

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**EFFECTO DE LA MADURACIÓN, ESTIMULACIÓN
ELÉCTRICA, MARINADO Y CONGELACIÓN
SOBRE LA CALIDAD DE CARNE DE PECHUGA
DE AVE**

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Ing. Romina M. Fabre

Dirigida por:

Dra. Flavia M. Perlo

Dr. Daniel J. Vidal Brotons

Valencia / Concordia, julio de 2014

Con cariño para Fernando, Anahí, Jazmín y Facundo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a mi esposo Fernando y a mis hijos Anahí, Jazmín y Facundo por su cariño, comprensión y por haberme apoyado siempre y a pesar de todo.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la Dra Flavia Perlo por acceder a ser mi directora de tesis, por su dedicación y paciencia y a la Dra Patricia Bonato, por su apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

Igualmente hago evidente mi agradecimiento al Dr Daniel Vidal Brotons por su colaboración.

También dar las gracias al Ing. Jorge Gerard por brindarme la oportunidad de acceder a una beca doctoral para poder concretar la ejecución de esta tesis.

Me gustaría agradecer también la ayuda prestada por la Universidad Nacional de Entre Ríos, en especial a los integrantes y becarios del laboratorio de Industrias Cárnicas y laboratorio de Análisis Físicos y Químicos de Alimentos de la Facultad de Ciencias de la Alimentación.

No podía dejar de mencionar a las compañeras Verónica e Inés que trabajan en biblioteca y Alicia del departamento de idioma de la Facultad de Ciencias de la Alimentación, que siempre estuvieron dispuestos a colaborar de forma desinteresada.

Agradecer a todo el personal de la planta de sacrificio que colaboró con la realización de esta investigación.

RESUMEN

En Argentina la avicultura ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años. El aumento del consumo de carne de pechuga sin piel y sin hueso ha motivado la implementación de métodos y tecnologías que incrementen la producción disminuyendo los tiempos de obtención y garantizando la calidad del producto final. En carne de ave se han informado distintos procedimientos tales como la maduración y la estimulación eléctrica con diversos resultados. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del tiempo de maduración, la estimulación eléctrica a bajos voltajes y el marinado sobre las características de calidad de fillets de pechuga de pollo. Además, se estudió el efecto de distintas condiciones de conservación sobre los parámetros de calidad de los fillets para su comercialización en mercado interno y exportación. Los pollos (machos, 48 d, 2,8 kg) fueron faenados industrialmente con y sin aplicación de estimulación eléctrica (45 V). Luego del enfriamiento las pechugas se maduraron 0, 2, 4, 6, 8 o 24 h antes de la obtención de los fillets. Los fillets izquierdos fueron marinados por inyección (cloruro de sodio y tripolifosfato de sodio) y congelados, los derechos sin marinar fueron inmediatamente congelados. En la segunda etapa de este trabajo, se evaluó el efecto del almacenamiento durante 4 d (a 4 °C), 90 y 180 días (a -25 °C), sobre la calidad, seleccionándose para el estudio fillets madurados 2 h, estimulados eléctricamente con y sin marinado. En todos los casos los parámetros analizados fueron pH,

coordenadas de color L^* , a^* , b^* , mermas por goteo, por descongelación y por cocción, terneza Warner Bratzler (WB) y composición química. De acuerdo con los resultados obtenidos se requiere un mínimo de 2 h de maduración y la aplicación de estimulación eléctrica para lograr una mejora en la terneza, esto puede verse favorecido aun más por efecto del marinado. Además estos procedimientos industriales no generan un efecto negativo sobre el pH, color, mermas ni composición química. Durante el almacenamiento, los fillets no presentaron cambios por efecto de la conservación en congelación respecto de los refrigerados (independientemente del marinado), excepto un incremento del pH y de la coordenada a^* en la carne congelada durante 180 d. En los fillets sin marinar además se apreciaron mayores mermas por cocción y dureza respecto de las otras condiciones de almacenamiento.

Palabras claves: carne de pechuga de pollo, maduración, estimulación eléctrica, marinado, calidad.

ABSTRACT

The poultry industry has significantly grown in Argentina during these last years. Increased consumption of skinless and deboned breast meat has fostered the implementation of methods and technologies to increase production by reducing time and ensure the final product quality. Different procedures such as electrical stimulation and aging with varying results have been reported. The objective of this research was to assess the effects of post-mortem aging time, electrical stimulation at low voltages and marination on broiler breast fillet quality. In addition, the effect of different storage conditions on quality parameters of the illets for marketing in both the domestic and foreign market was studied. Broilers (48-day-old males, 2,8 kg) were slaughtered in an industrial poultry processing plant with and without electrical stimulation (45 V). After chilling, broiler breasts were aged for 0, 2, 4, 6 and 8h before obtaining the fillets. Left fillets were first marinated by injection (sodium chloride and sodium tripolyphosphate) and then quickly frozen while right fillets were immediately frozen. In the second stage of the study, the effect of storage (4d at 4 ° C, 90 and 180d at -25°C) on quality was evaluated in fillets aged for 2h, electrically stimulated, with and without marination. In all cases pH, color (L *, a *, b *), dripping, thawing and cooking loss, shear force (WB) and chemical composition. were determined. The results indicate that at least 2h of aging and the application of electrical stimulation to improve

tenderness are required, this may be further enhanced by marination. Furthermore, these industrial methods do not cause a negative effect on pH, color, shrinkage or chemical composition. During storage, the fillets showed no significant changes as a result of freezing when compared to chilling (not considering marination), except for an increase in pH and a^* in frozen meat after 180 d. In addition, significant cooking loss and hardness were observed in the non-marinated fillets when compared to the other storage conditions.

Key words: chicken breast meat, aging time, electrical stimulation, marination, quality.

RESUM

En Argentina l'avicultura ha experimentat un important creixement en els últims anys. L'augment del consum de carn de pit sense pell i sense os ha motivat la implementació de mètodes i tecnologies que incrementen la producció disminuint els temps d'obtenció i garantint la qualitat del producte final. En carn d'au s'han informat distints procediments, com ara la maduració i l'estimulació elèctrica amb diversos resultats. L'objectiu de present treball va ser avaluar l'efecte del temps de maduració, l'estimulació elèctrica a baixos voltatges i el marinat sobre les característiques de qualitat de fillets de pit de pollastre. A més, es va estudiar l'efecte de distintes condicions de conservació sobre els paràmetres de qualitat dels fillets per a la seua comercialització en mercat intern i exportació. Els pollastres (mascles, 48 dies, 2,8 kg) van ser pescats industrialment amb i sense aplicació d'estimulació elèctrica (45 V). Després del refredament els pits es van madurar 0, 2, 4, 6, 8 o 24 h abans de l'obtenció dels fillets. Els fillets esquerres van ser marinats per injecció (clorur de sodi i tripolifosfat de sodi) i congelats, els drets sense marinar van ser immediatament congelats. En la segona etapa d'este treball, es va avaluar l'efecte de l'emmagatzemament durant 4 dies (a 4 °C), 90 i 180 dies (a -25 °C), sobre la qualitat, seleccionant-se per a l'estudi fillets madurats 2 h, estimulats elèctricament amb i sense marinat. En tots els casos els paràmetres analitzats van ser pH, coordenades de color L*, a*, b*, minves per goteig, per descongelació i per cocció, tendresa Warner Bratzler

(WB) i composició química. D'acord amb els resultats obtinguts es requereix un mínim de 2 h de maduració i l'aplicació d'estimulació elèctrica per aconseguir una millora en la tendresa, açò pot veure's afavorit inclús més per efecte del marinat. A més estos procediments industrials no generen un efecte negatiu sobre el pH, color, minves ni composició química. Durant l'emmagatzemament, els fillets no van presentar canvis per efecte de la conservació en congelació respecte dels refrigerats (independentment del marinat), excepte un increment del pH i de la coordenada a^* en la carn congelada durant 180 dies. En els fillets sense marinat a més es van apreciar majors minves per cocció i duresa respecte de les altres condicions d'emmagatzemament.

Paraules claus: carn de pit de pollastre, maduració, estimulació elèctrica, marinat, qualitat.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	25
1.1. Producción y comercialización de carne aviar	25
1.1.1. Mercado internacional	25
1.1.2. Producción y comercialización nacional	26
1.1.3. Zonas de producción en Argentina	28
1.1.4. Actualidad y tendencias del sector avícola	28
1.2. Calidad en carne de pollo	30
1.2.1. Definición	30
1.2.2. Parámetros físicos y químicos de calidad	31
1.2.2.1. pH.....	31
1.2.2.2. Color	33
1.2.2.3. Capacidad de retención de agua.....	35
1.2.2.4. Terneza.....	37
1.2.2.5. Composición	40
1.3. Etapas de la faena de aves	42
1.3.1. Condiciones de faena	42
1.3.1.1. Recepción.....	43
1.3.1.2. Aturdimiento	43
1.3.1.3. Sangrado	44
1.3.1.4. Escaldado	44
1.3.1.5. Desplumado	45
1.3.1.6. Evisceración.....	45
1.3.1.7. Lavado	46
1.3.1.8. Enfriamiento	46

1.4. Procedimientos industriales para mejorar la calidad de la carne de ave.....	48
1.4.1. Maduración.....	49
1.4.2. Estimulación eléctrica.....	51
1.4.3. Marinado.....	54
1.5. Condiciones de conservación.....	57
1.5.1. Refrigeración	57
1.5.2. Conservación en congelación	59
2. OBJETIVOS.....	65
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
3.1. Obtención de las muestras.....	69
3.1.1. Animales.....	69
3.1.2. Condiciones de faena.....	69
3.1.3. Maduración.....	70
3.1.4. Marinado.....	72
3.1.5. Estimulación eléctrica.....	72
3.1.6. Condiciones de almacenamiento	73
3.2. Determinaciones analíticas.....	73
3.2.1. pH	73
3.2.2. Color	74
3.2.3. Mermas por goteo.....	74
3.2.4. Mermas por descongelación	75
3.2.5. Mermas por cocción	75
3.2.6. Terneza	76
3.2.7. Humedad.....	76

3.2.8. Proteínas.....	77
3.2.9. Colágeno total	77
3.2.10. Lípidos totales.....	78
3.3. Diseño y análisis estadístico	78
4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	83
4.1. Efecto de la Maduración, Estimulación Eléctrica y Marinado	83
4.1.1. pH.....	83
4.1.2. Color	91
4.1.2.1. Coordenada L* (luminosidad)	91
4.1.2.2. Coordenada a* (rojo-verde)	96
4.1.2.3. Coordenada b* (amarillo-azul).	100
4.1.3. Mermas	103
4.1.3.1. Mermas por goteo	103
4.1.3.2. Mermas por descongelación	106
4.1.3.3. Mermas por cocción.....	108
4.1.4. Terneza WB	113
4.1.5. Composición química	120
4.1.5.1. Contenido de humedad	120
4.1.5.2. Contenido de proteínas, lípidos totales y colágeno.....	122
4.1.6. Análisis de componentes principales (PCA).....	126
4.2. Efecto de distintas condiciones de conservación	133
4.2.1. pH.....	134
4.2.2. Color	136
4.2.2.1. Coordenada L*	136

4.2.2.2. Coordenada a*	137
4.2.2.3. Coordenada b*	138
4.2.3. Mermas	139
4.2.3.1. Mermas por descongelación	139
4.2.3.2. Mermas por cocción	140
4.2.4. Terneza	141
4.2.5. Composición	143
4.2.5.1. Humedad	143
4.2.5.2. Contenido de proteínas y grasas en base seca	144
5. CONCLUSIONES	149
5.1. Efecto de la maduración, estimulación eléctrica y marinado	149
5.2. Efecto de distintas condiciones de conservación	150
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
7. PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS	181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción, consumo, exportaciones e importaciones de carne de pollo.....	25
Tabla 2: pH en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).....	83
Tabla 3: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica, marinado y sus interacciones sobre el pH y las coordenadas L^* , a^* y b^* de color de fillets de pechuga de pollo (p-valor).	84
Tabla 4: Coordenada L^* (luminosidad) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).....	92
Tabla 5: Coordenada a^* (rojo-verde) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).....	96
Tabla 6: Coordenada b^* (amarillo-azul) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).	100
Tabla 7: Merms por goteo (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).	104
Tabla 8: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica, marinado y sus interacciones sobre las merms por goteo, por	

descongelación, por cocción y sobre la terneza WB de fillets de pechuga de pollo (p-valor). 104

Tabla 9: Mermas por descongelación (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD). 106

Tabla 10: Mermas por cocción (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD). 109

Tabla 11: Terneza WB (kgf) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD). 113

Tabla 12: Contenido de humedad (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD). 121

Tabla 13: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica, marinado y sus interacciones sobre el contenido de humedad en fillets de pechuga de pollo (p-valor). 121

Tabla 14: Contenido de Proteínas y Grasa en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos con y sin estimulación eléctrica (medias \pm SD). 123

Tabla 15: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica y sus interacciones sobre el contenido de proteínas, grasa, colágeno en fillets de pechuga de pollo (p-valor). 124

Tabla 16: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP1 en muestras con y sin estimulación marinadas.	127
Tabla 17: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP2 en muestras con y sin estimulación marinadas.	128
Tabla 18: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP1 en muestras con y sin estimulación sin marinar.....	131
Tabla 19: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP2 en muestras con y sin estimulación sin marinar.....	131
Tabla 20: pH en filets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.	134
Tabla 21: Coordenadas de color L*, a* y b* en filets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.	136
Tabla 22: Mermas por descongelación (%) y por cocción (%) en filets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.	139
Tabla 23: Terneza WB (kgf) en filets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.	142

Tabla 24: Contenido de humedad (%) en filets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.	143
Tabla 25: Contenido de proteínas (%) y grasas (%) en filets sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la producción de carne de pollo en Argentina.	26
Figura 2: Principales destino de las exportaciones del año 2012 de carne y subproductos de pollo producidos en Argentina.....	27
Figura 3: Distribución de la faena por provincia en % (2012)....	28
Figura 4: Estimulación eléctrica inmediatamente posterior al desplumado, mostrando el contacto de las pechugas con la placa conductora.	53
Figura 5: Estimulador eléctrico mostrando el contacto de las cabezas de las aves con la placa conductora.....	53
Figura 6: Marinado por inyección en carne de pollo.	57
Figura 7: Diagrama de flujo del proceso de obtención de fillets de pechugas de pollo.	71
Figura 8: Evolución del pH en muestras con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar a lo largo del tiempo de maduración.	85
Figura 9: Box-plot de los valores de ternura WB para los distintos tratamientos estudiados.	114
Figura 10: Contenido de colágeno total en carne de pechuga de pollo con y sin estimulación eléctrica, maduradas 0 y 24 h.	125
Figura 11: Análisis de componentes principales para muestras con distintos tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica marinadas.....	128

Figura 12: Análisis de componentes principales para las variables pH, color (L*, a* y b*), WB, memas por goteo, descongelación y por cocción en muestras con y sin estimulación marinadas.	129
Figura 13: Análisis de componentes principales para muestras con distintos tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica sin marinar.	132
Figura 14: Análisis de componentes principales para las variables pH, color (L*, a* y b*), WB, memas por goteo, descongelación y por cocción en muestras con y sin estimulación sin marinar.	133

INTRODUCCION

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Producción y comercialización de carne aviar

1.1.1. Mercado internacional

La producción mundial de carne aviar viene experimentando una gran expansión en los últimos años. Estados Unidos, China y Brasil lideran la producción mundial.

Tabla 1: Producción, consumo, exportaciones e importaciones de carne de pollo.

<i>2012</i> <i>País</i>	<i>Producción</i> <i>(millones tn)</i>	<i>Consumo</i> <i>kg/pers. y</i> <i>año</i>	<i>Exportación</i> <i>(millones tn)</i>	<i>Importación</i> <i>(millones tn)</i>
Estados Unidos	16,6	42	3,3	0,05
China	13,7	9,6	0,41	0,25
Brasil	12,6	48	3,51	--
Unión Europea	9,5	18,1	1,09	0,72
México	3	30	--	0,62
India	3,2	2,3	--	--
Rusia	2,8	20,8	--	0,52
Argentina	1,9	39,8	0,34	0,16
Turquía	1,7	--	0,29	--

Fuente: Boletín avícola. 2013. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Argentina.

Brasil y Estados Unidos son los mayores exportadores; en tanto que la Unión Europea y México son los principales importadores de carne de ave (Mair et al., 2013). Por su parte, Argentina está posicionada en el mercado internacional ocupando el 8° lugar como productor y 6° como exportador (Tabla 1).

1. INTRODUCCIÓN

1.1.2. Producción y comercialización nacional

El sector aviar incluyendo las granjas y los frigoríficos avícolas se han expandido considerablemente durante los últimos años, alcanzando un nivel de producción sumamente competitivo a partir de la incorporación de nuevas tecnologías y un proceso de integración vertical entre las granjas y los frigoríficos.

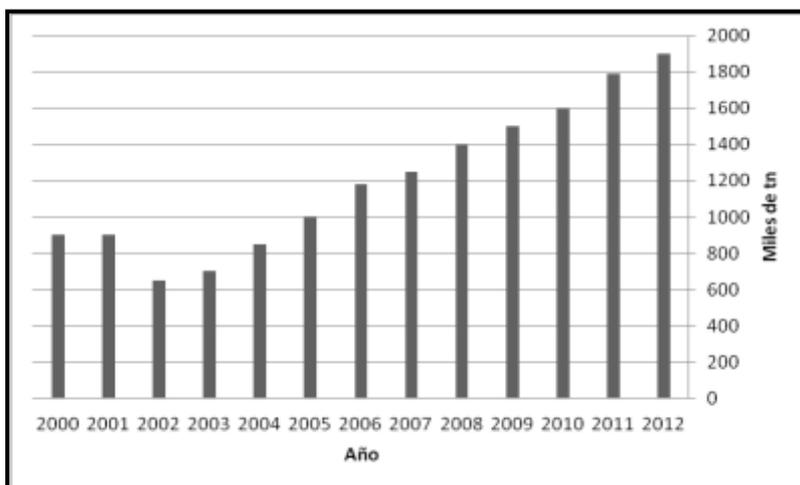


Figura 1: Evolución de la producción de carne de pollo en Argentina.

Fuente Área avícola – Dirección Ovinos, Porcinos, Aves de Granja y pequeños rumiantes.

La producción de carne de pollo en nuestro país durante el año 2012 mostró un crecimiento de 7% en relación al 2011. En el transcurso del 2012 la faena total alcanzó más de 734 millones de aves, marcando el 10º año consecutivo de crecimiento (Figura 1). Del total de la producción nacional el volumen de procesados

1. INTRODUCCIÓN

(cortes, chacinados y menudencias) alcanzó el 20%, 4 puntos más que en el 2011 (Mair et al., 2013).

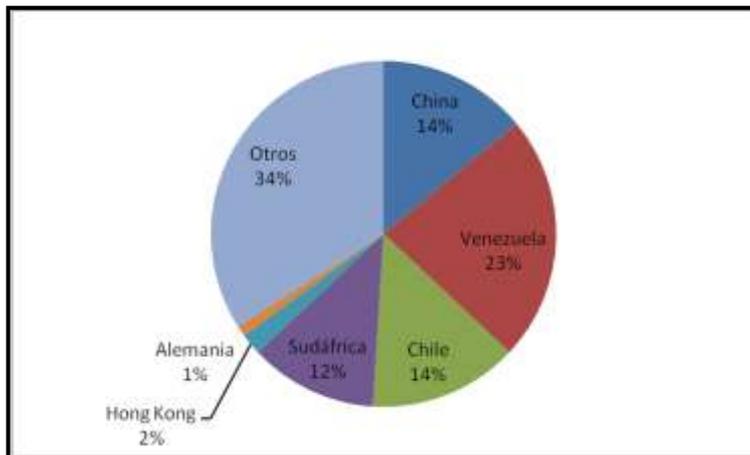


Figura 2: Principales destino de las exportaciones del año 2012 de carne y subproductos de pollo producidos en Argentina.

Fuente: Boletín Avícola 2012 Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de Argentina

El principal destino de la carne de pollo producida en Argentina es el mercado interno. El consumo per cápita de este alimento en el ámbito nacional ha tendido a incrementarse durante las últimas décadas, este aumento fue más que significativo, de casi 10 kg/hab y año durante los 70 y 80 a 39,83 kg/hab y año en el 2012. Las exportaciones también son parte importante del mercado de la carne aviar que se produce en Argentina. En el año 2012 representaron el 18% de la producción nacional y superaron a las del año anterior, alcanzando las 340 mil toneladas. Los destinos de

1. INTRODUCCIÓN

las exportaciones avícolas se pueden observar en la Figura 2 (Mair et al., 2013).

1.1.3. Zonas de producción en Argentina

La actividad de producción de carne de pollos parrilleros en nuestro país se realiza principalmente en las provincias de Entre Ríos y Buenos Aires coincidente con las áreas productoras de cereales y oleaginosas utilizadas para la alimentación como puede observarse en la Figura 3 (Mair et al., 2013).

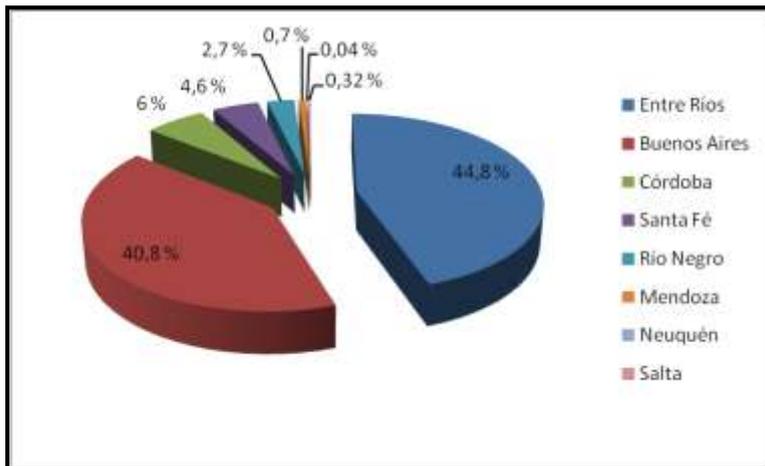


Figura 3: Distribución de la faena por provincia en % (2012).

Fuente: Área Avícola-Dirección de Porcinos, Aves de Granja y No Tradicionales con datos de SENASA.

1.1.4. Actualidad y tendencias del sector avícola

La avicultura en Argentina posee actualmente un importante crecimiento en sus volúmenes de producción a partir de la

1. INTRODUCCIÓN

incorporación y evolución constante de tecnología y equipamiento. Este fuerte cambio tecnológico complementado con la capacitación de su personal permitió optimizar la eficiencia de producción y comercialización.

Estas mejoras también alcanzan el sector primario de la cadena de producción. La tecnificación durante la crianza de los pollos utilizando la integración vertical como sistema de producción para la industria avícola y la implementación de las buenas prácticas de manejo que se utilizan en todos los establecimientos que componen la cadena integrada, permiten obtener la información y el seguimiento durante todo el período de vida y procesado de los pollos (CEPA, 2013a).

El mejoramiento de cada uno de los eslabones productivos permitió no solo aumentar los rendimientos, sino también mejorar la calidad y obtener mayor seguridad en los alimentos que produce. Se estima que el consumo por persona de carne de ave en Argentina aumentará a 50 kg para el 2020, además, proyecciones de esta actividad indican que nuestro país se posicionará como 4° productor mundial a corto plazo (CEPA, 2013b). Es por esto que el sector avícola aún tiene un amplio potencial de crecimiento a fin de aprovechar nuevas oportunidades tanto en el mercado interno como en las exportaciones.

1. INTRODUCCIÓN

1.2. Calidad en carne de pollo

1.2.1. Definición

La calidad de la carne de pollo es descrita por diversos autores. Mead (2004) considera que está definida según los consumidores por sus propias percepciones, objetivos y preferencias personales. Bianchi et al. (2006) consideran que en general la apariencia, es fundamental para la selección inicial o la satisfacción final por parte del consumidor de carnes de aves de corral.

