortem (-0.64, -0.39 and 0.42, respectively).

Table 4. Effects of sex and stunning procedure on the pH of meat and its development over time post-mortem in turkeys (least squares means and SEM).

Sex	Treatment	Time post-mortem			SEM	P						
		20 min	24 h	7 d		S	G	T	SxG	SxT	GxT	SxGxT
Females	G1	6.21 ^{AB}	5.99 ^{HA}	6.02 ^{BA}	0.012	**	***	***	ns	ns	***	**
	G2	6.24 ^{HA}	5.80 ^{HB}	5.85 ^{BB}								
Males	G1	6.14 ^{AB}	5.86 ^{AB}	5.96 ^{AB}	0.012							
	G2	6.10 ^{BB}	5.84 ^{BB}	5.86 ^{BB}								

ns: not significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

^{AB} Means in a row with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

^{AB} Means in a column with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

G1 and G2 = stunning treatments; S = sex; T = time post-mortem; G = stunning/killing treatment.

Table 5. Effects of sex and stunning procedure on rate of decline in pH of the breast meat of turkeys (least squares means and SEM).

	Female		Male		SEM	P		
	G1	G2	G1	G2		S	G	SxG
$\text{pH}_{20 \text{ min}} - \text{pH}_{24 \text{ h}}$	0.22 ^{BA}	0.44 ^{AA}	0.28 ^{BA}	0.27 ^{BA}	0.021	ns	***	***
$\text{pH}_{20 \text{ min}} - \text{pH}_{7 \text{ d}}$	0.20 ^{BB}	0.39 ^{BB}	0.18 ^{BB}	0.25 ^{BB}	0.022	+	**	ns
$\text{pH}_{24 \text{ h}} - \text{pH}_{7 \text{ d}}$	-0.02 ^{CC}	-0.05 ^{ABC}	-0.10 ^{BC}	-0.02 ^{CC}	0.011	ns	ns	**

ns: not significant; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

^{AB} Means in a row with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

^{A,B,C} Means in a column with no common superscript letter differ significantly ($P < 0.05$).

G1 and G2 = stunning/killing treatments; S = sex.

Table 6. Effects of sex, stunning procedure on meat colour parameters (least squares means and SEM) of meat and its evolution with time post-mortem in turkeys.

Sex	Treatment	Time post-mortem			SEM	P							
		20 min	24 h	7d		S	G	T	S × G	S × T	G × T	S × G × T	
L*	Female	G1	37.86 ^{ab}	43.77 ^c	43.89 ^{bc}	0.176	ns	***	*	*	ns	*	+
		G2	38.36 ^{ab}	46.58 ^{ab}	46.97 ^{ab}								
	Male	G1	39.35 ^{ba}	45.47 ^{ab}	45.24 ^{ba}	0.043	ns	***	***	ns	ns	ns	ns
		G2	38.57 ^{ab}	45.79 ^{ab}	47.05 ^{ab}								
a*	Female	G1	-2.32 ^{ab}	-2.09 ^{ab}	-2.28 ^{ab}	0.043	ns	***	***	ns	ns	ns	ns
		G2	-1.86 ^{ab}	-2.43 ^a	-2.73 ^a								
	Male	G1	-1.86 ^{ab}	-1.99 ^{ab}	-2.25 ^{ab}	0.079	**	**	***	**	ns	ns	*
		G2	-2.24 ^{ba}	-2.35 ^{ba}	-2.62 ^{ba}								
b*	Female	G1	5.64 ^{ba}	6.51 ^{ba}	5.82 ^{ba}	0.079	**	**	***	**	ns	ns	*
		G2	5.86 ^{ba}	5.48 ^{ab}	4.32 ^{bc}								
	Male	G1	5.35 ^{bb}	6.70 ^{ba}	5.41 ^{bb}	0.079	**	**	***	**	ns	ns	*
		G2	5.57 ^{ba}	6.34 ^{ba}	5.49 ^{bb}								

ns: not significant; * P < 0.05; ** P < 0.01; *** P < 0.001.
^{abc} Means in a row with no common superscript letter differ significantly (P < 0.05).
^{ABC} Means in a column with no common superscript letter differ significantly (P < 0.05).
 G1 and G2 = stunning/killing treatments; S = sex; T = time post-mortem.

Table 7. Effects of sex and stunning procedure on drip loss, cooking loss and shear force (WBSF) of meat and its evolution with time post-mortem in turkeys (least squares means and SEM).

	Sex	Treat-ment	Time post-mortem		SEM	P							
			24 h	7 d		S	G	T	S × G	S × T	G × T	S × G × T	
Drip loss	Female	G1	0.67 ^{ab}	0.90 ^a	0.020	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**
		G2	0.78 ^a	0.75 ^{ab}									
	Male	G1	0.78 ^a	0.74 ^{ab}	0.187	ns	***	ns	*	ns	***	***	***
		G2	0.54 ^{ab}	0.78 ^{ab}									
Cooking loss	Female	G1	11.94 ^{bc}	15.65 ^a	0.187	ns	***	ns	*	ns	***	***	***
		G2	13.63 ^{ba}	9.49 ^{bd}									
	Male	G1	12.17 ^{bc}	13.64 ^{ab}	0.060	ns	ns	***	*	ns	ns	ns	**
		G2	12.94 ^{bc}	11.50 ^c									
WBSF	Female	G1	3.64 ^{ab}	2.35 ^a	0.060	ns	ns	***	*	ns	ns	ns	**
		G2	3.28 ^{ab}	2.31 ^a									
	Male	G1	3.40 ^{ab}	2.63 ^a	0.060	ns	ns	***	*	ns	ns	ns	**
		G2	3.88 ^a	2.60 ^a									

ns: not significant; * P < 0.05; ** P < 0.01; *** P < 0.001.
^{abc} Means in a row with no common superscript letter differ significantly (P < 0.05).
^{ABC} Means in a column with no common superscript letter differ significantly (P < 0.05).
 G1 and G2 = stunning/killing treatments; S = sex; T = time post-mortem.

Discussion

pH is one of the most important predictors of meat quality. The mean ultimate pH values were within the normal range for poultry muscles, and these values suggested that turkey meat may be classified as an intermediate meat type between normal (pH < 5.8) and extreme DFD (pH > 6.2).

The average pH value in females was higher than males, in agreement with the results obtained by Milan and Klaus (2010) in broiler chickens. Conversely, Schneider *et al.* (2012) found that ultimate pH in broilers was higher (P < 0.001) in males compared to females (5.96 vs. 5.87, respectively), while Musa *et al.* (2006) found no significant differences between genders. In broiler chickens, Shafey *et al.* (2014) found significant differences between genders in *M. pectoralis major* but not from *M. pectoralis minor*.

Muscle pH value is one of the parameters most studied to determine the effect of stunning methods on post-mortem muscle metabolism. Changes in post-mortem muscle pH result from the conversion of muscle glycogen to lactate through anaerobic glycolysis (Sabow *et al.*, 2015), and previous work has shown that the stunning procedure has a significant influence on the pH of the meat (Salwani *et al.*, 2015). In the present study, the lowest pH value in the G2 treatment could be attributed to a higher metabolic rate in the breast muscle (Savenije *et al.*, 2002). A high concentration of CO₂ has been implicated in the hypercapnic state,

which usually results in major respiratory disturbances at the point of gas induction (Coenen *et al.*, 2009). Differences between pH in G1 and G2 stunning treatments were found at 1 and 7 d post-mortem. These differences could be explained by the way in which the stunning method influences muscle glycogen concentrations post-rigor. CO₂ stunning has previously been shown to be responsible for a decrease in the glycogen level (Henckel *et al.*, 2002).

Post-mortem storage also influences the pH of turkey breast. The average pH values at 20 min, 24 h and 7 d post-mortem were slightly higher than those recorded by Updike *et al.* (2005) in three lines of turkeys (5.99 at 2 h and 5.73 at 20 h post-mortem). The pH values at 24 h post-mortem were significantly lower than at slaughter. This suggested that the completion of rigor was attained within 24 h post-mortem. Apetroaei *et al.* (2012) recorded a gradual increase in the pH between d 1 and 8 post-mortem (from 5.8 to 6.4) in turkeys belonging to the B.U.T. Big 6 hybrid slaughtered at the age of 21 weeks. Savenije *et al.* (2002) found that the pH in chickens stunned by CO₂/O₂/N₂, Ar/CO₂ or captive bolt decreased until 4 h post-mortem and remained stable at least until 48 h. The time at which rigor mortis sets in depends on the energy stores in the muscle at slaughter and the rate of metabolic degradation. Furthermore, the metabolic rate determines the rate of decrease in pH and the ultimate pH, which can affect meat colour and WHC through protein denaturation (Warriss and Brown, 1987).

In relation to the pH fall in turkey breast meat, the decline was higher in the first 24 h than in the next 6 d. Wynveen *et al.* (1999) reported that, from 0 to 9 min, the mean pH decreased from 6.45 to 5.97, and from 9 to 246 min, pH decreased only from 5.97 to 5.84. This rapid decrease is consistent with previous studies showing that the breast muscle of domestic turkeys often shows accelerated rigor mortis.

The slowest decrease of muscle pH after stunning was by the G1 method, suggesting that this procedure induced less muscular activity. This can be explained by the different degree of convulsions of the animals during the various stunning methods. Lactate is produced during muscle movement, and leads to a rapid decline in pH in animals with strong convulsions just prior to or after slaughter (Nowak *et al.*, 2007). This relationship between muscle activity and metabolic rate, as indicated by pH, has been reported by Gerritzen *et al.* (2000).

Colour has been reported to be one of the most important fresh meat characteristics at the point of purchase (Font-I-Furnols and Guerrero, 2014). In relation to sex, there was not a significant effect on L* and a* colorimetric values. However, the b* parameter (yellow index) was generally higher in males than females but there were significant interactions with treatment and time. Females can present darker meat than males due to their greater sexual precociousness (Sañudo *et al.*, 1998). However, these results were contrary to those of Schneider *et al.* (2012) in broilers and those of Abbasi and Samadi (2014) in quails, who showed that the breast meat was numerically more yellow in females than males. The sex effect is likely related to the fat content, as females have more fat than males (Fanatico *et al.*, 2005).

Stunning method (Werner *et al.*, 2008, 2009) and final CO₂ concentrations achieved (Northcutt *et al.*, 1998) may affect the average colorimetric parameters, particularly redness and yellowness coordinates. In the present study, differences in G1 and G2 CO₂ stunning procedures were present in all the colour parameters. The turkey breast meat from the G2 method was lighter, less red and less yellow than meat of G1 stunned birds. These results were consistent with those reported by Xu *et al.* (2011), who found that L* values were decreased in broilers stunned with lower CO₂ concentrations. Comparing gas stunning and ES, meat from gas stunning reached the lowest value of a* in turkeys (Fleming *et al.*, 1991). Conversely, other authors (Craig *et al.*, 1999) showed in broilers that the value of the b* coordinate was not affected by the type of stunning.

Colour was influenced by ageing time, in a similar way as broilers (Kang and Sams, 1999b). An increase in L* values has been associated with the post-mortem protein degradation, which increases the light scattering properties of meat (Offer, 1991). This increase in L* value is a consequence of the acceleration of post-slaughter metabolism combined with a lower pH at rigor (Rees *et al.*, 2003). Abril *et al.* (2001) indicated that samples are darker as the pH increases. In general, after a period of chilling, colour variation was also observed in a* and b* values, which could be attributed to the effect of ageing on meat colour properties (Bórnez *et al.*, 2009).

The DL value obtained in this study was in agreement with Owens *et al.* (2000) and Ylä-Ajos *et al.* (2012), who

reported mean values in turkeys of 0.72% and 0.55%, respectively. This percentage is much lower than that recorded by Werner *et al.* (2008) in 4 turkey strains (1.98–4.43%) and Eadmusik *et al.* (2011) in 2000 B.U.T. 9 turkeys (3.2–6.2%). Conversely, Sarica *et al.* (2011) in three turkey genotypes (slow-growing, medium-growing and commercial fast-growing raised to 21 weeks of age) reported average values of 0.47% on DL; a lower value than that recorded in the present study. Comparison of these values is difficult, since there are differences between studies in handling the samples. Several authors demonstrated the effect of post-mortem storage temperature on the WHC of meat. Thus, Ylä-Ajos *et al.* (2012) reported percentages of 0.5–0.6% and 1.3–1.6% for muscle samples that were initially chilled at 0°C or at 20°C for 4 h, followed by storage at 4°C, respectively.

The sex and CO₂ stunning procedure had no effect on DL, in agreement with Abeyesinghe *et al.* (2007), who found no changes with stunning treatment for DL in broiler chickens. Although, in the present study, the breast meat of G1 birds showed a higher pH, these differences did not result in significant changes in DL. A different result was noted

by Savenije *et al.* (2002), who reported that a low pH resulting from rapid glycolysis increased the denaturation of myofibrillar proteins, thereby reducing WHC. In the present study, the effect of pH may have been neutralised by the effect of the rate of post-mortem pH decline in the first hours post-mortem (Fernandez *et al.*, 2002).

In relation to the ageing, DL increased with post-mortem storage, resulting in meat that was less juicy and presented lower quality at d 7 post-mortem, in agreement with Fernandez *et al.* (2001). This observation could be due to the degradation of myofibrillar proteins by endogenous proteases, thus affecting the ability of muscle to hold water (Sabow *et al.*, 2015). A similar finding was observed during post-mortem conditioning of broiler chickens (Savenije *et al.*, 2002; Salwani *et al.*, 2015).

With regard to the CL, the results obtained in the present study were similar to that obtained by Eadmusik *et al.* (2011) in B.U.T. 9 turkeys (14.2–17.7%) and lower than that recorded by Salwani *et al.* (2015) in Cobb broilers or Majumdar *et al.* (2005) in turkeys (29–35%). As for the relationship between stunning method and CL, higher CL values were found in G1 compared with G2. Raj (1994) reported that ES resulted in a slightly higher CL than gas stunning (33.4% vs. 32.7%) but not with either anoxia or the gas mixture stunning methods (32.8% vs. 32.7%). On the other hand, Abeyesinghe *et al.* (2007) indicated that CL was unaffected by stunning method and gas mixture. The correlation found between pH and CL at 24 h was in agreement with Botha *et al.* (2006). They reported that as the pH decreased with progressing ageing time the CL increased.

The shear force results obtained were similar to those recorded by Werner *et al.* (2009) in turkeys of the strain B.U.T. Big 6 and were higher than those recorded by Salwani *et al.* (2015) in Cobb broilers and Majumdar *et al.* (2005) in turkeys. The age and weight of birds are important factors in these differences. At 24 h post-mortem, the WBSF shear force measurements were higher than those recorded by Updike *et al.* (2005) in three lines of turkeys (13.4–20.0 N), but similar to those obtained by Werner *et al.* (2008) in 4 turkey strains (29.4–36.4 N for maximal shear force peak), although these authors found significantly lower shear force in the

breast muscle of the slow-growing vs. fast-growing turkey strain birds. The differences among these reports could be attributed to both genetic and environmental factors. The above-mentioned authors suggest that the functional characteristics of *M. pectoralis* (WBSF, WHC, etc.) have been altered due to selection for increased growth and breast yield and that these differences are likely the result of multiple intrinsic factors within the muscle. As for the relationship between sex and the WBSF, it tended to be lower in females than in males.

Although there were differences in pH depending on the stunning method, WBSF did not change, in disagreement with Fleming *et al.* (1991), in turkeys stunned with CO₂ at 40% or 60%: The 40% CO₂ stunning group had significantly lower shear force values than the 60% CO₂ group (3.86 vs. 4.73 kg).

Finally, the WBSF decreased with post-mortem ageing. This observation could be due to the post-mortem weakening of myofibrillar proteins by endogenous proteases (Adeyemi and Sazili, 2014).

To sum up, the effect of stunning method and sex on meat quality from *M. pectoralis* of turkeys was investigated in this study. In general, the stunning method affected pH, colour coordinates (L*, a*, b*) and cooking loss. The fixed concentration of CO₂ to stun the animals affected the meat quality, because the lowest pH value was found in this treatment and the colour coordinates were lighter, less red and less yellow than in the stepwise treatment. However, as for the WHC, the cooking loss was higher in G1 than in G2. For this meat quality parameter, the fixed-concentration CO₂ procedure had better results than the stepwise method. Nevertheless, direct or progressive exposure of conscious turkeys to high concentrations of CO₂ is not permitted by European legislation, so this stunning alternative lacks relevance for the industry in Europe.

Sex of the turkeys had effect on pH and b*. Female turkeys had higher pH values than males. In general, the female turkey breast was less yellow than the male breast but there were complex interactions with treatment and time. The rest of the meat quality parameters were not affected by sex.

Acknowledgements

This study was developed in the programme Business Doctors with the Department of Animal Production, University of Córdoba. The authors wish to thank the collaboration of the Ministry of Education, Culture and Sport, Ministry of Economy and Competitiveness, the Santander bank Universities Global Division and ceiA3.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

ORCID

C. Avilés  <http://orcid.org/0000-0002-5886-2944>

F. Peña  <http://orcid.org/0000-0002-4613-8596>

References

- ABBASI, F. & SAMADI, F. (2014) Effect of different levels of artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaf powder on the performance and meat quality of Japanese Quail. *Poultry Science Journal*, **2**: 95–111.
- ABEYSENGHE, S.M., MCKEGAN, D.E., MCLEMAN, M.A., LOWE, J.C., DEMMERS, T.G., WHITE, R.P., KRANEN, R.W., BEMMEL, H., LANKHAAR, J.A. & WATHES, C.M. (2007) Controlled atmosphere stunning of broiler chickens. I. Effects on behaviour, physiology and meat quality in a pilot scale system at a processing plant. *British Poultry Science*, **48**: 406–423. doi:10.1080/00071660701543089
- ABBIL, M., CAMPO, M.M., ONENG, A., SASUDA, C., ALBERTI, P. & NEGUERUELA, A.I. (2001) Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Science*, **58**: 69–78. doi:10.1016/S0309-1740(00)00133-9
- ADEYEMI, K.D. & SAZILI, A.Q. (2014) Efficacy of carcass electrical stimulation in meat quality enhancement: a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, **27**: 447–456. doi:10.5713/ajas.2013.13463
- APETROAEI, C.A., LAZAR, R., GIORANU, M.M. & BOISTEANU, P.C. (2012) Research on the physical and chemical characterization of meat resulting from B.U.T. Big 6 turkey hybrid. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, **69**: 30–35.
- BORNEZ, R., LINARES, M.B. & VERGARA, H. (2009) Effects of stunning with different carbon dioxide concentrations and exposure times on suckling lamb meat quality. *Meat Science*, **81**: 493–498. doi:10.1016/j.meatsci.2008.10.004
- BOTHA, S.S.C., HOFFMAN, L.C. & BRITZ, T.J. (2006) Effect of hot-donning on the physical quality characteristics of ostrich meat. *South African Journal of Animal Science*, **36**: 197–208.
- CIE (1986) Colorimetry. 2nd edn. CIE Publications No. 15.2. (Vienna, Commission Internationale de l'Eclairage).
- COENEN, A.M., LANKHAAR, J., LOWE, J.C. & MCKEGAN, D.E. (2009) Remote monitoring of electroencephalogram, electrocardiogram, and behavior during controlled atmosphere stunning in broilers: implications for welfare. *Poultry Science*, **88**: 10–19. doi:10.3382/ps.2008-00120
- Council Regulation (1099/2009) On the protection of animals at the time of killing. *Official Journal of the European Union L*, **303**: 1–30.
- CRAIG, E.W., FLETCHER, D.L. & PAPINAH, P.A. (1999) The effects of antemortem electrical stunning and postmortem electrical stimulation on biochemical and textural properties of broiler breast meat. *Poultry Science*, **78**: 490–494. doi:10.1093/ps/78.3.490
- EADMUSIK, S., MOJETTE, C., FERNANDEZ, X. & REMIGNON, H. (2011) Are one early muscle pH and one early temperature measurement sufficient to detect PSE breast meat in turkeys? *British Poultry Science*, **52**: 177–188. doi:10.1080/00071668.2011.554798
- EFSA (2004) Welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. *EFSA Journal*, **45**: 1–29.
- PANATICO, A.C., CAVITT, L.C., PHILIP, P.B., EMMERT, J.L. & OWENS, C.M. (2005) Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: meat quality. *Poultry Science*, **84**: 1785–1790. doi:10.1093/ps/84.11.1785
- FERNANDEZ, X., SANTE, V., BAEZA, E., LEBIHAN-DUVAL, E., BERRI, C., REMIGNON, H., BABILE, R., LE POTTIER, L.E., MILLET, N., BERGE, P. & ASTRUC, T. (2001) Post mortem muscle metabolism and meat quality in three genetic types of turkey. *British Poultry Science*, **42**: 462–469. doi:10.1080/00071660120070604
- FERNANDEZ, X., SANTE, V., BAEZA, E., LEBIHAN-DUVAL, E., BERRI, C., REMIGNON, H., BABILE, R., POTTIER, G. & ASTRUC, T. (2002) Effects of the rate of muscle post mortem pH fall on the technological quality of turkey meat. *British Poultry Science*, **43**: 245–252. doi:10.1080/00071660120121463
- FLEMING, B.K., FRONING, G.W., BECK, M.M. & SOSNICKI, A.A. (1991) The effect of carbon dioxide as a pre-slaughter stunning method for turkeys. *Poultry Science*, **70**: 2201–2206. doi:10.3382/ps.0702201
- FLETCHER, D.L. (1993) Stunning of broilers. *Broiler Industry*, **56**: 40–46.
- FONT-I-FURNOLES, M. & GUERRERO, L. (2014) Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: an overview. *Meat Science*, **98**: 361–371. doi:10.1016/j.meatsci.2014.06.025
- GERRITZEN, M.A., LAMBOOIJ, E., HILLERBRAND, S.J., LANKHAAR, J.A. & PIETSE, C. (2000) Behavioral responses of broilers to different gaseous atmospheres. *Poultry Science*, **79**: 928–933. doi:10.1093/ps/79.6.928
- GREGORY, N.G. & WILKINS, L.J. (1989) Effect of stunning current on carcass quality in chickens. *Veterinary Record*, **124**: 530–532. doi:10.1136/vr.124.20.530
- HENCKEL, P., KARLSSON, A., JENSEN, M.T., ORSBERG, N. & PETERSEN, J.S. (2002) Metabolic conditions in Porcine longissimus muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri- and post mortem energy metabolism. *Meat Science*, **62**: 145–155. doi:10.1016/S0309-1740(01)00239-X
- HIRSCHLER, E.M. & SAMS, A.R. (1993) Comparison of carbon dioxide and electricity for the pre-slaughter stunning of broilers. *Poultry Science*, **72**: 143.
- KANG, I.S. & SAMS, A.R. (1999a) Bleedout efficiency, carcass damage, and rigor mortis development following electrical stunning or