Son de particular importancia y parecen ser críticos el color de la piel y de la carne. El color de la piel parece ser crítico para la comercialización de aves frescas enteras, mientras que para cortes sin piel tales como el fillet de pechuga, el color de la carne es un atributo determinante. Generalmente, los defectos visuales más importantes son aquellos relacionados con la presencia de hemorragias (Fletcher, 2002), que son aun más visibles cuando la piel ha sido quitada. Mientras que otras propiedades como el sabor de la carne y la terneza sólo pueden ser apreciadas cuando el producto es consumido.

En la actualidad las industrias de sacrificio de aves experimentan una mayor tendencia al procesamiento de la carne en productos de mayor complejidad (Fletcher, 2002), por lo tanto, el conocimiento de las características funcionales así como también

de las propiedades sensoriales, es fundamental para lograr un producto acorde a la demanda del consumidor.

1.2.2. Parámetros físicos y químicos de calidad

1.2.2.1. pH

La velocidad de descenso del pH y el punto final alcanzado son muy importantes en términos de calidad de la carne y desarrollo del color (Berri, 2000; Lyon y Buhr, 1999). El descenso del pH muscular a consecuencia de la acumulación de ácido láctico es uno de los cambios más significativos que ocurren en el músculo durante su conversión en carne (Aberle et al., 2001). Un patrón normal de reducción del pH está representado por una disminución gradual del mismo desde un valor neutro del músculo hasta alcanzar aproximadamente un pH de 5,8 (Barbut, 2002). El valor del pH₂₄ (medido a las 24 h post mortem) y la cantidad de ácido láctico acumulado dependen de la cantidad de glucógeno presente en el tejido en el momento de la muerte, mientras que el pH medido inmediatamente después de la evisceración es más dependiente de la actividad de las enzimas glucolíticas post mortem (Sosnicki et al., 1998).

La importancia del pH se evidencia claramente dado que con sus valores se pueden predecir defectos tales como carnes PSE (pálidas blandas y exudativas) o DFD (oscuras firmes y secas),

1. INTRODUCCIÓN

aunque en estos casos también deben considerarse otros parámetros como el valor de luminosidad (L^*) y la capacidad de retención de agua. Dado que las aves de corral son susceptibles a distintos factores ante mortem y post mortem de estrés (Woelfel et al., 2002), puede verse potenciada la aparición de carnes con estas características. Estos factores de estrés incluyen temperaturas ambientales (McKee y Sams, 1997a), las prácticas de manejo previas al sacrificio, los métodos de aturdimiento y la velocidad de enfriamiento (Barbut, 2009).

Diversos son los trabajos donde se evalúa el efecto del pH sobre la calidad de la carne de pechuga. Barbut et al. (2005) estudiando el efecto del pH y la luminosidad, observaron bajo rendimiento durante la cocción y valores de fuerza de corte más altas para carne PSE respecto de filets normales. Así mismo resultados similares fueron reportados por distintos autores. Como consecuencia de esta tendencia numerosas investigaciones han estudiado una posible relación entre estos parámetros de calidad, documentando una correlación significativa entre el pH, la luminosidad y las propiedades funcionales en carne de pechuga de pollos (Bianchi et al., 2005; Woelfel et al., 2002; Qiao et al., 2002a, b; Fletcher et al., 2000; Van Laack et al., 2000; Wilkins et al., 2000; Barbut, 1998).

1.2.2.2. Color

El color es un atributo de calidad importante que influye en la aceptación de la carne de aves de corral por parte del consumidor (Quiao et al., 2001). El mismo puede ser afectado por distintos factores como, la raza, la edad, el sexo, el contenido de humedad, el estrés, el desarrollo del rigor mortis y por las variables del proceso (Woelfel et al., 2002; McKee y Sams, 1997a, b).

Sin lugar a dudas el color constituye una de las principales características en la apariencia de la carne de ave. No obstante su percepción es única y exclusiva para cada individuo, por lo que existe una gran dificultad para comunicar objetivamente un color específico. Para la medición instrumental del color de la carne se utiliza un colorímetro, mientras que las determinaciones sensoriales se pueden realizar con paneles entrenados (descriptivas), con paneles de consumidores (aceptación) o con ambos. Las escalas utilizadas en estos casos se construyen normalmente por estudios preliminares en los cuales los productos se tratan bajo condiciones definidas (Nollet, 2007).

La carne cruda de pollo suele tener un color rosa a rojizo debido a la presencia de los principales pigmentos, la mioglobina y la hemoglobina (Nollet, 2007). Dado que la carne de pechuga de pollo está compuesta principalmente por fibras blancas, los niveles de mioglobina son bajos y es por esto que presenta un color claro (Barbut, 2002). Kranen et al. (1999) informaron que la concentración total de pigmentos hemo en la carne de pechuga de

1. INTRODUCCIÓN

pollo es de 0,24 mg/g. Así mismo, Barbut (2002) destacó que el contenido del pigmento mioglobina, varía con el sexo, la localización del músculo, la actividad y la edad de las aves. Mientras que el período ante-mortem y las prácticas de manipulación de las aves de corral, también pueden afectar al color (Lyon et al., 2004; Allen et al., 1998;).

Los defectos de color en la carne de ave cruda y cocida han sido un problema para la industria durante muchos años (Quiao et al., 2001). Una de las principales causas de defectos en el color de la carne de pollos es la glicólisis acelerada. Distintos informes de investigación han mostrado una gran variación en los parámetros de color ocurrido principalmente durante la obtención de carne de pechuga sin hueso y sin piel (Fletcher, 1999a; Barbut, 1997). Fletcher (1999a), en un estudio realizado en cinco plantas de procesamiento de pollos de engorde encontró que los colores de la carne de pechuga tienen una amplia gama de valores de luminosidad (rangos de valores de 43,1 - 48,8; sistema CIELAB, Minolta Chroma Meter CR-100).

La luminosidad presenta una estrecha relación con diversas propiedades físicas, químicas y funcionales de la carne de pechuga de aves de corral crudas o cocidas (Zuhang y Savage, 2010). Distintas investigaciones han evaluado la relación entre este parámetro y características de calidad, tales como la capacidad de retención de agua y la composición. Qiao et al. (2002a, b; 2001) reportaron que las variaciones de la coordenada L^* se

correlacionaron significativamente con la humedad, la capacidad de retención de agua, la capacidad de emulsificación, la absorción de marinado, las mermas por cocción, la fuerza de corte de carne cocida y la composición química (proteínas y cenizas) en carne de la pechuga de pollos.

1.2.2.3. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua de la carne se define como la capacidad para retener humedad frente a la aplicación de fuerzas o factores externos (como el calentamiento, la centrifugación, el prensado) (Huff-Lonergan y Sosnicki, 2005) Este parámetro de calidad se puede evaluar de varias maneras incluyendo las pérdidas por goteo; las pérdidas por descongelación y las pérdidas por cocción (Honikel, 1998).

El agua es un componente fundamental que explica en gran medida la jugosidad de la carne cocida y el rendimiento tecnológico de los productos procesados (Mead, 2004), por ello, la capacidad para retener la humedad es un atributo muy importante que determina su calidad (Tomisaka et al., 2010). Numerosos son los factores que pueden afectar la capacidad de retención de agua de estos alimentos. En algunos casos, la genética y el manejo de los animales vivos pueden desempeñar un papel importante sobre este parámetro en el producto final (Kerry y Ledward, 2009). Así mismo, la forma en que se manipula la canal a medida que entra en

1. INTRODUCCIÓN

desarrollo del rigor mortis (en particular con respecto a la refrigeración) puede influir en la cantidad de humedad que se retiene en el producto (Dransfield y Sosnicki, 1999; Honikel 1998). Todos estos factores (la genética, la manipulación de los animales en vivo y manejo post-mortem) tienen el potencial de intervenir en gran medida en la velocidad y el grado de disminución de pH, y por lo tanto, en la capacidad de retención de agua de la carne.

La baja capacidad de retener agua de las carnes puede provocar excesivas mermas de agua por goteo (Aberle et al., 2001) que se traducen en pérdidas económicas, que incluyen la reducción en el peso del producto final y la pérdida de clientes que exigen un producto de alta calidad. Además, valiosas proteínas solubles en agua y vitaminas se pueden perder junto con la humedad. Esta propiedad también puede influir en las características de procesamiento. Carnes con baja capacidad de retención de agua provoca numerosos defectos de los productos cárnicos, incluidos una menor extracción de proteína y por lo tanto una textura pobre con grandes cantidades de líquido exudado en los productos finales (Tomisaka et al., 2010).

Analizando el efecto de distintos métodos de enfriamiento sobre la capacidad de retención de agua de fillets de pechuga con y sin marinado, Perumalla et al. (2011) observaron que las muestras marinadas y refrigeradas por aire presentaban menores pérdidas por cocción frente a las enfriadas por inmersión. Mientras que Northcutt et al. (2001) evaluando el impacto de la maduración

informaron que los filets retirados inmediatamente después del enfriamiento tuvieron mayores mermas por cocción que aquellos músculos que fueron madurados durante 2 o más horas. Resultados similares han sido reportados por Liu et al. (2004). Por otro lado Yoon (2002) investigando los efectos del marinado con cloruro de sodio y fosfatos sobre las mermas por descongelación de pechugas de pollo almacenadas durante 10 meses en congelación, observaron que el marinado reduce las pérdidas por descongelación comparadas con el control, durante todo el período de almacenamiento.

Estos resultados sugieren que cada segmento involucrado en la obtención de carne de aves, tanto en los procesos de faena como en la conservación, es responsable sobre este parámetro de calidad. Por lo tanto, se necesita un esfuerzo coordinado para garantizar la obtención de un producto de alta calidad (Huff-Lonergan y Sosnicki 2005).

1.2.2.4. Terneza

La impresión global de la terneza al paladar incluye además de la textura otros aspectos como la capacidad inicial de penetrar los dientes en la carne, la facilidad con que se desintegra la carne y la cantidad de residuo que queda después de la masticación (Lawrie, 2006). Para los consumidores de productos de carne de

1. INTRODUCCIÓN

aves, la ternera es probablemente el factor de calidad más importante asociado a su satisfacción.

Existen diversos métodos para poder cuantificar este parámetro, sin embargo, uno de los mayores problemas que presenta la ternera es su gran variabilidad incluso dentro de un mismo músculo (Zhuang y Savage, 2009). La determinación de ternera puede realizarse en forma sensorial o instrumental. El análisis sensorial de la ternera consiste en el empleo de un panel de catadores entrenados que evalúan además otros factores inherentes a la palatabilidad. Instrumentalmente la textura puede ser medida por diferentes pruebas que incluyen esfuerzos de corte, penetración y compresión (Barbut, 2002).

Dada la importancia de la percepción sensorial y la simpleza en la realización e interpretación de los datos que representa un análisis instrumental, diversos autores han estudiado la relación entre los valores de esfuerzo de corte que se obtienen con el instrumento y las medidas sensoriales de la ternera. Lyon y Lyon (1991), correlacionaron los valores de corte Warner Bratzler (WB) (Texturómetro Instron Corp., Canton, MA 02021) y la percepción sensorial de la ternera obteniendo una alta correlación significativa, además pudieron establecer puntos de referencia indicando que los valores de corte WB por debajo de 3,6 kg corresponden a "muy tiernos"; los comprendidos entre 3,6 a 6,6 kg a "moderada a ligeramente tierno"; los resultados entre 6,6 a 9,6 kg

1. INTRODUCCIÓN

a "poco tierna y ligeramente duro"; 9,6 a 12,6 kg a "ligeramente a moderadamente dura" y más de 12,6 kg a "muy duro".

Además para la predicción de la terneza pueden emplearse características bioquímicas e histológicas tales como la medición de la longitud del sarcómero, el contenido de colágeno y el grado de proteólisis de proteínas específicas. Kriese et al. (2007) determinando la terneza en pechuga de pollo a través de diferentes métodos observaron una correlación negativa significativa ($r = -0,93$) entre el índice de fragmentación miofibrilar y los valores de fuerza de corte, lo que sugiere que un aumento de la fragmentación de las proteínas miofibrilares provocó una tiernización en la carne de la pechuga.

Este importante parámetro se encuentra influenciado por la presencia de numerosos factores propios de la carne de ave o inherentes a los métodos de procesamiento. Aunque se ha demostrado que muchas son las causas que pueden influir en la calidad de la carne de pollo tales como la edad, el sexo, la genética, el medio ambiente o la nutrición (Poole et al., 1999). Fletcher, (2002) consideró que las dos principales características que afectan a la terneza de carne de aves son el estado contráctil de las proteínas miofibrilares y la madurez de los tejidos conectivos. Aunque en la producción de carne el pollo es sacrificado a edades en que el colágeno normalmente no constituye un problema sobre la textura.

1. INTRODUCCIÓN

El estado contráctil de las proteínas miofibrilares está relacionado principalmente con el desarrollo del rigor mortis. Distintos estudios han demostrado que los filets de pechuga despostados antes de la finalización del rigor mortis muestran una dureza mayor. Seabra et al. (2001) y Sams et al. (1990) encontraron que las carcasas maduradas durante 24 h producen carne con menores valores de corte que aquellas deshuesadas sin madurar. Así mismo Thielke et al., (2005) indicaron que el deshuesado y congelado puede conducir a una mayor dureza de la carne si el rigor mortis no se ha completado. Por tanto diversos autores indican que con una correcta instauración del rigor mortis y posterior maduración de los tejidos, la terneza no se ve afectada negativamente, si durante el proceso de cría, sacrificio y procesado no se producen alteraciones importantes.

1.2.2.5. Composición

Dado que la carne de pollo tiene un alto valor nutricional, su demanda mundial ha ido en aumento durante los últimos tiempos (Owens et al., 2010). Es una importante fuente de proteínas de alta calidad, fácil de digerir y se considera un alimento bajo en grasa (Gil Martínez, 2010; Barbut, 2002). Este alimento contiene todos los aminoácidos esenciales necesarios para la dieta del ser humano y es una buena fuente de vitaminas del complejo B y vitamina A, es

1. INTRODUCCIÓN

también rica en hierro y fósforo (Díaz Sánchez y Bonilla Bolaños, 2003).

Se ha demostrado que la composición química de la carne de aves de corral está relacionada con la especie, raza, tipo de músculo, sexo, edad y método de procesamiento de las canales (Chuaynukool et al., 2007; Al-Najdawi y Abdullah, 2002; Abeni y Bergoglio, 2001; Smith y Pesti, 1998). Distintos estudios ponen en evidencia el efecto de estos factores sobre el contenido de humedad. Castellini et al. (2002) evaluando diferentes sistemas de crianza reportaron mayor contenido de agua en carne de pollo producida en forma orgánica comparado con la tradicional. Sousa et al. (2011) analizando el efecto de distintas líneas genéticas y sexo no observaron variaciones de la humedad. Similares resultados fueron reportados por Lonergan et al. (2003).

Los contenidos de lípidos y proteínas también fueron estudiados en distintos trabajos. Castellini et al. (2002) observaron un aumento de las grasas para la producción convencional comparando con la orgánica, mientras que el contenido de proteínas no fue afectado. Fanatico et al. (2007) observaron mayor contenido de grasas y menor porcentaje de proteínas en canales con alimentación tradicional, respecto de una nutrición baja en nutrientes. Souza et al. (2011) no encontraron diferencias en los contenidos de grasas y proteínas entre las líneas genéticas estudiadas y el sexo. Intarapichet et al. (2005) reportaron valores de

1. INTRODUCCIÓN

humedad comprendidos entre 73,2 y 74,9 % y un contenido de proteínas en un rango de 21,7 y 24,0 % en pechuga de pollo.

El tejido conectivo por lo general comprende alrededor de 3 a 6% de la proteína total de músculo esquelético de las aves de corral, siendo el colágeno el compuesto de mayor importancia de este grupo de proteínas (Owens et al., 2010). La característica que presenta es su insolubilidad en agua a temperatura ambiente y frente a soluciones salinas. El colágeno es rico en hidroxiprolina, un aminoácido poco frecuente en las proteínas (Gullo y Centurion, 1999), por lo que se usa comúnmente su cuantificación para la determinación directa en carnes. Estudios realizados en carne de pollo por Liu et al. (1996) muestran que la fuerza de corte de la carne cruda está altamente correlacionada con el contenido de colágeno ($r = 0,94$).

1.3. Etapas de la faena de aves

1.3.1. Condiciones de faena

Durante las últimas décadas los consumidores han cambiado su preferencia hacia la carne de pechuga sin hueso, sin embargo junto con la predisposición a pagar un precio superior se exige máxima calidad y uniformidad (Sams, 2001). Dado que las condiciones de cada una de las etapas de la faena juegan un papel importante en la calidad y es cada vez más común el procesamiento de las aves en plantas a gran escala, resulta importante remarcar

cuales son los procedimientos más usados y como pueden afectar a las características de la carne.

1.3.1.1. Recepción

Las aves se reciben en las plantas de sacrificio en jaulas transportadas por camiones. Los animales que permanecen en las cajas de transporte deben ser mantenidos en condiciones óptimas de temperatura y ventilación (Mead, 2004). Se descargan de los vehículos y los pollos se cuelgan manualmente de los ganchos para proceder con la faena.

1.3.1.2. Aturdimiento

El aturdimiento es utilizado para inducir inconsciencia e insensibilidad de modo que el sacrificio se pueda realizar minimizando el estrés de las aves. Los métodos utilizados durante esta etapa pueden tener un gran impacto en la calidad de la canal (hemorragias, fracturas de huesos) (Savenije et al, 2002, Lambooi et al., 1999; Fletcher, 1999a; Northcutt et al, 1998) y en la calidad de la carne (pH, color y capacidad de retención de agua) (Barbut, 2009).

Los sistemas desarrollados están diseñados principalmente para hacer que el ave permanezca inconsciente el tiempo suficiente para permitir el corte del cuello y reducir el daño de la canal (Barbut, 2002). El aturdimiento se puede realizar por corriente eléctrica, gas o medios mecánicos (Barbut, 2002). El método

1. INTRODUCCIÓN

comúnmente empleado en aves de corral es por inmersión de las cabezas en un baño de agua electrificado (Savejine et al., 2002; Barbut, 2002).

1.3.1.3. Sangrado

Tras producir la inconsciencia, las aves son sacrificadas cortando en forma mecánica o manual la vena yugular y la arteria carótida del cuello, sin afectar el esófago o la tráquea. Posteriormente, las aves deben sangrar durante un período no inferior a 2 minutos (Decreto Nacional 4238/68, 1983). Durante este período el ave pierde la mayor parte de su sangre lo que finalmente causa la muerte.

1.3.1.4. Escaldado

Se utiliza para abrir los folículos de la pluma lo que facilita su eliminación (Barbut, 2002). Esta operación es realizada con agua caliente; donde el tiempo de exposición y su temperatura son parámetros regulados. En función de sus condiciones el método de escaldado, puede ser clasificado como suave (53°C durante 120 s) o como escaldado alto (62 a 64 ° C por 45 s). Las condiciones de escaldado suave no causan daños apreciables a las capas externas de la piel y mantienen intacta la capa de pigmentación amarilla (Owens et al., 2010). La legislación argentina indica que el agua al ingresar al sistema escaldador debe ser potable y tener una

temperatura entre 50 y 60° C. El agua de las piletas de escaldado, se debe renovar continuamente y las piletas deberán ser vaciadas e higienizadas, por lo menos una vez por día o cuando lo disponga la Inspección Veterinaria. Dicha renovación deberá ser controlada, manteniéndose como mínimo 0,2 litros s/pollo (Decreto Nacional 4238/68, 1983).

1.3.1.5. Desplumado

La remoción de las plumas se realiza con desplumadoras mecánicas equipadas con dedos flexibles de goma que por abrasión separan las plumas de la canal. Durante el desplume las máquinas ajustadas demasiado cerca de las aves puede causar desgarres de la piel en las regiones del muslo y pechuga y además provocar huesos rotos de alas, muslos y costillas, por el contrario aquellas máquinas que están muy alejadas no pueden eliminar adecuadamente las plumas (Owens et al., 2010).

Luego del desplumado y antes de pasar a la zona limpia, las carcasas deben ser sometidas a un duchado para disminuir su carga bacteriana superficial. La cantidad mínima de agua a utilizar, será de 0,2 litros/ave. (Decreto Nacional 4238/68, 1983).

1.3.1.6. Evisceración

La evisceración es la eliminación de las vísceras comestibles y no comestibles de la canal que puede realizarse

1. INTRODUCCIÓN

manualmente, mecánicamente o una combinación de ambos. En todos los casos se debe tener cuidado de no esparcir el contenido de las vísceras y contaminar la canal (Barbut, 2002). El ayuno previo a la faena es una práctica importante que reduce la contaminación durante el proceso de evisceración que puede ocurrir por derrames resultantes de rupturas del tracto gastrointestinal y vísceras durante esta etapa (Owens et al., 2010).

1.3.1.7. Lavado

Existen diversos dispositivos que pueden ser usados en diferentes puntos a lo largo de la línea de procesamiento para el lavado de las aves. Uno de los puntos más comunes es antes del enfriamiento. El lavado de las canales debe realizarse en su interior y exterior. El objetivo de esta etapa es asegurar la remoción de residuos o sangre adherida sobre la superficie interna y externa (Barbut, 2002). El consumo de agua recomendado para realizar esta operación es como mínimo de 1,5 litros por pollo (Decreto Nacional 4238/68, 1983).

1.3.1.8. Enfriamiento

Después de la evisceración las canales se envían a enfriamiento. El objetivo primario es la reducción de la proliferación microbiana a un nivel que maximiza tanto la seguridad alimentaria como el período de vida útil (Owens et al.,

1. INTRODUCCIÓN

2010). Por otra parte, el enfriamiento rápido de canales aumenta la firmeza de los músculos y la rigidez del esqueleto facilitando de este modo el trozado y deshuesado (Petracci et al., 2010).

En Argentina el reglamento sanitario y de inspección veterinaria de establecimientos de sacrificio, exige en la parte interna más caliente y profunda del músculo de la pechuga una temperatura igual o menor a 10° C, a la salida del sistema de enfriamiento (Decreto Nacional 4238/68, 1983). El método ampliamente utilizado en nuestro país es el enfriamiento por inmersión en agua refrigerada aunque existen otros métodos como el enfriamiento por aire o una combinación de ambos.

Las distintas técnicas empleadas en la disminución de la temperatura tienen un efecto muy diferente en el rendimiento y en la calidad del producto (Owens et al., 2010). Se observa que las canales enfriadas con aire frío por lo general exhiben una leve pérdida de peso durante el proceso, mientras que en el enfriamiento por inmersión en agua se produce un aumento del mismo, según la legislación no puede superar el 8% del peso de la canal (Decreto Nacional 4238/68, 1983). Huevo et al. (2007) encontraron que la piel de las canales refrigeradas por aire adquiere un aspecto seco durante el enfriamiento y se vuelve más transparente que las refrigeradas con agua, mientras que el color en la carne de pechuga cruda y cocida no se ve modificada por los métodos de refrigeración. Carroll y Alvarado (2008) encontraron que la disminución de la temperatura mediante aire frío puede mejorar el

1. INTRODUCCIÓN

color, el rendimiento de marinado, la ternura y aumentar la vida útil de los filets de pechuga. Mientras que Zhuang et al. (2009) afirmó que el sabor y la textura sensorial de la carne no se ven influidos por el método de refrigeración si se consideran iguales tiempos de deshuesado.

1.4. Procedimientos industriales para mejorar la calidad de la carne de ave

Durante los últimos años intensos esfuerzos de investigación se han centrado en determinar los factores de crianza y de procesamiento de aves que afectan a los parámetros de calidad de la carne y principalmente a la ternura (Fletcher, 2002). Como consecuencia de esto, el sector avícola fue incorporando mejoras tecnológicas en las áreas de producción primaria y de industrialización. Una gran variedad de técnicas han sido desarrolladas y presentadas para mejorar las propiedades tecnológicas y sensoriales de la carne de ave. Entre ellas la maduración, la estimulación eléctrica y el marinado son actualmente procedimientos industriales muy estudiados para evaluar su efecto sobre la calidad del producto final y su relación costo beneficio.