EFFECTO DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO CON CO₂, TIEMPO DE DESANGRADO Y ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA POST-MORTEM EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO

8 S. M. LÓPEZ ET AL.

- carbon dioxide stunning on a shackle line. *Poultry Science*, **78**: 139–143. doi:10.1093/ps/78.1.139
- KANG, I.S. & SAMS, A.R. (1999b) A comparison of texture and quality of breast fillets from broilers stunned by electricity and carbon dioxide on a shackle line or killed with carbon dioxide. *Poultry Science*, **78**: 1334–1337. doi:10.1093/ps/78.9.1334
- KOTULA, A.W., DREWNIAK, E.E. & DAVIS, L.L. (1957) Effect of carbon dioxide immobilization on the bleeding of chickens. *Poultry Science*, **36**: 585–589. doi:10.3382/ps.0360585
- KYPRIANOU, M. (2007) Prospects for an EU animal welfare labelling scheme. European commissioner for health in: *SPEECH/07/201* (Ed).
- LINARES, M.B., BORNEZ, R. & VERGARA, H. (2008) Effect of stunning systems on meat quality of Manchego suckling lamb packed under modified atmospheres. *Meat Science*, **78**: 279–287. doi:10.1016/j.meatsci.2007.06.009
- MARUMDAR, S., BHANJA, S.K., SINGH, R.P. & AGARWAL, S.K. (2005) Effect of age on the carcass traits and meat quality of turkey poult. *Journal of Applied Animal Research*, **27**: 85–88. doi:10.1080/09712119.2005.9706546
- MILAN, R. & KLAUS, D. (2010) The meaning of pH-value for the meat quality of broilers – influence of breed lines. *Tehnološki Mesar*, **51**: 120–123.
- MUSA, H.H., CHEN, G.H., CHENG, G.H., SHUEP, E.S. & BAO, W.B. (2006) Breed and sex effect on meat quality of chicken. *International Journal of Poultry Science*, **5**: 566–568. doi:10.3923/ijps.2006.566.568
- NORTHCUTT, J.K., BUHR, R.J. & YOUNG, L.L. (1998) Influence of pre-slaughter stunning on turkey breast muscle quality. *Poultry Science*, **77**: 487–492. doi:10.1093/ps/77.3.487
- NOWAK, B., MUEFFLING, T.V. & HARTUNG, J. (2007) Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: impact on animal welfare and meat quality. *Meat Science*, **75**: 290–298. doi:10.1016/j.meatsci.2006.07.014
- OFFER, G. (1991) Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, **30**: 157–184. doi:10.1016/0309-1740(91)90005-B
- OWENS, C.M., HIRSCHLER, E.M., MCKEE, M., MARTINEZ-DAWSON, R. & SAMS, A.R. (2000) The characterization and incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. *Poultry Science*, **79**: 553–558. doi:10.1093/ps/79.4.553
- PEARSON, A.J., KILGOUR, R., DE LANGEN, H. & PAYNE, E. (1977) Hormonal responses of lambs to trucking, handling and electric stunning. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, pp. 243–248.
- RAI, A.B.M. (1994) Effect of stunning method, carcass chilling temperature and filleting time on the texture of turkey breast meat. *British Poultry Science*, **35**: 77–89. doi:10.1080/00071669408417672
- RAI, M. (1998) Welfare during stunning and slaughter of poultry. *Poultry Science*, **77**: 1815–1819. doi:10.1093/ps/77.12.1815
- REES, M.P., TROUT, G.R. & WARNER, R.D. (2003) The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork: I: interaction with method of suspension. *Meat Science*, **65**: 791–804. doi:10.1016/S0309-1740(02)00284-X
- SABOW, A.B., SAZILI, A.Q., ZULKIFLI, I., GOH, Y.M., KADIR, M.Z. & ADEYEMI, K.D. (2015) Physico-chemical characteristics of Longissimus lumborum muscle in goats subjected to halal slaughter and anesthesia (halothane) pre-slaughter. *Animal Science Journal*, **86**: 981–991. doi:10.1111/asj.12385
- SALWANLI, M.S., ADEYEMI, K.D., SARAH, S.A., VEIYAN, J., ZULKIFLI, I. & SAZILI, A.Q. (2015) Skeletal muscle proteome and meat quality of broiler chickens subjected to gas stunning prior slaughter or slaughtered without stunning. *CyTA - Journal of Food*, 1–7. doi:10.1080/19476337.2015.1112838
- SANUDO, C., SANCHEZ, A. & ALFONSO, M. (1998) Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Science*, **49**: 29–64. doi:10.1016/S0309-1740(98)00073-4
- SARICA, M., OCAK, N., TURHAN, S., KOP, C. & YAMAK, U.S. (2011) Evaluation of meat quality from 3 turkey genotypes reared with or without outdoor access. *Poultry Science*, **90**: 1313–1323. doi:10.3382/ps.2009-00600
- SAVENIE, B., SCHREURS, F.J., WINKELMAN-GOEDHART, H.A., GERBITZEN, M. A., KORE, J. & LAMBOOIJ, E. (2002) Effects of feed deprivation and electrical, gas, and captive needle stunning on early postmortem muscle metabolism and subsequent meat quality. *Poultry Science*, **81**: 561–571. doi:10.1093/ps/81.4.561
- SCHNEIDER, B.L., RENEMA, R.A., BETTI, M., CARNEY, V.L. & ZUIDHOF, M.J. (2012) Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poultry Science*, **91**: 468–477. doi:10.3382/ps.2010-00952
- SHAFEEY, T.M., MAHMOUD, A.H., HUSSEIN, E.-S. & SULIMAN, G. (2014) The performance and characteristics of carcass and breast meat of broiler chickens fed diets containing flaxseed meal. *Italian Journal of Animal Science*, **13**: 752–758. doi:10.4081/ijas.2014.3514
- SIEKER, H.O. & HICKAM, J.B. (1956) Carbon dioxide intoxication: the clinical syndrome, its etiology and management with particular reference to the use of mechanical respirators. *Medicine*, **35**: 389–424. doi:10.1097/00005792-195612000-00003
- UPDIKE, M.S., ZERBY, H.N., SAWDY, J.C., LILBURN, M.S., KALETUNG, G. & WICK, M.P. (2005) Turkey breast meat functionality differences among turkeys selected for body weight and/or breast yield. *Meat Science*, **71**: 706–712. doi:10.1016/j.meatsci.2005.05.014
- VERGARA, H., LINARES, M.B., BERRUGA, M.I. & GALLEGO, L. (2005) Meat quality in suckling lambs: effect of pre-slaughter handling. *Meat Science*, **69**: 473–478. doi:10.1016/j.meatsci.2004.09.002
- VERGARA, H., MOLINA, A. & GALLEGO, L. (1999) Influence of sex and slaughter weight on carcass and meat quality in light and medium weight lambs produced in intensive systems. *Meat Science*, **52**: 221–226. doi:10.1016/S0309-1740(98)00171-5
- WARRISS, P.D. & BROWN, S.N. (1987) The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, **20**: 65–74. doi:10.1016/0309-1740(87)90051-9
- WERNER, C., JANISCH, S., KUEMMET, U. & WICKE, M. (2009) Comparative study of the quality of broiler and turkey meat. *British Poultry Science*, **50**: 318–324. doi:10.1080/00071660902806939
- WERNER, C., RIEGEL, J. & WICKE, M. (2008) Slaughter performance of four different turkey strains, with special focus on the muscle fiber structure and the meat quality of the breast muscle. *Poultry Science*, **87**: 1849–1859. doi:10.3382/ps.2007-00188
- WYNVEEN, E.J., BOWKER, B.C., GRANT, A.L., DEMOS, B.P. & GERRARD, D.E. (1999) Effects of muscle pH and chilling on development of PSE-like turkey breast meat. *British Poultry Science*, **40**: 253–256. doi:10.1080/00071669987674
- XU, L., JI, F., YUE, H.Y., WU, S.G., ZHANG, H.J., ZHANG, L. & QI, G.H. (2011) Plasma variables, meat quality, and glycolytic potential in broilers stunned with different carbon dioxide concentrations. *Poultry Science*, **90**: 1831–1836. doi:10.3382/ps.2010-01330
- YLA-AIROS, M., TUOMINEN, S., HANNINEN, L., RUUSUNEN, M., PUOLANNE, E. & VALROS, A. (2012) Gas composition in controlled atmosphere stunning affects turkey meat quality traits. *British Poultry Science*, **53**: 47–56. doi:10.1080/00071668.2012.658025
- ZELLER, W., METTLER, D. & SCATZMANN, U. (1988) Studies into the stunning of slaughter poultry with carbon dioxide. *Fleischwirtschaft*, **68**: 1308–1312.

CAPÍTULO II

5. CAPÍTULO II: EFECTOS DEL SISTEMA DE ATURDIMIENTO CON CO₂ Y DE LA EDAD DE SACRIFICIO EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE PAVO.

Mauri S., Guijarro A., Peña F., Domenech V. y Avilés C. 2017. Relevance of age at slaughter on meat quality of turkeys stunned with CO₂. British Poultry Science.

British Poultry Science



RELEVANCE OF AGE AT SLAUGHTER ON MEAT QUALITY OF TURKEYS STUNNED WITH CO₂

Journal:	<i>British Poultry Science</i>
Manuscript ID	CBPS-2017-034.R1
Manuscript Type:	Original Manuscript
Date Submitted by the Author:	11-Apr-2017
Complete List of Authors:	Mauri López, Soledad; Universidad de Cordoba Facultad de Veterinaria, ; Gujjarro Lora, Angela Peña Blanco, Francisco Domenech García, Valeriano Avilés Ramírez, Carmen; Universidad de Cordoba Facultad de Veterinaria, Animal Production
Keywords:	Turkeys, Breast muscle, Stunning, Meat quality, Slaughter age

SCHOLARONE™
Manuscripts

**RELEVANCE OF AGE AT SLAUGHTER ON MEAT
QUALITY OF TURKEYS STUNNED WITH CO₂**

Short Title: Effect of age and CO₂ on turkey meat.

Soledad Mauri¹ (msmaulop@gmail.com, 620673623), Ángela Guijarro¹ (angela88gl@gmail.com, 673565586), Francisco Peña¹ (pa1peblf@uco.es, 957218742), Valeriano Domenech¹ (pa1dogav@uco.es, 957218739), Carmen Avilés¹ (v92avrac@uco.es, 957218738)

¹Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba, Ctra. Madrid – Cádiz Km. 396-a. 14071 Córdoba, Spain.

Abstract

1. The objective of this work was to determine the effect of stunning method and age of slaughter on meat quality of turkey at industrial level.
2. One hundred B.U.T. Premium turkeys (50 of which slaughtered at either 15 or 17 weeks) were divided into two groups of 25 animals and subjected to either CO₂ stunning procedures: G1 stepwise (step1: 30% CO₂, 15s; step 2: 55% CO₂, 40s; step 3: 70% CO₂, 45s) or G2 progressive concentration (80% CO₂, 100s). Breast meat quality was determined at different ageing time.
3. There were significant differences between stunning groups for pH (P<0.001), meat colour (a*, P<0.001; b*, P<0.05), and drip loss (P<0.001), while no significant differences (P>0.05) were found for L*, cooking loss and WBSF. Age of slaughter had a significant effect in all the parameters studied (at least P<0.05) unless in L* and WBSF. Additionally, ageing of meat affected pH, colour coordinates, drip loss and WBSF.
4. The results revealed no critical differences between stunning methods: only differences in pH, a* parameter and drip loss were

highly significant ($P < 0.001$) but suggested that animals slaughtered at 15 weeks presented higher quality meat (no relevant changes in pH and tenderness but less dark and lower drip and cooking losses) than those slaughtered at 17 weeks.

1. Introduction

One of the main objectives to be achieved in poultry processing plants from an animal welfare point of view is the rapid loss of consciousness during slaughter, while avoiding stress and pain (Terlouw et al., 2016). The small stress associated with the inhalation of gas during a short period of time could be tolerated compared to the cumulative stress imposed upon the birds by the existing electrical stunning system (Raj, 1996). However, there are multiple gaseous methods and gas mixtures to be used in different scenarios. All of them are regulated and are matter of concern for welfare reasons. To find a successful balance between intensity and duration of the stun avoiding distressing effects on live birds is a current challenge for the poultry industry (Gerritzen et al., 2013). In addition, the stunning method (electrical vs gaseous) and the composition of the gas mixture influence the rate of *rigor mortis* development and tenderisation *post-mortem* which in turn affect the quality of the meat (Raj et al., 2007).

CO₂ is one of the most commonly gas employed by the poultry industry for the stun process despite it gives rise to a number welfare concerns. Unpleasant effects were observed when physiological measurements about the time to loss of consciousness were made (McKeegan et al., 2011). On the other hand, hypercapnia produces rapid unconsciousness and is easy and safe to use in the poultry industry as it is a heavier gas than air. But, differences in the rate of pH fall between anoxic and hypercapnic stunning might influence the

muscle-to-meat transition and consequently, the quality of the meat (Ylä-Ajos et al., 2012).

The meat quality information of certain commercial products only differentiated by the age of slaughter might also be interesting to monitor crucial aspects such as meat colour or water holding capacity (WHC) variations. Attributes like myoglobin concentration, collagen cross-links or muscle fiber diameter are related to age and associated with differences in colour or tenderness (Listrat et al., 2016; Lepetit, 2008).

Hence, the objectives of this work were to explore how the stunning method in combination with the age of slaughter influences the conversion of muscle into meat and to consider possible strategies for the industry of turkey meat to improve the quality of the final product respecting animal welfare conditions.

2. Materials and methods

2.1. Animals

The present study was carried out under commercial conditions before the current regulation became effective (Council Regulation 1099/2009).

The birds were obtained from the same farm (intensive system) with heating and ventilation system. Two different commercial live weights were used in order to cover the market needs. One hundred B.U.T. Premium (Aviagen Group®, USA) toms from a commercial flock were specifically designated to a randomized complete block allocated to 4 treatments (2 slaughter ages; A1 and A2, and 2 stunning methods: G1 and G2) each of which was replicated 5 times with 5 birds per replicate. Both turkey growth-model had two different stages (stage 1:

the first 28 days of life; stage 2: from day 29 until slaughter). The temperature and humidity were controlled. The environmental conditions in farms during growth and fattening turkeys were described in Mauri et al. (Article *in press*). The density was 20 turkeys/m² in stage 1 and 4 turkeys/m² in stage 2. As for illumination, from the third day of life the turkeys had 6 hours of darkness at nights for grower and finisher stages. During both periods (stage 1 and stage 2), all birds were fed the same commercial pelleted diets that satisfied the nutrient requirements of growing turkeys. Access to feed and water was freely available. The composition of the grower (stage 1) and finisher (stage 2) diets was described in Mauri et al. (Article *in press*).

2.2. Processing

The birds were processed when they reached the commercial age (15 or 17 weeks) at an officially approved abattoir specific only for turkeys. The feed was withdrawn 10 h prior to processing, but the turkeys had free access to water. The animals were loaded in cages (6 male turkeys/m²) and transported on a truck. The abattoir was located at 60 km from the farm (the duration of the transport was less than 1 hour). The experiments were made in spring and the toms were transported at 7:00 AM to avoid thermal stress. Upon their arrival to the abattoir, the cages were placed during 1 hour in a ventilated lairage area with a temperature of 20-25° C, a humidity of 60% and lighting conditions of semidarkness to reduce animal stress.

Cages were introduced in the stunning chamber after the lairage. Turkeys were distributed into four groups according to the type of stunning (G1-successive exposure in three steps: 30% 15s, 55% 40s, 70% 45s; G2-progressive exposure to a maximum CO₂ concentration: 80% 100s) and commercial age (A1: 15 weeks; A2: 17 weeks). The

turkeys were hung on a shackle line after stunning and slaughtered manually by a bilateral cut to two carotid arteries and two jugular veins with a knife and were allowed to bleed for 150 s. The duration stun-to-neck-cut was approximately 20 s. The birds were then scalded between 54-58 °C for 200 s, and plucked. After manual evisceration, removal of the head and distal part of the legs, carcasses were obtained. The whole process took approximately 20 min.

Twenty-five turkeys within each type of stunning and age were used in this work.

In each of the four sessions, 5 turkeys/cage were randomly chosen from 5 cages (a cage with 168 toms), to assess the effect of the stunning method and age of slaughter on carcass and meat quality traits. pH and CIE colour values (including lightness, redness and yellowness) of right breast muscle were determined in the carcasses immediately after slaughter (20m) using portable pH-meter and spectrophotometer. The procedure to determine pH, colour, drip losses, cooking losses and Warner Bratzler shear force (WBSF) values of the right breasts at 24h and 7d was the same followed by Mauri et al. (Article *in press*) in the Laboratory of Meat Quality of the University of Córdoba.

2.3. *Statistical analysis*

SAS University Edition 3.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC) was used in all statistical analyses. Carcass traits were analysed with the GLM procedure. The model included the fixed effects of age of slaughter, stunning procedure and their interaction. Meat traits were analysed with MIXED procedure, using a repeated measurements analysis. The statistical model included the fixed effects of age of slaughter, stunning procedure, ageing time and their interactions. Tukey's test

was used to compare least squares means. Statistical significance was declared at $P < 0.05$.

3. Results

As it was expected the slaughter age exerted a significant effect ($P < 0.001$) on carcass weight (data not shown). Birds slaughtered at 17 weeks presented higher carcass weight than those slaughtered at 15 weeks with mean values of 11.14 ± 1.67 kg and 7.64 ± 1.12 kg respectively.

Breast pH and colour parameters values at 24m, 24h and 7d from the four groups of turkeys are shown in Table 1 and Table 2, respectively. The stunning method significantly ($P < 0.001$) affected the pH value: 6.00 and 5.95 for G1 and G2, respectively. As for the slaughter age, there were slight differences ($P < 0.05$) in the trait. The mean pH value for birds slaughtered at 15 weeks was 5.96 and 5.99 for those animals slaughtered at 17 weeks. As it was expected, ageing time significantly affected breast pH values ($P < 0.001$). Mean breast pH values were 6.18, 5.86 and 5.88 at 20 min, 24 h and 7 d *post-mortem*, respectively. There was a pronounced rate of decline (5%) between the 20 min and the 24 h *post-mortem* whereas breast pH value remained almost constant between the first and the seventh day *post-mortem*. The interaction between the age at slaughter and the ageing time was significant ($P < 0.001$) for breast pH value. The differences were higher at 20 min (2%) than at 24 h or 7 d after the slaughter (0.005% and 0.006% respectively).

Table 1. Effects of age of slaughter, stunning procedure on the pH (Least square means and SEM) of meat and its evolution with time *post-mortem* in turkeys.

	Age of slaughter	Treatment	Ageing time			SEM	P						
			20m	24h	7d		G	A	T	G×A	G×T	A×T	G×A×T
pH	15 w	G1	6.14 ^{aB}	5.86 ^c	5.96 ^{bA}	0.011	***	*	***	ns	ns	***	+
		G2	6.10 ^{aB}	5.83 ^b	5.85 ^{bB}								
	17 w	G1	6.25 ^{aA}	5.93 ^b	5.88 ^{bB}								
		G2	6.24 ^{aA}	5.82 ^b	5.84 ^{bB}								

ns: not significant; + $P < 0.1$; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$;

^{a-c}Mean in the same row, followed by the different case letter indicates statistically difference between the time *post-mortem* in that row ($P < 0.05$).

^{A,B}Mean in the same column, followed by the different capital letter indicates statistically difference between the groups in that column ($P < 0.05$).

G1 and G2 = stunning treatments; G = stunning treatment; A = age at slaughter; T = time post-mortem.

Mean colour coordinate values ranged from 38.57 to 47.37 for L*, from -2.62 to -1.43 for a* and from 2.06 to 6.92 for b*. There were not significant differences ($P > 0.05$) in lightness attending neither to the stunning procedure nor to the age at slaughter. In regard to the stunning procedure, there was significant differences in a* ($P < 0.001$) and b* ($P < 0.05$) parameters. Mean value for a* and b* parameters in G1 slaughter method was -1.89 and 5.33 respectively. Regarding to G2 procedure mean value for a* coordinate was -2.21 and 4.68 for b* coordinate. Consequently, the breast muscle of the animals slaughtered after G1 stunning method was redder and more yellow than those of the animals stunned with the G2 procedure. There were significant differences ($P < 0.001$) in a* and b* colour coordinates attending to age at slaughter. Mean values for birds slaughtered at 15 weeks were -2.22 for a* and 5.53 for b* parameters while mean a* and b* values for turkeys slaughtered at 17 weeks were -1.88 and 4.48. Hence, the breast muscles of young animals were less red but more yellow than those of toms slaughtered at 17 weeks. Ageing time significantly ($P < 0.001$) influenced colour parameters. A lightness increase was observed as ageing time took place. Mean value of L* parameter was 39.29 for 20 min, 45.80 for 24 h and 46.39 for 7 d after slaughter. Breast muscles were less red as time went by with ageing. Mean values of a* parameter were -1.85, -2.00 and -2.29 for 20 min, 24 h and 7 d *post-mortem* respectively. As for b* parameter, the variations in its value were remarkable between 20 min and 24 h (3.54 vs 6.04) but so noticeable between 24 h and 7 d *post-mortem* (6.04 vs 5.43). The interaction between stunning method and age at slaughter was only significant ($P < 0.001$) for b* parameter. Individuals stunned by G1 procedure presented higher yellowness index than those by G2 method when they were slaughtered at 15 weeks and lower at 17 weeks. Regarding the interaction between the stunning method and

ageing time, significant differences were found for L* ($P < 0.05$) and b* ($P < 0.001$) parameters. In those turkeys stunned by G1 procedure, the lightness index remained stable since the 24 h *post-mortem* whereas in animals stunned by G2 method the index continued increasing. A similar pattern was observed for yellowness index. In birds slaughtered by G1 method, b* parameter remained constant during the period observed. However, mean value for b* parameter of those animals stunned by G2 procedure was lower at 20 min than at 24 h and 7 d *post-mortem*. Again, the interaction between the age at slaughter and the ageing time is significant only for b* parameter ($P < 0.001$). The mean value remained more stable for animals slaughtered at 17 weeks than in those younger.

Table 2. Effects of age of slaughter and stunning procedure on meat colour parameters (Least square means and SEM) of meat and its evolution with time *post-mortem* in turkeys.

	Age of slaughter	Treatment	Ageing time			SEM	G	A	T	P			
			20m	24h	7d					G×A	G×T	A×T	G×A×T
L*	15 w	G1	39.35 ^b	45.47 ^a	45.24 ^{aC}	0.224	ns	ns	***	ns	*	ns	ns
		G2	38.57 ^b	45.79 ^a	47.05 ^{aAB}								
	17 w	G1	39.71 ^b	45.62 ^a	45.89 ^{aBC}								
		G2	39.54 ^b	46.34 ^a	47.37 ^{aA}								
a*	15 w	G1	-1.86 ^B	-	-2.24 ^{AB}	0.043	***	***	***	ns	ns	ns	ns
		G2	-2.24 ^B	1.98 ^{AB}	-2.62 ^B								
	17 w	G1	-1.43 ^{aA}	-1.68 ^{aA}	-2.12 ^{bA}								
		G2	-1.89 ^B	-	-2.20 ^{AB}								
b*	15 w	G1	6.59 ^{abA}	6.92 ^{aA}	5.63 ^b	0.133	*	***	***	***	**	**	***
		G2	2.41 ^{bC}	6.23 ^{aA}	5.38 ^a								
	17 w	G1	4.25 ^{bB}	5.07 ^{aB}	5.69 ^a								
		G2	3.11 ^{bB}	5.95 ^{aAB}	5.02 ^a								

ns: not significant; * P <0.05; ** P <0.01; *** P <0.001;

^{a,b}Mean in the same row followed by the different case letter indicates statistically difference between groups in that row (P < 0.05).

^{A-C}Mean in the same column, followed by the different capital letter indicates statistically difference between the groups in that column (P < 0.05).

G1 and G2 = stunning treatments; G = stunning treatment; A = age at slaughter; T = time post-mortem.

Breast drip and cooking losses and shear force values are presented in Table 3. Mean values for both drip and cooking losses and shear force values were 0.77%, 13.46% and 3.15 kg/cm² respectively. As for the stunning method, there were significant differences ($P < 0.001$) only for drip loss: 0.83% and 0.77% for G1 and G2, respectively. The interaction between the stunning method and the age at slaughter was only significant ($P < 0.05$) for shear force value. Animals slaughtered at 15 weeks after G1 stunning method presented lower shear force value than those stunned by G2 procedure, contrary to what occurred with animals slaughtered at 17 weeks. Regarding the age at slaughter there were also significant differences ($P < 0.001$) in both drip and cooking losses. Mean value for drip loss in young turkeys was 0.71 % and 0.83% in old ones. Cooking losses were also lower in toms slaughtered at 15 weeks (12.56%) than in those slaughtered later (14.39%). Ageing time presented a significant effect on drip loss ($P < 0.01$) and shear force. Drip losses increased with ageing time: 0.72% for 24 h and 0.82%, for 7 d *post-mortem*. As expected, shear force mean value decreased with ageing time: 3.71 kg/cm² at 24 h *post-mortem* vs. 2.59 kg/cm² at 7 d after the slaughter. The stunning method and ageing time interaction was significant ($P < 0.05$) for both drip and cooking losses and the shear force values. Regarding drip losses and shear force values, mean values remained more stable in those turkeys stunned by G1 procedure compared with those stunned by G2 method. Animals stunned by G2 method presented less drip losses at 24 h than at 7 d *post-mortem*. The differences in shear force values due to ageing time were more evident in animals stunned by G2 procedure. However, breast cooking losses were lower at 24 h than at 7 d *post-mortem* in animals stunned by G1 procedure, contrary to those stunned by G2 methodology.

Table 3. Effects of age of slaughter and stunning procedure on drip loss, cooking loss, and shear force (WBSF) of meat and its evolution with time *post-mortem* in turkeys (Least square means and SEM).

	Age of slaughter	Treatment	Ageing time		SEM	P						
			24 h	7 d		G	A	T	G×A	G×T	A×T	G×A×T
Drip loss	15 w	G1	0.78 ^{AB}	0.74 ^B	0.018	***	***	**	ns	***	ns	ns
		G2	0.54 ^{bC}	0.78 ^{aAB}								
	17 w	G1	0.90 ^A	0.91 ^A								
		G2	0.66 ^{bBC}	0.86 ^{aAB}								
Cooking loss	15 w	G1	12.17 ^{bB}	13.64 ^{aA}	0.260	ns	***	ns	ns	*	ns	ns
		G2	12.94 ^B	11.50 ^B								
	17 w	G1	13.88 ^A	14.46 ^A								
		G2	15.22 ^{aA}	14.02 ^{bA}								
WBSF	15 w	G1	3.36 ^{aB}	2.59 ^{bAB}	0.051	ns	ns	***	*	**	ns	ns
		G2	3.86 ^{aA}	2.58 ^{bAB}								
	17 w	G1	3.83 ^{aA}	2.78 ^{bA}								
		G2	3.79 ^{aA}	2.42 ^{bB}								

ns: not significant; * P <0.05; ** P <0.01; *** P <0.001;

^{a,b} Mean in the same row followed by the different case letter indicates statistically difference between groups in that row (P < 0.05).

^{A-C} Mean in the same column, followed by the different capital letter indicates statistically difference between the groups in that column (P < 0.05).

G1 and G2 = stunning treatments; G = stunning treatment; A = age at slaughter; T = time post-mortem.

4. Discussion

Lower carcass weight values than those reported by Sarica et al. (2011) for a medium-growing genotype were observed for both stunning methods and slaughter ages. These differences were not so evident in turkeys slaughtered at 17 weeks. Sources of variation such as the type of feed used and environmental conditions (temperature and humidity) might be behind these differences (Havenstein et al., 2007). Variations in temperature and photoperiod can make reaching precise market weights more difficult and may cause variation in carcass quality (Fanatico et al., 2005; Ramão et al., 2011).

Turkeys may be susceptible to different types of stressors that can cause accelerated *rigor mortis* development and the appearance of PSE meat problems (Owens et al., 2000). With regard to the effect of the stunning method, pH values of the turkeys stunned by the successive G1 treatment presented higher pH values than those stunned by the G2 method. On the contrary, Kang and Sams (1999) did not find significant differences in breast pH of broilers stunned and killed with different CO₂ concentrations. Nevertheless, both pH values (for G1 and G2 stunning method) were within the normal range for poultry meat so, this variability may not be attributable to the effect of the stunning method as a stressor. Regarding the slaughter age, 15-week-old turkeys presented breast pH values slightly lower than 17-week-old ones. These results disagree with those reported by Sarica et al. (2011) in turkeys where the breast pH diminished when the slaughter age increased, but also with Yamak et al. (2016) in partridges and Schneider et al. (2012) and Anadón (2002) in broilers. Nevertheless, Jassim et al. (2011) did not find significant the effect of the age of the slaughter on the pH values of duck breast. The pH drop during the progression of *rigor mortis* due to the accumulation of

lactic acid in the muscle, however the rate of the pH decline varies depending of the ageing time. The results obtained in the current study agreed with those from the study of Sante et al. (1996) who showed a diminishing pH values from 1 to 4 hour *post-mortem*, while from 4 to 24 hour *post-mortem* pH values remained stable and no significant differences were observed. Mehaffey et al. (2006) also evidenced that meat from broilers deboned at 2 hour *post-mortem* had a significantly higher muscle pH than the meat that was deboned 4 hours after slaughter as a result of the development of *rigor mortis*.

Colour is one of the first characteristics noticed by consumers when buying meat products (Orkusz et al., 2011) and the slaughter age might affect this parameter. In the current study, redness (a*) significantly increased and yellowness (b*) significantly decreased while lightness (L*) remained unaffected by slaughter age. These findings are in line with Mugler et al. (1970) and Castellini et al. (2002) in broilers. Indeed, Yamak et al. (2016) also reported an increase of a* values in partridges. In regard to the stunning method, no effect ($P > 0.05$) was observed on meat lightness but breasts of the turkeys stunned by the G1 method presented higher a* and b* values compared to those stunned by the G2 method. On the contrary, Kang and Sams (1999) reported that breast of broilers killed with asphyxiation in an atmosphere of less than 2% oxygen (air displaced by CO₂) were darker (lower L* values) than those stunned with a concentration of 40% of CO₂ at the beginning that increased until 60%. Furthermore, Mckeegan et al. (2007) found higher L* and b* values for breast of broilers stunned with a mixture of CO₂ and O₂ when compared with an Ar and CO₂ mixture. Respecting the age of slaughter, the meat from older animals might be darker in colour because the myoglobin level increases with age (Fletcher, 2002).

Myoglobin concentration and a^* values of male turkeys were found to possess a significant positive correlation (Froning et al., 1968). A negative correlation was also stated by Quiao et al. (2001) between a^* and b^* values. In contrast, Schneider et al. (2012) indicated that meat redness decreased with the slaughter age because of the hypertrophy and the enlargement of myofibers phenomenon and the consequent reduction and marginalization of the capillary density that contributes to reduced meat redness. In this line, Anadón (2002) presented a study in broilers where a^* decreased and b^* increased as the animals were older at slaughter. Additionally, Smith et al. (2002) reported that the age of slaughter did not exert a decisive effect of the colour of the meat, in agree with Jassim et al. (2011), who stated that lightness and redness were not different attending the slaughter age of ducks. Meat colour was also affected by ageing time. The combination of muscle pigment oxidation (oxymyoglobin to metmyoglobin) and lipid oxidation in membrane phospholipids during storage is below meat colour changes (Batifoulier et al., 2002). In the present study, breast lightness and yellowness increased with ageing, while redness decreased. In agree with our results, Petracci et al. (2002) found that the colour coordinates changed in a similar way in the breast of broilers. Le Bihan-Duval et al. (1999); Alvarado and Sams (2000); Qiao et al. (2001) also reported that L^* increased with ageing time. Meat colour changes that occur during storage are variable and depend on processing or holding conditions (Petracci et al., 2002).

Attributes such as colour, juiciness, and tenderness rely on the ability of muscle proteins to bind and retain water under normal storage conditions and thermal processing (Listrat et al., 2016). In addition, the WHC of meat products is a very important quality attribute which has an influence on product yield, which in turn has economic

implications (Cheng *et al.*, 2008). In the present study, WHC was measured by two different methods: drip and cooking loss. WHC results were lower than those described by Fraqueza *et al.* (2006) but higher than those described by Alvarado *et al.* (2002). In both cases, the procedures to estimate the WHC were similar but not exactly the same. With regard to the effect of the slaughter age, breasts of toms slaughtered at 15 weeks had lower drip and cooking loss and consequently higher held water than those slaughtered at 17 weeks. Northcutt *et al.* (1994) suggested that age-related changes in WHC could be the result of alterations in muscle protein isoforms that occur during maturation. However, they found higher rates and initial amounts of drip loss in breast meat of younger broilers (21d) compared to older (28, 35 and 42d). The lack of a consistent trend and relationship with other quality parameters observed attributable to age indicate that elements other than those considered in the present study might be behind this process. Muscle fiber diameter for instance, increases with age and is associated with the decrease of tenderness (Schneider *et al.*, 2012). However, no differences in WBSF values were observed between slaughter ages in our study. On the other hand, the effect of ageing time was more coherent: higher cooking losses were observed at 7d compared to 24h and this phenomenon was associated to a decrease of WBSF values.

Although a more in deep study would be needed to have a clear conclusion of the effect of the different stunning conditions analyzed (time, rate and CO₂ concentration), no critical differences were observed in the quality of the meat between both methods. In addition, the G2 method is not currently permitted by European legislation. So, the G1 method is the most appropriated method to preserve the bird welfare. Regarding the age of slaughter, the results suggested that

animals slaughtered at 15 weeks presented higher quality meat (no relevant changes in pH and tenderness but less dark and lower drip and cooking losses) than those slaughtered at 17 weeks.

5. References

ALVARADO, C.Z. & SAMS, A.R. (2000) Rigor mortis development in turkey breast muscle and the effect of electrical stunning. *Poultry Science*, **79**: 1694-1698.

ALVARADO, C.Z. & SAMS, A.R. (2002) The role of carcass chilling rate in the development of pale, exudative turkey pectoralis. *Poultry Science*, **81**: 1365-1370.

ANADÓN, H.L.S. (2002) Biological, nutritional, and processing factors affecting breast meat quality of broilers. *Ph. D. Thesis*, Virginia Polytechnic Institute and State University.

AVIAGEN TURKEYS LTD. (2013) Factors Affecting Breast Meat Yield in Turkeys. *Management Article*. CP01.

BATIFOULIER, F., MERCIER, Y., GATELLIER, P. & RENNERRE, M. (2002) Influence of vitamin E on lipid and protein oxidation induced by H₂O₂-activated MetMb in microsomal membranes from turkey muscle. *Meat Science*, **61**: 389-395.

CASTELLINI, C., MUGNAI, C. & DAL BOSCO, A. (2002) Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Science*, **60**: 219-225.

CHENG, Q. & SUN, D. (2008) Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **48**: 137-159.

COUNCIL REGULATION (1099/2009) on the protection of animals at the time of killing, in: *Official Journal of the European Union L* **303**: 1-30.

FANATICO, A.C., CAVITT, L.C., PILLAI, P.B., EMMERT, J.L. & OWENS, C.M. (2005) Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: Meat quality. *Poultry Science*, **84**: 1785-90.

FLETCHER, D. L. (2002). Poultry meat quality. *World's Poult. Sci. J.* **58**:131–145.

FRAQUEZA, M.J, CARDOSO, A.S., FERREIRA, M.C. & BARRETO, A.S. (2006) Incidence of pectoralis major turkey muscles with light and dark color in a Portuguese slaughterhouse. *Poultry Science*, **85**: 1992-2000.

FRONING, G.W., DADDARIO, J. & HARTUNG. T.E. (1968) Color and myoglobin concentration in turkey meat as affected by age, sex and strain. *Poultry Science*, **47**: 1827-1835.

GERRITZEN, M.A., LAMBOOIJ, E., HILLEBRAND, S.J., LANKHAAR, J.A. & PIETERSE, C. (2000) Behavioral responses of broilers to different gaseous atmospheres. *Poultry Science*, **79**: 928-933.

GERRITZEN, M.A., REIMERT, H.G.M., HINDLE, V.A., VERHOEVEN, M.T.W., & VEERKAMP, W.B. (2013) Multistage carbon dioxide gas stunning of broilers. *Poultry Science*, **92**: 41-50.

HAVENSTEIN, G.B., FERKET, P.R., GRIMES, J.L., QURESHI, M.A., & NESTOR, K.E. (2007) Comparison of the performance of 1966- versus 2003-type turkeys when fed representative 1966 and 2003 turkey diets: growth rate, livability, and feed conversion. *Poultry Science*, **86**: 232-40.

JASSIM, J.M., MOSSA, R.K., AL-ASSADI, M.H., & GONG, Y. (2011) Evaluation of physical and chemical characteristics of male and female ducks carcasses at different ages. *Pakistan Journal of Nutrition*, **10**: 182-189.

KANG, I.S. & SAMS A.R. (1999) A comparison of texture and quality of breast fillets from broilers stunned by electricity and carbon dioxide on a shackle line or killed with carbon dioxide. *Poultry Science*, **78**: 1334-1337.

LE BIHAN-DUVAL, E., MILLET, N. & REMIGNON H. (1999) Broiler meat quality: Effect of selection for increased carcass quality and estimates of genetic parameters. *Poultry Science*, **78**: 822-826.

LEPETIT, J. (2008) Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Science*, **80**: 960–967.

LISTRAT, A., LEBRET, B., LOUVEAU, I., ASTRUC, T., BONNET, M., LEFAUCHEUR, L., PICARD, B. & BUGEON, B. (2016) How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, **2016**: 3182746.

MAURI, M.S., GUIJARRO, A., AVILÉS, C., PEÑA, F. (2017) Influence of carbon dioxide stunning procedure on quality of turkey meat. *British Poultry Science*. Article *In press*.

MCKEEGAN, D.E.F., ABEYESINGHE, S.M., MCLEMAN, M.A., LOWE, J.C., DEMMERS, T.G.M., WHITE, R.P., KRANEN, R.W., VAN BEMMEL, H., LANKHAAR, J.A.C., & WATHES, C.M. (2007) Controlled atmosphere stunning of broiler chickens. II. Effects on behaviour, physiology and meat quality in a commercial processing plant. *British Poultry Science*, **48**: 430-442.

MCKEEGAN, D.E.F., SPARKS, N.H.C., SANDILANDS, V., DEMMERS, T.G.M, BOULCOTT, P. & WATHES, C.M. (2011) Physiological responses of laying hens during whole-house killing with carbon dioxide. *British Poultry Science*, **52**: 645-657

MEHAFFEY, J.M., PRADHAN, S.P., MEULLENET, J.F., EMMERT, J.L., & OWENS, C.M. (2006) Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains. *Poultry Science*, **85**: 902-908.

MUGLER, D.J., MITCHELL, J.D. & ADAMS, A.W. (1970) Factors affecting turkey meat color. *Poultry Science*, **49**: 1510-1513.

NORTHCUTT, J.K., FOEGEDING E.A. & EDENS, F.W. (1994) Water-holding properties of thermally preconditioned chicken breast and leg meat. *Poultry Science*, **73**: 308-316.

ORKUSZ, A., WOŁOSZYN J. & OKRUSZEK, A. (2011) Characteristics of the thigh muscles colour from turkey packaged under modified atmosphere in different film types. *European Poultry Science*, **75**: 196-203.

OWENS, C.M., HIRSCHLER, E.M., MCKEE, S.R., MARTINEZ-DAWSON, R. & SAMS, A.R. (2000) The characterization and

incidence of pale, soft, exudative turkey meat in a commercial plant. *Poultry Science*, **79**: 553-8.

PETRACCI, M. & FLETCHER, D.L. (2002) Broiler skin and meat color changes during storage. *Poultry Science*, **81**: 1589-1597.

QIAO, M., FLETCHER, D.L., SMITH, D.P., & NORTHCUTT, J.K. (2001) The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science*, **80**: 676-680.

RAJ, A.B.M. (1996) Aversive reactions of turkeys to argon, carbon dioxide and a mixture of carbon dioxide and argon. *The Veterinary Record*, **138**: 592-593.

RAJ, A.B.M., WILKINS, L.J., RICHARDSON, R.I., JOHNSON, S.P. & WOTTON, S.B. (1997) Carcass and meat quality in broilers either killed with a gas mixture or stunned with an electric current under commercial processing conditions. *British Poultry Science*, **38**: 169-174.

RAMÃO, I.B., NUNES, R.V., BRUNO, L.D.G., TSUTSUMI, C.Y., SILVA, W.T.M. & POZZA, M.S.S. (2011) Evaluation of different pre-slaughter light intensities and fasting duration in broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, **13**: 235-240.

SANTÉ, V.S., LEBERT, A., LE POTTIER, G. & OUALI, A. (1996) Comparison between two statistical models for prediction of turkey breast meat colour. *Meat science*, **43**: 283-290.

SARICA, M., OCAK, N., TURHAN, S., KOP, C. & YAMAK, U.S. (2011) Evaluation of meat quality from 3 turkey genotypes reared with or without outdoor access. *Poultry Science*, **90**: 1313-23.

SCHNEIDER, B.L., RENEMA, R.A., BETTI, M., CARNEY, V.L. & ZUIDHOF, M.J. (2012) Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. *Poultry Science*, **91**: 468-77.

SMITH, D.P., LYON, C.E. & LYON, B.G. (2002) The effect of age, dietary carbohydrate source, and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poultry Science*, **81**: 1584-1588.