1.4.1. Maduración

La práctica de mantener la carne en la carcasa, durante un período de tiempo entre la muerte y el deshuesado es conocida como "envejecimiento" o "maduración". En la obtención de carne de pechuga de pollos, el fileteado sin maduración previa constituye la causa principal de carnes con mayor dureza (Fletcher, 2002).

Numerosos estudios se han realizado para determinar el tiempo óptimo de maduración en carcasas de pollo a fin de evitar un endurecimiento de la carne. Ciertos investigadores sugieren que es necesario madurar de 4 a 6 horas la pechuga de pollo antes de ser deshuesada para evitar un endurecimiento (Liu et al., 2004; Northcutt et al., 2001; Young, 1997; Young y Lyon, 1997a).

La maduración de las pechugas antes del deshuesado permite el desarrollo y la resolución del rigor mortis y la tiernización de la carne (McKee et al., 1997). Este mecanismo se basa principalmente en la contención mecánica de los huesos para evitar el acortamiento del músculo durante el rigor, se sugiere además, que cuando el músculo se retira de la carcasa se enfría más rápidamente porque ya no tiene los músculos circundantes y la piel que funciona como aislante, lo que provoca un acortamiento por frío (Owens et al., 2010).

Por otro lado McKee et al. (1997) investigaron los efectos físicos y bioquímicos en la terneza de filets de pechuga de pollos a las 0, 23, 47 y 71 h de maduración, e informaron que a las 71 h se observaron los menores valores de corte estando aun activas las

1. INTRODUCCIÓN

calpaínas. Estos hallazgos sugieren que la fragmentación miofibrilar debido a la proteólisis y sarcómeros más largos da como resultado un ablandamiento posterior de la carne madurada.

Sin embargo, para lograr la maduración de la carne los procesadores deben almacenar las canales intactas o los cuartos delanteros a temperaturas de refrigeración (inferior a 4 ° C) un tiempo adicional posterior al enfriamiento antes del deshuesado (Sams, 2001). Esta práctica por lo tanto implica mayores costos debido a tres causas principales, la primera es el espacio requerido para el almacenamiento de las canales. La segunda es el costo de energía para mantener el producto refrigerado y finalmente la logística que involucra el movimiento del producto. Debido a esto, muchos industrializadores prefieren deshuesar los fillets inmediatamente después del enfriamiento, lo que en un sistema por inmersión en agua fría se produce alrededor de 1 h luego del sacrificio, mientras que si se utiliza un sistema de enfriamiento por aire sería entre 1 a 3 h post mortem (Owens et al., 2010).

La maduración en condiciones óptimas podría ser una técnica industrial para garantizar la terneza sin desmejorar otras características de calidad. Sin embargo durante los últimos años, debido al aumento en la demanda de la carne de ave, el objetivo de las industrias faenadoras ha sido desarrollar métodos de sacrificio que provoquen la aceleración de rigor post-mortem mortis y permitan obtener carne deshuesada de pollo con una calidad óptima en el menor tiempo posible.

1.4.2. Estimulación eléctrica

Este método se ha utilizado para mejorar la calidad de la carne (Fletcher, 2002). Comprende la aplicación de una fuente de energía eléctrica pulsada, a través de las canales de aves durante un periodo de tiempo predeterminado. En este lapso la electricidad aplicada provoca la contracción y relajación muscular consumiendo la energía de las células y acelerando los procesos post mortem (Uijttenboogaart, 2007).

Numerosos son los estudios realizados sobre esta técnica, utilizando diferentes tensiones e intensidades de corrientes, así como también distintos tiempos de aplicación y diferentes metodologías para la aplicación de corriente. Una forma de clasificar los distintos sistemas de estimulación eléctrica puede ser agrupándolos según los amperajes empleados. Los que utilizan bajas intensidades de corriente operan como máximo con 200 mA y los que utilizan entre 350 y 500 mA son descriptos como altos amperajes (Mead, 2004). Se considera que la estimulación eléctrica de bajo amperaje acelera el desarrollo del rigor mortis y previene el acortamiento del sarcómero, mientras que los de alto amperaje además provocan un efecto adicional que es el daño de las miofibrillas (Owens y Sams, 1998).

Fueron diseñados y construidos distintos dispositivos de estimulación para aves, básicamente todos ellos consisten en una placa o una barra conductora. En algunos procesos la electricidad se distribuye desde la cabeza a partir de una placa cargada y sale

1. INTRODUCCIÓN

por las garras que se encuentran en contacto con la brida metálica (Figura 5) (Owens et al., 2010). En otros casos la electricidad es aplicada sobre el músculo pectoral como se observa en la Figura 4.

Por otra parte la estimulación eléctrica puede ser aplicada en diferentes etapas del procesamiento. Algunas investigaciones sugieren su uso antes del desplumado (Young y Buhr, 2000; Young et al. 1999), mientras que otras la proponen posterior al desplumado (Young et al., 2005a). Por otro lado Zhuang et al. (2010) estudiando su aplicación inmediatamente posterior al sangrado e inmediatamente después del desplumado, como así también una combinación de ambas, indicaron que el uso de una única estimulación eléctrica previa al escaldado se recomienda para mejorar la terneza de carne de pechuga de pollo deshuesada en pre rigor.

La mayoría de los investigadores están de acuerdo en que este procedimiento acelera el desarrollo temprano del rigor. Las plantas que aplican esta tecnología podrían trozar las carcasas inmediatamente salidas del enfriamiento y compensar así los costos del equipo, tiempo, espacio y requerimientos energéticos asociados a la maduración (Northcutt, 2008). Sin embargo los distintos trabajos consultados no coinciden en la posibilidad de eliminar totalmente la maduración o cual es el tiempo mínimo necesario de la misma para impedir un endurecimiento de la carne. Por tal motivo la magnitud de los efectos de la estimulación eléctrica sobre los parámetros calidad es todavía tema de estudio.



Figura 4: Estimulación eléctrica inmediatamente posterior al desplumado, mostrando el contacto de las pechugas con la placa conductora.

Fuente: Mead, 2004



Figura 5: Estimulador eléctrico mostrando el contacto de las cabezas de las aves con la placa conductora.

Fuente: Owens et al., 2010

1. INTRODUCCIÓN

1.4.3. Marinado

El marinado es un proceso antiguo que tradicionalmente se utiliza para mejorar el sabor, la ternura, la capacidad de retención de agua y aumentar la vida útil del producto (Alvarado y Mckee, 2007; Brabanti y Pasquini, 2005; Quiao et al., 2002b). Xargayó et al. (2001) consideran que otro aspecto importante del marinado es el aumento de rendimiento de la materia prima el cual, bien controlado, puede ofrecer beneficio al productor y al consumidor dando lugar a la creación de productos con alto valor añadido. Además el marinado podría ser una técnica para controlar las pérdidas por descongelación de carne de ave deshuesada o en fillets congelados, ya que estos productos son más susceptibles a mayores pérdidas debido a la mayor superficie expuesta (Hui, 2006).

Existen 3 métodos para elaborar productos marinados que incluyen, la inmersión, la inyección y el tumbling o masajeadoras mecánicas (Xargayó et al., 2001). La inmersión es el método más antiguo, el cual consiste en sumergir la carne en la salmuera para permitir que los ingredientes penetren por difusión. El marinado por inyección multiaguja (Figura 6) se realiza utilizando un conjunto de cabezales de agujas o sondas huecas. Las mismas se insertan perforando la pieza a marinar y el adobo se bombea por cada aguja a través de un pequeño orificio, finalizado este proceso el cabezal se retira (Smith y Acton, 2001). El método de marinado por masajes mecánicos consiste en un tanque con rotación,

1. INTRODUCCIÓN

generalmente con paletas en su interior para aumentar la agitación de la solución y los productos a marinar (Owens et al, 2010).

Las diferentes tecnologías antes mencionadas pueden ser empleadas en el marinado de músculos de carne aviar tales como la pechuga de pollos. Sin embargo la inmersión es un método poco confiable para la industria, debido a que no permite una distribución regular de los ingredientes, además los tiempos de proceso son largos. El marinado por inyección es quizás el método más ampliamente utilizado, ya que permite dosificar una cantidad exacta de adobo y garantizar la estandarización de los productos sin las pérdidas de tiempo requerida para la inmersión (Xargayó et al., 2001). Los tambores de masaje mecánico permiten una acción de masaje o volteo y de esta manera aceleran la absorción de la solución de marinado (Mead, 2004).

Además de las distintas técnicas de marinado es posible utilizar múltiples formulaciones en la soluciones empleadas para la realización de este procedimiento. Los ingredientes más frecuentes en salmueras y soluciones de marinado son cloruro de sodio (NaCl) y algún tipo de fosfato, por lo general tripolifosfato de sodio (STP) (Barbut et al., 1988). La función que cumplen el NaCl y STP es a nivel de las estructuras de las proteínas. Algunas proteínas musculares cargadas (miofibrilares o contráctil) tienen la capacidad de atraer y unir agua. El colágeno que rodea la fibra muscular también puede tener algunos sitios cargados capaces de enlazar agua. La sal y los fosfatos aumentan el número de sitios cargados

1. INTRODUCCIÓN

desplegando las proteínas miofibrilares y abriendo el espacio entre las moléculas de proteínas. Esto se produce debido a las características iónicas de la sal y los fosfatos. Además, los cambios en el pH del medio acuoso que rodea las fibras del músculo, como por ejemplo condiciones más alcalinas debido a los fosfatos alcalinos, escinden enlaces en carne post rigor aumentando de este modo el potencial de retener agua (Offer y Knight, 1988).

Dado que las variables de este proceso son múltiples y que el producto puede responder de manera diferente al marinado, podemos decir que el efecto final de este procedimiento puede ser afectado por diferentes causas tales como el proceso, los equipos y la formulación. Diversos estudios han evaluado los efectos de factores tales como la maduración de la carne, el tamaño de los fillets, el color de la carne y el pH muscular entre otros, sobre la retención total de la solución de marinado y la uniformidad de absorción (Mead, 2004). Estos estudios tienen por objeto proporcionar una mejor comprensión del proceso de marinado para lograr industrialmente productos más uniformes y controlar la absorción para cumplir con la normativa que regula el contenido de humedad del producto final.



Figura 6: Marinado por inyección en carne de pollo.
Fuente: Metalquimia S.A.

1.5. Condiciones de conservación

1.5.1. Refrigeración

La carne de pollo es un producto muy perecedero dado que proporciona un excelente medio para el crecimiento microbiano. Por lo tanto, su almacenaje debe reunir las condiciones necesarias para mantener la calidad y seguridad exigidas por el consumidor. Un método para proteger su integridad durante cierto tiempo es la conservación en frío. El tiempo de almacenamiento de este alimento en ambientes refrigerados está limitado principalmente por el crecimiento microbiano que produce descomposición en la carne de ave (James et al, 2006). Sin embargo, el mantenimiento de

1. INTRODUCCIÓN

una cadena de frío adecuada desde la producción hasta el punto de venta, asegura que la vida útil de la carne sea suficientemente larga para satisfacer las necesidades del consumidor (Mead, 2004).

La refrigeración puede afectar la apariencia de las canales. James et al. (2006) indicaron que una evaporación excesiva durante el almacenamiento en refrigeración y el frío inicial producen una pérdida directa en los rendimientos de la carne, así como también una superficie oscura, poco atractiva, provocando una disminución en la calidad y por lo tanto en el precio de venta. Los resultados reportados por Petracci y Fletcher (2002) estudiando el efecto del almacenamiento en refrigeración muestran una reducción de la luminosidad, un ligero descenso del enrojecimiento y ningún cambio significativo del color amarillo de la piel.

Aunque se han desarrollado diversos modelos de predicciones para la determinación de la vida útil de la carne de pollo, ha sido demostrado por Bruckner et al. (2013) que los cambios en la cadena de suministro tales como, las mejoras de las condiciones higiénicas y la modernización de la línea de procesamiento, puede cambiar la velocidad de deterioro del producto. El estudio de la conservación a bajas temperaturas (entre 0 y 4 °C) resulta de gran interés, dado que la comercialización en el mercado interno se realiza principalmente bajo condiciones de refrigeración.

1.5.2. Conservación en congelación

El desarrollo de la industria avícola en nuestro país hace necesario adecuar los métodos de conservación que permitan asegurar la calidad de los productos durante la cadena de comercialización. Por lo tanto, la congelación se considera el método más seguro y eficiente para lograr almacenamientos a largo plazo manteniendo la calidad de la carne de ave (Lee et al., 2008). Dado que se trata de un producto altamente perecedero, su colocación en mercados de exportación requiere temperaturas de congelación, sin embargo la carne de pollo que se destina al mercado local generalmente se comercializa refrigerada.

El proceso de congelado de carne se puede llevar a cabo a través de diversos métodos, los más comúnmente utilizados en la industria de aves incluyen congelación por aire (estanco o en movimiento), placas de congelación y líquidos criogénicos (por inmersión o spray). Para productos trozados tales como filets de pechuga de pollo el sistema ampliamente utilizado es el IQF (Instant Quick Freeze). Estos equipos congeladores utilizan alta velocidad del aire (762 m/min a temperaturas menores o iguales a 28 °C bajo cero) para eliminar rápidamente el calor (Owens et al, 2010).

Durante este proceso la velocidad de congelación puede afectar la calidad de la carne a través de cambios estructurales que ocurren debido a la formación de cristales de hielo (James y James, 2002). Según el método empleado puede modificarse dicha

1. INTRODUCCIÓN

velocidad, una congelación convencional con aire estanco (- 20 °C) conduce a la formación de cristales de hielo irregulares y relativamente grandes (Zhu et al., 2004) lo que provoca daños de las células causando un deterioro de la carne.

Durante el almacenamiento y transporte de carne congelada la pérdida de humedad puede afectar la apariencia, la jugosidad y la textura, así como también puede tener un efecto sobre la pérdida de peso (Nollet, 2007). Esta pérdida o migración de la humedad durante la conservación en congelación puede producirse por la sublimación y la recrystalización del hielo. El fenómeno de la recrystalización es puramente físico, consiste en un aumento de los cristales más grandes a expensa de los más pequeños; como consecuencia los cristales más chicos tienden a desaparecer lo que conduce a una reducción en el número total de cristales y a un aumento del diámetro medio del cristal (Martino y Zaritzky, 1988). El aumento en el tamaño de los cristales se desarrolla a causa de las oscilaciones térmicas que con frecuencia se producen durante la conservación en congelación (Gruda y Postolski, 1986). Martino y Zaritzky (1988) observaron en carnes bovinas, mayor deterioro de los tejidos expuestos a variaciones de la temperatura durante el almacenamiento congelado respecto de los tejidos mantenidos a una temperatura constante.

En carnes de pollo diversos trabajos evaluaron los cambios producidos en la apariencia, color, textura y mermas por efecto del almacenamiento a temperaturas de congelación. Estudios

1. INTRODUCCIÓN

realizados por Lee et al. (2008) mostraron que los fillets de pechuga de pollo congelado a $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y almacenado durante largos periodos a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ tienden a ser más oscuros, más rojos y menos amarillos que aquellos que no fueron congelados. Así mismo Galobart y Moran (2004a), pudieron distinguir en la carne de pechugas de pollo una ligera disminución de L^* después de la congelación y descongelación, comparadas con mediciones realizadas a las 48 h post mortem. Teira et al. (2004) observaron una importante correlación entre el pH y el color rojo (coordenada a^*) en fillets de pollo conservados en congelación. Respecto a la textura, trabajos realizados por Yoon (2002) muestran que no se modificó significativamente la terneza en fillets de pechuga de pollo almacenadas durante 10 meses a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Esta tecnología de conservación se ha mejorado durante los últimos tiempos, sin embargo, durante la congelación y almacenamiento a largo plazo de la carne se pueden producir cambios que alteran la calidad de la misma, por lo tanto su estudio es fundamental para la preservación de estos alimentos a bajas temperaturas.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar el efecto del tiempo de maduración de la carne previa a la obtención de los fillets, la aplicación de estimulación eléctrica a bajos voltajes y el marinado sobre las características físicas, químicas y fisicoquímicas de fillets de pechuga de pollo. Además, estudiar la influencia de distintas condiciones de conservación sobre los parámetros de calidad antes mencionados.

Con el fin de alcanzar el objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el efecto del tiempo de maduración de las canales (0, 2, 4, 6, 8 y 24 h) previo a la obtención de los fillets, sobre las características de calidad (pH, color, mermas, terneza y composición química) de la carne de pechuga con y sin estimulación eléctrica, marinadas y no marinadas.
- Determinar la influencia de la estimulación eléctrica con bajo voltaje (45 V), sobre la calidad de fillets con o sin marinado y madurados durante distintos tiempos (0, 2, 4, 6, 8 y 24 h).
- Estudiar el efecto del marinado (inyección multiagujas con sales de fosfato y cloruro de sodio) sobre los parámetros antes mencionados en fillets madurados, con y sin estimulación eléctrica.

2. OBJETIVOS

- Determinar las condiciones más apropiadas de estos tres factores, con el fin de lograr una disminución en los tiempos de procesamiento preservando las características de calidad.
- Evaluar el impacto de distintas condiciones de conservación (4 días en a 4 °C, 90 y 180 días a – 25 °C), simulando mercado interno y exportación sobre las características físicas y químicas que determinan la calidad de los fillets obtenidos según los resultados del punto anterior.

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Obtención de las muestras

3.1.1. Animales

Los ensayos se llevaron a cabo en una planta procesadora de aves ubicada en la ciudad de San José, Provincia de Entre Ríos, Argentina. Se seleccionaron pollos machos (línea genética Arbor Acres) de 48 días y un peso promedio de $2,8 \pm 0,3$ kg. Todos ellos recibieron la misma alimentación durante los mismos períodos. El ayuno de los pollos previo a la faena fue de 8 h. Las distancias entre las granjas de crianza y la planta faenadora fue similar en todos los casos. Las aves llegaron hasta la playa de faena en jaulas plásticas, transportadas por camiones.

3.1.2. Condiciones de faena

Las aves se colgaron manualmente en la línea de procesamiento. Se aturdieron mediante la aplicación de un shock eléctrico sumergiendo la cabeza en una solución de agua con cloruro de sodio. El voltaje utilizado fue de 72 voltios durante 8 segundos. Inmediatamente se efectuó el corte de la vena yugular en forma mecánica para provocar el sangrado, durante un periodo de 2 min y 40 s. Se realizó un escaldado suave con agua caliente a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 minutos. Las aves se desplumaron y posteriormente

3. MATERIALES Y MÉTODOS

fueron evisceradas automáticamente, se lavaron y enfriaron por inmersión en agua a 1 °C por 30 minutos. Así obtenidas las canales fueron a la sala de trozado donde se separaron las pechugas de los cuartos traseros (Figura 7).

3.1.3. Maduración

Las pechugas obtenidas según el proceso descrito en el punto 3.1.2 se maduraron sin piel durante 0, 2, 4, 6, 8 y 24 h (Figura 7) dentro de canastos plásticos cubiertos con bolsas de polietileno, en una cámara de almacenamiento refrigerado a 3 ± 1 °C. La maduración de las mismas comenzó 1 h 15 min post mortem (tiempo transcurrido desde el sacrificio hasta el ingreso a cámara de almacenamiento). Luego de cumplido cada tiempo de maduración, las pechugas fueron deshuesadas automáticamente, repasadas y acondicionadas en forma manual. Finalmente los fillets derechos fueron ultracongelados en IQF (Individual Quick Frozen) a -30 ± 2 °C durante 25 min y embalados en cajas de cartón con bolsas plásticas. Los fillets izquierdos fueron marinados según se describe en el siguiente apartado (3.1.4 Marinado).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

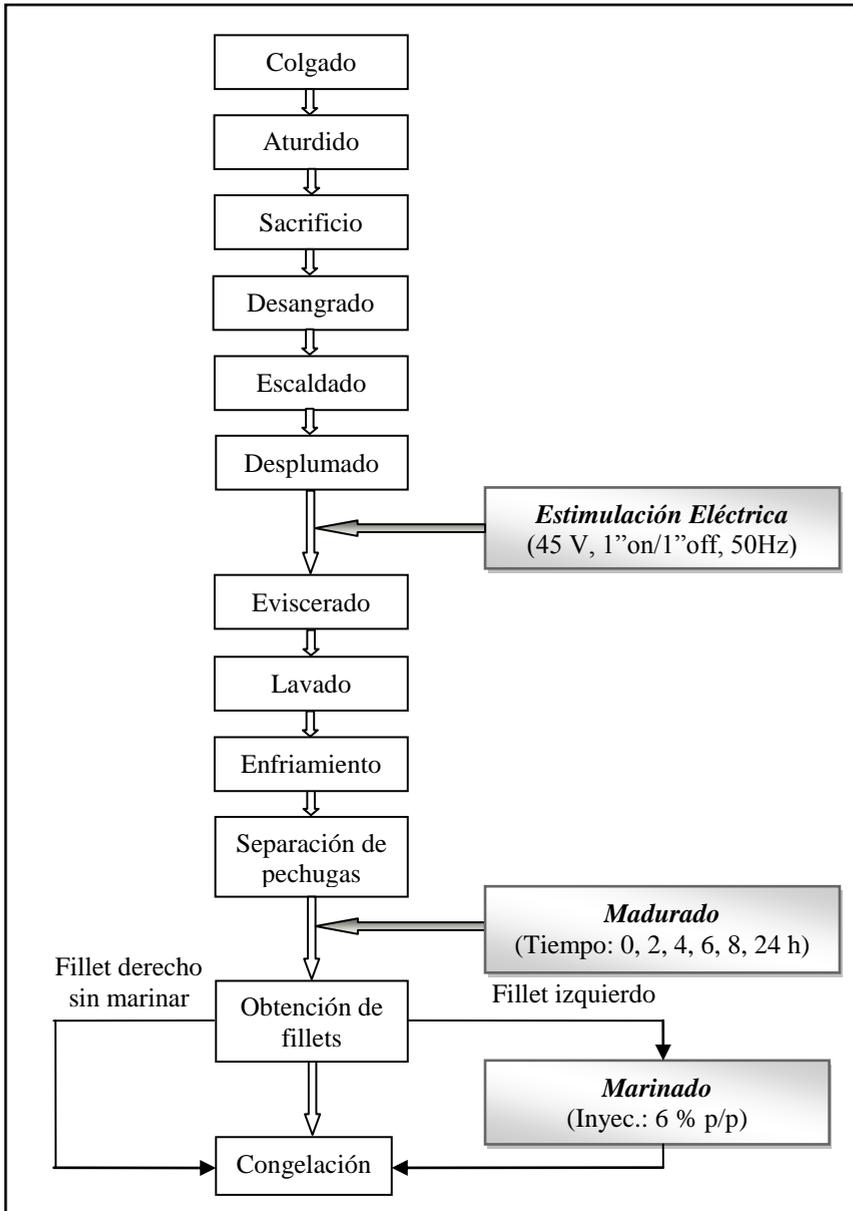


Figura 7: Diagrama de flujo del proceso de obtención de fillets de pechugas de pollo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.4. Marinado

Los fillets izquierdos obtenidos según se indicó anteriormente se marinaron con una solución preparada con 1 parte de tripolifosfato de sodio y 2 partes de cloruro de sodio. La aplicación se realizó mediante inyectora multiagujas industrial, al 6% con una solución cuya concentración final fue de 7,5% m/v.

Finalmente se ultracongelaron individualmente (IQF, -30 ± 2 °C, 25 minutos) y envasaron bajo las mismas condiciones que las muestras no marinadas.

3.1.5. Estimulación eléctrica

La estimulación eléctrica de las canales se realizó inmediatamente posterior a la etapa de desplumado (Figura 7), con las aves suspendidas en los ganchos de la noria. La aplicación se efectuó industrialmente mediante el contacto con una barra metálica conductora sobre el músculo pectoral. Se trabajó con un voltaje de 45 voltios, mediante ciclos de 1 s encendido y 1 s apagado, durante 1 minuto.

El proceso de obtención de los fillets se realizó exactamente en las mismas condiciones descritas en los apartados anteriores, procediéndose también a madurar durante distintos periodos (0, 2, 4, 6, 8 y 24 h) y marinar o no, según corresponda.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.6. Condiciones de almacenamiento

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la primera etapa de investigación se seleccionaron, para los estudios de almacenamiento, los fillets de pechuga con 2 horas de maduración, estimulados eléctricamente con y sin marinado. Los estudios de conservación se efectuaron de la siguiente manera:

- A 4 °C, durante 4 días, manteniendo las muestras en bandejas cubiertas con bolsas plásticas, simulando de esta manera condiciones de comercialización similares a las del mercado interno.
- A – 25 °C, durante 90 días, manteniendo los fillets en cajas de cartón con bolsas plásticas en condiciones similares a las requeridas para la exportación de este producto.
- A – 25 °C, durante 180 días, de la misma manera que la descrita anteriormente.

3.2. Determinaciones analíticas

3.2.1. pH

La medición de pH se realizó con un pHmetro portátil marca Oakton modelo 35805-18, equipado con un electrodo de vidrio de penetración, registrándose el promedio de tres lecturas efectuadas en distintos lugares de la misma sección.

Para la primera etapa del estudio las determinaciones se efectuaron en la planta de faena inmediatamente después de

3. MATERIALES Y MÉTODOS

obtenidos los fillets (0, 2, 4, 6 y 8 h de maduración). Para los ensayos de conservación el pH fue medido a los 4 d en refrigeración y luego de la descongelación cuando las muestras fueron congeladas durante 90 y 180 d.

3.2.2. Color

Se midió con colorímetro Minolta CR300 (Minolta Camera Co., Osaka, Japón), determinándose las coordenadas L*, a*, b*, con iluminante D65 y ángulo del observador 2° (CIE, 1978), de acuerdo a la metodología propuesta AMSA (1995).

La medida se realizó luego del descongelado de las muestras (a 4°C, durante 24 h). Todos los valores son el resultado de la media de tres lecturas en puntos diferentes sobre la superficie.

3.2.3. Mermas por goteo

Se determinaron las mermas por goteo según procedimiento informado por Honikel (1998). Las mediciones se realizaron con balanza Ohaus. Las pérdidas por goteo se expresaron como un porcentaje del peso inicial, calculada según la siguiente fórmula.

$$\text{Mermas por goteo} = \left(\frac{\text{peso inicial}_0 - \text{peso final}_{24}}{\text{peso inicial}_0} \right) \times 100$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras fueron pesadas en la planta de faena y transportadas en refrigeración hasta el Laboratorio de Industrias Cárnicas, finalmente se volvieron a pesar a las 24 h de refrigeración ($4 \pm 1^\circ\text{C}$).

3.2.4. Merms por descongelación

Se calcularon como la diferencia entre el peso de los fillets congelados y el peso de los fillets descongelados, expresado como un porcentaje del peso de la muestra inicial (peso congelado), de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Merms por desc.} = \left(\frac{\text{peso congelado} - \text{peso descongelado}}{\text{peso congelado}} \right) \times 100$$

Los fillets de pechuga de pollo de todos los tratamientos estudiados fueron descongelados en refrigeración (4°C) durante 24h.

3.2.5. Merms por cocción

Las merms por cocción se calcularon como la diferencia entre el peso de cada fillet antes y después de la cocción, expresadas como porcentaje del peso de la muestra inicial. Según se indica en la siguiente fórmula.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

$$\text{Merms por cocción} = \left(\frac{\text{peso crudo} - \text{peso cocido}}{\text{peso crudo}} \right) \times 100$$

3.2.6. Terneza

Se le determinó la terneza mediante la fuerza máxima de corte, expresada en kgf, usando un analizador de textura (Stable Micro Systems TA-XT2i, Reino Unido) con célula Warner-Bratzler (AMSA, 1995). Los filets fueron cocinados individualmente en bolsas plásticas herméticas en un baño de agua a 100°C hasta una temperatura interna de 71°C. Una vez alcanzada esta temperatura se colocaron en un baño de agua y hielo ($1 \pm 0,5^\circ\text{C}$), durante 15 min para detener el aumento de la misma. La temperatura fue controlada mediante registrador múltiple (Yokogawa, mod. DX106-1-2, China). Finalmente cuatro cilindros de 1,30 cm de diámetro fueron extraídos de cada muestra cocida, en forma paralela al eje longitudinal de las fibras musculares.

Las muestras fueron mantenidas en congelación hasta el momento de las determinaciones y descongeladas a 4°C durante 24 h.

3.2.7. Humedad

El contenido de humedad se determinó siguiendo el método de secado con aire (AOAC 950.46, 2005), en un horno de convección (Venticel 111).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se registró el valor medio de 5 réplicas por cada muestra. Los resultados se expresaron como porcentaje respecto del total de muestra analizada.

3.2.8. Proteínas

El análisis de proteínas totales se realizó por el método de Kjeldhal (AOAC 928.08, 2005). Cada muestra fue analizada por duplicado empleando un equipo analizador Kjeltec 2200 (Foss Tecator, Suecia).

3.2.9. Colágeno total

La determinación del contenido hidroxiprolina se efectuó según se indica en AOAC 990.26 (2005). La digestión de las muestras se realizó en horno (Venticell 111) y las mediciones de absorbancia se realizaron mediante espectrofotómetro (Shimadzu UV 1603). La separación del colágeno soluble e insoluble se realizó según metodología propuesta por Silva et al. (1999). Los factores considerados para colágeno soluble e insoluble fueron 7,25 y 7,52 respectivamente (Cross et al., 1973). El contenido de colágeno fue expresado como colágeno total (insoluble + soluble) en mg/g de carne. La determinación de colágeno se realizó por duplicado.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.10. Lípidos totales

Se determinó el porcentaje de lípidos totales intramusculares (AOAC 991.36, 2005) por triplicado, mediante equipo Soxtec modelo 2055 (Foss Tecator, Sweden).

3.3. Diseño y análisis estadístico

- Estudio del efecto de la maduración, estimulación eléctrica y marinado

Se utilizó un diseño totalmente aleatorizado, multifactorial de 3 factores fijos para evaluar el efecto de la maduración, estimulación eléctrica y del marinado. Los niveles estudiados en la maduración fueron 0, 2, 4, 6, 8 y 24 h, mientras que la estimulación eléctrica y el marinado se estudiaron en dos niveles (con y sin); por lo tanto el número total de tratamientos fue de 24 (6 x 2 x 2).

Se realizaron 3 repeticiones del ensayo con 10 fillets por repetición (total: 30 fillets por tratamiento). Cada repetición se efectuó con aves procedentes de granjas con similares condiciones de crianza. Para todo este estudio se fijaron las condiciones de: crianza, sexo, edad, peso, horas de ayuno previo a la faena y periodo del año en que se efectuaron los ensayos (junio-julio).

- Estudio del efecto de la conservación

De acuerdo con los ensayos previos, los fillets estimulados eléctricamente con 2 h de maduración fueron seleccionados para

3. MATERIALES Y MÉTODOS

este estudio, debido a que mostraron características similares a los fillets sin estimulación eléctrica con 6 y 8 h de maduración.

En esta etapa se empleó un diseño unifactorial totalmente aleatorizado para evaluar el efecto de las distintas condiciones de conservación. Los niveles estudiados fueron: 4 días en refrigeración, 90 días y 180 días en congelación; en todos los casos en muestras con y sin marinado.

Se realizaron 3 repeticiones de todo el ensayo y se trabajó con un tamaño de muestra de 10 fillets por repetición (total: 30 fillets por tratamiento). En cada repetición se utilizaron fillets procedentes del mismo lote de aves.

- **Análisis estadístico**

En todos los estudios, los resultados obtenidos fueron analizados utilizando el software Statgraphics centurión XV (StatPoint Tech., Inc., Warrenton, VA, EE.UU.) efectuándose ANOVAs. En los casos donde las interacciones dobles o triples resultaron significativas se realizaron pruebas de comparaciones múltiples (test de Duncan) sobre los promedios de los niveles de un factor en cada nivel del otro, como propone Montgomery (2009).

En el estudio del efecto de la maduración y estimulación eléctrica se realizó un análisis de componentes principales (PCA), utilizando como variables el pH, las coordenadas de color (L^* , a^* , b^*), las mermas (goteo, descongelación, cocción) y el esfuerzo de corte WB.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En todos los casos se utilizó un nivel de significancia de 0,05.

RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la Maduración, Estimulación Eléctrica y Marinado

4.1.1. pH

En la tabla 2 se informan los valores promedios y los desvíos estándar del pH, obtenidos en los distintos tratamientos estudiados.

Tabla 2: pH en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad. (h) ¹	Sin EE		Con EE	
	Marinado	Sin Marinar	Marinado	Sin Marinar
0	6,07 \pm 0,20 a A ²	6,09 \pm 0,19 a A	6,08 \pm 0,25 a A	6,18 \pm 0,20 a A
2	5,85 \pm 0,17 b A	5,86 \pm 0,19 b A	5,89 \pm 0,30 b A	5,82 \pm 0,20 b A
4	5,80 \pm 0,15 b A	5,73 \pm 0,16 c A	5,79 \pm 0,21 bc A	5,76 \pm 0,23 bc A
6	5,78 \pm 0,16 b A	5,70 \pm 0,18 c A	5,75 \pm 0,21 c A	5,69 \pm 0,22 cd A
8	5,76 \pm 0,18 b B	5,72 \pm 0,17 c AB	5,73 \pm 0,22 c AB	5,63 \pm 0,23 d A

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila (p < 0,05).

Se realizó un análisis de varianza para los valores de pH; con el objetivo de estudiar el efecto de la maduración, la estimulación eléctrica y el marinado sobre este parámetro (Tabla

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

3). Se pudo observar que solo el efecto de la maduración fue significativo sobre este parámetro.

Los tiempos de **maduración** estudiados afectaron significativamente el pH de la carne de pechuga durante las primeras 8 h. En todos los casos se observó un descenso de este parámetro con el tiempo de maduración (Figura 8). Este descenso se debe a la glucólisis que genera ácido láctico, el cual se acumula sin que pueda ser eliminado (Hui et al. 2012)

Tabla 3: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica, marinado y sus interacciones sobre el pH y las coordenadas L*, a* y b* de color de filets de pechuga de pollo (p-valor).

Efectos principales e interacciones	p-valor			
	pH	L*	a*	b*
M	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EE	0,7102	0,0000	0,3918	0,0049
MO	0,0592	0,1168	0,0110	0,0001
MxEE	0,4152	0,0085	0,0000	0,0004
MxMO	0,1050	0,1289	0,0367	0,0391
EExMO	0,8448	0,7313	0,1619	0,5045
MxEExMO	0,5203	0,0225	0,0317	0,2450

M: maduración. EE: estimulación eléctrica. MO: marinado.

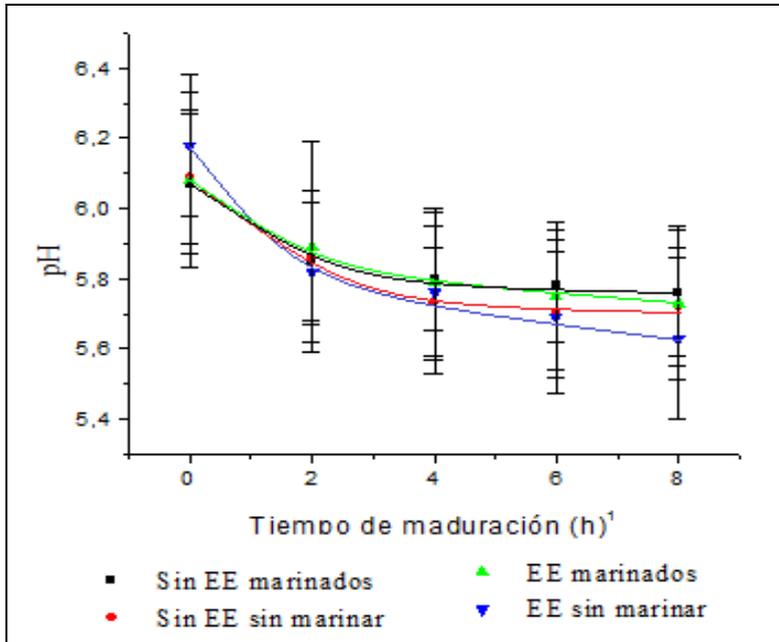


Figura 8: Evolución del pH en muestras con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar a lo largo del tiempo de maduración.

¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. EE: estimulación eléctrica.

El pH se estabilizó en los filets sin estimular a las 4 h para las muestras sin marinar y a las 2 h en las marinadas (Tabla 2). Cuando se aplicó estimulación eléctrica el pH se estabilizó recién a partir de las 6 h en muestras sin marinar y a las 4 h de maduración en la carne marinada. Según estos resultados puede observarse que las muestras marinadas alcanzaron en menor tiempo la estabilización del pH. Este efecto podría deberse a la capacidad buffer que poseen los fosfatos (Alvarado y McKee, 2007).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Distintos estudios mencionan diferentes tiempos post mortem para alcanzar la estabilización del pH. Algunos autores proponen en muestras sin estimular entre 4 y 6 h de maduración para obtener un pH constante en el músculo (Tielke et al., 2005, Papinaho y Fletcher 1996; Papinaho et al., 1996a; Khan, 1974); sin embargo otros investigadores han informado un pH estable a partir de las 2 h post mortem en aves de corral (Kijowski et al., 1982).

Liu et al. (2004) evaluando características de calidad en carne de ave a diferentes tiempos de maduración, indicaron que el valor de pH se redujo gradualmente desde las 2 a las 6 h y permaneció constante de 6 a 24 h post mortem. Huezo et al. (2007) encontraron en filets de pechuga de pollo, mayores valores de pH en la carne sin madurar que en los filets madurados 1,67 h o 24 h, sin diferencias significativas entre estos últimos. Sousa et al. (2005) hallaron que el pH a las 24 h fue significativamente menor que a las 0 y 1 h de maduración. Tielke et al. (2005) observaron una disminución gradual en el pH durante las primeras 4,5 a 5 h de maduración. Mahaffey et al. (2006) observó que la carne madurada 2 h tenía un mayor pH comparada con la carne madurada 4 h para distintas líneas genéticas. Zocchi y Sams (1999) en ensayos aplicando estimulación eléctrica observaron mayores valores en muestras maduradas durante 1 h respecto de las maduradas 4 h. La diversidad en los resultados obtenidos para llegar a pH constante puede deberse a distintos factores como diferentes niveles iniciales

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

de glucógeno, genética aviar, sexo, los procedimientos de aturdimiento y otros factores fisiológicos (Papinaho et al., 1996a).

La **estimulación eléctrica** no produjo un efecto significativo sobre el pH de los fillets de pechuga de pollo según los distintos tratamientos estudiados (Tabla 2 y 3). Estos resultados no son coincidentes con la mayor parte de bibliografía consultada; sin embargo, Craig et al. (1999), evaluando el efecto combinado de la estimulación eléctrica (440 V) y del aturdimiento eléctrico sobre la calidad de la carne de pollo, encontraron que las muestras estimuladas eléctricamente no presentaban diferencias en el pH con las muestras control cuando eran aturdidas con bajos voltajes (11 V, 7 - 8 mA) o no eran aturdidas (las muestras aturdidas con 125 mA, presentaron menores valores de pH comparadas con aquellas sin estimular). Se debe destacar que en el presente trabajo no se observó este comportamiento probablemente debido a la utilización un sistema de estimulación con bajo voltaje (45 V) de operación a diferencia de la mayor parte de los estudios citados a continuación cuyos voltajes fueron entre 200 y 500 V.

Zhuang et al. (2010) estudiando el impacto de la estimulación eléctrica (200 V) en distintas etapas del proceso de faena sobre la calidad de carne de pollo, observaron que el valor promedio del pH de los fillets estimulados eléctricamente fue menor que las muestras sin estimular maduradas durante 2 h. Sin embargo no encontraron diferencias significativas en este parámetro según la etapa del proceso donde se aplicó la

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

estimulación. Alvarado y Sams (2000) observaron que la estimulación eléctrica (450 mA), acelera el metabolismo post mortem en el músculo pectoral de pollos parrilleros, por lo que los valores de pH de las muestras con un tiempo de maduración de 1,25 h y estimuladas fueron significativamente más bajos, comparándolos con muestras control (sin estimular); mientras que a las 24 h post mortem las muestras con y sin estimulación eléctrica no presentaron diferencias en esta característica de calidad. Castañeda et al. (2005), comparando el pH de muestras con y sin estimulación eléctrica (450 V) indicaron que la carne de pechuga de pollo con 2 h de maduración y estimulada eléctricamente presentaba valores de pH significativamente menores respecto de las muestras sin estimulación maduradas el mismo tiempo. Kahraman et al. (2011) estudiando la estimulación eléctrica (500V) sobre el pH de la carne de pechuga de pollo parrillero, encontraron a los 15 min post mortem menores valores de pH en las muestras estimuladas eléctricamente comparadas con los filets sin estimulación. Owens y Sams (1998) registraron valores de pH menores en carne de pechugas de pollo estimuladas eléctricamente (450 V) comparada con el control, ambas con 1 h de maduración. Sin embargo los filets sin estimular que fueron madurados durante 4 h presentaron menores valores de pH comparados con los estimulados eléctricamente madurados 1 h. Se ha sugerido que las condiciones de aturrido pueden interactuar con la estimulación eléctrica.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Al estudiar el efecto del **marinado** no se observaron diferencias en el pH entre las muestras marinadas y sin marinar independientemente de si fueron o no estimuladas, para cada tiempo de maduración (Tabla 2 y 3). Esto podría deberse a un efecto opuesto de los fosfatos y del ClNa sobre el pH. Los polifosfatos alcalinos tienden a aumentar el pH (entre 0,1 y 0,4 unidades dependiendo del tipo y concentraciones utilizadas), mientras que el ClNa tiende a reducirlo (entre 0,1 y 0,2 unidades) (Trout y Schmit, 1984). El efecto de los polifosfatos alcalinos en el pH se debe a su naturaleza básica, mientras que el del ClNa se piensa que es por el desplazamiento de hidrogeniones por los cationes sodio en la superficie de la proteína cárnica y estos hidrogeniones liberados son los que bajan el pH (Price y Schwelgert, 1994).

Algunos autores investigaron el efecto del pH de las soluciones del marinado sobre el pH de la carne. Gorsuch y Alvarado (2010) estudiando adobos de cloruro de sodio y fosfato de distintos pH (9,7; 11,9; 11 y 9) sobre filets de pechuga de pollo maduradas 12 h, observaron mayores valores de pH en carne marinada con tripolifosfato de sodio (pH 9,7) comparadas con muestras sin marinar, mientras que las muestras marinadas con tripolifosfato de sodio aglomerado (pH 9,0) presentaron menores valores de pH respecto de los filets sin marinar; sin embargo los filets marinados con soluciones de pH 11 y 11,9 no presentaron un efecto significativo. Los resultados mostrados por Woelfel y Sams

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

(2001) indicaron un aumento en el pH de la carne después del marinado cuando se usó una solución de pH 9, mientras que el uso de una solución de pH 11 no presentó cambios significativos de este parámetro. De acuerdo con Young y Lyon (1994) el pH del músculo post-rigor es menos afectado por fosfatos de pH alto.

Por otro lado, el efecto del marinado sobre carne de pollos de diferentes pH ha sido objetivo de estudio. Allen et al. (1998) observaron que este parámetro no se vio afectado por la utilización de soluciones con tripolifosfato de sodio y NaCl, en ninguno de los dos casos estudiados (carnes de pollo con pH 5,74 y 5,98). También se ha evaluado el efecto del tiempo de maduración combinado con el marinado sobre el pH. Young y Buhr (2000) señalan que las soluciones que contienen polifosfato y que se aplican antes de la finalización del proceso de rigor (entre 2 y 4 h post mortem), tienden a aumentar el pH de la carne más que soluciones similares aplicadas después de la instauración del mismo. Young et al. (2004) muestran un valor de pH mayor en filets marinados con una solución de tripolifosfato de sodio y cloruro de sodio que las muestras control (sin tripolifosfato de sodio) en filets deshuesados inmediatamente tras el enfriamiento de la canal. Young et al. (1999) al estudiar el efecto del marinado a distintos tiempos de maduración (0, 2, 4 y 6 h) observó un incremento del pH de la muestras marinadas en todos los tiempos evaluados excepto para el tiempo 0 donde no hubo diferencias significativas. Además estos autores indicaron que la maduración

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

de las muestras marinadas con soluciones de tripolifosfatos, con capacidad buffer, fue suficiente para contrarrestar la caída del pH a lo largo del tiempo post mortem estudiado.

Dado que el pH puede afectar parámetros de calidad tales como el color, se evaluó la correlación entre los mismos. Los resultados obtenidos mostraron una alta y significativa correlación entre el pH y la coordenada L* tanto para las muestras sin estimular ($r = -0,92$; $p = 0,0002$) como estimuladas ($r = -0,75$; $p = 0,0012$). Similares resultados fueron reportados por Fletcher (1999a) quien halló una correlación significativa de $-0,64$ entre el pH y la luminosidad. Allen et al. (1997) mostraron un coeficiente de correlación de $-0,75$ para estos parámetros.

De acuerdo con los resultados obtenidos, cabe señalar que solo se observó un efecto significativo de la maduración, produciéndose un descenso del pH a medida que se incrementaron los tiempos, aunque la estabilización del mismo dependió del tratamiento. Por su parte el marinado y la estimulación eléctrica no provocaron cambios apreciables en el pH, en el caso de esta última, probablemente debido a la intensidad del método aplicado.

4.1.2. Color

4.1.2.1. Coordenada L* (luminosidad)

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tabla 4: Coordenada L* (luminosidad) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad. (h) ¹	Sin EE		Con EE	
	Marinado	Sin Marinar	Marinado	Sin Marinar
0	46,96 \pm 1,75 a A ²	46,58 \pm 1,53 a A	50,03 \pm 2,24 ab C	48,64 \pm 2,11 a B
2	48,15 \pm 1,66 b A	48,03 \pm 2,16 b A	48,85 \pm 1,76 a A	49,15 \pm 2,61 ab A
4	48,09 \pm 1,75 b A	47,80 \pm 1,46 b A	49,62 \pm 2,27 ab B	50,31 \pm 1,72 bc B
6	48,07 \pm 1,77 b A	48,22 \pm 2,00 b A	50,16 \pm 1,96 b B	48,62 \pm 2,34 a A
8	49,19 \pm 1,39 c AB	48,76 \pm 1,43 b A	50,30 \pm 2,84 b B	50,13 \pm 2,14 bc B
24	48,88 \pm 1,33 bc A	48,50 \pm 1,72 b A	50,20 \pm 2,13 b B	51,18 \pm 2,97 c B

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

Del análisis de varianza factorial realizado a los valores del parámetro L*, se pudo observar un efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo de maduración y de la estimulación eléctrica así como de la interacción triple de maduración x estimulación eléctrica x marinado y la doble maduración x estimulación eléctrica (Tabla 3). Los valores promedios de luminosidad y sus desvíos estándar se presentan en la Tabla 4.

Analizando el efecto de la **maduración** sobre la luminosidad, se pudo observar un aumento significativo de este parámetro hasta las 2 h en las muestras sin estimular y sin marinar, mientras que en los fillets marinados el aumento de L* continuó hasta las 8 h de maduración. La aplicación de estimulación

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

eléctrica en los fillets marinados no muestra una tendencia definida, mientras que en los sin marinar se evidencia un incremento de este parámetro a medida que los tiempos de maduración aumentan excepto para la 6 h. (Tabla 4). Allen et al. (1997) sugiere que a medida que el pH muscular disminuye, los valores de luminosidad aumentan. Por lo tanto, el aumento de L^* con el tiempo de maduración observado durante el presente trabajo podría ser causado por la glicólisis post mortem y reducción gradual del pH del músculo, que afecta la retención de agua, translucidez de la superficie y la reflectancia del músculo (Fetcher y Smith, 2006).