TERLOUW, C., BOURGUET, C. & DEISS, V. (2016) Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. *Meat Science*, **118**: 133-146.

YAMAK, U.S., SARICA, M., BOZ, M.A. & UCAR, A. (2016) The effect of production system (barn and free-range), slaughtering age and gender on carcass traits and meat quality of partridges (*Alectoris chukar*). *British Poultry Science*, **57**: 185-192.

YLÄ-AJOS, M., TUOMINEN, S., HÄNNINEN, L., RUUSUNEN, M., PUOLANNE, E. & VALROS, A. (2012) Gas composition in controlled atmosphere stunning affects turkey meat quality traits. *British Poultry Science*, **53**: 47-56.

CAPÍTULO III

6. CAPITULO III: Efectos de la edad de sacrificio y el sexo en la composición físico-química de la carne de pavo.

6.1 INTRODUCCIÓN

El pavo es una especie de carne magra, con menor concentración de grasa y de colesterol que otras carnes, incluso aquellas procedentes de otras aves como el pollo. Además es rica en minerales como magnesio, zinc y potasio.

Su bajo contenido en grasa y fácil digestibilidad convierten a la carne de pavo en un alimento apto y prometedor para muchas dietas terapéuticas, para cualquier tipo de dieta de adelgazamiento o alimentación dirigida a ancianos y niños (MAPAMA, 2017). Estos son algunos de los motivos por los que el consumo de esta carne en España se ha duplicado en la última década.

El objetivo del presente capítulo fue caracterizar la carne de los distintos tipos comerciales utilizados en el estudio para poder determinar si existen diferencias en la composición química de cada uno de ellos que apoyen la toma de decisiones en la industria.

6.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio se utilizaron 150 pavos de los distintos tipos comerciales: 50 hembras, 50 machos pequeños y 50 machos grandes. Las muestras para la determinación de la composición físico-química procedieron del corte B1 de la pechuga derecha (apartado 3.5.1). El análisis fisicoquímico (humedad, cenizas, grasa y proteínas)

de las muestras se llevó a cabo siguiendo la metodología detallada en el apartado 3.5.2 de esta tesis.

Finalmente, los resultados se analizaron siguiendo el método descrito en el apartado 3.6.

6.3 RESULTADOS

En la Tabla 9 se muestran los valores medios de los porcentajes de humedad, cenizas, grasa y proteínas de las pechugas de los distintos tipos comerciales. El conjunto de las muestras arrojó unos valores medios de 72,9% para la humedad, 1,17% para las cenizas, 1,18% para la grasa y 23,9% para las proteínas; valores que confirman lo referido con anterioridad respecto de su idoneidad para determinados tipos de dietas. El porcentaje de humedad y de cenizas se vio afectado por la edad al sacrificio, siendo mayor en los pavos machos grandes en el primer caso ($P<0,001$) y menor para el mismo grupo en el caso de las cenizas ($P<0,001$). No se observaron diferencias significativas en estos parámetros debidas al sexo ($P>0,05$). Sin embargo, la carne de pechuga de las hembras presentó mayor contenido en grasa que la de los machos ($P<0,01$), no existiendo diferencias debidas a la edad al sacrificio en este caso.

Finalmente, tanto el sexo como la edad al sacrificio afectaron al contenido en proteínas de la carne. En ambos casos, los machos pequeños presentaron un menor porcentaje ($P<0,05$) que el resto de tipos comerciales estudiado.

Tabla 9. Composición físico-química de la carne de pavo en función de la edad de sacrificio y del sexo

	Hembra	Machos Pequeños	Machos Grandes
Humedad, %	72,6 ± 0,20 ^b	72,3 ± 0,15 ^b	73,8 ± 0,20 ^a
Cenizas, %	1,20 ± 0,01 ^a	1,18 ± 0,02 ^a	1,13 ± 0,02 ^b
Grasa, %	1,23 ± 0,03 ^a	1,18 ± 0,05 ^b	1,12 ± 0,04 ^b
Proteínas, %	24,2 ± 0,17 ^a	23,5 ± 0,13 ^b	23,9 ± 0,17 ^a

6.4 DISCUSIÓN

Las propiedades físico-químicas de la carne de ave han sido muy estudiadas. Dichos estudios se han llevado a cabo principalmente en canales enteras con el fin de analizar el papel de variables tales como la raza (genética), dietas, edad y sexo en la composición y valor nutritivo, que afectan a la calidad de la carne (Fremery, 1966; Acton, 1973; Evans et al., 1976; Cunningham et al., 1977; Farrell, 1991; Smith, et al., 1993; Xiong et al., 1993).

Según Qiao et al. (2002) el contenido en humedad era significativamente superior en pechugas de pollo PSE en comparación con muestras de carne de pollo sin ningún defecto de calidad. En comparación con nuestros resultados, los valores de humedad obtenidos para todos los tipos comerciales eran inferiores a los valores presentados en las pechugas de pollo PSE y más cercanos a los valores de humedad de las muestras de carne normal. En contraposición, Li et al. (2014) indicaban que no había diferencias significativas en humedad comparando carne de pollo PSE y carne de pollo normal.

Atendiendo al contenido de proteínas, Quiao et al.(2002) indicaban que el porcentaje de proteínas era significativamente menor en carne de pollo PSE, en comparación con carne DFD y carne sin defectos de calidad, que no presentaban diferencias entre sí en cuanto a contenido proteico. Li et al. (2014) también afirman que el contenido de proteínas de la carne de pechuga de pollo PSE era significativamente inferior a la de carne normal. En comparación con nuestros resultados, el contenido de proteínas en todos los tipos comerciales estudiados estaba por encima de los valores de la carne PSE. En esta línea, Çelen et al. (2016) en su estudio en pechugas de pavo también encontraron diferencias significativas en el contenido de proteínas entre carne PSE y carne sin defectos, siendo menor en el caso de la carne PSE. Atendiendo a la edad de sacrificio, el contenido en proteínas en machos grandes era mayor que en el caso de los machos pequeños. En esta línea, Majumdar et al. (2005) indicaban que con el aumento de la edad de sacrificio aumentaba el contenido en proteínas del tejido conectivo, particularmente el colágeno.

En relación al contenido de cenizas, Qiao et al. (2002) registraron valores medios más elevados en carnes DFD. En nuestro estudio, para todos los tipos comerciales estudiados, los valores de cenizas eran inferiores al resultado de la carne de color oscuro. Según Li et al. (2014), en carne de pollo, y Çelen et al. (2016), en carne de pavo, no encontraron diferencias significativas en los valores de cenizas y de grasa al comparar carnes PSE y normales.

6.5 CONCLUSIONES

En el estudio de caracterización de la carne de pavo se observó que tanto el sexo como la edad de sacrificio afectaban a la composición físico-química de la carne.

La humedad aumentaba con la edad de sacrificio mientras que las cenizas disminuían con la edad de sacrificio. No se observaban diferencias significativas en estos parámetros atendiendo al sexo.

En el caso de la grasa afectaba el sexo del animal encontrándose los valores más altos en las hembras. Para el contenido en grasa no existían diferencias significativas atendiendo a la edad de sacrificio.

Por último, atendiendo al contenido de proteínas tanto la edad de sacrificio como el sexo del animal afectaban al porcentaje final de proteínas de la carne. En ambos casos, los machos pequeños presentaban un menor porcentaje de proteínas.

CAPÍTULO IV

7. CAPITULO IV: Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* sobre la calidad de la carne de pavo.

7.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento experimentado en los últimos años en el consumo de la carne de pavo en nuestro país, ha llevado asociado una mayor exigencia por parte del mercado, que impone criterios de calidad de la carne, entre los que destacan la terneza y la ausencia de sangre. La comercialización de la carne de pavo, cruda o cocinada, principalmente en formato loncheado hace que la presencia de sangre y la textura sean características, entre otras, de gran importancia en la calidad del producto y en la actitud de compra por parte del consumidor final.

En 1749, Benjamin Franklin descubrió que la carne de pavo se volvía más tierna tras aplicar una estimulación eléctrica (ES) en la canal tras el sacrificio (Lawrie y Ledward, 2006). En la década de 1940 se realizaron algunos estudios sobre ES en los Estados Unidos. Sin embargo, estos estudios no lograron tener éxito (Mota-Rojas et al., 2012). La aplicación de ES para el procesamiento de carne se utilizó comercialmente a principios de 1970 con el fin de mejorar la textura de la carne (Juárez et al., 2012). Esta técnica se ha utilizado comercialmente en diversas especies para mejorar la textura y otras propiedades sensoriales de la carne como el color (Taylor y Martoccia, 1995, Mckenna et al, 2003, Cetin y Topcu, 2009, Nazli et al., 2010), sabor y olor (Soria y Corva, 2004, Castaneda et al. 2005, Mota-Rojas et al., 2012).

Los estudios de Thompson et al., 1987; Lyon et al., 1989; Brikhold et al. 1992; Li et al., 1993; Birkhold and Sams, 1993, 1995, Devine et

al., 2014 hacen referencia al uso de la electro-estimulación *post-mortem* de la canal para conseguir que la carne resultante fuese más tierna. Los mecanismos de electro-estimulación responsables de la mejora en la textura de la carne son la aceleración del desarrollo del *rigor mortis* y la disrupción física de las fibras musculares (Owens and Sams, 1997) por tanto, se consigue una carne más tierna y de mayor calidad para este parámetro. Este sistema se ha utilizado con la finalidad de mejorar la textura en carne de ciervos, cabras, ovejas, vacuno, cerdos y varias especies de aves de corral (Devine et al., 2014).

En nuestro estudio con la electro-estimulación, además de intentar mejorar la textura de la carne, también queremos conseguir mejorar el desangrado final de la canal. La electro-estimulación de la canal de pavo hace que se contraigan los músculos durante la fase de desangrado y esto podría favorecer a la salida de la sangre de los capilares y las principales venas de la canal.

En este capítulo se analizó, en una población de pavos machos grandes, cómo afectaba la electro-estimulación de la canal sobre los parámetros de calidad de la carne de pechuga (pH, color, pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado y textura) y la evolución de dichos parámetros de calidad a lo largo de la maduración de la carne y sobre la cantidad de sangre residual de las principales piezas de la canal (pechugas, contramuslos y alas). Estos resultados se compararon con una población control de machos grandes que no habían sido sometidos a dicha electro-estimulación *post-mortem*.

7.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron 53 canales de pavos machos grandes. De esta población, 28 canales fueron sometidas a una estimulación eléctrica justo tras el sacrificio (durante el desangrado) y las 25 restantes siguieron el procedimiento estándar de desangrado.

La estimulación eléctrica se llevó a cabo mediante el equipo descrito en el apartado 3.4.

Una vez completado el faenado de las canales, se procedió a la determinación de los siguientes parámetros de calidad de la carne utilizando las técnicas descritas en el apartado 3.5.2.: el pH y el color de la pechuga derecha a los 20 min *post-mortem*, previo a la refrigeración de la canal y el pH, el color, la textura, las pérdidas por goteo, las pérdidas por cocinado de la misma pechuga tras la refrigeración de la canal a las 24 horas y a los 7 días *post-mortem*.

Finalmente, al objeto de analizar el contenido de sangre residual se separaron las pechugas, contramuslos y alas izquierdas de las canales. Para puntuar dichas piezas se utilizaron los criterios de referencia descritos en el apartado 3.5.3.

Los resultados se analizaron siguiendo la metodología estadística descrita en el apartado 3.6

7.3 RESULTADOS

7.3.1 pH

Los valores de pH de las pechugas procedentes de los pavos sometidos a electro-estimulación tras el sacrificio y de los pavos de la

población control (sin electro-estimulación), en diferentes momentos de la maduración de la carne, se muestran en la tabla 10.

La electro-estimulación (G) afectó de forma muy significativa al valor del pH ($P<0,001$). Para las pechugas procedentes del tratamiento con electro-estimulación, el pH medio fue de 5,92, mientras que para las pechugas de las muestras control el pH medio fue de 6,02.

El grado de maduración de la carne (T) también influyó de forma muy significativa ($P<0,001$) en el pH de las pechugas. Los valores medios de pH fueron 6,15, 5,90 y 5,87 a 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*, respectivamente. Se observó que la caída más pronunciada en el pH tuvo lugar de los 20 min a las 24 horas *post-mortem*. Sin embargo, entre las 24 horas y 7 días *post-mortem* los valores de pH fueron muy similares.

Atendiendo a la relación entre la aplicación o no de estimulación eléctrica del animal tras el sacrificio y el grado de maduración de la carne (G*T) se observan diferencias significativas ($P<0,01$) en el pH de las pechugas. Las diferencias de pH fueron mayores tras el sacrificio a 20 min *post-mortem* (pH 6,25 para la población control vs. 6,04 para los pavos sometidos a ES= 0,21 unidades) en comparación con el resto de las mediciones (5,93 vs 5,86= 0,07 unidades a 24 horas *post-mortem* y 5,88 vs. 5,86= 0,02 unidades a 7 días *post-mortem*).

Tabla 10. Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el pH de las pechugas

Variable	Grupo	Maduración			SEM	P-valor		
		20 min	24 h	7 d		G	T	G*T
pH	Control	6,25 ^a	5,93 ^a	5,88 ^a	0,014	***	***	**
	Electro-estimulación	6,04 ^b	5,86 ^a	5,86 ^a				

ns: no significativo; + $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$;

^{a-b}Medias mínimo-cuadráticas seguidas de diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma columna ($P < 0,05$).

SEM = Error Estándar de la Media; G = tratamiento post-sacrificio; T = tiempo de maduración.

7.3.2 Color

Los valores de color de las pechugas de las canales sometidas a electro-estimulación *post-mortem* y en las canales control, en diferentes momentos de la maduración de la carne se muestran en la Tabla 11.

Los valores de la coordenadas del color oscilaron desde 38,82 a 50,46 para L^* , -2,12 a 1,62 en a^* y de 1,34 a 5,69 para b^* .

Comparando los valores de las coordenadas del color entre las pechugas que procedieron de canales que fueron sometidas a electro-estimulación y las pechugas de las canales control, se observaron diferencias muy significativas ($P < 0,001$) en todas las coordenadas del color (L^* , a^* y b^*).

En el caso de las pechugas que procedieron de canales que habían sido sometidas a electro-estimulación el valor medio de L^* fue de 45,78; de a^* fue de -0,24 y de b^* fue de 2,27. En el caso de las pechugas de las canales control, el valor medio de L^* fue de 43,74; de a^* fue de -1,74 y de b^* fue de 4,27. Esto supone que las canales que recibieron

electro-estimulación *post-mortem* presentaron una carne más clara y menos rojiza.

Los parámetros de color en la carne también se vieron influenciados de forma muy significativa por el grado de maduración de la misma (L* $P < 0,001$; a* $P < 0,001$ y b* $P < 0,001$). Los valores medios de L* fueron de 39,27; 46,84 y 48,18, a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*, respectivamente. Se observó un incremento de la luminosidad con la maduración de la carne. Para la coordenada a* los valores medios fueron de 0,1; -1,53 y -1,54 a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*. La carne se volvió menos roja a medida que aumentó el grado de maduración de la misma. Para la coordenada b*, los valores medios a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem* fueron 1,7; 4,55 y 3,58, respectivamente. El valor de b* aumentó principalmente en las primeras 24 horas *post-mortem* (se mostró más amarilla).

Si analizamos cómo afectó al color la relación entre la electro-estimulación y la maduración de la carne (G*T) se observaron diferencias muy significativas ($P < 0,001$) en todas las coordenadas del color L*, a* y b*. Por tanto, se podría concluir que el color de la pechuga en los diferentes momentos de maduración estudiados (20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*) se vio afectado en función de si la canal fue sometida a electro-estimulación *post-mortem* o no.

Tabla 11. Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el color de las pechugas

Variable	Grupo	Maduración			SEM	P-valor		
		20 min	24 h	7 d		G	T	G*T
L*	Control	39,71 ^a	45,62 ^b	45,89 ^b	0,314	***	***	***
	Electro-estimulación	38,82 ^a	48,06 ^a	50,46 ^a		***	***	***
a*	Control	-1,43 ^b	-1,68 ^a	-2,12 ^b	0,095	***	***	***
	Electro-estimulación	1,62 ^a	-1,38 ^a	-0,96 ^a		***	***	***
b*	Control	2,06 ^a	5,07 ^a	5,69 ^a	0,185	***	***	***
	Electro-estimulación	1,34 ^b	4,02 ^a	1,46 ^b		***	***	***

ns: no significativo; + $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$;

^{a-b}Medias mínimo-cuadráticas seguidas de diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma columna ($P < 0,05$).

SEM = Error Estándar de la Media; G = tratamiento post-sacrificio; T = tiempo de maduración.

7.3.3 Pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura

Los valores de pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura de la carne de pechuga procedente de canales que fueron sometidas a electro-estimulación y de canales del grupo control en diferentes momentos de maduración de la carne se muestran en la tabla 12.

Comparando las pérdidas por goteo entre las pechugas que habían sido sometidas a electro-estimulación y las pechugas control se observaron diferencias ligeramente significativas ($P < 0,05$). El valor medio de pérdidas por goteo de las pechugas control fue de 0,905%, mientras que en las pechugas que habían sido tratadas con electro-estimulación fue de 1,22%. Se observa que las pérdidas por goteo fueron menores en las pechugas control que en las pechugas tratadas con electro-estimulación.

Tabla 12. Efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en las pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura de las pechugas

Variable	Grupo	Maduración		SEM	P-valor		
		24 h	7 d		G	T	G*T
Pérdidas goteo (%)	Control	0,90 ^b	0,91 ^b	0,051	*	ns	ns
	Electro-estimulación	1,27 ^a	1,17 ^a				
Pérdidas cocinado (%)	Control	13,88 ^a	14,46 ^a	0,376	ns	ns	ns
	Electro-estimulación	14,18 ^a	14,41 ^a				
Textura (kg/cm ²)	Control	3,83 ^a	2,78 ^a	0,064	ns	***	ns
	Electro-estimulación	3,65 ^a	2,81 ^a				

ns: no significativo; + $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$;

^{a-b}Medias mínimo-cuadráticas seguidas de diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma columna ($P < 0,05$).

SEM = Error Estándar de la Media; G = tratamiento post-sacrificio; T = tiempo de maduración.

En el caso de las pérdidas por cocinado no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las pechugas del tratamiento de electro-estimulación y las pechugas control a lo largo de la maduración de las mismas.

Atendiendo a la textura, sólo la maduración de la carne tuvo un efecto significativo ($P < 0,001$) sobre la misma. A 24 horas *post-mortem* el valor medio de resistencia al corte fue de 3,74 kg/cm² mientras que a los 7 días *post-mortem* fue de 2,80 kg/cm². Por tanto, a medida que la carne maduró presentó menor resistencia al corte, y en consecuencia resultó más tierna.

7.3.4 Contenido en sangre residual

Los resultados del contenido en sangre residual en las venas principales de pechugas, contramuslos y alas de pavos machos grandes (con tratamiento de electro-estimulación *post-mortem* y

control sin tratamiento) se muestran en las Figuras 12, 13 y 14 y las Tablas 13, 15 y 17.

7.3.4.1 Pechugas

En el caso de las pechugas procedentes de canales que habían sido sometidas a electro-estimulación tras el sacrificio, la mayor parte se encontraron en la puntuación 1 (42,9%), mientras que la puntuación 0 fue la que presentó menor número de pechugas (3,6%). Comparando estos resultados con las condiciones normales (sin electro-estimulación tras sacrificio), se observó que la mayor parte de las pechugas se encontraron de nuevo en la puntuación 1 (53,6%), mientras que en este caso fue la puntuación 4 donde hubo menor representación de pechugas (3,6%). Además, en la Tabla 13 se observa que las puntuaciones de los extremos 0 y 4 fueron las que presentaron los porcentajes de pechugas de forma menos homogénea entre tratamientos. En el caso de la puntuación 4, el 75% de las pechugas se encontraron en el tratamiento de electro-estimulación *post-mortem*. Para la puntuación 0, el 66, 7% de las pechugas se encontraron en las condiciones estándar.

A la vista de estos resultados, se puede concluir que no existieron diferencias significativas en el contenido de sangre residual en las pechugas ($P>0,05$) (Tabla 14) entre el tratamiento con electro-estimulación *post-mortem* y las condiciones estándares. Sin embargo, el grupo control obtuvo un menor porcentaje de pechugas calificadas como 3 y 4 que el grupo de animales sometidos a electro-estimulación *post-mortem* por lo que parece que este tratamiento no mejoraba el desangrado de esta pieza de la canal.