Diversos autores informaron un incremento de L^* con el aumento del tiempo de maduración. Huezco et al. (2007) observaron que el tiempo de maduración afectó significativamente la luminosidad de fillets de pechuga de pollo, independientemente del método empleado para el enfriamiento de la canal (L^* aumentó hasta 1 h 40 min de maduración por inmersión y hasta 24 h por aire). De la misma manera Souza et al. (2005) indicaron que la maduración influyó sobre los valores de L^* del músculo *Pectoralis major* registrando un incremento de la luminosidad con el tiempo de maduración. Petracci y Fletcher (2002) observaron un aumento de los valores de L^* de la carne de pechuga durante las primeras 12 h de maduración. Mientras que Qiao et al. (2001) estudiando el color en pechuga de pollo no encontraron diferencias en los valores de luminosidad entre las 0 y 24 h de maduración.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El efecto de la **estimulación eléctrica** sobre la luminosidad de los fillets de pechuga de pollo mostró mayores valores de L^* para las muestras con estimulación eléctrica comparadas con aquellas que no fueron estimuladas. Esta tendencia se observó tanto en la carne marinada como sin marinar, aunque en algunos casos sin diferencias significativas (Tabla 4). Warriss (2000) sugirió que el aumento de luminosidad en las carcasas estimuladas eclécticamente probablemente esté relacionada con cierta desnaturalización de las proteínas.

Owens y Sams (1998) por el contrario no detectaron diferencias significativas en los valores de L^* entre los fillets estimulados (450 V) y las muestras sin estimulación. Así mismo Zhuang et al. (2010) estudiando la estimulación eléctrica (200 V) en distintas etapas del proceso de faena no observaron diferencias significativas de L^* entre el control (sin estimulación eléctrica y maduradas 2 h). Mientras que Froning y Uijttenboogart (1988) reportaron menores valores de L^* a 1 h post mortem, para las canales estimuladas eléctricamente (100 V) comparadas con las control (sin estimular). Así mismo Young et al. (2005b) observaron que la estimulación eléctrica (220 V) provocó una disminución pequeña pero significativa en la luminosidad de los fillets madurados durante 1 h. Las diferencias observadas entre las distintas publicaciones consultadas pueden ser consecuencia de las distintas condiciones utilizadas en la estimulación eléctrica.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El **marinado** no afectó significativamente los valores de luminosidad (Tabla 3 y 4). En este mismo sentido Lyon et al. (1998) estudiando el factor marinado (solución de sal y fosfatos) sobre el color no reportaron modificaciones de L^* por efecto de este tratamiento. Similares resultados fueron obtenidos por Young et al. (1999) quienes no observaron un efecto significativo de los fosfatos sobre la coordenada L^* de filets de pollo. Sin embargo, Gorsuch y Alvarado (2010) en su investigación sobre soluciones de marinado de diferentes pH 9; 9,7; 11 y 11,9, reportaron que los valores de L^* aumentaron con la aplicación de este procedimiento excepto con la solución de pH 11,9. Estos autores atribuyen el aumento de la luminosidad en los filets posiblemente, por el incremento de agua extracelular como resultado del proceso de marinado.

En función de los resultados anteriormente presentados se puede observar un efecto combinado de la maduración y estimulación eléctrica sobre la luminosidad, que presentó valores comprendidos entre 46,58 y 51,18. En general el tiempo de madurado y la estimulación provocaron un aumento de este parámetro (aunque en algunos casos no fue significativo). Este comportamiento seguramente está relacionado con los valores de pH observados y verificado por las correlaciones mencionadas en el apartado 4.1.1 (no estimuladas $r = - 0,92$ y $r = - 0,75$ para las estimuladas).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1.2.2. Coordenada a* (rojo-verde)

Para evaluar el efecto de la maduración, estimulación eléctrica y el marinado sobre la componente roja de la carne de ave, se realizó un análisis de varianza. Se pudo observar un efecto significativo de la maduración, el marinado y de las interacciones estimulación eléctrica x maduración, maduración x marinado y estimulación eléctrica x madurado x marinado (Tabla 3). En la Tabla 5 se informan los valores promedios de a* y sus desvíos estándar en fillets de pechuga de pollo sometidos a las distintas tecnologías estudiadas.

Tabla 5: Coordenada a* (rojo-verde) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad.	Sin EE		Con EE	
	Marinado	Sin Marinar	Marinado	Sin Marinar
(h) ¹				
0	4,00 \pm 0,66 a A ²	4,61 \pm 0,74 b B	4,99 \pm 0,74 b BC	5,19 \pm 1,09 c C
2	4,25 \pm 1,08 a A	4,29 \pm 1,09 ab A	3,63 \pm 1,57 a A	3,55 \pm 1,39 a A
4	3,87 \pm 0,89 a A	4,60 \pm 0,78 b B	4,53 \pm 0,89 b B	4,85 \pm 0,74 bc B
6	3,92 \pm 1,09 a A	4,09 \pm 0,73 a A	4,92 \pm 0,63 b B	4,23 \pm 1,57 b A
8	4,29 \pm 0,87 a A	4,75 \pm 0,63 b A	4,55 \pm 1,11 b A	4,57 \pm 0,51 bc A
24	4,85 \pm 0,83 b B	4,71 \pm 0,82 b B	3,61 \pm 1,49 a A	4,38 \pm 1,27 b B

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila (p < 0,05).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Se observó un efecto significativo de la **maduración** sobre la coordenada de color a^* , sin embargo el comportamiento de la misma no sigue una tendencia definida (Tabla 5). Podemos indicar que las mayores diferencias se observaron entre las 0 y 2 h de maduración de fillets estimulados sin marinar. En general los valores de a^* fluctuaron alrededor de 4 con algunos cambios que, aunque significativos, probablemente no sean percibidos por el ojo humano.

Reforzando esta tendencia, Huez et al. (2007) no encontraron diferencias significativas en la coordenada a^* con el tiempo de maduración, independientemente del sistema de refrigeración empleado. De la misma manera Souza et al. (2005) y Qiao et al. (2001) no encontraron diferencias significativas para los valores de a^* en fillets de pollos madurados entre 0 h y 24 h. Por otro lado Petracci y Fletcher (2002), estudiado la variaciones de color comprobaron para carnes de pechuga que los valores de a^* disminuyen de manera constante durante todos los tiempos medidos durante las primeras 96 h.

La **estimulación eléctrica** mostró mayores valores de a^* para las 0, 4 y 6 h de maduración en los fillets marinados y a las 0 h en los sin marinar (Tabla 5). Similares resultados fueron reportados por Craig et al. (1999), quienes observaron en carne de fillets de pechuga de pollo estimulada con 440 V un aumento significativo de los valores de a^* , comparándolas con muestras sin estimular.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Otros autores estudiaron el efecto de la estimulación eléctrica en combinación con la maduración tales como Froning y Uijtenboogaart (1988) quienes observaron un aumento significativo de los valores de a^* en fillets de pollos estimulados con un voltaje 100 V, para todos los tiempos de maduración (0 hasta 240 min) estudiados (excepto para 30 min) respecto del control. Sin embargo, Owens y Sams (1998) en nuestras con y sin estimulación (450 V, 750 mA), maduras durante 1 y 24 h, no observaron un efecto significativo de la estimulación eléctrica en los valores de a^* . Young et al. (2005b) reportaron que la estimulación eléctrica (220 V) no produjo modificaciones significativas sobre a^* en carne de pechugas de pollo fileteadas 60 min post mortem. Mientras que Zhuang et al. (2010), estudiando la estimulación eléctrica (200 V) en distintas etapas del proceso de faena, encontraron que estas tienen similares efectos sobre el color de fillets, y específicamente en la coordenada a^* no se registraron diferencias entre las muestras estimuladas y el control (2 h de maduración sin estimular).

El **marinado** de los fillets sin estimulación eléctrica en general presentó menores valores de a^* aunque solo se observaron diferencias en los tiempos 0 y 4 h de maduración, sin embargo, en las muestras con estimulación eléctrica no se observa una tendencia clara (Tabla 5).

Una disminución de la coordenada a^* por efecto del marinado también fue reportada por otros autores. Gorsuch y

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Alvarado (2010) investigando el efecto de diferentes soluciones de fosfatos (pH 9; 9,7; 11; 11,9) sobre el color de filets de pechugas de pollo, observaron que las muestras presentaban menores valores de a^* para todas las soluciones estudiadas. Así mismo Allen et al. (1998) estudiando el impacto del marinado (cloruro de sodio y tripolifosfatos) en carnes de pechuga de pollo con distintos pH (5,74 y 5,98) encontraron que el marinado disminuyó significativamente la coordenada a^* de ambas muestras. Lyon et al. (1998) comparando los resultados del color de filets marinados y sin marinar observaron que las muestras marinadas fueron significativamente menos rojas (inferior valor de a^*) que las sin marinar. Estos autores sugieren que la incorporación de la solución de marinado tiene un efecto diluyente sobre el color rojo inherente de carne de pechuga. Por otro lado, Young et al. (2005b) estudiando el efecto del marinado sobre la carne de pechuga de pollo con y sin estimulación eléctrica observaron que este tratamiento no provocó efecto alguno sobre a^* independientemente de la estimulación eléctrica.

Los resultados obtenidos para la coordenada a^* indican que los tres factores estudiados interactúan entre sí, sin embargo, los cambios producidos en la componente roja de color no muestran una tendencia definida. Además los mismos son pequeños en magnitud ya que los valores máximos y mínimos se encuentran comprendidos entre 5,2 y 3,6.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1.2.3. Coordenada b* (amarillo-azul).

Del ANOVA realizado a los valores de la coordenada b* de color, se observó un efecto significativo ($p < 0,05$) de los tres procedimientos industriales estudiados (madurado, marinado y estimulación eléctrica) y de las interacciones maduración x estimulación eléctrica y maduración x marinado (Tabla 3). En la Tabla 6 se informan los valores promedios de b* y sus respectivas desviaciones estándar en las muestras de pollo que fueron sometidas a los distintos factores antes mencionados.

Tabla 6: Coordenada b* (amarillo-azul) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad.	Sin EE		Con EE	
	Marinados	Sin marinar	Marinados	Sin marinar
(h) ¹				
0	-2,34 \pm 0,10 a A ²	-1,99 \pm 1,35 a A	-1,03 \pm 1,49 ab B	-0,51 \pm 1,55 a B
2	-1,53 \pm 2,17 b A	-0,64 \pm 1,61 b B	-1,32 \pm 1,48 ab A	-0,26 \pm 1,82 a B
4	-1,30 \pm 1,39 b A	-0,27 \pm 1,12 b B	-0,88 \pm 1,40 a AB	-0,39 \pm 1,65 a B
6	-0,99 \pm 1,32 bc AB	-0,80 \pm 1,58 b B	-1,67 \pm 1,32 a A	-0,71 \pm 1,18 a B
8	-1,26 \pm 1,37 b A	-0,50 \pm 1,27 b A	-0,66 \pm 2,12 bc A	-0,99 \pm 1,01 a A
24	-0,34 \pm 1,43 c A	-0,42 \pm 1,31 b A	0,15 \pm 1,47 c A	-0,28 \pm 1,38 a A

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

Se puede observar en la Tabla 6, que el tiempo de **maduración** no afectó los valores de b* en fillets sin marinar y produjo un incremento al cabo de 8 h en los marinados, ambos con

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

estimulación eléctrica. En muestras sin estimular (marinadas y sin marinar) se observó un incremento significativo de b^* durante las primeras 2 h de maduración, aunque en general las diferencias fueron pequeñas en valor absoluto.

Huezo et al. (2007) estudiando la incidencia de la maduración y distintos sistemas de refrigeración sobre la calidad de carne de pollo, indicaron que los tiempos de maduración estudiados (0; 1,67 y 24 h) no afectaron significativamente la coordenada b^* independientemente del sistema de refrigeración empleado. Del mismo modo Meek et al. (2000) no observó diferencias significativas de b^* entre muestras maduras 0 y 6 h en carne de pechugas de pollo. Así mismo, Qiao et al. (2001) indicaron que entre 0 y 24 h de maduración no se presentaron diferencias en los valores de b^* en fillets de pollo. Por el contrario Petracci y Fletcher (2002) estudiando el color en pechugas observaron una disminución de b^* durante las primeras 4 h y luego una estabilización hasta las 12 h.

La **estimulación eléctrica** solo mostró diferencias al tiempo 0 h de maduración, presentando valores mayores de b^* (tanto para fillets marinados como sin marinar), en los restantes tratamientos no se observaron diferencias (Tabla 6). Young et al. (2005b) no observaron efecto significativo de la estimulación eléctrica (220 V) sobre la coordenada b^* de fillets de pechuga de pollo con 1 h post mortem. De manera similar Lyon et al. (1998) no registraron

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

modificaciones de la coordenada b^* por efecto de la estimulación eléctrica (200 V) sobre carne de pechuga de pollos.

Zhuang et al. (2010) sin embargo, observaron menores valores de b^* en los fillets estimulados (200 V) respecto del control (sin EE y 2 h de maduración). Estos autores señalaron que la reducción de la coordenada b^* puede resultar de los cambios del metabolismo que afectan a pigmentos amarillos, carotenoides, flavinas y pigmentos biliares en las muestras estimuladas. Así mismo Craig et al. (1999) informaron valores para b^* significativamente menores en muestra de pechugas de pollo estimuladas.

El **marinado** provocó una disminución estadísticamente significativa en los valores de la coordenada b^* de los fillets no estimulados eléctricamente, para las 2 y 4 h de maduración y a las 2 y 6 h de maduración en las muestras estimuladas (Tabla 6).

Estos resultados coinciden con el trabajo realizado por Lyon et al. (1998) quienes observaron una disminución de b^* por efecto del marinado con una solución comercial de sal y fosfato. Así mismo, Young et al. (2005b) indicaron que el marinado (sal y tripolifosfatos) provocó una disminución de los valores de b^* de fillets de pechuga de pollo. También Allen et al. (1998) estudiando el efecto del marinado (cloruro de sodio y tripolifosfatos) en carnes de diferentes pH (5,74 y 5,98) reportaron menores valores de b^* en muestras marinadas. Por el contrario Gorsuch y Alvarado (2010)

informaron que los tratamientos con fosfatos de pH 9 y 9,7 aumentaron significativamente los valores de b^* de los fillets.

En términos generales, las variaciones en la coordenada b^* están dadas entre valores de 0,2 y - 2,3, observándose un efecto combinado de la maduración, estimulación y marinado, sobre este parámetro. Dado que los cambios no manifiestan una tendencia, no es posible distinguir los efectos provocados por estos tratamientos.

4.1.3. Merms

4.1.3.1. Merms por goteo

Los valores de las merms por goteo y sus desviaciones se pueden apreciar en la Tabla 7. Del análisis de la varianza podemos observar en la Tabla 8 que la maduración, el marinado y las interacciones entre la estimulación eléctrica x marinado y la interacción entre la estimulación eléctrica x maduración, tuvieron un efecto significativo sobre la merms por goteo.

Podemos observar que la **maduración** no provocó cambios significativos de las merms por goteo en los fillets marinados sin estimulación eléctrica y en los sin marinar con estimulación eléctrica (Tabla 7). Así mismo Meek et al. (2000) no observaron diferencias significativas de la merms por goteo entre fillets de pollos sin madurar y con 6 h de maduración.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tabla 7: Merms por goteo (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad. (h) ¹	Sin EE		Con EE	
	Marinados	Sin marinar	Marinados	Sin Marinar
0	1,21 \pm 0,38 a B ²	0,86 \pm 0,35 ab AB	2,27 \pm 0,48 b C	0,54 \pm 0,18 a A
2	1,04 \pm 0,54 a AB	0,94 \pm 0,43 b AB	1,21 \pm 0,53 a B	0,48 \pm 0,36 a A
4	1,10 \pm 0,32 a B	1,01 \pm 0,37 b B	0,94 \pm 0,58 a B	0,34 \pm 0,22 a A
6	0,76 \pm 0,17 a A	0,65 \pm 0,15 ab A	1,53 \pm 0,59 ab B	0,43 \pm 0,26 a A
8	0,76 \pm 0,52 a A	0,49 \pm 0,27 a A	1,41 \pm 0,82 a B	0,56 \pm 0,35 a A

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

Tabla 8: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica, marinado y sus interacciones sobre las merms por goteo, por descongelación, por cocción y sobre la terneza WB de fillets de pechuga de pollo (p-valor).

Efectos principales e interacciones	p-valor			
	Merms por goteo	Merms por descongelación	Merms por cocción	Terneza
M	0,0091	0,0001	0,0003	0,0000
EE	0,2879	0,5394	0,0000	0,0000
MO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
MxEE	0,0087	0,0051	0,0000	0,0208
MxMO	0,0666	0,3573	0,1577	0,0606
EExMO	0,0000	0,0069	0,9184	0,0054
MxEEExMO	0,4093	0,0231	0,0029	0,3095

M: maduración. EE: estimulación eléctrica. MO: marinado.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Zhuang y Savage (2012) al comparar fillets de pechuga de pollo madurado 2 h y 24 h no registraron diferencias significativas sobre las mermas por goteo. Estudios realizados por Woelfel et al. (2002) mostraron un valor de 3,32% de pérdida por goteo en fillets de pechuga de pollos madurados durante 3 h.

En carnes sin maduración los valores de pH normalmente son altos, esto a menudo se ha asociado con una mayor capacidad de retención de agua (Honikel et al, 1981), por esto, se podrían esperar menores pérdidas por goteo en la carne sin maduración comparadas con aquellas que fueron maduradas. Sin embargo este comportamiento no fue observado en el presente estudio.

La **estimulación eléctrica** provocó mayores mermas significativas en los fillets marinados en los tiempos 0, 6 y 8 h de maduración, mientras que en las muestras sin marinar sólo se detectaron diferencias con 4 h de maduración (Tabla 7).

El efecto del **marinado** sólo fue significativo en las muestras con estimulación eléctrica, en donde para todos los tiempos de maduración se observaron mayores mermas por goteo en las muestras marinadas (Tabla 7). Es probable que este aumento en la mermas se deba a pérdidas de agua incorporada a través de marinado. Similares resultados fueron obtenidos por Allen et al. (1998) quien investigando el efecto del marinado (cloruro de sodio y tripolifosfatos) sobre las mermas en fillets de pechuga de pollo, pudieron observar que las muestras marinadas mostraron mayores pérdidas por goteo.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los valores promedios de mermas por goteo reportados por Smith y Young (2007) fueron de 1,1% en fillets marinados. En el presente trabajo los fillets marinados presentaron mermas por goteo comprendidas entre 0,76 y 2,27 %.

Según lo expuesto anteriormente se podría indicar que si bien existe un efecto combinado de los tres factores, las mayores diferencias se observaron entre fillets marinados y sin marinar (en presencia de estimulación eléctrica).

4.1.3.2. Mermas por descongelación

Tabla 9: Mermas por descongelación (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad. (h) ¹	Sin EE		Con EE	
	Marinados	Sin marinar	Marinados	Sin marinar
0	4,13 \pm 1,75 a C ²	3,13 \pm 1,11 a B	2,61 \pm 0,92 a A	2,63 \pm 1,21 a A ²
2	3,43 \pm 1,42 a A	3,09 \pm 2,04 a A	4,38 \pm 1,62 c B	3,31 \pm 1,45 a AB
4	3,14 \pm 2,18 a A	3,25 \pm 2,12 a A	4,46 \pm 1,88 bc B	2,54 \pm 1,57 a A
6	3,34 \pm 2,12 a AB	4,00 \pm 1,87 a B	3,60 \pm 1,26 b AB	2,84 \pm 1,25 a A
8	4,12 \pm 2,52 a B	3,19 \pm 2,29 a AB	3,64 \pm 1,29 b AB	2,64 \pm 1,51 a A
24	4,10 \pm 2,19 a A	3,97 \pm 2,34 a A	5,40 \pm 1,98 c B	3,60 \pm 1,34 a A

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

La congelación de la carne de ave es la forma más segura y eficiente para mantener su calidad en almacenamientos a largo

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

plazo (Lee et al., 2008). Por ello resulta de gran importancia, evaluar como inciden los distintos procedimientos tecnológicos estudiados en el presente trabajo (maduración, estimulación eléctrica y marinado), sobre las mermas por descongelación.

Los valores medios y sus desviaciones estándares obtenidos para las mermas por descongelación en cada tratamiento se informan en la Tabla 9. El análisis de la varianza mostró que las mermas por descongelación fueron afectadas significativamente por el marinado, la maduración y por las interacciones entre la maduración x estimulación, la estimulación eléctrica x marinado y entre la maduración x estimulación eléctrica x marinado (Tabla 8).

Las muestras sin estimulación eléctrica no presentaron efecto significativo de la **maduración** sobre las mermas por descongelación (Tabla 9). Mientras que en los filets de pechugas con estimulación eléctrica, las mayores mermas se observaron en las muestras marinadas maduras 24 h.

Zhuang y Savage (2010) observaron valores de 4,8% de pérdidas por descongelación en filets de pechuga de pollo, madurados entre 6 y 8 h. Galobart y Moran (2004b) reportaron en filets madurados 24 h una pérdida por descongelación del 7,7%.

En las mermas por descongelación, si bien se observaron diferencias significativas por efecto de la **estimulación eléctrica** en algunos tiempos de maduración (tanto en filets marinados como sin marinar) las mismas no mostraron una tendencia definida (Tabla 9).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este sentido, Zocchi y Sams (1999) indicaron que no se presentaron diferencias debido a la estimulación eléctrica o al tiempo de maduración sobre las mermas por descongelación. Young y Buhr (2000) evaluando el efecto de la estimulación eléctrica y del marinado sobre las mermas por descongelación, tampoco observaron efecto significativo de la estimulación eléctrica sobre dichas mermas en filets de pechuga de pollo marinados con tripolifostafato de sodio.

El **marinado** provocó diferencias en las mermas por descongelación en algunos tiempos de maduración, aunque no se evidencia una tendencia (Tabla 9). Young y Buhr (2000) indicaron que el marinado con tripolifosfato de sodio disminuyó las mermas por descongelación para los músculos de canales sin estimular eléctricamente.

En general los cambios producidos por la combinación de la maduración, la estimulación eléctrica y marinado sobre las mermas por descongelación no presentaron un comportamiento específico, siendo los valores máximos y mínimos registrados de 5,4 y 2,5 %.

4.1.3.3. Mermas por cocción

La pérdida por cocción que resulta de la exposición al calor de las proteínas musculares, es un parámetro muy importante que puede afectar la calidad del producto final. Además las mermas por

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

cocción son consideradas una medida de la capacidad de retención de agua del músculo (Alvarado y Sams, 2004; Honikel, 1998).

Tabla 10: Mermas por cocción (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad. (h) ¹	Sin EE		Con EE	
	Marinados	Sin Marinar	Marinados	Sin Marinar
0	19,6 \pm 2,6 ab AB ²	20,6 \pm 3,1 a B	19,4 \pm 2,8 b AB	18,9 \pm 3,0 b A
2	19,0 \pm 2,9 ab B	22,1 \pm 3,2 b C	16,1 \pm 3,1 a A	16,2 \pm 3,5 a A
4	20,3 \pm 2,3 b C	20,2 \pm 2,1 a C	16,8 \pm 3,2 a A	18,2 \pm 3,5 b B
6	18,5 \pm 2,4 a B	19,5 \pm 2,9 a B	16,4 \pm 2,8 a A	18,1 \pm 2,6 b B
8	19,3 \pm 2,0 ab B	19,2 \pm 2,2 a B	17,7 \pm 3,6 a A	20,6 \pm 2,3 c B
24	20,4 \pm 3,7 b C	22,6 \pm 2,4 b D	16,5 \pm 3,1 a A	18,5 \pm 2,8 b B

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

La Tabla 10 informa los valores medios y las desviaciones estándar obtenidas de las mermas por cocción en carne de pechuga de pollo maduradas, estimuladas eléctricamente y marinadas. Mediante la realización de un análisis de varianza de los valores obtenidos para las mermas por cocción, se puede observar que los efectos de la estimulación eléctrica, la maduración y el marinado fueron significativos ($p < 0,05$), así como también las interacciones estimulación eléctrica x maduración y estimulación eléctrica x maduración x marinado (Tabla 8).