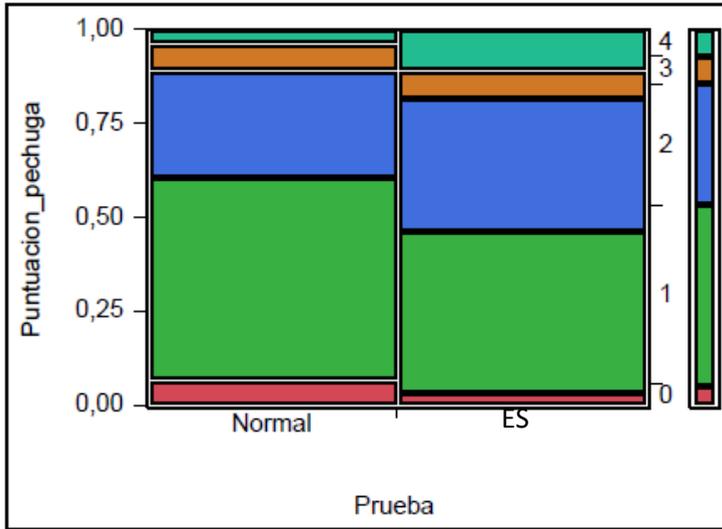


Figura 12. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de pechugas en condiciones normales y pechugas que han sido sometidas a electro-estimulación

Tabla 13. Tabla de contingencia del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el contenido de sangre residual de las pechugas

Grupo	Probabilidad	Puntuación Pechugas				
		0	1	2	3	4
Control	n	2	15	8	2	1
	Dentro del grupo (%)	7,1	53,6	28,6	7,1	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	66,7	55,6	44,4	50,0	25,0
Electro-estimulación	n	1	12	10	2	3
	Dentro del grupo (%)	3,6	42,9	35,7	7,1	10,7
	Dentro de la puntuación (%)	33,3	44,4	55,6	50,0	75,0

Tabla 14. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en pechugas tratadas con electro-estimulación vs condiciones estándar

Test	Estadístico	P-valor
Test exacto de Fisher	1,943	0,746
Test χ^2 de Pearson	1,889	0,756

7.3.4.2 Contramuslos

Según los datos de la Tabla 15 los contramuslos que procedieron de canales que habían sido sometidos a electro-estimulación *post-mortem* se calificaron mayoritariamente en las puntuaciones 1 y 2 (39,3% en cada puntuación), mientras que la puntuación 0 fue la que tuvo menos representación en el desangrado de los contramuslos sometidos a electro-estimulación (3,6%). En el caso de los contramuslos de la población control (sin electro-estimulación *post-mortem*), se observaba que la mayor parte de los contramuslos se encontraron en la puntuación 1 (53,6%) seguida de la calificación 2 (28,5%), haciendo un total de 82,1%. En el caso de los contramuslos fueron las puntuaciones 0 y 4 las que tuvieron menor frecuencia de presentación (3,6% para cada una de ellas).

En la Tabla 15 y en la Figura 13 también se observó que el número o porcentaje de contramuslos en cada una de las categorías que representaban el nivel de desangrado presentó una tendencia muy similar entre la población sometida a electro-estimulación y la población control. Según la Tabla 16 no existieron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre el desangrado de los contramuslos sometidos a electro-estimulación *post-mortem* y los contramuslos de la población control.

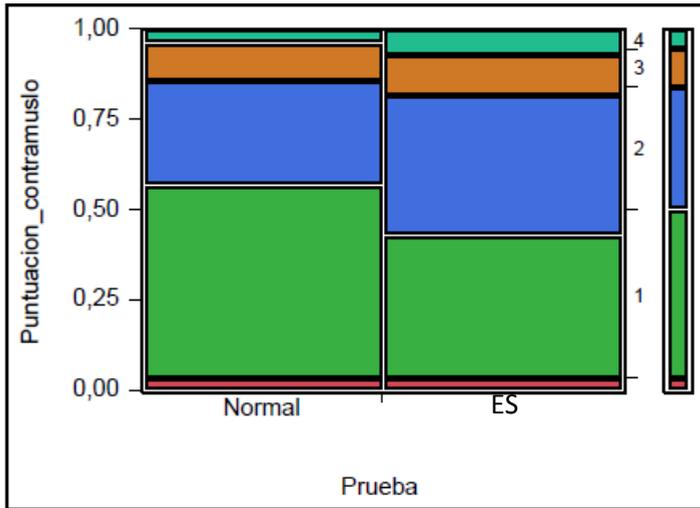


Figura 13. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de contramuslos en condiciones normales y contramuslos que han sido sometidos a electro-estimulación

Tabla 15. Tabla de contingencia del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el contenido de sangre residual de los contramuslos

Grupo	Probabilidad	Puntuación Contramuslos				
		0	1	2	3	4
Control	n	1	15	8	3	1
	Dentro del grupo (%)	3,6	53,6	28,5	10,7	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	50,0	57,7	42,1	50,0	33,3
Electro-estimulación	n	1	11	11	3	2
	Dentro del grupo (%)	3,6	39,3	39,3	10,7	7,1
	Dentro de la puntuación (%)	50,0	42,3	57,9	50,0	66,7

Tabla 16. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en contramuslos tratados con electro-estimulación vs condiciones estándar

Test	Estadístico	P-valor
Test exacto de Fisher	1,433	0,838
Test χ^2 de Pearson	1,422	0,840

7.3.4.3 Alas

En el caso de las alas (Tabla 17 y Figura 14) se observó que tras el tratamiento de electro-estimulación *post-mortem* la mayor parte de las alas se encontraban en la puntuación 1 (39,3%), mientras que la puntuación 4 fue donde hubo menor representación (3,6%). Comparando estos resultados con las alas procedentes de la población control, los resultados fueron muy similares. De nuevo, la mayor parte de las alas se encontraron en la puntuación 1 (50%) y la puntuación 4 fue la que tenía menos representación (3,6%).

En general, atendiendo en la Tabla 17 al porcentaje de alas dentro de cada puntuación se observó que el nivel de desangrado entre la población sometida a la electro-estimulación y la población control presentó valores similares en todos los niveles de desangrado.

A la vista de estos resultados, se observa que no existieron diferencias significativas en el nivel de desangrado de las alas ($P > 0,05$) (Tabla 18) entre la población sometida a electro-estimulación y la población control.

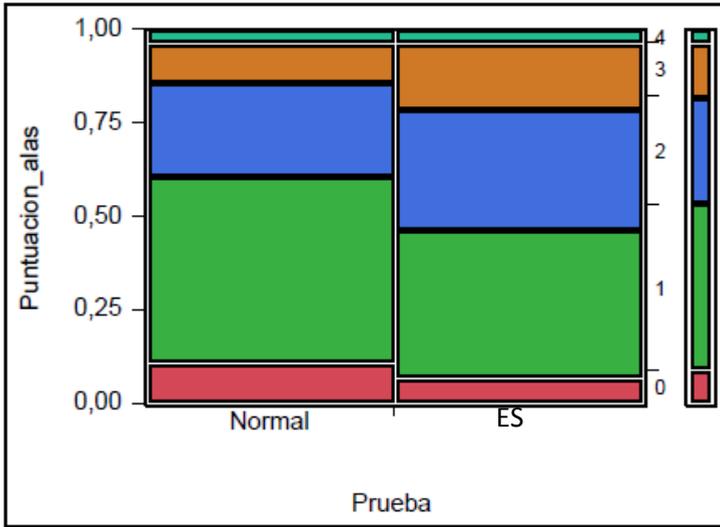


Figura 14. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de alas en condiciones normales y alas que han sido sometidas a electro-estimulación

Tabla 17. Tabla de contingencia del efecto de la electro-estimulación *post-mortem* en el contenido de sangre residual de las alas

Grupo	Probabilidad	Puntuación Alas				
		0	1	2	3	4
Control	n	3	14	7	3	1
	Dentro del grupo (%)	10,7	50,0	25,0	10,7	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	60,0	56,0	43,8	37,5	50,0
Electro-estimulación	n	2	11	9	5	1
	Dentro del grupo (%)	7,1	39,3	32,1	17,9	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	40,0	44,0	56,2	62,5	50,0

Tabla 18. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en alas tratadas con electroestimulación vs condiciones estándar

Test	Estadístico	P-valor
Test exacto de Fisher	1,318	0,858
Test χ^2 de Pearson	1,310	0,861

7.4 DISCUSIÓN

La estimulación eléctrica (ES) *post-mortem* de la canal es una práctica adoptada en la industria cárnica para mejorar la calidad de la carne. Sin embargo, hay discrepancias de su utilidad a este respecto. Mientras algunos autores informan de sus efectos positivos (Mckenna et al., 2003; Cetin y Topcu, 2009; Nazli et al., 2010), otros indican que no afecta a la calidad de la carne (Wiklund et al., 2001; Botha et al., 2009; Kim et al., 2013). Finalmente los hay que, por el contrario, indican que puede tener efectos perjudiciales (Hector et al., 1992; Den Hertog-Meischke et al., 1997; Simmons et al., 2008).

En nuestro estudio las canales fueron sometidas a la electroestimulación inmediatamente después del sacrificio. Craig et al. (1999) y MLA y AMPC (2011) indicaban que la electroestimulación llevada a cabo justo tras el sacrificio daba lugar a mejoras en el desangrado del animal y en la textura de la carne. Con esta misma finalidad se realizó la experiencia en nuestro estudio.

Los resultados de pH mostraron que las canales sometidas a electroestimulación presentaban un valor de pH inferior al registrado en las canales control. Esta diferencia fue más acentuada a los 20 min *post-mortem*. Este fenómeno fue consecuencia de la electroestimulación, ya que la descarga eléctrica acelera la glucólisis *post-mortem*

produciendo una bajada del pH mediante el agotamiento rápido del glucógeno muscular (Hwang et al., 2003; Simmons et al., 2008; Castigliero et al., 2012). Wakefield et al. (1989) indicaron que las canales de pavo tratadas con ES (utilizando 94 V) presentaban valores de pH ligeramente inferiores a 20 min *post-mortem* en comparación con las canales control no tratadas con electro-estimulación. Owens y Sams (1997) indicaron que las pechugas de pavo procedentes de canales tratadas con electro-estimulación presentaban valores de pH significativamente inferiores a las 2 horas *post-mortem* que las pechugas control no tratadas. Sin embargo, no había diferencia entre el pH de las pechugas tratadas con electro-estimulación a las 2 horas *post-mortem* y las pechugas controles a tratadas a las 8 o 24 horas *post-mortem*. Esto confirmaba que en las pechugas tratadas con electro-estimulación el *rigor mortis* ya se había alcanzado a las 2 horas *post-mortem*. Esta aceleración en el metabolismo del músculo debido a la electro-estimulación se había contemplado anteriormente por muchos investigadores en pavos y pollos (Maki y Froning, 1987; Thompson et al., 1987; Lyon et al., 1989; Wakefield et al., 1989; Sams, 1990; Birkhold et al., 1992). En esta línea, Young et al. (1999), en un estudio realizado en pollos, indicaban que el pH final de las pechugas era similar en canales tratadas con electro-estimulación que en las canales sin tratar, la diferencia estaba en que las canales sin tratar tardaban más tiempo en llegar al pH final. En el caso de los cerdos y rumiantes, la ausencia de electro-estimulación hace que el pH final se alcance sobre la 10 - 12 horas *post-mortem*, mientras que en canales tratadas con electro-estimulación alcanzaban el pH final a las 1-2 horas *post-mortem* (Soria y Corva, 2004; Warris, 2010). Según los estudios realizados por Guerrero et al. (2004) la variación de voltajes y tiempos de estimulación influye en el pH de las alpacas hembras. Estos autores aplicaron dos voltajes (500 y 600 V) en dos periodos de

tiempo (30 y 60 s). Después de controlar el pH al cabo de 1 y 24 horas *post-mortem*, observaron una diferencia significativa en el pH entre las muestras de carne tratada y control. El tratamiento a 500 V aplicado durante 30 s provocó una bajada más acusada del pH en comparación con el control después de 24 horas *post-mortem* (5.27 vs. 6.31).

Por otro lado, el color juega un papel fundamental en la actitud de compra de los consumidores. Hay estudios que demuestran que el tratamiento con electro-estimulación mejora el color de la carne en cerdos, (Taylor y Martoccia, 1995), corderos (Polidori et al., 1999), vacas (Mckenna et al., 2003), venados (Wiklund et al., 2001) y pollos (Birkhold y Sams, 1993; Young et al., 1999). En nuestro estudio, el tratamiento de las canales de pavo con electro-estimulación *post-mortem* también afectó al color. En concreto, las pechugas procedentes de canales de pavos tratadas con electro-estimulación presentaron más luminosidad (aumenta L*), tonos menos rojizos (disminuye a*) y menos amarillos (disminuye b*) comparadas con las pechugas control sin electro-estimulación. En esta línea, Young et. al (1999) en su estudio en pollos concluían que la electro-estimulación daba lugar a un color más brillante pero con menos intensidad de color rojo en el músculo *Pectoralis major*. Estos resultados corroboran el informe de Warris (2010), que afirmó que el aumento de luminosidad que presentaban las canales estimuladas eléctricamente podría ser debido a la rápida acidificación del músculo causada por la desnaturalización de la proteína, dando lugar a una mayor reflectancia de la luz en la superficie de la carne. En contraposición, Owens y Sams (1997) en su estudio en pavos, indicaban que la ES no tenía efectos en los valores de L* de las pechugas. Maki y Froning (1987) indicaban también que no había diferencias en el valor de L* entre

canales de pavo tratadas con electro-estimulación y canales sin tratar. Froning y Uijttenboogart (1988) observaron valores menores de L* al cabo de 1 hora *post-mortem* en pechugas de pollo comparándolas con pechugas control no tratadas. En bovino, Nazli et al. (2010) indicaron que canales tratadas con electro-estimulación a altos voltajes (500 a 800 V) presentaban carne más luminosa en comparación con canales que no habían sido electro-estimuladas. Los trabajos de Sleper et al. (1983) y Martin et al. (1983) también mostraban mejoras en el color de la carne de bovino cuando era tratada con electro-estimulación, concluyendo que la luminosidad aumentaba con la electro-estimulación. A parte de la luminosidad (L*), en nuestro estudio en pavos la intensidad del color rojo y amarillo disminuye. Según Owens y Sams (1997), el grado de rojo (a*) no se veía afectado por el tratamiento electro-estimulación *post-mortem* en pechugas de pavo. Estos resultados difieren de los estudios de Maki y Froning (1987) y Froning y Uijttenboogart (1988), que indicaban que la intensidad del color rojo-rosado aumentaba en la carne de pavo tratada con electro-estimulación. En esta línea, King et al. (2004) indicaba que la ES con alto voltaje incrementaba la intensidad del amarillo (b*) en el músculo *Longissimus thoracis* en un estudio en ovejas, así como la intensidad del rojo (a*) y del amarillo (b*) en el músculo *Gluteus medius* en corderos.

Atendiendo a las pérdidas de agua por goteo, se observó que la electro-estimulación afectaba a la CRA aumentando las pérdidas de agua por goteo en las pechugas de pavo procedentes de las canales tratadas con electro-estimulación. Den Hertog-Meischke et al. (1997) indicaban que debido al rápido descenso del pH por la ES se producía una reducción de la CRA en la carne de vacuno. Es posible que la caída rápida del pH causada por la electro-estimulación promoviera la

presión osmótica intracelular a un nivel suficiente para permitir la pérdida de CRA por las proteínas musculares (Adeyemi y Sazili, 2014). En esta línea, Henderson et al. (1970) y Gigiel y James (1984) indicaban que la carne de cerdo sufría también alteraciones de pérdidas de agua por goteo tras el tratamiento con electro-estimulación.

En cuanto a las pérdidas por cocinado no se observaron diferencias entre las pechugas de pavo tratadas con electro-estimulación y las control no tratadas. Owens y Sams (1997) también indicaban en su estudio en pechugas de pavo que la electro-estimulación *post-mortem* no provoca diferencias en las pérdidas por cocinado. Estudios anteriores ya indicaban que el tratamiento con electro-estimulación *post-mortem* no afectaba a las pérdidas por cocinado en las pechugas de pavo (Maki y Froning, 1987; Janky y Birkhold, 1989). Esto coincide con la investigación de Davel et al. (2003) en cordero donde no encontraron ningún efecto de la electro-estimulación en las pérdidas por cocinado.

Para la textura no se observaron diferencias entre las pechugas de pavo tratadas con electro-estimulación y las pechugas control. Owens y Sams (1997), en su estudio en pechugas de pavo indicaron que, aunque el metabolismo del músculo se aceleraba, la longitud de los sarcómeros aumentaba y había rotura de fibras para las canales tratadas con electro-estimulación, no afectaba a la resistencia al corte. Esto sugería que la electro-estimulación de alto voltaje producía cambios en los músculos, pero no eran suficientes para afectar a la textura de la carne. Otra posible razón era que la electro-estimulación no afectase a la textura porque la carne de pechuga de pavo ya era tierna por sí misma y pudiera haber poco margen de mejora. Estos hallazgos coincidían con el estudio de Janky y Birkhold (1989), en el

que se apreció que la electro-estimulación tenía poco efecto de mejora en la textura de las pechugas de pavo. En contraposición, Maki y Froning (1987) indicaban que la textura de la carne de pavo tratada con ES mejoraba debido a que disminuía la resistencia al corte con respecto al grupo control no tratado. En esta línea, Kim et al. (2013) indicaban que la electro-estimulación de bajo voltaje no tenía efecto en la textura de la carne de bovino. Del mismo modo, Botha et al. (2009) señalaron que la electro-estimulación a bajo voltaje en avestruz no ofrecía mejoras en la textura de la carne. En contraposición, Castaneda et al. (2005) al investigar el efecto de la electro-estimulación en carne de pollo (450 V, 450 mA, 2x2 s, 7 pulsos/s), encontraron que la ES mejoraba la textura de la carne debido a la rápida pérdida del ATP, la bajada de pH y a la alteración física de la fibra muscular. Chrystall y Devine (1985) comprobaron también que la ES mejoraba la textura de la carne de vacuno. Según Sams (1999), a diferencia del uso de la electro-estimulación *post-mortem* en carnes rojas para reducir la dureza intrínseca de estos tipos de carnes, la aplicación de la electro-estimulación en aves de corral consistía en reducir el endurecimiento que se produce cuando la carne se deshuesa antes de que se haya alcanzado el *rigor mortis*. El objetivo que se perseguía con esta técnica era reducir el tiempo de maduración, acelerando el *rigor mortis*, y poder llevar a cabo el deshuesado en una fase más temprana. Zocchi y Sams (1996) indicaban que la electro-estimulación podía reducir la maduración por el equivalente de 4 a 8 horas en un 50%.

En cuanto a los niveles de desangrado, en nuestro estudio no se observaron diferencias significativas entre las pechugas, contramuslos y alas de pavo que habían sido sometidas a la electro-estimulación y las control no tratadas con electro-estimulación. Craig et al. (1999)

tampoco encontraron diferencias significativas entre las pérdidas de sangre de los pollos sometidos a electro-estimulación *post-mortem* y los pollos sin dicho tratamiento. El efecto del latido cardiaco en el desangrado del animal no está claro. Hay informes que muestran niveles similares de desangrado independientemente de si el corazón late o no (Warris, 1984). Gregory y Wilkins (1993) comprobaron que, aunque la cantidad inicial de sangre evacuada era menor cuando el corazón estaba parado, la cantidad final de sangre perdida en aves no disminuía de forma significativa.

7.5 CONCLUSIONES

La electro-estimulación *post-mortem* produjo mejoras en el pH, ya que se aceleró el proceso de *rigor mortis*, y en el color, dando lugar a una carne con más luminosidad y menor índice de rojos. Sin embargo, la electro-estimulación *post-mortem* presentó desventajas en cuanto al índice de amarillos, que disminuyó, y en la CRA, ya que con dicho tratamiento aumentaron las pérdidas de agua por goteo. En cuanto a la obtención de un correcto desangrado, la electro-estimulación *post-mortem* parece no disminuir la presencia de restos sangre en ninguna de las tres piezas comerciales analizadas (pechugas, contramuslos y alas de pavo).

CAPÍTULO V

8. CAPÍTULO V: Efecto del tiempo de desangrado en la calidad de la carne de pavo

8.1 INTRODUCCIÓN

Las etapas iniciales del procesado de aves de corral, especialmente el aturdimiento, el corte de los vasos sanguíneos del cuello y el desangrado, son importantes en la producción de este tipo de carne para el consumo humano. La presencia de sangre en la carne de ave representa un defecto de calidad y, por lo tanto, para optimizar la calidad de la canal, es necesario un desangrado adecuado (Ali et al., 2007).

Un desangrado rápido del animal durante el proceso de sacrificio es importante por diferentes de razones. Por una parte, se asegura el inicio rápido de la hipoxia cerebral, que tiene implicaciones en la calidad de la carne (Lawrie, 1991). También se facilita la recolección de sangre para la venta como subproducto. Las aves que no se desangren correctamente pueden ser rechazadas por el exceso de sangre en la canal o en algunas partes de la misma (Harris y Carter, 1976; Gregory y Wilkins, 1989; Fletcher, 1993). Además, un desangrado adecuado disminuye la cantidad de sangre que se difunde de cada canal hacia el agua del escaldador, aumenta la posibilidad de maximizar la recolección de sangre para fines de reciclado y, por tanto, disminuye el coste del tratamiento de las aguas residuales de las plantas para reducir su carga orgánica (Kuenzel y Ingling, 1977).

Para conseguir un buen desangrado es esencial que las arterias carótidas y las venas yugulares se corten tan pronto como sea posible después del aturdimiento con el fin de ayudar a desangrar rápidamente y, provocar la muerte. El instrumento utilizado para realizar el sacrificio debe ser extremadamente afilado para facilitar un corte

rápido de los vasos sanguíneos (Ali et al., 2007). Fletcher (1999), señaló que el aturdimiento, el corte del cuello y el desangrado deben ser considerados como un proceso de sacrificio continuo y no como pasos distintos.

Un objetivo principal de las plantas de procesamiento es reducir los defectos de la carne y de la canal y optimizar el desangrado de las aves de corral, ya que implica una mejora de calidad de la carne durante su almacenamiento (Scott, 1978).

En el apartado 3.1 de la presente tesis ya se comentó que la problemática de presencia de sangre residual se encontraba de forma más pronunciada en el caso de los pavos machos grandes que en los pavos machos pequeños o en los pavos hembras.