En las mermas por cocción, aunque se observan diferencias significativas por efecto de la **maduración** en algunos tiempos,

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

dichas diferencias no muestran un sentido específico (Tabla 10). Según Young y Lyon (1997a) en el caso de las aves de corral, las pérdidas por cocción de la carne con y sin maduración a menudo son equivalentes debido a que por lo general las aves son enfriadas en agua y los efectos de la humedad adsorbida podrían ser suficientes para enmascarar otros efectos. Lyon et al. (1992) no observaron un efecto significativo debido a los tiempos de maduración estudiados (0 y 1 h), sobre las mermas por cocción obteniendo valores de aproximadamente 23,6% en carne de pechuga de pollo. Zocchi y Sams (1999) indicaron que no había diferencias debido al tiempo de deshuesado, en las mermas por cocción de fillets de pechuga de pollo madurados 1 y 4 h.

Sin embargo, Lyon et al. (2003), analizando el efecto de diferentes tiempos de maduración sobre la calidad en carne de pechuga de pollo, obtuvieron mermas por cocción significativamente mayores (24,9%) en fillets madurados 24 h comparados con muestras deshuesadas después de 2 u 8 h de maduración (22,6 y 22,7%, respectivamente). Por el contrario Northcutt et al. (2001) observaron que los fillets retirados de la canal inmediatamente después de la faena (0 h de maduración) tuvieron mayores mermas por cocción que los madurados 2, 4 y 6 h. Del mismo modo, Seabra et al. (2001), en su estudio sobre pechugas de pollos, tuvieron mayores mermas por cocción en los fillets recolectados inmediatamente después de la faena que en los madurados 24 h.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En general la **estimulación eléctrica** produjo una disminución de las mermas por cocción para la mayor parte de los tiempos de maduración estudiados tanto en fillets marinados como sin marinar (Tabla 10).

Del mismo modo Alvarado y Sams (2000) estudiando el efecto de la estimulación eléctrica sobre canales de pollos pudieron observar menores mermas por cocción en fillets estimulados y madurados 1,25 h, aunque no observaron diferencias a 0,25 y 24 h. Por el contrario, Young y Lyon (1997b) encontraron mayores mermas por cocción en las canales estimuladas a partir de los 60 min post mortem. Lyon et al. (2002), observaron que los fillets de las canales estimuladas exhibían una merma por cocción significativamente mayor en comparación con los fillets de las canales no estimuladas (22,8 a 22,0 %, respectivamente). Lyon et al. (1989) explicaron que las mayores pérdidas por cocción asociadas con pollos de engorde estimulados eléctricamente fueron causadas por el pH más bajo de dicha carne. En el presente trabajo no se encontraron diferencias significativas en el pH entre los músculos estimulados y los no estimulados eléctricamente (Tabla 2), por lo tanto las menores mermas por cocción no podrían ser atribuidas a este efecto.

En los fillets estimulados eléctricamente el **marinado** provocó menores mermas de cocción en todos los tiempos de maduración, excepto para 0 h y 2 h. Esto podría deberse a las sales presentes en el marinado, la cuales aumentan el espacio entre los

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

filamentos debido a la repulsión electrostática incrementando la cantidad de agua que puede ser retenida por el músculo (Hui et al., 2012). El mismo comportamiento se pudo observar en las muestras sin estimular eléctricamente, aunque las diferencias solo fueron significativas para los tiempos 2 y 24 h (Tabla 10).

Young et al. (2004) informaron un aumento en el rendimiento por cocción de fillets de pechugas de pollo marinadas con tripolifosfato. Xiong y Kupski (1999) estudiando el efecto de diferentes soluciones de marinado (pirofosfato, tripolifosfato, hexametrafosfato y además con y sin cloruro de sodio) en pollo, han indicado que cualquiera de los fosfatos investigados, independientemente de si contienen o no sal, disminuyeron las pérdidas por cocción de los fillets comparando con los controles (marinado solo con agua). Alvarado y Sams (2004) indican que marinar con sal y fosfato incrementa la fuerza iónica, lo que provoca un aumento en la capacidad del músculo para retener agua durante la cocción. Sin embargo Young et al. (1999) estudiando el efecto del marinado (cloruro de sodio y tripolifosfatos) sobre la calidad de la carne de pollo no observaron un efecto significativo del mismo sobre las mermas por cocción.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente se puede señalar que la acción conjunta de la estimulación eléctrica y el marinado en términos generales, disminuyeron las mermas por cocción en los fillets de pollo.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.1.4. Terneza WB

Tabla 11: Terneza WB (kgf) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad. (h) ¹	Sin EE		Con EE	
	Marinados	Sin Marinar	Marinados	Sin Marinar
0	3,04 \pm 1,20 a AB ²	3,85 \pm 1,10 a C	2,59 \pm 0,65 a A	3,32 \pm 1,21 a BC
2	2,58 \pm 0,85 a A	4,15 \pm 1,92 a B	1,97 \pm 0,70 b A	2,66 \pm 1,15 b A
4	2,82 \pm 1,17 a B	3,85 \pm 1,38 a C	1,95 \pm 0,62 b A	2,65 \pm 0,87 b B
6	2,00 \pm 0,69 b AB	2,93 \pm 0,96 b C	1,78 \pm 0,44 bc A	2,24 \pm 0,78 b B
8	2,01 \pm 0,98 b A	2,93 \pm 1,15 b B	1,71 \pm 0,40 bc A	2,68 \pm 1,09 b B
24	1,68 \pm 0,70 b A	2,17 \pm 0,93 c B	1,49 \pm 0,52 c A	1,65 \pm 0,05 c A

Mad.: maduración. ¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

La terneza es uno de los principales atributos que determina la satisfacción de los consumidores (Xiong et al., 2006). En el presente trabajo, se evaluó el efecto de las técnicas de maduración, estimulación eléctrica y marinado sobre la terneza Warner Bratzler (WB) de carne de pechuga de pollo. El análisis de la varianza mostró una influencia significativa de todos los tratamientos estudiados sobre este parámetro ($p < 0,05$). Así mismo las interacciones significativas se dieron entre la maduración x estimulación eléctrica y el marinado x estimulación eléctrica (Tabla 8).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

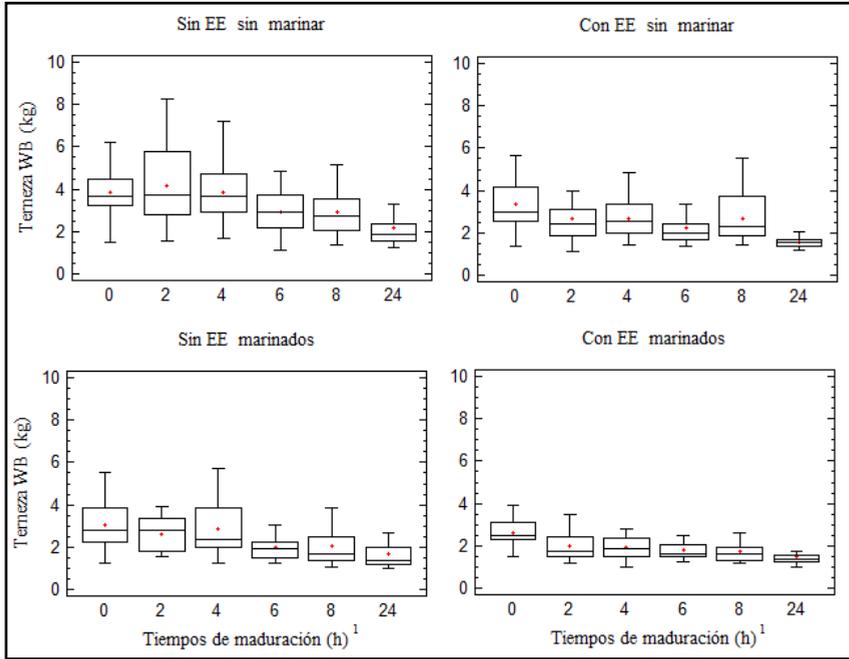


Figura 9: Box-plot de los valores de terneza WB para los distintos tratamientos estudiados.

¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min Con EE: con estimulación eléctrica. Sin EE: sin estimulación eléctrica.

En la Tabla 11 se puede observar que la **maduración** produjo un aumento significativo de la terneza. En fillets sin estimulación eléctrica este efecto se manifestó a partir de las 6 h y de las 2 h en las muestras con estimulación eléctrica, independientemente de la aplicación o no del marinado. Los valores más bajos de este parámetro se registraron en la carne madurada durante 24 h en todos los casos estudiados. Además se observó una menor dispersión de los datos a medida que aumentan los tiempos de maduración. Estos resultados indicarían que con el

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

incremento del tiempo de maduración no sólo mejora la terneza de la carne sino que además el producto adquiere mayor homogeneidad (Figura 9). Motivo por el cual fue necesaria una transformación de la variable, al no cumplirse el supuesto de homogeneidad de varianzas.

La proteólisis postmortem se indica como el factor responsable del aumento de la fragilidad de los discos Z y de la degradación de otras proteínas miofibrilares (Koochmaraie, 1994). La evidencia sugiere que las calpainas dependientes de calcio son las responsables de la escisión de las proteínas que unen la actina a los discos Z (Lawrie, 2006). El debilitamiento considerable de la red miofibrilar probablemente se traduce en una disminución de la dureza de la carne durante el almacenamiento post-mortem. El deshuesado del músculo antes de desarrollar el rigor mortis causa una señal nerviosa de respuesta en el músculo y hace que se contraiga. Además, la contracción del músculo ya no está limitada por las restricciones del esqueleto, por lo que el grado de acortamiento es mayor para el músculo libre (Sams, 2001). Asimismo, cuando el músculo se retira de la carcasa, se enfría más rápidamente porque ya no tiene la piel cubierta aislante y los músculos circundantes, lo que puede provocar un acortamiento adicional por frío (Lawrie, 2006). Estos fenómenos explican los mayores valores de WB registrados en las pechugas con menores tiempos de maduración.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Distintos autores han reportado que la maduración mejora la terneza, McKee et al. (1997) mencionan que este hecho se debe principalmente a la proteólisis y cambios en la fuerza iónica del músculo durante la maduración. Sin embargo, no hay coincidencia en los tiempos mínimos necesarios, de acuerdo con Lyon et al. (1992) se produce un aumento significativo en la terneza a partir de 1 h de maduración, con una disminución de la fuerza de corte del 34 al 38 % en pechuga de pollo. Northcutt et al. (2001) observaron un aumento de la terneza a partir de las 2 h, independientemente de la edad (excepto en las aves de mayor edad 51 d, donde fueron necesarias 4 h). Mientras que Souza et al. (2005), Liu et al. (2004) y Zocchi y Sams (1999) informaron que al menos 4 h de maduración son necesarias para producir un aumento de la terneza en carne de ave. Por su parte Thielke et al. (2005) reportaron un tiempo de maduración de 6 h para lograr un incremento en esta característica.

En fillets sin marinar la aplicación de **estimulación eléctrica** redujo los valores de terneza a partir de las 2 h de maduración. Similar tendencia se observó en los fillets marinados, aunque con diferencias estadísticamente significativas solo a las 4 h de maduración (Tabla 11). En fillets con 2 h de maduración la estimulación eléctrica disminuyó los valores de esfuerzo de corte en un 64 % en producto marinado, mientras que en fillets sin marinar esta reducción fue del 76 % respecto de las mismas condiciones sin estimular.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Hui et al. (2012) mencionan que posiblemente más de un mecanismo puede contribuir al aumento de la terneza. Entre los mismos se citan posibles daños físicos debido a la contracción muscular, prevención del acortamiento por frío, inicio más temprano de la proteólisis ya sea a través de debilitamiento no enzimático de la estructura miofibrilar o mediada por las calpaínas, o las enzimas lisosomales. Además recientemente Kemp et al. (2010) sugieren que las enzimas caspasas también pueden tener cierta acción sobre este fenómeno. De acuerdo con esto, es probable que la tiernización de los fillets observada con menores tiempos de maduración en las muestras estimuladas (respecto de las sin estimular) se deba a una combinación de los fenómenos antes mencionados.

Hirschler y Sams (1998) informaron que la estimulación eléctrica (450 mA) redujo los valores de corte en un 50 % en comparación con los fillets no estimulados madurados 2 h. Alvarado y Sams (2000) analizando el efecto de la estimulación eléctrica (450 mA, 370 V) en pechuga de pollo, observaron que la aplicación de dicho tratamiento aumentó la terneza de los fillets de pollos de engorde a las 1,25 h post mortem. Lyon et al. (2002) indican que el uso de la estimulación eléctrica (208 V, 120 mA) aplicada durante la etapa de sangrado en combinación con una maduración de 1,5 h muestra valores de terneza WB similares a fillets de pechugas de pollos con 3,5 h de maduración sin estimulación eléctrica. Los resultados mostrados por Zocchi y

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Sams (1999), sugieren que cuando se aplica estimulación eléctrica (450 V, 450 mA) y la carne se deshuesa a las 2 h post mortem, el valor de la fuerza de corte de la carne no será diferente de la deshuesada luego de 4 h de maduración sin estimulación. Zhuang et al. (2010) investigando el efecto de la estimulación eléctrica (200 V) en diferentes etapas de procesamiento en pechugas de pollos maduras 2 h, encontraron que los valores promedio de fuerza de cizalla WB fueron significativamente más bajos para todos los tratamientos comparados con el control (sin estimulación eléctrica y 2 h de madurado). Owens y Sams (1998) estudiando la influencia de la estimulación eléctrica (450 V, 750 mA), sobre la terneza de fillets madurados 1 h pudo observar que este tratamiento reducía significativamente los valores de corte en comparación con las muestras sin estimular y maduras 1 h.

La técnica del **marinado** en fillets de pechuga de pollo ha sido desarrollada para mejorar sabor, terneza y funcionalidad de las proteínas (Young y Lyon, 1997c). En el presente trabajo el marinado de las muestras provocó una disminución estadísticamente significativa de los valores de terneza para todos los tiempos estudiados, en los fillets sin estimulación eléctrica (Tabla 11). Se observó el mismo comportamiento en las muestras con estimulación eléctrica, aunque para los tiempos 2 y 24 h estos cambios no fueron significativos.

En el presente trabajo, el aumento en la terneza de los fillets marinados es probable que se encuentre relacionado con el mayor

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

contenido de humedad de éstos (tabla 13). Los efectos beneficiosos del marinado sobre la carne pueden incluir una mejor textura y la reducción de las pérdidas de agua durante la cocción (Alvarado y McKee 2007). Camou y Sebranek (1991) señalaron que el estado de las proteínas miofibrilares determinará la eficacia de la sal en la mejora de las características de la carne.

Así mismo, en el trabajo realizado en fillets de pechuga de pollo por Lyon et al. (1998), donde evaluaron el efecto del marinado (sal y fosfatos) y de la estimulación eléctrica para 4 tiempos de maduración (0; 0,5; 1; 1,5 h), reportaron que los valores de corte más bajo fueron observados para la carne que resulta de la combinación del marinado y de la estimulación eléctrica con 1,5 h de maduración. Young et al. (1999) en canales estimuladas eléctricamente que fueron marinadas con tripolifosfatos (por masajeado bajo vacío) a las 0 h de maduración, observaron valores de corte más bajos que las canales con estimulación eléctrica que no recibieron tratamiento con fosfato. Perumalla et al. (2011) estudiando la influencia del marinado (masajeado bajo vacío con cloruro de sodio y fosfatos) y del método de enfriamiento sobre la calidad de la carne, sugiere que el marinado mejora la terneza de la carne de la pechuga de pollos independientemente de los métodos de enfriamiento utilizados. Saha et al. (2009) evaluando el efecto del fosfato con distintas concentraciones de sal sobre la terneza de los fillets de pechugas de pollos indicaron que todos los tratamientos de marinado (por masajes bajo vacío) fueron

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

significativamente más tiernos que el control (sin marinar) independientemente de la concentración de sal. Por su parte Alvarado y Sams (2004) investigando diferentes métodos de marinado (con soluciones de cloruro de sodio y tripolifosfatos), pudieron observar que las muestras marinadas por inyección mostraban menores valores de fuerza de corte, mientras que el marinado con masajeadora bajo vacío no modificó significativamente este parámetro respecto de las sin marinar.

En la terneza WB de la carne de pechuga de pollo, los resultados obtenidos muestran que las tecnologías industriales estudiadas provocaron mejoras sobre este parámetro. En general este estudio propone que el efecto combinado de la estimulación eléctrica con bajo voltaje y el marinado con fosfato en canales con 2 h de maduración son necesarios para lograr una mejora de la terneza.

4.1.5. Composición química

4.1.5.1. Contenido de humedad

Los valores medios obtenidos y sus desvíos estándar se muestran en la Tabla 12. Para determinar el efecto de cada tratamiento sobre el contenido de humedad se realizó un análisis de varianza. Solo el marinado provocó diferencias significativas sobre la humedad de las pechugas de pollos del presente estudio (Tabla 13).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tabla 12: Contenido de humedad (%) en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos, con y sin estimulación eléctrica, marinados y sin marinar (medias \pm SD).

Mad (h) ¹	Con EE		Sin EE	
	Sin Marinar	Marinados	Sin Marinar	Marinados
0	74,1 \pm 1,0 aA ²	75,7 \pm 0,2 aB	74,6 \pm 0,5 aA	75,9 \pm 1,4 aB
2	73,9 \pm 0,2 aA	75,6 \pm 0,4 aB	73,9 \pm 0,1 aA	74,9 \pm 0,9 aB
4	74,2 \pm 0,9 aA	75,8 \pm 0,4 aB	74,3 \pm 1,5 aA	74,7 \pm 2,1 aB
6	74,8 \pm 0,8 aA	75,4 \pm 1,1 aB	74,7 \pm 0,4 aA	75,5 \pm 0,2 aB
8	74,3 \pm 0,2 aA	75,7 \pm 0,1 aB	74,0 \pm 0,5 aA	75,5 \pm 1,1 aB
24	74,2 \pm 0,8 aA	75,1 \pm 0,7 aB	74,7 \pm 0,9 aA	75,6 \pm 0,1 aB

¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ²Letras minúsculas indican diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre medias de una misma fila ($p < 0,05$).

Tabla 13: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica, marinado y sus interacciones sobre el contenido de humedad en fillets de pechuga de pollo (p-valor).

Efectos principales e interacciones	p-valores
	Humedad
M	0,6943
EE	0,8305
MO	0,0000
MxEE	0,6775
MxMO	0,8619
EExMO	0,4609
MxEExMO	0,9332

M: maduración. EE: estimulación eléctrica. MO: marinado.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El **marinado** provocó un aumento significativo ($p < 0,05$) en el contenido de agua como se puede observar en Tabla 12. Este incremento era esperado, como consecuencia de la incorporación de una solución acuosa con adición de sales (Barbanti y Pasquini, 2005; Alvarado y Sams, 2004).

Souza et al. (2011) observaron valores de humedad en carne de pechuga de pollo comprendidos entre 75,3 y 75,6 % en distintas líneas genéticas y ambos sexos. Del mismo modo Lonergan et al. (2003), reportaron valores de humedad del 73,4 %. Por otra parte Castellini et al. (2002) evaluando el efecto del tipo de producción (tradicional y orgánica) y la edad sobre el contenido de humedad observaron menores valores en la producción tradicional (75,5 % vs 76,3 %). Por su parte Ramane et al. (2012) evaluando el efecto de un tratamiento de cocción, registró en carne de pollo cruda un contenido de humedad de 74,3 %.

La estimulación eléctrica y la maduración no modificaron el contenido de humedad. Los valores obtenidos en el presente trabajo están comprendidos en un rango de 73,9 y 75,9 %, los mismos se encuentran dentro de lo informado por otros autores como puede observarse en la bibliografía antes mencionada.

4.1.5.2. Contenido de proteínas, lípidos totales y colágeno

Los valores medios de proteínas y grasas, expresados como % en base seca (bs), y sus desvíos estándar se pueden observar en

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

la Tabla 14. Los análisis de varianza realizados a los valores de proteínas y a los de grasas muestran que los efectos de la maduración y estimulación eléctrica, así como su interacción no fueron significativos (Tabla 15).

Los valores de proteínas (19,2 – 24,0% en base húmeda) y grasas (0,3 – 1,8% en base húmeda) obtenidos en estos ensayos se corresponden con los reportados por otros autores.

Tabla 14: Contenido de Proteínas y Grasa en fillets de pechugas de pollo maduradas durante diferentes tiempos con y sin estimulación eléctrica (medias \pm SD).

Mad (h) ¹	Proteínas (%) BS		Grasas (%) BS	
	Sin EE	Con EE	Sin EE	Con EE
0	82,0 \pm 2,0 aA ²	83,8 \pm 4,3 aA	2,8 \pm 1,4 aA	1,9 \pm 0,6 aA
2	80,6 \pm 5,5 aA	80,1 \pm 3,2 aA	3,7 \pm 0,9 aA	2,4 \pm 0,8 aA
4	81,7 \pm 10,7 aA	83,4 \pm 1,2 aA	3,1 \pm 0,5 aA	2,3 \pm 1,0 aA
6	85,1 \pm 7,5 aA	87,4 \pm 10,4 aA	2,8 \pm 0,7 aA	1,9 \pm 0,9 aA
8	83,7 \pm 3,0 aA	78,3 \pm 3,8 aA	2,3 \pm 0,4 aA	2,4 \pm 1,6 aA
24	82,9 \pm 5,4 aA	76,7 \pm 5,3 aA	4,0 \pm 1,2 aA	2,9 \pm 1,3 aA

¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min. ² Iguales letras minúsculas indican que no existen diferencias significativas entre los valores medios en una misma columna. Letras mayúsculas iguales indican que no existen diferencias significativas entre medias de una misma fila para cada parámetro ($p > 0,05$).

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tabla 15: Efecto de la maduración, la estimulación eléctrica y sus interacciones sobre el contenido de proteínas, grasa, colágeno en fillets de pechuga de pollo (p-valor).

Efectos principales e interacciones	p-valores		
	Proteína	Grasa	Colágeno
M	0,5813	0,1424	0,1592
EE	0,6132	0,0894	0,0900
MxEE	0,7706	0,8660	0,3612

M: maduración. EE: estimulación eléctrica. MO: marinado.

Souza et al. (2011) analizando el efecto del sexo y la genética sobre la composición de la carne de pechuga de pollo observaron valores de proteínas entre 22,4 y 22,7% y contenido de grasa de 0,7 a 0,8% sin diferencias significativas entre los distintos tratamientos estudiados. Del mismo modo Intarapichet y Maikhunthod (2005) no encontraron diferencias significativas entre distintas líneas genéticas y sexo, para el contenido de proteínas (21,7 – 24,0%) de pechuga de pollo. Lonergan et al. (2003), reportaron valores de proteína y grasa en pechuga de pollo parrillero de 24,0 y 1,1%. Shawkat et al. (2007) encontró valores de proteínas y grasas en carne de pechuga de pollo de 22,0% y 1,1% respectivamente. Castellini et al. (2002) evaluando el efecto del tipo de producción (tradicional y orgánica) y la edad sobre la composición química de la pechuga de pollo, no observaron diferencias en los valores de proteínas (22,3 - 22,8%), mientras que

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

el contenido de grasa fue mayor (1,5 vs 0,7%). Ramane et al. (2012) registró un contenido de proteínas de 22,9% y de grasas de 1,7%.

El efecto de los factores estudiados sobre el contenido de colágeno puede observarse en la Tabla 15. La maduración, la estimulación eléctrica y su interacción no provocaron cambios significativos sobre el contenido de colágeno total. Los valores medios de este parámetro en carne de pechuga con 0 y 24 h de maduración se muestran en la Figura 10 (expresado en mg de colágeno total/g de carne).