El objetivo del estudio realizado en este capítulo fue analizar, en una población de pavos machos grandes, el efecto del aumento del tiempo de desangrado en los parámetros de calidad de la carne de pechuga (pH, color, textura, pérdidas por goteo y pérdidas por cocinado), en la evolución de dichos parámetros de calidad a lo largo de la maduración de la carne y en la cantidad de sangre residual de las principales piezas de la canal (pechugas, contramuslos y alas).

8.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron 53 canales de pavos machos grandes. Durante el faenado de 28 de las canales de esta población, el tiempo de desangrado tuvo una duración de 6 min y 30 s, mientras que en manejo *post-mortem* de las 25 restantes, la etapa de desangrado tuvo una duración estándar (2 min y 30 s).

Una vez las canales estuvieron faenadas, se procedió a la determinación de los siguientes parámetros de calidad de la carne utilizando las técnicas descritas en el apartado 3.5.2.: el pH y el color de la pechuga derecha a los 20 min *post-mortem*, previo a la refrigeración de la canal y el pH, el color, la textura, las pérdidas por goteo, las pérdidas por cocinado de la misma pechuga tras la refrigeración de la canal a las 24 horas y a los 7 días *post-mortem*.

Finalmente, al objeto de analizar el contenido de sangre residual se separaron las pechugas, contramuslos y alas izquierdas de las canales. Para puntuar dichas piezas se utilizaron los criterios de referencia descritos en el apartado 3.5.3.

Los resultados se analizaron siguiendo la metodología estadística descrita en el apartado 3.6.

8.3 RESULTADOS

8.3.1 pH

Los valores de pH de las pechugas procedentes de las canales sometidas a un aumento en el tiempo de desangrado y de la población control (tiempo estándar de desangrado), en diferentes momentos de la maduración de la carne, se muestran en la Tabla 19.

El hecho de aumentar el tiempo de desangrado (G) no afectó de forma significativa al valor del pH de las pechugas ($P > 0,05$). Sin embargo, como era de esperar, el tiempo de maduración de la carne (T) sí afectó de forma muy significativa ($P < 0,001$) al pH de las pechugas. Los valores medios de pH fueron 6,23, 5,91 y 5,89 a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*, respectivamente. Entre los 20 min y 24 horas *post-mortem* se observó un descenso en el pH, mientras que entre 24

horas y 7 días *post-mortem* los valores de pH se mantuvieron constantes.

Tabla 19. Efecto del aumento del tiempo de desangrado en el pH de las pechugas

Variable	Grupo	Maduración			SEM	P-valor		
		20 min	24 h	7 d		G	T	G*T
pH	Control	6,25 ^a	5,93 ^a	5,88 ^a	0,014	ns	***	ns
	Mayor tiempo desangrado	6,20 ^a	5,89 ^a	5,90 ^a				

ns: no significativo; + $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$;

^{a-b}Medias mínimo-cuadráticas seguidas de diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma columna ($P < 0,05$).

SEM = Error Estándar de la Media; G = tratamiento post-sacrificio; T = tiempo de maduración.

8.3.2 Color

Los valores de las variables cromáticas de las pechugas en los pavos sometidos a mayor tiempo de desangrado y en los pavos control, en diferentes momentos de la maduración de la carne se muestran en la Tabla 20.

Los valores de las coordenadas del color oscilaron desde 39,70 a 51,41 para L*, -2,12 a -1,12 en a* y de 0,84 a 5,69 para b*.

En la Tabla 20 se observa que existieron diferencias muy significativas ($P < 0,001$) en las coordenadas del color L* y b* comparando las pechugas fueron tratadas aumentando el tiempo de desangrado y las pechugas de la población control. En el caso de las pechugas que fueron tratadas con un mayor tiempo de desangrado el valor medio de L* fue 46,98 y de b* 2,32. En el caso de las pechugas de la población control, el valor medio de L* fue 43,74 y de b* 4,27.

Atendiendo al grado de maduración de la carne, los parámetros de color también se vieron influenciados de forma significativa en las

coordenadas L* ($P < 0,001$) y b* ($P < 0,01$). Los valores medios de L* fueron, 39,70; 47,72 y 48,65, a 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem*, respectivamente. Hubo un incremento de la luminosidad con la maduración de la carne. En el caso de la coordenada b*, los valores medios a los 20 min, 24 horas y 7 días *post-mortem* fueron 2,71; 3,91 y 3,27, respectivamente. La coordenada b* aumentó en las primeras 24 horas *post-mortem*, por tanto la carne se tornó más amarilla.

Por último, analizando cómo afectó al color de la pechuga la relación entre el aumento de tiempo de desangrado y la maduración de la carne (G*T) se observaron diferencias muy significativas ($P < 0,001$) en todas las coordenadas del color L*, a* y b*. El tiempo de desangrado afectó de manera diferente según el momento de la maduración.

Tabla 20. Efecto del aumento del tiempo de desangrado en el color de las pechugas

Variable	Grupo	Maduración			SEM	P-valor		
		20 min	24 h	7 d		G	T	G*T
L*	Control	39,71 ^a	45,62 ^b	45,89 ^b	0,319	***	***	***
	Mayor tiempo desangrado	39,70 ^a	49,83 ^a	51,41 ^a				
a*	Control	-1,43 ^b	-1,68 ^a	-2,12 ^b	0,057	*	+	***
	Mayor tiempo desangrado	-1,46 ^b	-1,85 ^a	-1,12 ^a				
b*	Control	2,06 ^a	5,07 ^a	5,69 ^a	0,183	***	**	***
	Mayor tiempo desangrado	3,36 ^a	2,75 ^b	0,84 ^b				

ns: no significativo; + $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$;

^{a-b}Medias mínimo-cuadráticas seguidas de diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma columna ($P < 0,05$).

SEM = Error Estándar de la Media; G = tratamiento post-sacrificio; T = tiempo de maduración.

8.3.3 Pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura

Los valores de pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura de la carne de pechuga de los pavos que fueron sometidos a mayor tiempo de desangrado y las pechugas controles, en diferentes momentos de la maduración de la carne, se muestran en la Tabla 21.

En los parámetros de pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura no se observaron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las pechugas de animales que habían sido sometidos a mayor tiempo de desangrado y las del grupo control. Sin embargo, atendiendo al grado de maduración de la carne sí existieron diferencias significativas ($P < 0,001$) en las pérdidas por goteo y en la textura. En el caso de las pérdidas por goteo, el valor medio fue de 0,825 y 1,04 a las 24 horas y 7 días *post-mortem*, respectivamente. Se observó un incremento en las pérdidas por goteo a medida que aumentaba el grado de maduración de la carne.

En el caso de la textura, el valor medio fue de 3,72 y 2,69 kg/cm² a las 24 horas y 7 días *post-mortem*, respectivamente. Como cabía esperar para este parámetro de calidad, a medida que aumentó el grado de maduración de la carne, disminuyó el valor de la resistencia al corte, es decir, la carne resultó más tierna.

Por último, analizando la relación entre el aumento del tiempo de desangrado y el grado de maduración de la carne (G*T) se observaron diferencias muy significativas ($P < 0,001$) en las pérdidas por goteo y diferencias ligeramente significativa ($P < 0,05$) en las pérdidas por cocinado.

Tabla 21. Efecto del aumento del tiempo de desangrado en las pérdidas por goteo, pérdidas por cocinado y textura de las pechugas

Variable	Grupo	Maduración		SEM	P-valor		
		24 h	7 d		G	T	G*T
Pérdidas goteo (%)	Control	0,90 ^b	0,91 ^b	0,027	ns	***	***
	Mayor tiempo desangrado	0,75 ^b	1,17 ^a				
Pérdidas cocinado (%)	Control	13,88 ^a	14,46 ^a	0,690	+	+	*
	Mayor tiempo desangrado	19,51 ^a	14,05 ^a				
Textura (kg/cm ²)	Control	3,83 ^a	2,78 ^a	0,061	+	***	ns
	Mayor tiempo desangrado	3,60 ^a	2,60 ^a				

ns: no significativo; + $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$;

^{a-b}Medias mínimo-cuadráticas seguidas de diferente superíndice indican diferencias estadísticamente significativas dentro de la misma columna ($P < 0,05$).

SEM = Error Estándar de la Media; G = tratamiento post-sacrificio; T = tiempo de maduración.

8.3.4 Contenido en sangre residual

Los resultados del contenido en sangre residual en las venas principales de pechugas, contramuslos y alas de pavos machos grandes (con mayor tiempo de desangrado y controles con tiempo de desangrado estándar) se muestran en las Figuras 15, 16 y 17 y las Tablas 22, 24 y 26.

8.3.4.1 Pechugas

En la Tabla 22 se muestran los resultados del nivel de desangrado de las pechugas procedentes de animales que habían sido tratados con un mayor tiempo de desangrado y las pechugas de la población control.

Atendiendo a los resultados procedentes del aumento en el tiempo de la fase de desangrado, la mayor parte de las pechugas presentaron una puntuación de 1 (50%), mientras que la puntuación 4 fue la que tuvo menor representación (3,6%).

En el caso de la población control se observó que la mayor parte de las pechugas se encontraron también en la puntuación 1 (60,7%). En los niveles de desangrado de los extremos, 0 y 4, no hubo ninguna pechuga (0%). Esto también se vio reflejado en el porcentaje de pechugas dentro de la misma puntuación, ya que en los niveles de desangrado 0 y 4 no hubo pechugas que presentaran estas puntuaciones en el grupo de la población control. En el resto de puntuaciones 1-3 el porcentaje de pechugas fue ligeramente superior en la población control frente a la población sometida a mayor tiempo de desangrado.

A la vista de estos resultados, se puede decir que no existieron diferencias significativas en el desangrado de las pechugas ($P>0,05$) (Tabla 23) dependiendo de la duración de la fase de desangrado.

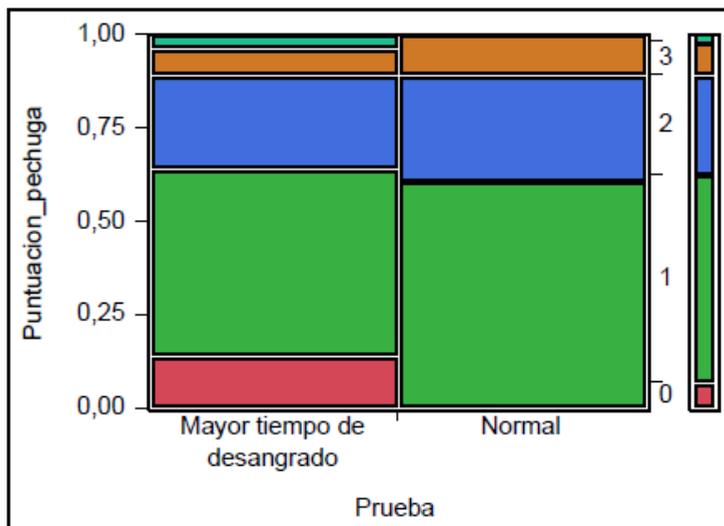


Figura 15. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de pechugas en condiciones normales y pechugas procedentes de canales con mayor tiempo de desangrado

Tabla 22. Tabla de contingencia del efecto del aumento del tiempo de desangrado en el contenido de sangre residual de las pechugas

Grupo	Probabilidad	Puntuación Pechugas				
		0	1	2	3	4
Control	n	0	17	8	3	0
	Dentro del grupo (%)	0	60,7	28,6	10,7	0
	Dentro de la puntuación (%)	0	54,8	53,3	60,0	0
Mayor tiempo desangrado	n	4	14	7	2	1
	Dentro del grupo (%)	14,3	50,0	25,0	7,1	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	100,0	45,2	46,7	40,0	100,0

Tabla 23. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en pechugas con tratamiento de mayor tiempo de desangrado vs condiciones estándar

Test	Estadístico	P-valor
Test exacto de Fisher	7,490	0,112
Test χ^2 de Pearson	5,557	0,230

8.3.4.2 Contramuslos

Los resultados del nivel de desangrado en contramuslos procedentes de la población sometida a mayor tiempo de desangrado y de la población control se muestran en la Tabla 24.

En el grupo sometido a tratamiento, la puntuación 1 fue la que tuvo mayor representación en el desangrado de los contramuslos (42,9%), mientras que la puntuación 4 fue la que tuvo menor representación (3,6%).

Atendiendo a la población control, el nivel de desangrado 2 fue en el que se clasificaron mayor número de contramuslos (42,9%), mientras que las puntuaciones 0 y 4 fueron las que tuvieron menor representación (7,1%).

En la Tabla 24 también se observa que el porcentaje de contramuslos en los niveles de desangrado 0 y 1 fue mayor en el grupo en el que se aumentó el tiempo de desangrado. Sin embargo, para las puntuaciones 2-4 el porcentaje de contramuslos con dicho nivel de desangrado fue mayor en el caso de la población control.

Estos resultados parecían indicar que el aumento del tiempo de desangrado tuvo un efecto positivo en el nivel de desangrado del

contramuslo. Sin embargo, el resultado de los test de contraste ($P>0,05$) indicó que estas diferencias no fueron significativas (Tabla 25).

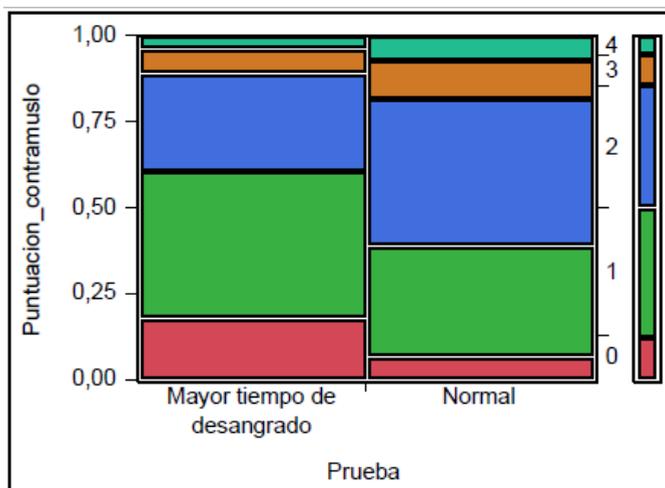


Figura 16. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de contramuslos en condiciones normales y contramuslos procedentes de canales con mayor tiempo de desangrado

Tabla 24. Tabla de contingencia del efecto del aumento del tiempo de desangrado en el contenido de sangre residual de los contramuslos

Grupo	Probabilidad	Puntuación Contramuslos				
		0	1	2	3	4
Control	n	2	9	12	3	2
	Dentro del grupo (%)	7,1	32,1	42,9	10,7	7,1
	Dentro de la puntuación (%)	28,6	42,9	60,0	60,0	66,7
Mayor tiempo desangrado	n	5	12	8	2	1
	Dentro del grupo (%)	17,9	42,9	28,6	7,1	3,6

	Dentro de la puntuación (%)	71,4	57,1	40,0	40,0	33,3
--	------------------------------------	------	------	------	------	------

Tabla 25. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en contramuslos con tratamiento de mayor tiempo de desangrado vs condiciones estándar

Test	Estadístico	P-valor
Test exacto de Fisher	<u>3,105</u>	<u>0,540</u>
Test χ^2 de Pearson	<u>3,048</u>	<u>0,550</u>

8.3.4.3 Alas

Los resultados del nivel de desangrado en alas procedentes de la población sometida a mayor tiempo de desangrado y de la población control se muestran en la Tabla 26.

Atendiendo a la población en la que se aumentó el tiempo de desangrado, la puntuación 1 es la que tuvo mayor representación en el desangrado de las alas (60,7%).

En el caso de la población control, el nivel de desangrado 2 fue el que tuvo mayor representación en las alas (46,4%).

En la Tabla 26 también se observa que el porcentaje de alas dentro de la puntuación está repartido de forma muy similar entre la población tratada con mayor tiempo de desangrado y la población control.

Estos resultados de nuevo parecían indicar que el aumento del tiempo de desangrado favoreció el nivel de desangrado de las alas. Sin embargo, los test de contraste ($P > 0,05$) indicaron que estas diferencias no eran significativas (Tabla 27).

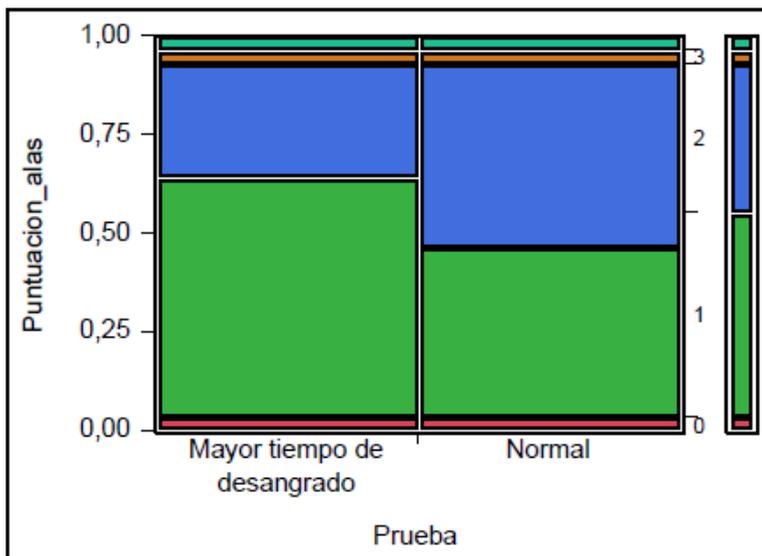


Figura 17. Gráfico de mosaico con las puntuaciones del contenido en sangre de alas en condiciones normales y alas procedentes de canales con mayor tiempo de desangrado

Tabla 26. Tabla de contingencia del efecto del aumento del tiempo de desangrado en el contenido de sangre residual en alas

Grupo	Probabilidad	Puntuación Alas				
		0	1	2	3	4
Control	n	1	12	13	1	1
	Dentro del grupo (%)	3,6	42,8	46,4	3,6	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	50,0	41,4	61,9	50,0	50,0
Mayor tiempo desangrado	n	1	17	8	1	1
	Dentro del grupo (%)	3,6	60,7	28,5	3,6	3,6
	Dentro de la puntuación (%)	50,0	58,6	38,1	50,0	50,0

Tabla 27. Resultados de los test de contraste para el análisis del contenido en sangre residual en alas con tratamiento de mayor tiempo de desangrado vs condiciones estándar

Test	Estadístico	p-valor
Test exacto de Fisher	2,068	0,723
Test χ^2 de Pearson	2,053	0,726

8.4 DISCUSIÓN

Un desangrado inadecuado de la canal conlleva problemas de calidad en la carne de pavo. La técnica de aturdimiento puede tener efectos en la eficacia del desangrado (Patterson, 2015). Aunque hay estudios en pollos que han demostrado que la pérdida inicial de sangre se veía afectada por el tipo de aturdimiento utilizado, la pérdida total de sangre después de un período de exanguinación de 90-120 s no variaba en el caso de los métodos de aturdimiento eléctrico de baja tensión y de alta tensión, populares en la Unión Europea (Gregory y Wilkins, 1993; Papinaho y Fletcher, 1995). En esta línea, Kuenzel y Ingling, 1978 analizaron en pollos cómo afectaba la extensión del tiempo de desangrado de 60 a 90 s en diferentes tipos de aturdimiento eléctrico con corriente alterna (AC) y con corriente directa (DC) y con diferentes parámetros de frecuencia e intensidad. En este estudio observaron que en el caso del aturdimiento con corriente directa (DC) era necesario aumentar el tiempo de desangrado a 90 s o más, debido a que la liberación de sangre en este tipo de aturdimiento era más lenta. En la última década, el uso del aturdimiento gaseoso por CO₂ se ha convertido en una alternativa generalizada. Al comparar el aturdimiento eléctrico y el aturdimiento gaseoso Alvarado et al. (2007) determinaron que la concentración de hemoglobina en la

pechuga de pollo era menor en las aves aturdidas con gas CO₂ que en aves sometidas a aturdimiento eléctrico de baja tensión, aunque la diferencia no era estadísticamente significativa. Esta pequeña diferencia en el contenido de hemoglobina puede explicarse por la falta de fuerza disponible para expulsar sangre de los capilares musculares después de una caída rápida de la presión sanguínea debido a la exanguinación (Alvarado et al., 2007). Los resultados de todos los estudios mencionados nos inducen a pensar que dependiendo del tipo de aturdimiento la duración de la fase de desangrado debe de ser diferente.

En cuanto a la calidad de la carne, atendiendo al pH, en el presente estudio se observó que la duración del tiempo de la fase de desangrado no afectó de forma significativa al pH final de la carne. Patterson (2015) analizó, en pechugas de pavo, cómo afectaba al pH de la carne el tiempo entre el aturdimiento y el sacrificio. El resultado fue que el pH final aumentaba a medida que aumentaba el tiempo entre el aturdimiento y el sacrificio.

En cuanto al color, los resultados mostraron que el aumento en el tiempo de la fase de desangrado afectó a los parámetros L* y b*, aumentando la luminosidad y disminuyendo los tonos amarillos de la carne de pechuga de pavo. Patterson (2015) en su estudio en pavos analizó como afectaba el tiempo entre el aturdimiento y el sacrificio en el color de las pechugas y determinó que a medida que aumentaba dicho tiempo, aumentaba el valor de a*. Una posible explicación a este hecho era que el desangrado resultase ineficiente a medida que aumentaba el tiempo entre el aturdimiento y el sacrificio. Raj, et al. (1990) demostraron que los valores de color a* (tonos rojizos) eran mayores en las aves que habían sido sometidas a aturdimiento eléctrico en comparación con el aturdimiento gaseoso. Una posible

explicación a los valores altos del parámetro del color a* podrían deberse a hemorragias en el músculo como consecuencia de un método de aturdimiento traumático.

La relación entre el tiempo de desangrado y la CRA y textura no ha sido descrita previamente en pavos ni otras especies.

En nuestro estudio se comparó el nivel de desangrado de canales de pavos que habían sido sometidas a un aturdimiento por CO₂ a dos tiempos diferentes de desangrado (2 min 30 s la población control y 6 min 30 s la población de prueba). Los resultados de esta prueba indicaron que el tiempo de desangrado no afectaba de forma significativa al contenido residual de sangre en la canal de pavo. En línea con estos resultados, Khalid et al., (2015) en un estudio con corderos indicaban que no había diferencias significativas en la cantidad de sangre espulsada de los animales en función del tiempo de desangrado. En su estudio analizaron el desangrado tras 3 y 4 min, no observándose diferencias significativas. La mayoría de la sangre se perdía en los primeros 2 min y demostraban que, de acuerdo con estudios previos (Hopkins et al., 2006; Kirton et al., 1981), el desangrado de los corderos durante la exanguinación se completaba en 2 min. Por tanto, desde la perspectiva de un matadero de corderos, no existía la necesidad de aumentar el tiempo de sangrado (Khalid et al., 2015). Mohan et al. (1990) analizaron en pollos el tiempo de desangrado comparando el método de aturdimiento con CO₂ y el aturdimiento eléctrico. Para ello, establecieron alargar el tiempo de desangrado aproximadamente 35 s, analizando el resultado tras 120 y 155 s de sangrado. Los resultados sugerían que el desangrado con el método de aturdimiento por CO₂ era ligeramente menos eficiente, ya que resultó en un mayor contenido de hemoglobina muscular.

8.5 CONCLUSIONES

En general se podría concluir que el aumento del tiempo de desangrado solo afectó al color de las pechugas (L^* y b^*). Con dicho tratamiento aumentó la luminosidad (L^*) y disminuyó el color amarillo (b^*). Por tanto, el resultado fue una carne más luminosa y de color menos amarillo. Atendiendo a los parámetros de pH, pérdidas de agua por goteo, pérdidas por cocinado, textura y niveles de desangrado de pechugas, contramuslos y alas, no se observaron diferencias significativas asociadas al tiempo de desangrado de la canal. Si bien, el aumento del tiempo de desangrado mejoró los resultados en la clasificación de contramuslos y alas, éstos no fueron estadísticamente significativos. Por tanto, se puede concluir que el aumento del tiempo de desangrado no presentó ventajas a nivel de desangrado y a nivel de calidad de carne solo afectaron al color.

DISCUSIÓN GENERAL

9. DISCUSIÓN GENERAL

Las concentraciones altas de CO₂ durante el aturdimiento pueden derivar en un estado hipercápnico que resulta en una perturbación respiratoria (Coenen et al., 2009). Esto puede conllevar convulsiones de los animales durante el aturdimiento, de manera que aumenta la tasa metabólica de los músculos. El valor más bajo de pH se observó en el tratamiento G2 (aturdimiento con concentración fija de CO₂) en el primero de los estudios llevados a cabo en la presente tesis. El lactato se produce durante el movimiento muscular y conduce a una rápida disminución del pH en animales (Nowak, et al., 2007). Esta relación entre la actividad muscular y la tasa metabólica Gerritzen et al. (2000) daría explicación a los resultados obtenidos.

Atendiendo al color, Xu et al. (2011) indicaban que la luminosidad (L*) disminuía en aves de corral que habían sido aturcidas con menores concentraciones de CO₂. En cuanto al sexo, las hembras presentaban carne con tonalidades más oscuras que los machos debido a su mayor precocidad sexual (Sañudo et al., 1998). El efecto del sexo en el color de la carne probablemente también está relacionado con el contenido en grasa, ya que las hembras poseen más cantidad de grasa que los machos (Fanatico et al., 2005).

En la CRA, la correlación encontrada entre el pH y las pérdidas por cocinado a las 24 horas en el primero de los trabajos realizados coincide con los resultados del estudio de Botha et al. (2006). En este estudio se indicaba que a medida que el pH disminuía con la maduración de la carne, las pérdidas de agua por cocinado aumentaban.

En los resultados del segundo de los trabajos para el pH se observó que los pavos sacrificados con 15 semanas presentaron valores ligeramente inferiores de pH en comparación con los pavos sacrificados con 17 semanas. Hay autores que muestran resultados contrarios como Sarica et al. (2011) en pavos, Yamak et al. (2016) en perdices, Schneider et al. (2012) y Santiago H. (2002) en pollos. Otros autores como, Jassim et al. (2011) no observaron una relación entre la edad de sacrificio y el valor de pH en patos. Atendiendo al aturdimiento, el tratamiento G1 presentó valores mayores de pH que G2. Algunos autores indicaron que no había relación entre la concentración de CO₂ utilizada en el aturdimiento y el pH en pollos (Kang and Sams 1999). No obstante, los valores de pH obtenidos en nuestro segundo estudio estuvieron dentro del rango normal de pH en carne de pavo. Atendiendo a la evolución del pH de la carne se observó que el pH disminuyó de forma brusca durante las primeras 24 horas *post-mortem* y después se estabilizó a lo largo de la vida útil de la carne. La bajada de pH durante la progresión del *rigor mortis* tiene lugar debido a la presencia cada vez mayor de ácido láctico en el músculo. Estos resultados coinciden con el estudio de Sante et al. (1996) y Mehaffey et al. (2006) en pollos.

El color también resultó afectado por la edad de sacrificio. A medida que aumentaba la edad de sacrificio, aumentó la intensidad del color rojo y disminuyó la de color amarillo. Esto coincidió con los estudios de otros autores como Mugler et al. (1970) y Castellini et al (2002) en pollos y Yamak et al. (2016) en perdices. La carne procedente de los animales sacrificados con más edad podía resultar más oscura debido a que los niveles de mioglobina aumentaron con la edad (Fletcher et al. 2002). Otros estudios mostraron resultados contrarios, como el de Schneider et al. (2012) y Santiago. (2002) en pollos. Otros autores

indicaron que no había una relación significativa entre el color de la carne y la edad de sacrificio (Smith et al. (2002) y Jassim et al (2011) en patos. En cuanto al tipo de aturdimiento, el método G1 dio como resultado pechugas con un color rojizo más intenso a* y más amarillas b*. Kang y Sams (1999) mostraron resultados contrarios en pollos.

En la CRA, los animales sacrificados con 15 semanas presentaron mayor CRA, que los pavos sacrificados con 17 semanas. Northcutt et al. (1994) indicaron que los cambios relacionados con la edad y la CRA podrían ser el resultado de alteraciones en las isoformas de proteínas musculares que tienen lugar durante la maduración. Sin embargo, en su estudio en pollos el resultado en cuanto a pérdidas por goteo era contrario al nuestro. La falta de una tendencia sólida entre la edad y la relación con parámetros de calidad de la carne indica que pueden existir otros elementos, distintos de los considerados en el presente estudio, que podrían estar afectando a este proceso.

La caracterización de los distintos tipos comerciales de carne de pavo es el tercero de los estudios llevados a cabo en esta tesis. Las propiedades físico-químicas de la carne de ave han sido muy estudiadas principalmente con el fin de analizar el papel de variables tales como la raza (genética), dietas, edad y sexo en la composición y valor nutritivo, que afectan a la calidad de la carne (Fremery, 1966; Acton, 1973; Evans et al., 1976; Cunningham et al., 1977; Farrell, 1991; Smith, et al., 1993; Xiong et al., 1993). En nuestro estudio, se analizó la correlación entre la edad de sacrificio y el sexo en la composición físico-química de la carne.

Comparando nuestros resultados con los estudios de Qiao et al., 2002, Li et al., 2014 y Çelen et al. 2016 se observó que la composición físico-química de la carne se veía afectada por defectos de calidad

como son las carnes PSE y DFD; Sin embargo, los resultados de nuestro estudio coincidían con los resultados de las carnes sin defectos de calidad.

Atendiendo a la edad de sacrificio, el contenido en proteínas en machos grandes era mayor que en el caso de los machos pequeños. En esta línea, Majumdar et al., 2005 indicaban que a medida que aumentaba la edad de sacrificio aumentaban también las proteínas del tejido conectivo, particularmente el colágeno.

La bajada de pH en las canales tratadas con electro-estimulación a los 20 min *post-mortem* en la cuarta de las experiencias desarrolladas en esta tesis fue consecuencia de la electro-estimulación, ya que la descarga eléctrica acelera la glucólisis *post-mortem* resultando en una bajada del pH mediante el agotamiento rápido del glucógeno muscular (Hwang et al., 2003; Simmons et al., 2008; Castigliero et al., 2012). Young et al. (1999), en un estudio realizado en pollos, indicaba que el pH final de las pechugas era similar en canales tratadas con electro-estimulación que en las canales sin tratar, la diferencia estaba en que las canales sin tratar tardaban más tiempo en llegar al pH final. Los mismos resultados se obtuvieron en nuestro estudio en pavos.

Atendiendo al color, Young et. Al (1999) en su trabajo en pollos concluye que la electro-estimulación daba lugar a un color más brillante pero con menos intensidad de color rojo en el músculo *Pectoralis major*. Estos resultados estaban en la misma línea del estudio de Warris (2010), que afirmó que el aumento de luminosidad que presentaban las canales estimuladas eléctricamente podía ser debido a la rápida acidificación del músculo causada por la

desnaturalización de la proteína, dando lugar a una mayor reflectancia de la luz en la superficie de la carne.

Para la CRA, Den Hertog-Meischke et al. (1997) indicaron que debido al rápido descenso del pH por la electro-estimulación se producía una reducción de la CRA en la carne de vacuno. Es posible que la caída rápida del pH causada por la electro-estimulación promoviera la presión osmótica intracelular a un nivel suficiente para permitir la pérdida de capacidad de retención de agua por las proteínas musculares (Adeyemi y Sazili, 2014).

En el desangrado, Craig et al. (1999) indicaron que no había diferencias significativas entre las pérdidas de sangre de los pollos sometidos a electro-estimulación *post-mortem* y los pollos sin dicho tratamiento.

La evolución del color de la carne aumentando el tiempo de desangrado como se ha realizado en el quinto análisis de esta tesis, no ha sido analizada por otros autores. Otros estudios en este ámbito indicaron que al aumentar el tiempo entre el aturdimiento y el sacrificio en pavos aumentaba el valor de a^* (tonos rojizos) (Patterson, 2015). En pollos, Raj, et al. (1990) indicaron que los valores de color a^* eran mayores en las aves que habían sido sometidas a aturdimiento eléctrico en comparación con el aturdimiento gaseoso, debido a posibles hemorragias en el músculo como consecuencia de un método de aturdimiento traumático.

La relación entre el tiempo de desangrado y la CRA y textura no ha sido descrita previamente en pavos ni otras especies. El aumento del tiempo de desangrado no afectó de forma significativa en el contenido

de sangre residual de las canales de pavo. Khalid et al., (2015) en un estudio con corderos también indicaron que no había diferencias significativas en el desangrado de los animales en función del tiempo de desangrado. Mohan et al. (1990) al comparar el aumento del tiempo de desangrado entre el método de aturdimiento con CO₂ y el aturdimiento eléctrico observaron que el desangrado con el método de aturdimiento por CO₂ era ligeramente menos eficiente que el aturdimiento eléctrico, ya que resultó en un mayor contenido de hemoglobina muscular.

CONCLUSIONES
GENERALES

10. CONCLUSIONES GENERALES.

CAPITULO I

El tratamiento G2 (concentración fija de CO₂) influyó de forma negativa al valor de pH y al color de las pechugas de pavo. Sin embargo, este método de aturdimiento afectó de forma positiva a los parámetros de CRA. Los pavos hembras tuvieron mejores resultados que los machos para el pH, y el color de las pechugas de pavo hembra eran menos amarilla que la de los machos.

CAPITULO II

El tratamiento G2 (concentración fija de CO₂) afectó de forma negativa al valor de pH y al color de las pechugas de pavo. Sin embargo, este método de aturdimiento ejerció un efecto positivo en los parámetros de CRA. Atendiendo a la edad de sacrificio, los resultados sugirieron que los animales sacrificados con 15 semanas presentaban mejor calidad de carne (no había cambios relevantes en el pH y en la textura) pero la carne era menos oscura y presentaba menos pérdidas por goteo y por cocinado que la de los pavos sacrificados con 17 semanas.

CAPITULO III

En el estudio de la composición físico-química de la carne de pavo se observó que tanto el sexo como la edad de sacrificio afectaban al contenido de humedad, cenizas, proteínas y grasa.

La humedad aumentaba con la edad de sacrificio mientras que las cenizas disminuían con la edad de sacrificio. En el caso de la grasa afectaba el sexo del animal encontrándose los valores más altos en las hembras. Atendiendo al contenido de proteínas,-+ tanto la edad de

sacrificio como el sexo del animal afectaban al porcentaje final de proteínas de la carne.

CAPITULO IV

La electro-estimulación *post-mortem* presentó mejoras en el pH, ya que se aceleraba el proceso de *rigor mortis*, y en el color, resultando una carne con más luminosidad. Sin embargo, la electro-estimulación *post-mortem* presentó desventajas en la CRA, ya que con dicho tratamiento aumentaron las pérdidas de agua por goteo.

CAPITULO V

El aumento del tiempo de desangrado solo afectó al color de las pechugas (L* y b*). Con dicho tratamiento el resultado fue una carne más luminosa y de color menos amarillo. En cuanto al contenido residual de sangre, se puede concluir que el aumento del tiempo de desangrado no presentó ventajas a nivel de desangrado.

GENERAL

Los resultados indican por tanto que el método de aturdimiento, el sexo, la edad de sacrificio y la electro-estimulación *post-mortem* afectan a parámetros de calidad de la carne, principalmente al pH, color y capacidad de retención de agua. Sin embargo, el aumento del tiempo de desangrado no afecta de forma tan significativa en la calidad final de la carne de pavo.

BIBLIOGRAFÍA

11. BIBLIOGRAFIA

Abeyesinghe S.M., McKeegan D.E.F., McLeman M.A., Lowe J.C., Demmers T.G.M., White R.P., Kranen R.W., Van Bommel H., Lankhaar J.A.C. y Wathes C.M. (2007) Controlled atmosphere stunning of broiler chickens. I. Effects on behaviour, physiology and meat quality in a pilot scale system at a processing plant, *Br. Poult. Sci.*, 48(4): 406-423.

Abdel-Rahman M.A. (2005) Study on the effect of stocking density and floor space allowance on behaviour, health and productivity of turkey broilers. *Assiut. Vet. Med. J.*, 51(104): 1-13.

Acton J.C. (1973) Composition and properties of extruded, texturized poultry meat. *J. Food Sci.*, 38: 571-574.

Adeyemi K.D. y Sazili A.Q. (2014) Efficacy of Carcass Electrical Stimulation in Meat Quality Enhancement: A Review. *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, 27(3): 447-456.

Ali, A.S.A., Lawson M.A, Tauson A.H, Jesen J.F. y Chwalibog A. (2007) Influence of electrical stunning voltages on bleed out and carcass quality in slaughtered broiler chickens. *Arch.Geflügelk.*, 71 (1): 35-40.

Alvarado C., Richards M., O'Keefe S., y Wang H. (2007) The effect of blood removal on oxidation and shelf life of broiler breast meat. *Poult. Sci.*, 86(1): 156-161.

Appleby M.C., Mench J.A., y Hughes B.O. (2004) Poultry behaviour and welfare. Wallingford, U.K.: CABI Publishing. Pp. 193.

Aviagen Turkeys. Disponible en: <http://www.aviagenturkeys.com/es-es/products/b-u-t-premium> (Fecha de consulta: 15/5/2014).

Bailey A. J. y Robins S. P. (1976) Sci. Prog. Oxford, n° 63. Pp. 419.

Balph D.F., Innis G.S., y Balph M.H. (1980) Kin selection in Rio Grande Turkeys: A critical assessment. The Auk. Am. Ornith. Soc., 97: 854-860.

Barbut S. (2002) Stunning of poultry. En: Poultry product processing. CRC Press. New York, USA. Pp. 109-126.

Bayliss P.A. y Hinton M.H. (1990) Transportation of broilers with special reference to mortality rates. App. Anim. Behav. Sci., 28: 93-118.

Bilgili S. F. (1999) Recent advances in electrical stunning. Poult. Sci., 78: 282-286.

Birkhold S.G., Janky D.M. y Sams A.R. (1992) Tenderization of early-harvested broiler breast fillets by high-voltage *post-mortem* electrical stimulation. Poult. Sci., 71: 2106-2112.

Birkhold S.G. y Sams A.R. (1993) Fragmentation, tenderness, and post-harvested broiler breast fillets from carcasses treated with electrical stimulation and muscle tensioning. Poult. Sci., 72: 577-582.

Birkhold S.G., y Sams A.R. (1995) Comparative ultrastructure of *Pectoralis* fibers from electrically stimulated and muscle tensioned broiler carcasses. Poult. Sci., 74: 194-200.

Botha S., van Schalkwyk S., Cloete S. y Hoffman L. (2009) Effect of bleeding method and low voltage electrical stimulation on meat quality of ostriches. S. Afr. J. Anim. Sci., 39: 206-213.

Buchholz R. (1997) Male dominance and variation in fleshy head ornamentation in wild turkeys. *J. Avian Biol.*, 28: 223-230.

Buchwalder T. y Huber-Eicher B. (2003) A brief report on aggressive interactions within and between groups of domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 84: 75-80.

Buchwalder T. y Huber-Eicher B. (2004) Effect of increased floor space on aggressive behaviour in male turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 89: 207-214.

Buchwalder T., y Huber-Eicher B. (2005) Effect of group size on aggressive reactions to an introduced conspecific in groups of domestic turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 93: 251-258.

Burs M. y Faruga A. (2006) Effect of husbandry conditions and genotype of young slaughter turkeys on production and slaughter traits. *Pol. J. Nat. Sci.*, 21(2): 647-657.

Busayi R.M., Channing C.E. y Hocking P.M. (2006) Comparisons of damaging feather pecking and time budgets in male and female turkeys of a traditional breed and a genetically selected male line. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 96: 281-292.

Camacho-Escobar M.A., Jiménez-Hidalgo E., Arroyo-Ledezma J., Sánchez-Bernal E.I. y Pérez-Lara E. (2011) Natural history, domestication and distribution of the turkey (*Meleagris gallopavo*) in Mexico. *Rev. Univ. Cie.*, 27(3): 351-360.

Cantaro H., Sánchez J. y Sepulveda P. (2010) Explotación de pavos para la producción de carne. En: Cría y engorde de pavos. Ed. INTA. Centro Regional Patagonia Norte. Pp. 9-19.

Carter G.F. (1971) Pre-Columbian chickens in America. En: Riley C.L., Kelley J.C., Pennington C.W., y Rands R.L. Ed. Man Across the Sea. Problems of Pre-Columbian Contacts. University of Texas Press, Austin.

Case L.A., Miller S.P. y Wood B.J. (2010) Factors affecting breast meat yield in turkeys. *World's Poult. Sci. J.*, 66(2): 189-202.

Castaneda M., Hirschler E. y Sams A. (2005) Research note: Functionality of electrically stimulated broiler breast meat. *Poult. Sci.*, 84: 479-481.

Castellini C., Mugnai C. y Dal Bosco A. (2002) Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Sci.*, 60: 219-225.

Castigliero I., Armani A. y Guidi A. (2012) Meat color. En: Handbook of meat and meat processing. Ed. Hui Y.H. CRC Press. Pp. 81-92.

Çelen M.F., Söğüt B., Zorba Ö., Demirulus H y Tekeli A. (2016) Comparison of normal and PSE turkey breast meat for chemical composition, pH, color, myoglobin, and drip loss. *R. Bras. Zootec.*, 45(8): 441-444.

Cetin O. y Topcu T. (2009) Effects of electrical stimulation on meat quality in goat carcasses. *J. Food. Agric. Environ.*, 7(3-4): 101-105.

Chrystall B.B. y Devine C.E. (1985) Electrical stimulation: Its early development in New Zealand. En: Advances in Meat Research. Springer Netherland. The AVI Publishing Company, Inc. Pp. 73-119.

CIE (1976) Commission Internationale de l'Eclairage. Committee TC.13. Proposal for study of color spaces and color difference equations. *J. Opt. Soc. Am.*, 64: 896-897.

Córdoba J.J. y Martín A. (2001) Sacrificio de los animales de abasto y operaciones complementarias en matadero. En: *Enciclopedia de la carne y productos cárnicos*. Ed. Macías M. Pp. 233-255.

Corona-Martínez E. (2006) Una ofrenda de guajolote en el sitio Oaxtepec km 27.5, Morelos. En: Canto A.G., Ledezma G.L., Tostado G.M., Fuentes M.M., Nau F.J. y Morayta M.M. Ed. *Memoria del IV Congreso Interno del Centro INAH Morelos. Colección Científica 499*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. Pp. 49-52.

Craig E., Fletcher D., y Papinaho P. (1999) The effects of ante-mortem electrical stunning and postmortem electrical stimulation on biochemical and textural properties of broiler breast meat. *Poult. Sci.* 78: 490-494.

Crawford R.D. (1984) Turkey. En: Mason I.L., Ed. *Evolution of domesticated animals*. Longman Inc., New York.

Crawford R.D. (1990) Origin and history of poultry species. En: *Poultry breeding and genetics*. Ed. Crawford R.D. Elsevier, Amsterdam, The Neherlands. Pp. 18-23.