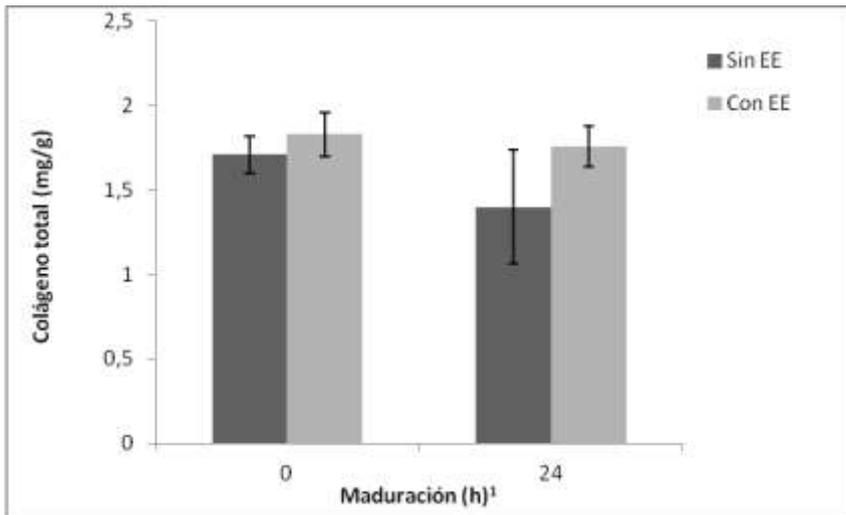


Figura 10: Contenido de colágeno total en carne de pechuga de pollo con y sin estimulación eléctrica, maduras 0 y 24 h.

¹Tiempo post mortem más 1 h 15 min

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El valor promedio de colágeno total obtenido para las condiciones ensayadas en el presente trabajo fue de 1,66 mg/g de carne. Smith et al. (1993), estudiando el efecto de la especie sobre el contenido de colágeno total encontraron valores de 1,27 mg/g en pechuga de pollo. Coró et al. (2003) reportaron un contenido de colágeno total de 4,5 mg/g en pechuga de pollo de 20 días de edad. Wattanachant et al. (2004) evaluando dos líneas genéticas reportaron valores de colágeno total en pechuga de pollo parrillero comercial de 3,86 y de 5,10 mg/g de músculo en pollos domésticos, encontrando diferencias significativas entre ambos.

Por lo tanto los resultados obtenidos en el presente trabajo se encuentran en el rango de los datos presentados en las publicaciones citadas previamente. Los contenidos de grasa, proteínas y colágeno se mantienen constantes a pesar de la diversidad de los factores estudiados.

4.1.6. Análisis de componentes principales (PCA)

- Fillets de pechuga de pollo marinadas

Los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros de calidad analizados en los fillets marinados con y sin estimulación eléctrica madurados durante diferentes tiempos, fueron sometidos a un análisis de componentes principales. La Figura 11 muestra las coordenadas de las muestras para cada

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

componente y la Figura 12 muestra el peso de cada variable en cada componente.

Los dos primeros componentes principales explicaron un 69,03 % del total de la varianza, siendo el primer componente (PC1) el que explicó un mayor porcentaje (43,43%). Los parámetros de calidad mejor correlacionados positivamente con la CPI fueron esfuerzo de corte WB, el pH y las mermas por cocción. Las coordenadas L* y b* de color y mermas por descongelación tuvieron una correlación negativa y significativa con esta coordenada (Tablas 16).

El segundo componente (PC2) explicó un 25,60% del total de la varianza. Las mermas por goteo y la coordenada a* de color presentaron una carga positiva y significativa sobre el PC2 (Tablas 17).

Tabla 16: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CPI en muestras con y sin estimulación marinadas.

Variable	CPI	p-valor
WB	0,96	0,0000
pH	0,77	0,0035
Mermas por cocción	0,66	0,0205
Mermas por descongelación	-0,63	0,0280
L*	-0,73	0,0076
b*	-0,77	0,0031

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tabla 17: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP2 en muestras con y sin estimulación marinadas.

Variable	CP2	p-valor
Mermas por goteo	0,84	0,0007
a*	0,76	0,0041

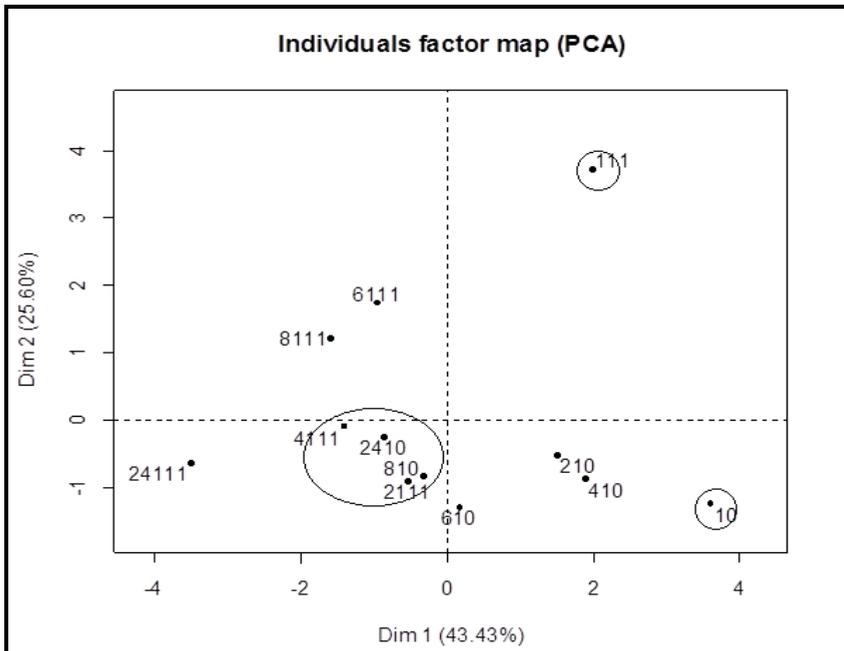


Figura 11: Análisis de componentes principales para muestras con distintos tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica marinadas.

Referencias: 10, 210, 410, 610, 810, 2410 = sin estimulación eléctrica, madurados 0, 2, 4, 6, 8 y 24 h respectivamente. 111, 2111, 4111, 6111, 8111 y 24111 = estimulados eléctricamente con 0, 2, 4, 6, 8 y 24 h de maduración.

De acuerdo con la gráfica de puntuaciones de las muestras (Figura 11), los fillets estimulados eléctricamente y madurados 2,

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4, 6, 8 y 24 h se ubicaron en el sector izquierdo, el mismo comportamiento se observó en las muestras sin estimular con mayores tiempos de maduración (8 y 24 h). Las muestras maduradas 2 y 4 h con estimulación eléctrica se mostraron próximas a las 8 y 24 h sin estimular. Las 0 h de maduración en las muestras con y sin estimulación eléctrica se hallaron separadas del resto de los tratamientos y entre ellas.

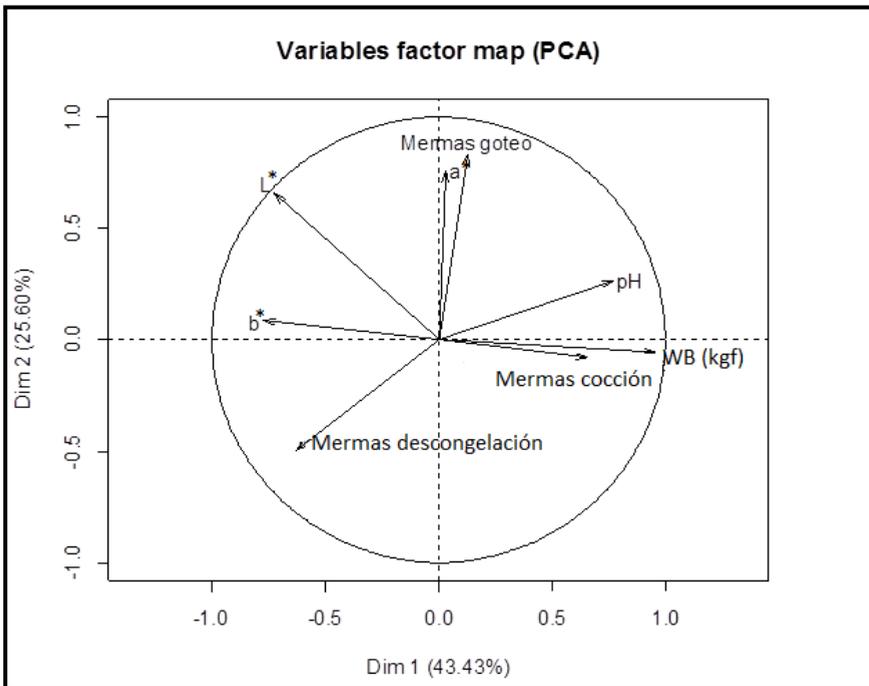


Figura 12: Análisis de componentes principales para las variables pH, color (L^* , a^* y b^*), WB, mermas por goteo, descongelación y por cocción en muestras con y sin estimulación marinadas.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con lo mencionado anteriormente y observando las proyecciones de las muestras y de las variables (Figuras 11 y 12) se puede indicar, que los fillets madurados durante 0, 2 y 4 h sin estimulación eléctrica se encuentran asociados principalmente con el parámetro WB, el cual presentó una alta correlación ($r: 0,96$) con el CP1. Mientras que las muestras estimuladas eléctricamente excepto las maduradas 0 h y aquellas sin estimular pero con tiempos de maduración superiores a 6 h se ubicaron en sentido opuesto a esta característica de calidad.

- **Fillets de pechuga de pollo sin marinar**

En el análisis de componentes principales efectuado a los resultados obtenidos en los fillets sin marinar con y sin estimulación eléctrica y madurados, se pudo determinar que los componentes 1 y 2 (CP1 y CP2) explicaron el 63,27 % de la variabilidad de los datos. La proyección de las muestras en los CP1 y CP2 se puede observar en la Figura 13 y en la Figura 14 se muestra la carga de cada variable en dichos componentes.

El CP1 explicó el 42,31 % de la variabilidad de los datos y los parámetros de calidad mejor correlacionados fueron la terneza WB, las mermas por goteo y por cocción, mientras que las coordenadas L^* y b^* de color se correlacionaron negativamente con este componente (Tabla 18). Por su parte el CP2 explicó el

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

20,96 % de la varianza y se correlacionaron significativamente las mermas por descongelación y la coordenada a* (Tabla 19).

Tabla 18: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP1 en muestras con y sin estimulación sin marinar.

Variable	CP1	p-valor
WB	0,89	0,0000
Mermas por goteo	0,78	0,0028
pH	0,65	0,0246
b*	-0,64	0,0300
L*	-0,86	0,0003

Tabla 19: Coeficiente de correlación para las variables que resultaron significativas con el CP2 en muestras con y sin estimulación sin marinar.

Variable	CP2	p-valor
Mermas por descongelación	0,86	0,0003
a*	-0,62	0,0308

El CP1 presentó una alta correlación con el esfuerzo de corte WB ($r: 0,89$), de manera similar a lo sucedido con las muestras marinadas esto, indicaría que esta componente agrupa fundamentalmente a las muestras según la terneza que presentan. En efecto el gráfico de puntuaciones mostró que los fillets

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

estimulados eléctricamente y madurados 2, 4, 6, 8 y 24 h y los sin estimular con 8 y 24 h se ubicaron en el mismo sector respecto de la CP1 (Figura 13). Este análisis, además mostró, que los músculos madurados 8 y 6 h con estimulación están próximos a los sin estimular con tiempos de maduración de 8 h. Los fillets con 0 h de maduración en las muestras con y sin estimulación eléctrica se encuentran separados del resto de los tratamientos y entre ellos.

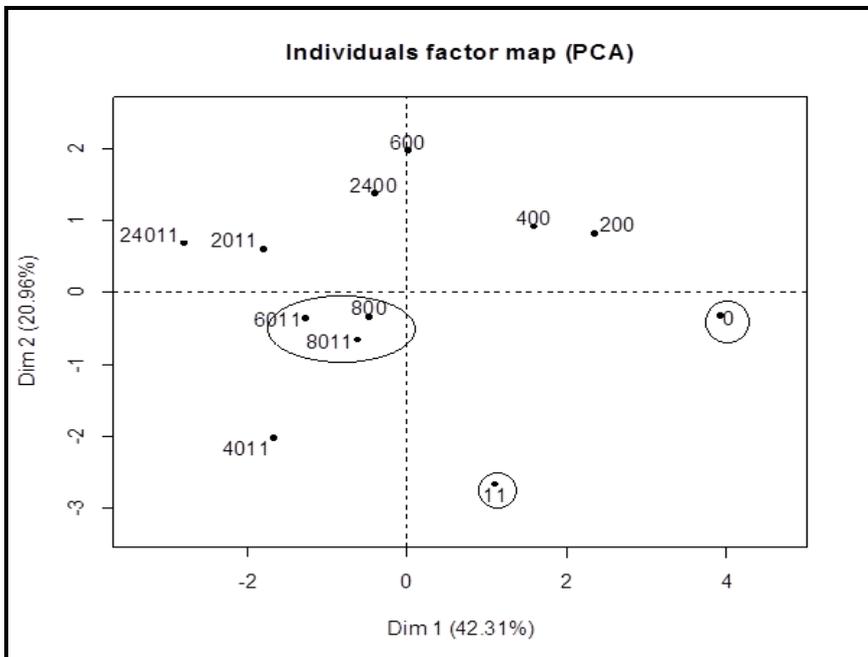


Figura 13: Análisis de componentes principales para muestras con distintos tiempos de maduración, con y sin estimulación eléctrica sin marinar.

Referencias: 0, 200, 400, 600, 800, 2400 = sin estimulación eléctrica, madurados 0, 2, 4, 6, 8 y 24 h respectivamente. 11, 2011, 4011, 6011, 8011 y 24011 = estimulados eléctricamente con 0, 2, 4, 6, 8 y 24 h de maduración respectivamente.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

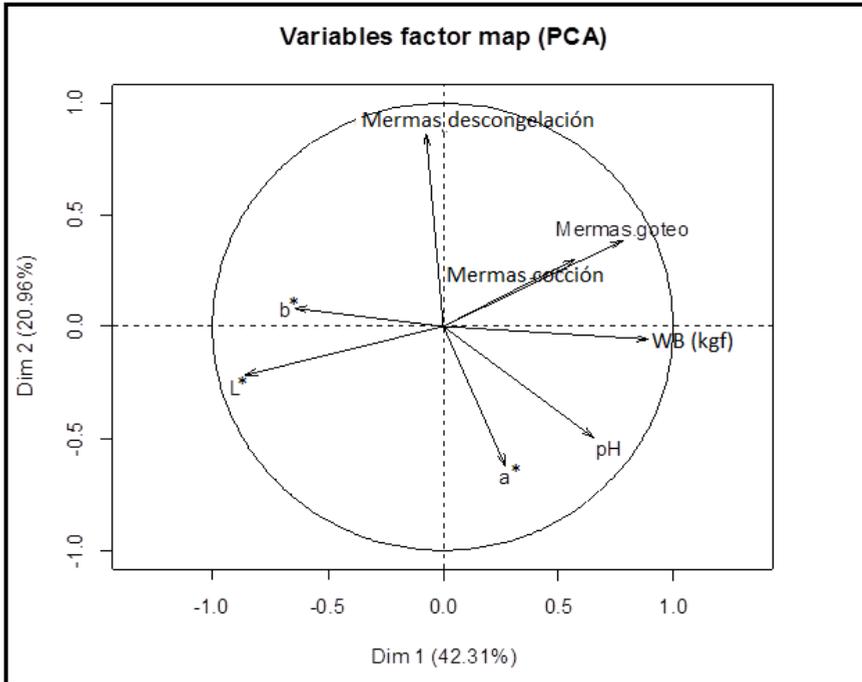


Figura 14: Análisis de componentes principales para las variables pH, color (L^* , a^* y b^*), WB, mermas por goteo, descongelación y por cocción en muestras con y sin estimulación sin marinar.

Del análisis de componentes principales podemos mencionar que la CP1 tanto para muestras marinadas como sin marinar está mayormente correlacionada con la terneza WB, por esta razón podríamos señalar que esta componente agrupa fundamentalmente a las muestras según la terneza que presentan.

4.2. Efecto de distintas condiciones de conservación

En los estudios de conservación se trabajó con fillets estimulados con 2 h de maduración. Estas condiciones de

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

procesamiento fueron seleccionadas de acuerdo a los resultados obtenidos en el apartado anterior (4.1). En esta fase se estudió el efecto de diferentes condiciones de conservación (refrigeración a 4 °C durante 4 días, congelación a – 25 °C durante 90 días y congelación a – 25 °C durante 180 días) en fillets con y sin marinado.

4.2.1. pH

Tabla 20: pH en fillets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.

Condiciones de conservación	Marinado	
	Con	Sin
4 días refrigeración	5,89 ± 0,10b ¹	5,75 ± 0,09b
90 días congelación	5,72 ± 0,07a	5,61 ± 0,11a
180 días congelación	6,11 ± 0,13c	6,08 ± 0,10c

¹ Distintas letras por columnas indican diferencias significativas (P<0,05).

Este parámetro presenta diferencias significativas para las distintas condiciones de conservación, tanto en las muestras marinadas (p = 0,0000) como sin marinar (p = 0,0000), observándose los mayores pH en los fillets conservados durante 180 días en congelación (Tabla 20). Karel y Lund, (2003) indican que la separación de agua en forma de hielo puro provoca un aumento de la concentración de la solución no congelada en los

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

alimentos. Van den Berg (1962) sugiere que esto puede inducir la precipitación de ciertos solutos, la interacción de las proteínas con sustancias iónicas y cierta actividad enzimática, afectando el pH.

Van den Berg (1962) observó un aumento del pH de 0,3 a 0,5 unidades durante el almacenamiento en congelación por 120 d en carne de pollo con 24 h de maduración. Sin embargo otras investigaciones no muestran cambios del pH por efectos de distintas condiciones de conservación. Moreira et al. (2008) estudiando el efecto de la conservación en fillets de pechuga de pollo (madurados 9 h) no observó cambios significativos en el pH entre la carne refrigerada y la congelada durante 3 meses. Así mismo Mothershaw et al. (2009) en fillets de pechuga de pollos no observaron diferencias significativas en los valores de pH entre las muestras refrigeradas y las congeladas. Patsias et al. (2008) tampoco encontraron cambios en el pH entre los fillets de pollo refrigerados y los congelados durante 9 días.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

4.2.2. Color

Tabla 21: Coordenadas de color L*, a* y b* en fillets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.

Condiciones de conservación	Marinado		
	Con	Sin	
L*	4 días refrigeración	49,39 ± 1,05 a ¹	49,18 ± 1,09 a
	90 días congelación	49,43 ± 1,67 a	48,86 ± 1,70 a
	180 días congelación	49,83 ± 1,20 a	49,85 ± 1,49 a
a*	4 días refrigeración	2,59 ± 0,51 a	2,43 ± 0,69 a
	90 días congelación	2,65 ± 0,63 a	3,50 ± 0,78 b
	180 días congelación	4,16 ± 0,57 b	4,37 ± 0,62 c
b*	4 días refrigeración	- 0,74 ± 1,05 b	0,45 ± 1,39 a
	90 días congelación	- 1,87 ± 1,33 a	- 0,27 ± 1,05 a
	180 días congelación	- 1,20 ± 1,58 ab	- 0,34 ± 1,44 a

¹ Distintas letras por columnas y parámetro indican diferencias significativas (P<0,05).

4.2.2.1. Coordenada L*

Las condiciones de conservación no presentaron influencia significativa sobre los valores de la luminosidad tanto en fillets marinados ($p = 0,5544$) como sin marinar ($p = 0,1020$). Los valores medios obtenidos para la coordenada de color L* se pueden observar en la Tabla 21. De acuerdo con estos resultados la luminosidad de la carne no parecería verse afectada por las distintas condiciones de almacenamiento evaluadas.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Confirmando estos resultados Galobar y Moran (2004b) observaron que los valores de L^* en fillets de pollo no se modificaron debido al almacenamiento en congelación durante 5 meses. Así mismo Patsias et al. (2008) indicaron que la congelación no provocó un efecto significativo sobre la luminosidad de carne de pollo. Otros autores en cambio, informan diferencias significativas de L^* en fillets de pechuga de pollo congelados y almacenados durante largos periodos. Lee et al. (2008) reportaron que los fillets de pollo madurados 2 h, congelados y almacenados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 6 meses, tendían a ser más oscuros que el control. Así mismo Mothershaw et al. (2009) reportaron menores valores de L^* en carne de pechuga de pollo congelada comparada con muestras refrigeradas.

4.2.2.2. Coordenada a^*

Las condiciones de conservación estudiadas influyeron de modo significativo en fillets marinados ($p = 0,0000$) y sin marinar ($p = 0,0000$) sobre la coordenada a^* . Los mayores valores de a^* se registran a los 180 días en ambos casos (Tabla 21).

Del mismo modo Mothershaw et al. (2009) estudiando el efecto de diferentes condiciones de conservación en carne de pollo registraron mayores valores de a^* para las muestras congeladas y descongeladas comparadas con las refrigeradas. También estudios realizado por Galobart y Moran (2004a) informan un aumento en la

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

coordinada a^* en pechugas de pollo luego del almacenamiento en congelación durante 5 meses. Igualmente Lee et al. (2008) registraron un aumento de los valores de a^* en carne de pollo al cabo de 8 meses de conservación a -18°C .

El color rojo asociado a la coordinada a^* depende principalmente de la concentración y estado químico de la molécula de la mioglobina. Por ello el incremento observado en a^* en las muestras conservadas 180 d en congelación, podría deberse a un aumento en la concentración de este pigmento debido a una ligera deshidratación superficial de la carne y / o un cambio químico de este compuesto. Según Fletcher (1999b) el color de la carne puede cambiar durante el almacenamiento, desde el rojo púrpura de la mioglobina desoxigenada, al rojo brillante de la oximioglobina o al marrón gris de metamioglobina.

4.2.2.3. Coordinada b^*

En los fillets sin marinar la coordinada b^* no mostró diferencias significativas ($p = 0,1161$) entre las distintas condiciones de conservación estudiadas. En los fillets marinados se observó un efecto significativo ($p = 0,0378$) aunque pequeño en magnitud (Tabla 21).

En la bibliografía consultada los resultados discrepan. Lee et al. (2008) reportaron en fillets congelados y almacenados a -18°C menores valores de b^* luego de 6 meses de conservación.

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Mothershaw et al. (2009), por el contrario, observaron que las muestras de pechuga de pollo congeladas tenían mayor valor de b^* comparadas con las refrigeradas. También Galobart y Moran (2004a) indicaron un incremento de b^* por efecto de la congelación al cabo de 5 meses en fillets de pollo comparando con un control refrigerado.

4.2.3. Merms

Tabla 22: Merms por descongelación (%) y por cocción (%) en fillets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.

	Condiciones de conservación	Marinado	
		Con	Sin
Merms por descongelación	90 días congelación	10,9 ± 1,2 a ¹	4,6 ± 2,0 a
	180 días congelación	10,0 ± 1,6 a	4,7 ± 1,7 a
Merms por cocción	4 días refrigeración	20,9 ± 2,5 a ¹	19,4 ± 2,4 a
	90 días congelación	19,2 ± 1,8 a	21,0 ± 2,6 ab
	180 días congelación	20,7 ± 3,1 a	21,5 ± 2,5 b

¹ Letras distintas por columna y parámetro indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.2.3.1. Merms por descongelación

Las condiciones de conservación no presentaron influencia significativa sobre las merms por descongelación. El mismo comportamiento se observó en fillets marinados ($p = 0,8630$) y sin marinar ($p = 0,0944$). Los valores medios obtenidos se pueden

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

observar en la Tabla 22. De acuerdo con estos resultados las mermas por descongelación no se verían afectadas por los tiempos de conservación en congelación estudiados.

Del mismo modo Lee et al. (2008) no observaron diferencias en las mermas por descongelación en filets de pollos con 2 h de maduración, durante un periodo de conservación de 6 meses.

4.2.3.2. Mermas por cocción

El efecto de las distintas condiciones de almacenamiento sobre el comportamiento de las mermas por cocción para los filets sin marinar fue significativo ($p = 0,0347$), observándose mayores mermas en las muestras congeladas 180 días respecto de las refrigeradas con 4 días de almacenamiento (Tabla 22).

Es probable que el incremento en las mermas por cocción registradas en las muestras conservadas durante 180 días respecto de las muestras frescas se deba al posible crecimiento de los cristales de hielo durante el almacenamiento. Este aumento de tamaño puede perturbar estructuras como las membranas celulares Karel y Lund, (2003).