Crawford R.D. (1992) Introduction to Europe and diffusion of domesticated turkeys from the America. *Archiv. Zootec.*, 41 (154): 307-314.

Cunningham F.E. y Bowers J.A. (1977) Composition, microbial content, and stability of chicken patties held at refrigerator temperature. *Poult. Sci.*, 56: 93-97.

Davel M., Bosman M. y Webb E. (2003) Effect of electrical stimulation of carcasses from Dorper sheep with two permanent incisors on the consumer acceptance of mutton. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 33: 206-212.

Den Hertog-Meischke M., Smulders F., van Logtestijn J. y van Knapen F. (1997) The effect of electrical stimulation on the water-holding, capacity and protein denaturation of two bovine muscles. *J. Anim. Sci.*, 75: 118-124.

Devine C.E., Hopkins D.L., Hwang I.H., Ferguson D.M. y Richards I. (2014) Electrical stimulation. En: *Encyclopedia of meat sciences*. Devine C.E. y Dikeman M. Elsevier. Pp. 486-496.

Directiva 93/119/CE del Consejo, de 22 de diciembre de 1993, relativa a la protección de los animales en el momento de su sacrificio o matanza, derogada en parte por el reglamento anterior.

Eaton S. (1992) Wild Turkey (*Meleagris gallopavo*). En: Poole A., Stettenheim P. y Gill F. Ed. *The Birds of North America*, Vol. 22. Philadelphia, PA: The Academy of Natural Sciences; Washington, DC: The American Ornithologists' Union. Pp. 1-28.

Estevez I., Newberry R.C. y De Reyna L.A. (1997) Broiler chickens: A tolerant social system? *Etologia*, 5: 19-29.

Evans D.G., Goodwin T.L. y Andrews L.D. (1976) Chemical composition, carcass yield and tenderness of broilers as influenced by rearing methods and genetic strains. *Poult. Sci.*, 55: 748-755.

Fanatico A.C., Cavitt L.C., Pillai P.B., Emmert J.L. y Owens C.M. (2005) Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: Meat quality. *Poult. Sci.*, 84: 1785-90.

Farrell D.J. (1991) Manipulation of growth, carcass composition and fatty acid content of meat ducks using short-term feed restriction and dietary additions. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 65: 146-153.

Flannery K.V. (1967) Vertebrate fauna and hunting patterns. En: *The prehistory of the Tehuacan Valley*. Byers D.S. Ed. Environment and subsistence. Austin, University of Texas Press, Austin. Pp. 132-177.

Fletcher D.L. (1993) Effects of stunning on poultry meat quality. *Proceedings of 11th European symposium on the quality of poultry meat*. Tours France. Pp. 172-178.

Fletcher D.L. (1999) Recent advances in poultry slaughter technology. *Poult. Sci.*, 78: 277-281.

Fremery D.D. (1966) Relationship between chemical properties and tenderness of poultry muscle. *J. Agric. Food Chem.*, 14: 214-217.

Froning G.W. y Uijttenboogart T.G. (1988) Effect of postmortem electrical stimulation on color, texture, pH, and cooking losses of hot and cold deboned chicken broiler breast meat. *Poult. Sci.*, 67: 1536-1544.

Gigiel A.J. y James S.J. (1984) Electrical stimulation and ultra-rapid chilling of pork. *Meat Sci.*, 11: 1-12.

Glatz P.C. (2005) *Poultry Welfare Issues - Beak Trimming*. Glatz P.C. Ed. Nottingham University Press: Nottingham, UK. Pp. 1-174

Glatz P. y Rodda B. (2013) Turkey farming: Welfare and husbandry issues. *Afr. J. Agric. Res.*, 8(48): 6149-6163.

Gregory N.G. y Wilkins L.J. (1989) Effect of stunning current on carcass quality of chickens. *Vet. Rec.*, 124: 530-532.

Gregory N.G. y Wilkins L.J. (1993) Cases of downgrading in chickens, turkeys and ducks. *Broiler Ind.* 56(5): 42-45.

Guerrero O., Vilca M. y Ramos D. (2004) Estimulación eléctrica de canales de alpacas para mejorar su calidad organoléptica. *Rev. Invest. Vet. Perú*, 15: 151-156.

Guidobono C.L. (1985) *El Pavo: Cría. Incubación. Patología.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Hamblin N.L. (1984) *Animal use by the Cozumel Maya.* Tuscon: University of Arizona Press.

Harris C.E. y Carter T.A. (1976) Blood loss by broilers slaughtered in commercial plants with manual and mechanical killers. *Poult. Sci.*, 55: 2042-2043.

Healy W.M. (1992) Behavior. En: *The Wild Turkey: Biology and Management.* Dickson J.G. Ed. Stackpole Books, Harrisburg, PA. Pp. 46-65.

Heath G.B.S. (1984) The slaughter of broiler chickens. *World's Poult. Sci. J.*, 40: 151-159.

Heath G.E., Thaler A.M. y James W. O. (1994) A survey of stunning methods currently used during slaughter of poultry in commercial poultry plants. *J. Appl. Poult. Res.*, 3: 297-302.

Hector D. A., Brew-Graves C., Hassen N. y Ledward D.A. (1992) Relationship between myosin denaturation and the colour of low-voltage-electrically-stimulated beef. *Meat Sci.* 31: 299-307.

Henderson D., Goll D.E. y Stromer M. (1970) A comparison of shortening and Z line degradation in *post-mortem* bovine, porcine, and rabbit muscle. *Am. J. Anat.*, 128: 117-135.

Herendy V., Suto Z., Horn P. y Szalay I. (2004) Effect of the housing system on the meat production of turkey. *Acta Agric. Slov.*, 1: 209-213.

Honikel K.O. (1998) Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.*, 49: 447-457.

Hopkins D.L., Shaw F.D., Baud S. y Walker P.J. (2006) Electrical currents applied to lamb carcasses - Effects on blood release and meat quality. *Aust. J. Exp. Agric.*, 46: 885-889.

Howell S.N.G. y Webb S. (1995) A guide to the birds of Mexico and northern Central America. New York: Oxford University Press.

Hwang I., Devine C. y Hopkins D. (2003) The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Sci.*, 65: 677-691.

Janky D.M., Birkhold S.G. y Vimini R.J. (1989) Tenderness and physical characteristics of early-harvested turkey breast tissue following various durations of high voltage postmortem electrical stimulation. *Poult. Sci.*, 68: 72.

Kang I.S. y Sams A.R. (1999) A comparison of texture and quality of breast fillets from broilers stunned by electricity and carbon dioxide on a shackle line or killed with carbon dioxide. *Poult. Sci.*, 78: 1334-1337.

Kettlewell P.J., y Hallworth R.N. (1990) Electrical stunning of chickens. *J. Agr. Eng. Res.*, 47: 139-151.

Khalid R., Knowles T.G., y Wotton S.B. (2015) A comparison of blood loss during the Halal slaughter of lambs following Traditional Religious Slaughter without stunning, Electric Head-Only Stunning and Post-Cut Electric Head-Only Stunning. *Meat Sci.*, 110: 15-23.

Kijowski J., Mikoajczak A., Kwitowski Nencki J., Sliga M. (2005) Traditional rearing and slaughter of christmas Turkeys in England. *Pol. J. Food. Nut. Sci.*, 14: 75-78.

Kim Y., Lonergan S., Grubbs J., Cruzen S., Fritch A., della Malva A., Marino R. y Huff-Lonergan E. (2013) Effect of low voltage electrical stimulation on protein and quality changes in bovine muscles during postmortem aging. *Meat Sci.*, 94: 289-296.

King D., Voges K., Hale D., Waldron D., Taylor C. y Savell J. (2004) High voltage electrical stimulation enhances muscle tenderness, increases aging response, and improves muscle color from cabrito carcasses. *Meat Sci.* 68: 529-535.

Kirton A.H., Frazerhurst L.F., Woods E.G. y Chrystall B.B. (1981) Effect of electrical stunning method and cardiac arrest on bleeding efficiency, residual blood and blood splash in lambs. *Meat Sci.*, 5: 347-353.

Kotula A.W, Drewniak E.E, Davis L.L (1957) Effect of dioxide immobilization on bleeding of chickens. *Poult. Sci.*, 36: 585-589.

Kuenzel W.J. y Ingling A.L. (1977) A comparison of plate and brine stunners, AC and DC circuits for maximizing bleed-out in processed poultry. *Poult. Sci.*, 56: 2087-2090.

Kuenzel W.J. y Ingling A.L. (1978) Variable Frequency Stunning and a Comparison of Two Bleed-Out Time Intervals for Maximizing Blood Release in Processed Poultry. *Poult. Sci.*, 57: 449-454.

Lawrie R.A. (1991) *Meat science* (5th ed.). Oxford, UK: Pergamon Press.

Lawrie R. y Ledward D.A. (2006) The storage and preservation of meat: Temperature control. En: *Lawrie's Meat Science*. 7th Ed. Boca Raton New York Washington, DC: CRC. Pp. 192-202.

Leopold A.S. (1959) *Wildlife of Mexico: The game birds and mammals*. Berkeley: University of California Press. Pp. 568-581.

Li Y., Siebenmorgen T.J. y Griffis C.L. (1993) Electrical stimulation in poultry: A review and evaluation. *Poult. Sci.*, 72: 7-22.

Li K., Chen L., Zhao Y.Y., Li Y.P., Wu N., Sun H., Xu X.L. y Zhou G.H. (2014) A comparative study of chemical composition, color, and thermal gelling properties of normal and PSE-like chicken breast meat. *CyTA - Journal of Food.*, 13: 213-219.

Lister D., Gregory N. G. y Warriss P.D. (1981) *Developments in Meat Science*. 2nd Ed. Lawrie R. Applied Science Publishers. London.

Lister D. (1987) The physiology and biochemistry of the porcine. En: *Evaluation and control of meat quality in pigs*. Martinus Nijhoff Publisher. Tarrant P.V., Eikelenboom G. y Monin G. Ed. Academic Press, London. Pp. 3-16.

Ludvigsen J.B. (1987) Hormonal implications in malignant hyperthermia. En: *Evaluation and control of meat quality in pigs*. En:

Martinus Nijhoff Publisher. Tarrant P.V., Eikelenboom G. y Monin G. Ed. Academic Press, London. Pp. 69-78.

Lyon C.E., Davis C.E., Dickens J.A., Papa C.M. y Reagan J.O. (1989) Effects of electrical stimulation on the postmortem biochemical changes and texture of broiler Pectoralis muscle. *Poult. Sci.*, 68: 249-257.

Majumdar S., Bhanja S.K., Singh R.P. y Agarwal S.K. (2005) Effect of age on the carcass traits and meat quality of turkey poults. *J. App. Anim. Res.*, 27 (2): 85-88.

Maki A. y Froning G.W. (1987) Effect of *post-mortem* electrical stimulation on quality of turkey meat. *Poult. Sci.*, 66: 1155-1157.

MAPAMA (2017) Carnes y productos cárnicos: Pavo. En: Observatorio de buenas prácticas sobre alimentación. Plataforma de conocimiento para el medio rural y pesquero. Fecha de consulta 11/4/2017 en: <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/>

Martin A.H., Murray A.C., Jeremiah L.E. y Dutson P.J. (1983) Electrical stimulation and carcass aging effects on beef carcasses in relation to *post-mortem* glycolytic rates. *J. Anim. Sci.*, 57: 1456-1462.

McCullough J. (2001) "Meleagris gallopavo" (On-line), Animal Diversity Web. Fecha de consulta 3/4/2017 en: http://animaldiversity.org/accounts/Meleagris_gallopavo/

McKenna D., Maddock D. y Savell J. (2003) Water- holding and color characteristics of beef from electrically stimulated carcasses. *J. Muscle Foods*, 14: 33-49.

Mehaffey J.M., Pradhan S.P., Meullenet J.F., Emmert J.L., McKee S.R. y Owens C.M. (2006) Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains. *Poult. Sci.*, 85: 902-908.

MLA y AMPC (2011) Meat and Livestock Australia and Australian Meat Processor Corporation. Heat toughening -Part 2: Strategies for reducing the incidence of heat toughening in beef carcasses. MLA and AMPC. CSIRO pub. Pp. 1-4.

Mohan R.A. y Gregory N. (1990) Investigation into the batch stunning/killing of chickens using carbon dioxide or argon-induced hypoxia. *Res. Vet. Sc.*, 49: 364-366.

Mota-Rojas D., Roldan-Santiago P. y Guerrero-Legarreta I. (2012) Electrical stimulation in meat processing. En: *Handbook of Meat and Meat Processing*. Hui Y. H. Ed. CRC. Pp. 323-329.

Mozdziak P. (2004) Species of meat animals/poultry. En: *Encyclopaedia of meat sciences*. Jensen W.K., Devine C. y Dikeman M. Ed. Oxford: Elsevier Academic Press. Pp. 1296-1302.

Naciones Unidas. Fecha de consulta 6/4/2017 en: <http://www.un.org/es/influenza/about.shtml/>

Nazli B., Cetin O., Bingol E., Kahraman T. y Ergun O. (2010) Effects of high voltage electrical stimulation on meat quality of beef carcasses. *J. Anim. Vet. Adv.*, 9: 556-560.

Nestor K.E. (1984) Genetics of growth and reproduction in the turkey: 9. Long-term selection for increased 16-week body weight. *Poult. Sci.* 63: 2114-2122.

Nestor K.E., Bacon W.L., Saif Y.M. y Renner P.A. (1985) The influence of genetic increases in shank width on bodyweight, walking ability and reproduction in turkeys. *Poult. Sci.*, 64: 2248-2255.

Offer G. y Trinick J. (1983) On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Sci.*, 8: 245-281.

O'Keefe T. (2006) MTP cooks its way to value. *WATT Poultry USA*, September, Pp. 16-22.

Ostovic M., Pavicic Z., Tofant A., Balenovic T., Kabalin A.E. y Mencik S. (2009) Welfare of turkeys in intensive production. En: VIII Symposium of Poultry Days. Balenovic M. Ed. Croatia, Pp. 31-34

Owens C.M y Sams A.R. (1997) Muscle metabolism and meat quality of pectoralis from turkeys treated with *postmortem* electrical stimulation. *Poult. Sci.*, 76: 1047-1051.

Pagel M. y Dawkins M.S. (1997) Peck orders and group size in laying hens: 'Futures contracts' for non-aggression. *Behav. Proc.*, 40: 13-25.

Papinaho P. y Fletcher D. (1995) Effect of stunning amperage on broiler breast muscle rigor development and meat quality. *Poult. Sci.*, 74: 1527-1532.

Patterson B.D. (2015) Pectoralis muscle of turkey displays divergent function as correlated with meat quality Ph. D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Polidori P., Lee S., Kauffman R. y Marsh B. (1999) Low voltage electrical stimulation of lamb carcasses: Effects on meat quality. *Meat Sci.*, 53: 179-182.

Qiao M.; Fletcher,D.L.; Northcutt,J.K. y Smith D.P. (2002) The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *Poult. Science* 81: 422-427.

Raj A.M., Grey T., Audsely A. y Gregory N. (1990) Effect of electrical and gaseous stunning on the carcass and meat quality of broilers. *Br. Poult. Sci.*, 31: 725-733.

Raj M. (1998) Welfare during stunning and slaughter of poultry. *Poult. Sci.* 77: 1815-1819.

Reglamento CE 1099/2009 del Consejo de 24 de septiembre de 2009, relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza.

Sainsbury D. (1987) Pavos. En: *Aves: sanidad y manejo*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 163-169.

Salwani M.S., Adeyemi K.D., Sarah S.A., Vejayan J., Zulkifli I. y Szazili A.Q. (2015) Skeletal muscle proteome and meat quality of broiler chickens subjected to gas stunning prior slaughter or slaughtered without stunning. *CyTA - J. Food*: 1-7.

Sams A.R. (1990) Electrical stimulation and high temperature conditioning of broiler carcasses. *Poult. Sci.* 69: 1781-1786.

Sams A. (1999) Commercial Implementation of Postmortem Electrical Stimulation. *Poult. Sci.*, 79: 290-294.

Santiago H.L.A. (2002) Biological, nutritional, and processing factors affecting breast meat quality of broilers. Ph. D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University

Sanz M. (2013) Aturdido eléctrico en baño de agua. 50º Congreso Científico de Avicultura. Simposio WPSA-AECA. Lleida, España.

Sañudo C. (2013) Pavos. En: Atlas mundial de razas en avicultura. Ed. Servet. Zaragoza, España. Pp. 106-119.

Sarica M. y Yamak U.S. (2009) The effects of production systems (barn and free-range) on foot pad dermatitis and body defects of white turkeys. World Poult. Sci. Association (WPSA), Proceedings of the 8th European Symposium on Poultry Welfare. Italy. P. 52.

Sarica M. y Yamak U.S. (2010). The effects of production systems (barn and free-range) on foot pad dermatitis and body defects of white turkeys. J. Anim. Vet. Adv., 9: 958-961.

Schneider B.L., Renema R.A., Betti M., Carney V.L. y Zuidhof M.J. (2012) Effect of holding temperature, shackling, sex, and age on broiler breast meat quality. Poult. Sci. 91: 468-477.

Schorger A.W. (1966) The Wild Turkey: its history and domestication. University of Oklahoma Press, Norman.

Scott W.N. (1978) The slaughter of poultry for human consumption. Animal regulation studies 1, 277.

Simmons N., Daly C., Cummings T., Morgan S., Johnson N. y Lombard A. (2008) Reassessing the principles of electrical stimulation. Meat Sci., 80: 110-122.

Sleper P., Hunt M., Kropf D., Kastner C. y Dikeman M. (1983) Electrical stimulation effects on myoglobin properties of bovine *longissimus* muscle. J. Food Sci., 48: 479-483.

Smith D.P., Fletcher D.L., Buhr R.J. y Beyer R.S. (1993) Pekin duckling and broiler chicken Pectoralis muscle structure and composition. Poult. Sci. 72: 202-208.

Smith D.P., Lyon C.E. y Lyon B.G. (2002) The effect of age, dietary carbohydrate source, and feed withdrawal on broiler breast fillet color. *Poult. Sci.*, 81: 1584-1588.

Soria L. y Corva P. (2004) Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. *Arch. Lat. Prod. Anim.*, 12: 73-88.

Sparrey J.M., Paice M.E.R y Kettlewell P.J. (1992) Model of current pathways in electrical water bath stunners used for poultry. *Br. Poult. Sci.*, 33: 907-916.

Sparrey J.M., Kettlewell P.J., Paice M.E.R. y Whetlor W.C. (1993) Development of a constant current water bath stunner for poultry processing. *J. Agr. Eng. Res.*, 56: 267-274.

Steadman D.W., Stull J.A. y Eaton S.W. (1979) Natural history of the ocellated turkey. *World Pheasant Assoc. J.*, 4: 15-37.

Steadman D.W. (1980) A review of the osteology and paleontology of turkeys (Aves: Meleagridae). *Contribution of the Science and Natural History Museum of Los Angeles County California*, 330: 131-207.

Taylor A. y Martoccia L. (1995) The effect of low voltage and high voltage electrical stimulation on pork quality. *Meat Sci.*, 39: 319-326.

Thompson L.D., Janky D.M. y Woodward S.A. (1987) Tenderness and physical characteristics of broiler breast fillets harvested at various times from postmortem electrically stimulated carcasses. *Poult. Sci.*, 66: 1158-1167.

Thornton E.K., Emery K.F., Steadman D.W., Speller C., Matheny R., y Yang D. (2012) Earliest Mexican turkeys (*Meleagris gallopavo*) in

the Maya region: Implications for pre-Hispanic animal trade and the timing of turkey domestication. PLoS ONE 7(8): e42630.

Veladez A.R., García C.R., Rodríguez G.B. y Gamboa C.L. (2001) Los guajalotes y la alimentación prehispánica. Ciencia y Desarrollo, 157: 55-63.

Viegas J. (2010) Native Americans first tamed turkeys 2,000 years ago. Fecha de consulta 29/12/2015 en:<https://www.seeker.com/native-americans-first-tamed-turkeys-2000-years-ago-1765012713.html>

Wakefield D.K., Dransfield E., Down N.F. y Taylor A.A. (1989) Influence of *post-mortem* treatments on turkey and chicken meat texture. Int. J. Food Sci. Technol., 24: 81-92.

Warris P.D. (1984) Exanguinations of animals at slaughter and the residual blood content of the meat. Vet. Rec., 115: 292-295.

Warris P.D. (2010) Meat science: An Introductory Text. CABI Publishing, Pp. 117-122.

Wiklund E., Stevenson-Barry J., Duncan S. y Littlejohn R. (2001) Electrical stimulation of red deer (*Cervus elaphus*) carcasses - effects on rate of pH-decline, meat tenderness, colour stability and water-holding capacity. Meat Sci., 59: 211-220.

Woolley S.C., Borthwick F.J.W. y Gentle M.J. (1986) Flow routes of electric currents in domestic hens during pre- slaughter stunning. Br. Poul. Sci., 27: 403-408.

Xiong Y.L., Cantor A.H., Pescatore A.J., Blanchard S.P. y Straw M.L. (1993) Variation in muscle chemical composition, pH, and protein

extractability among eight different broiler carcasses. *Poult. Sci.* 72: 583-588.

Young L.L., Buhr R.J. y Lyon C.E. (1999) Effect of polyphosphate treatment and electrical stimulation on postchill changes in quality of broiler breast meat. *Poult. Sci.*, 78: 267- 271.

Zocchi C. y Sams A.R. (1996) The use of electrical stimulation and extended aging times to reduce the aging needed to achieve maximum tenderness in broiler breast fillets. *Poult. Sci.*, 75:21.