Lee et al. (2008) encontraron mayores mermas por cocción en fillet de pollo sin marinar, después de 6 meses de almacenamiento en congelación comparados con el control sin congelar, aunque las mermas obtenidas por estos autores luego de

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

la congelación – descongelación fueron superiores (34,9 %) a las observadas en el presente trabajo (21,5 %). Así mismo Mothershaw et al. (2009) reportaron un aumento de las mermas por cocción en muestras de pechuga congeladas comparadas con las refrigeradas. Sin embargo Zhuang y Savage (2012) no observaron cambios significativos de las mermas por cocción entre los fillets de pechuga de pollo congelados y los refrigerados.

En las muestras marinadas las condiciones de conservación no mostraron diferencias significativas ($p = 0,0920$) en las mermas por cocción.

4.2.4. Terneza

Las diferentes condiciones de conservación estudiadas afectaron significativamente la terneza en fillets sin marinar ($p = 0,0289$), presentando mayores valores de fuerza de cizalla al cabo de 180 días de congelación respecto de los mantenidos en refrigeración (Tabla 23). Estos resultados coinciden con los reportados por Lee et al. (2008) en fillets de pechuga de pollo congelados y almacenados durante 180 días respecto del producto refrigerado. Estos autores atribuyen estas diferencias a la contracción del músculo durante el almacenamiento congelado y / o a la desnaturalización de proteínas, puesto que la carne de pechuga de pollo más dura se ha asociado con menores longitudes del sarcómero. Mothershaw et al. (2009) también observaron en

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

carne de pollo mayores valores de fuerza de cizalla en muestras congeladas comparadas con las refrigeradas.

Tabla 23: Terneza WB (kgf) en fillets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.

Condiciones de conservación	Marinado	
	Con	Sin
4 días refrigeración	2,11 ± 0,52 a ¹	2,65 ± 1,02 a
90 días congelación	2,39 ± 0,63 a	3,10 ± 0,98 ab
180 días congelación	2,50 ± 0,78 a	3,39 ± 1,13 b

¹ Letras distintas por columnas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el presente estudio el aumento en los valores de esfuerzo de corte en la carne conservada durante 180 d en congelación podría estar relacionado con las mayores mermas por cocción observadas en estas condiciones. Distintas investigaciones evaluaron esta posible relación, estudios realizados por Barbanti y Pasquini (2005) mostraron una alta correlación significativa de 0,732 entre las mermas por cocción y el esfuerzo de corte en fillets de pollos. Otros autores también encontraron una correlación significativa entre estos parámetros aunque de menor magnitud (Allen et al., 1998; Papinaho et al., 1996b)

Los fillets marinados no presentaron diferencias significativas ($p = 0,1837$) entre las condiciones de conservación estudiadas. La incorporación de solución de marinado disminuye

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

los valores de fuerza de cizalla, probablemente enmascarando el efecto observado en las muestras sin marinar.

4.2.5. Composición

4.2.5.1. Humedad

No se observaron cambios significativos entre las distintas condiciones de conservación en fillets marinados ($p = 0,0668$) y sin marinar ($p = 0,4177$). Los valores promedios de humedad obtenidos para los diferentes tratamientos se informan en la Tabla 24.

Tabla 24: Contenido de humedad (%) en fillets marinados y sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.

Condiciones de conservación	Marinado	
	Con	Sin
4 días refrigeración	76,1 ± 0,1 a ¹	74,3 ± 0,2 a
90 días congelación	76,3 ± 0,1 a	74,5 ± 0,3 a
180 días congelación	76,2 ± 0,1 a	74,4 ± 0,2 a

¹ Letras iguales por columnas indican que no existen diferencias significativas ($P > 0,05$).

En este sentido Zhuang y Savage (2012) pudieron observar que almacenamientos en congelación (durante 6 días) no provocaron cambios significativos sobre el contenido de humedad en fillets de pechuga de pollo. Por el contrario Lee et al. (2008)

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

estudiando el efecto del almacenamiento a -18°C durante 180 días observaron un descenso de la humedad de los fillets de pollo. Estos autores también registraron mayores mermas por descongelación bajo estas condiciones de conservación. Sin embargo, en el presente trabajo, no se observaron diferencias en las mermas por descongelación entre los tratamientos estudiados (Tabla 22) como así tampoco en el contenido de humedad. Los valores medios obtenidos se encuentran dentro de lo citado por otros autores para carne de pechuga de ave. En fillets sin marinar, Qiao et al. (2002a) informan valores de humedad de 74,5 %. Así mismo Jeong et al. (2011) obtuvieron valores de humedad de 75,7 % en carne de pollo luego de la congelación - descongelación.

4.2.5.2. Contenido de proteínas y grasas en base seca

Para evaluar el efecto del almacenamiento durante 4 días en refrigeración y a lo largo de 90 y 180 días en congelación sobre el contenido de grasas y proteínas se realizó un análisis de varianza. Los fillets de pechuga de pollos almacenados bajo las diferentes condiciones de conservación evaluadas, no sufrieron modificaciones significativas tanto en el contenido de proteínas ($p = 0,1021$) como en el de grasas ($p = 0,5242$). Cabe mencionar que los resultados obtenidos en el presente trabajo (proteínas 21,9 y grasas 0,7 % en base húmeda) se encuentran dentro de lo citado por otros autores para carne de pechuga de ave. Pikul et al. (1984)

4. RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

observaron valores de 1,1 % de grasa en pechugas de pollos almacenadas durante 6 meses a - 18 °C, sin cambios significativos entre los tiempos de congelación estudiados (2 días, 4 y 6 meses).

Tabla 25: Contenido de proteínas (%) y grasas (%) en fillets sin marinar (madurados 2 h y estimulados eléctricamente) para las diferentes condiciones de conservación.

	Condiciones de conservación	% Base seca
Proteínas	4 días refrigeración	81,57 ± 2,85 a
	90 días congelación	87,63 ± 1,58 a
	180 días congelación	87,15 ± 1,43 a
Grasas	4 días refrigeración	2,79 ± 0,41 a
	90 días congelación	2,92 ± 0,01 a
	180 días congelación	2,60 ± 0,14 a

¹ Letras iguales por columnas y parámetro indican que no existen diferencias significativas ($P > 0,05$).

En fillets sin marinar, Qiao et al. (2002a) informan valores de proteínas 23,0% y grasas 1,3%. Pearson et al. (1997) informan contenidos de grasa de 1,2% y de proteínas de 23,1% en carne de pechuga también sin marinar. Barbanti y Pasquini (2005) hallaron valores de 21,5 y 0,6 % de proteínas y grasas respectivamente en fillets de pollo sin marinar.

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

5.1. Efecto de la maduración, estimulación eléctrica y marinado

- En las condiciones del presente estudio, el pH de los fillets no se vio afectado por la aplicación de estimulación eléctrica ni por efecto del marinado. No obstante, fue disminuyendo a medida que se incrementó el tiempo de maduración hasta estabilizarse entre las 2 y 6 h dependiendo del tratamiento.
- Con respecto al color, se observó un efecto combinado de la estimulación eléctrica con los tiempos de maduración, manifestándose mediante un incremento de la luminosidad. Las coordenadas a^* y b^* presentaron pequeños cambios por efecto de los tres factores estudiados sin una tendencia definida.
- Las mermas por goteo mostraron interacciones entre la maduración, estimulación eléctrica y marinado. En general las menores mermas se presentaron en los fillets sin marinar y estimulados eléctricamente, independientemente del tiempo de maduración.
- Las mermas por cocción fueron menores en los fillets estimulados eléctricamente a partir de las 2 h de maduración, tanto en carne marinada como sin marinar.
- La terneza mejoró en los fillets sin estimular luego de las 6 h de maduración mientras que con la aplicación de

5. CONCLUSIONES

estimulación eléctrica esto se logró con 2 h. En todos los casos el marinado mejoró este atributo de calidad.

- Los contenidos de proteínas, lípidos, humedad y colágeno no fueron afectados por el tiempo de maduración previo a la obtención de los filets ni por la utilización de estimulación eléctrica.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la combinación de los procedimientos industriales estudiados podría ser adecuada para reducir los tiempos de procesamiento. Para ello se requiere un mínimo de 2 h de maduración y la aplicación de estimulación eléctrica para lograr una mejora significativa en la terneza, esto puede verse favorecido aun más por efecto del marinado. Asimismo estas condiciones de proceso no generan un efecto negativo sobre el pH, color, mermas ni composición química.

5.2. Efecto de distintas condiciones de conservación

- Filets marinados: no se observaron diferencias en los parámetros de calidad estudiados entre las distintas condiciones de conservación (refrigeración, congelación 90 y 180 días), excepto un incremento del pH y la coordenada a^* en la carne congelada durante 180 días.
- Filets sin marinar: la conservación durante 180 días al igual que en el caso anterior mostró un aumento del pH y de a^* ,

5. CONCLUSIONES

así como también de las mermas por cocción y de los valores de esfuerzo de corte, respecto de las otras condiciones de almacenamiento. Las coordenadas L^* y b^* , las mermas por descongelación y los contenidos de humedad, grasa y proteína no se vieron afectados por los tratamientos estudiados.

Según lo expuesto, los parámetros afectados por la conservación en congelación luego de largos períodos (180 días) fueron principalmente el pH y la componente roja del color, independientemente del proceso de marinado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeni F. and Bergoglio G. 2001. Characterization of different strains of broiler chicken by carcass measurements, chemical and physical parameters and NIRS on breast muscle. *J. of Meat Science* 57: 133-137
- Aberle E. D., Forrest J. C., Gerrard, D. E., Mills, E. W., Hedrick, H. B., Judge, M. D., Merkel R. A. 2001. *Principles of Meat Science*. Kendall/Hunt Publishing. I.S.B.N.: 0-7872-4720-0.
- Allen C. D., Fletcher D. L., Northcutt J. K., Russell S. M. 1998. The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *J. of Poultry Science* 77: 361–366
- Allen C. D., Russell S. M., Fletcher D. L. 1997. The relationship of broiler breast meat color and pH to shelf-life and odor development. *J. of Poultry Science* 76: 1042–1046.
- Al-Najdawi R. and Abdullaha B. 2002. Proximate composition, selected minerals, cholesterol content and lipid oxidation of mechanically and hand-deboned chickens from the Jordanian market. *J. of Meat Science* 61: 243–247
- Alvarado C. and McKee S. 2007. Marination to improve functional properties and safety of poultry meat. *J. of Appl. Poult. Res.* 16: 113–120
- Alvarado C. Z. and Sams A. R. 2000. The influence of postmortem electrical stimulation on rigor mortis development, calpastatin activity, and tenderness in broiler and duck pectoralis. *J. of Poultry Science* 79: 1364–1368.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado C. Z. and Sams A. R. 2004. Early postmortem injection and tumble marination effects on broiler breast meat tenderness. *J. of Poultry Science* 83: 1035–1038.
- AMSA (American Meat Science Association). 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. National Live Stock and Meat Board, Chicago, IL.
- AOAC. 2005. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International (18th ed.). Meryland, USA.
- Barbanti D., Pasquini M. 2005. Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat. *LWT* 38: 895–901
- Barbut S. 2009. Pale, soft, and exudative poultry meat—Reviewing ways to manage at the processing plant. *J. of Poultry Science* 88: 1506–1512.
- Barbut S., Zhang L., Marcone M. 2005. Effects of pale, normal, and dark chicken breast meat on microstructure, extractable proteins, and cooking of marinated fillets. *Poultry Science* 84: 797–802.
- Barbut S. 2002. *Poultry Products Processing. An Industry Guide*. Boca Raton. CRC Press.
- Barbut, S. 1998. Estimating the magnitude of the PSE problem in poultry. *J. of Muscle Foods* 9: 35–49.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbut, S., 1997. Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *J. of British. Poultry Science* 38: 355–358.
- Barbut, S., Maurer A. J., Lindsay R.C. 1988. Effects of reduced sodium chloride and added phosphates on physical and sensory properties of turkey frankfurters. *J. Food Science* 53: 62.
- Berri C. 2000. Variability of sensory and processing qualities of poultry meat. *World's Poultry Science Journal* 56: 209-224.
- Bianchi M., Fletcher D. L., Smith D. P. 2005. Physical and functional properties of intact and ground pale broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 84: 803–808.
- Bianchi M., Petracci M., Franchini A., Cavani C. 2006. The occurrence of deep pectoral myopathy in roaster chickens. *J. of Poultry Science* 85: 1843–1846.
- Bruckner S., Albrecht A., Petersen B., Kreyenschmidt J. 2013. A predictive shelf life model as a tool for the improvement of quality management in pork and poultry chains. *J. of Food Control* 29: 451-460.
- Camou J. P., and Sebranek J. G. 1991. Gelation characteristics of muscle proteins from pale, soft, exudative (PSE) pork. *J. of Meat Science* 30:207–220.
- Carroll C. D. and Alvarado C. Z. 2008. Comparison of air and immersion chilling on meat quality and shelf life of marinated broiler breast fillets. *J. of Poultry Science* 87: 368–372.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castañeda M. P., Hirschler E. M., Sams A. R. 2005. Functionality of electrically stimulated broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 84: 479–481
- Castellini C., Mugnai C., Dal Bosco A. 2002. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *J. of Meat Science* 60: 219–225.
- CEPA (a). Porque usted puede estar segura del pollo que consume. http://www.aviculturaargentina.com.ar/mitos/que_consume.htm. 10/2013
- CEPA (b). Industria avícola planea una faena récord en 2012. www.aviculturaargentina.com.ar/novedad.php?n=22 10/13.
- Chuaynukool K; Wattanachant S., Siripongvutikorn S. 2007. Chemical and physical properties of raw and cooked spent hen, broiler and Thai Indigenous chicken muscles in mixed herbs acidified soup (Tom Yum). *J. of Food Technology* 5: 180-186.
- CIE, 1976. Definition du space de couleur pour deux coordonnées de chromaticité et la luminosité. Supplement 2 to CIE publication no. 15 (E-1-3-1) 1971/(TC-1-3). Centre Internationale de L'Eclairage, Paris.
- Coró F. A. G., Youssef E. Y., Shimokomak M. 2003. Age related changes in poultry breast meat collagen pyridinolme and texture. *J. of Food Biochemistry* 26: 533-541.
- Craig E. W., Fletcher D. L., Papinaho P. A. 1999. The effects of antemortem electrical stunning and postmortem electrical

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- stimulation on biochemical and textural properties of broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 78: 490–494.
- Cross, H. R., Carpenter Z. L., Smith, G. C. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *J. of Food Science* 38: 998-1003.
- Decreto Nacional 4238/68. 1983. Actualizado. Reglamento de Inspección de Productos, Subproductos y Derivados de Origen Animal. SENASA.
- Díaz Sánchez O. and Bonilla Bolaños O. 2003. Elementos básicos para el manejo de animales de granja aves (gallinas, patos, gansos, codornices y pavos). Editorial Universidad estatal a distancia.
- Dransfield E. and Sosnicki A. A. 1999. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *J. of Poultry Science* 78: 743–746.
- Fanatico A. C., Pillai P. B., Emmert J. L., Owens C. M. 2007. Meat quality of slow- and fast-growing chicken genotypes fed low-nutrient or standard diets and raised indoors or with outdoor access. *J. of Poultry Science* 86: 2245–2255.
- Fletcher, D. L., and D. P. Smith. 2006. The relationship between breast muscle color variation and meat functionality. Pages 1–4 in Proc. XII Eur. Poult. Conf., Verona, Italy. Univ. Bologna, Bologna, Italy.
- Fletcher D. L. 1999a. Broiler breast meat color variation, pH, and texture. *J. of Poultry Science* 78: 1323–1327.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fletcher D. L. 1999b. 'Poultry meat colour', in Richardson R I and Mead G (eds), *Poultry Meat Science*, CAB International, Abingdon, 159-175.
- Fletcher, D. L. 2002. Poultry meat quality. *World's Poultry Science J.* 58: 131–146.
- Fletcher, D. L., Qiao M., Smith D. P. 2000. The relationship of raw broiler breast meat color and pH to cooked meat color and pH. *J. of Poultry Science* 79: 784–788.
- Froning, G. W. and 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. *J. of Poultry Sci.* 67: 1536–1544.
- Galobart J. and Jr Moran E.T. 2004a. Freeze-thaw and cooking effects on broiler breast fillets with extreme initial L* values. *J. of Poultry Science* 83: 2093-2097.
- Galobart, J. and Moran E.T, 2004b. Changes in light reflectance and extent of thawing loss after extended freezing with breast fillets from late marketed broiler males using population representatives having L* above and below the median. *Int. J. Poultry Science* 3: 586-587.
- Gil Martínez A. 2010. *Preelaboración y conservación de alimentos*. Editorial Akal S.A. Madrid España.
- Gorsuch V. and Alvarado C. Z. 2010. Postrigor tumble marination strategies for improving color and water-holding capacity in

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- normal and pale broiler breast fillets. *J. of Poultry Science* 89: 1002–1008.
- Gruda Z. and Postolski J. 1986. *Tecnología de la congelación de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Gullo E. y Centurion M. 1999. Determinación de hidroxiprolina en carnes. *Información Tecnológica* 10: 81-84.
- Hirschler E. M. and Sams A. R. 1998. The influence of commercial-scale electrical stimulation on tenderness, breast meat yield, and production costs. *J. of Appl. Poultry Res.* 7:99-103.
- Honikel K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *J. of Meat Science* 49: 447-457.
- Honikel, K. O., Hamid A., Fischer C., Hamm R. 1981. Influence of postmortem changes in bovine muscle on the water holding capacity of beef. Postmortem storage of muscle at various temperatures between 0 and 30°C. *J. of Food Science* 46: 23–25.
- Huezo R., Northcutt J. K., Smith D. P., Fletcher D. L. 2007. Effect of chilling method and deboning time on broiler breast fillet quality. *J. of Appl. Poultry. Res.* 16: 537–545.
- Huff-Lonergan E. and Sosnicki A. 2005. Water-Holding capacity of fresh meat <http://www.pork.org/filelibrary/factsheets/pigfactsheets/newfactsheets/12-04-05g.pdf>. 06/2014.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hui, Y.H., Aalhus J.L, Cocolin L, Guerrero-Legarreta, Nollet LM, Purchas R. W., Schilling M.W., Stanfield P., Xiong Y.L. 2012. Handbook of meat and meat processing. Boca Raton, CRC Press.
- Hui, Y.H. 2006. Handbook of food science, technology and engineering. Vol 2. Boca Raton, CRC Press.
- Intarapichet K. O. and Maikhunthod B. 2005. Genotype and gender differences in carnosine extracts and antioxidant activities of chicken breast and thigh meats. *J. of Meat Science* 71: 634–642.
- James J. S. and James C. 2002. Meat refrigeration. 2° edition. Boca Raton CRC Press.
- James C., Vincent C., Andrade Lima T.I., James S.J. 2006. The primary chilling of poultry carcasses - a review. *Int. J. of Refrigeration* 29: 847-862.
- Jeong J. Y., Janardhanan K. K., Booren A. M., Karcher D. M., Kang I. 2011. Moisture content, processing yield, and surface color of broiler carcasses chilled by water, air, or evaporative air. *J. of Poultry Science* 90: 687–693.
- Kahraman T., Bayraktaroglu A. G., Vural A., Issa G., Ergun E. 2011. Electron microscopy of contractile bands and quality characteristics in high-voltage electrical stimulation broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 90: 486–490.
- Karel M. and Lund D. B. 2003. Physical principles of food preservation. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kemp C. M., Sensky P. L., Bardsley R. G., Buttery P. J., Parr T. 2010. Tenderness – An enzymatic view. *J. of Meat Science* 80: 248-256.
- Kerry J. P. and Ledward D. 2009. Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat. Boca Raton CRC Press.
- Khan, A. W. 1974. Relation between isometric tension, postmortem pH decline and tenderness of poultry breast meat. *J. of Food Science* 39: 393–395.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Sci.* 36: 93–104.
- Kijowski, J., Niewiarowicz A., Kujawska-Biernat B. 1982. Biochemical and technological characteristics of hot chicken meat. *J. Food Technol.* 17: 553–560.
- Kranen R. W., Van Kuppevelt T. H., Goedhart H. A., Veerkamp C. H., Lambooy E., Veerkamp J. H. 1999. Hemoglobin and myoglobin content in muscles of broiler chickens. *J. of Poultry Science* 78: 467–476.
- Kriese P. R, Soares A. L., Guarnieri P D., Prudencio S. H., Ida E. I., Shimokomaki M. 2007. Biochemical and sensorial evaluation of intact and boned broiler breast meat tenderness during ageing. *J. of Food Chemistry* 104: 1618–1621.
- Lambooy E, Pieterse C, Hillebrand S J W., Dijksterhuis G B. 1999. The effects of captive bolt and electrical stunning, and

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- restraining methods on broiler meat quality. *J. of Poultry Science* 78: 600-607.
- Lawrie, R.A. 2006. *Lawrie's Meat Science*. 7a. edition. Boca Raton. CRC press.
- Lee Y. S., Saha A., Xiong R., Owens C. M., Meullenet J. F. 2008. Changes in broiler breast fillet tenderness, water-holding capacity, and color attributes during long-term frozen storage. *J. of Food Science* 73:162-168.
- Liu A., Nishimura T., Takahashi K. 1996. Relationship between structural properties of intramuscular connective tissue and toughness of various chicken skeletal muscles. *J. of Meat Science* 43:4349-1996.
- Liu Y., Lyon B. G, Windham W. R., Lyon C. E., and Savage E. M. 2004. Principal component analysis of physical, color, and sensory characteristics of chicken breasts deboned at two, four, six, and twenty-four hours postmortem. *J. of Poultry Science* 83:101–108.
- Lonergan S. M., Deeb N., Fedler C. A., Lamont S. J. 2003. Breast meat quality and composition in unique chicken populations. *J. of Poultry Science* 82:1990–1994.
- Lyon B. G., Smith D. P., Lyon C. E., Savage E. M. 2004. Effects of diet and feed withdrawal on the sensory descriptive and instrumental profiles of broiler breast fillets. *J. of Poultry Science* 83:275–281.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lyon C E and Buhr R J. 1999. 'Biochemical basis of meat texture', in Richardson R I and Mead G (eds), *Poultry Meat Science*, CAB International, Abingdon, 99-126.
- Lyon C. E., Lyon B. G., Savage E. M. 2003. Effect of postchill deboning time on the texture profile of broiler breeder hen breast meat. *J. of Appl. Poultry Res.* 12: 348–355.
- Lyon C. E., Dickens J. A., Lyon B. G. 2002. Effects of electrical stimulation and postchill deboning time on texture and cook loss of broiler breasts processed under commercial conditions. *J. of Appl. Poultry. Res.* 11: 217–222.
- Lyon C. E., Lyon B. G., Dickens J. A. 1998. Effects of carcass stimulation, deboning time, and marination on color and texture of broiler breast meat. *J. of Appl. Poultry Res.* 7: 53-60.
- Lyon C. E., Lyon B. G., Papa C. M., Robach M. C. 1992. Broiler tenderness effects of postchill deboning holding time and fillet holding time. *J. Appl. Poultry Res.* 1: 27-32.
- Lyon, B. G., and Lyon C. E. 1991. Research Note: Shear value ranges by Instron Warner Bratzler and single-blade Allo-Kramer devices that correspond to sensory tenderness. *J. of Poultry Science* 70: 188–191
- Lyon, C. E., Davis C. E., Dickens J. A, Papa C. M., Reagan J. O. 1989. Effects of electrical stimulation on the postmortem biochemical changes and texture of broiler Pectoralis muscle. *J. of Poultry Science* 68: 249–257.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mair G., Beczkowski G., Lamelas K. 2013. Boletín avícola 2012. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. Argentina.
- Martino M. N. and Zaritzky N. E. 1988. Ice crystal size modifications during frozen beef storage. *J. of Food Science* 53: 1631-1637.
- McKee, S. R., and Sams A. R. 1997a. Development at elevated temperatures induces pale exudative turkey meat characteristics. *J. of Poultry Science* 77: 169–174.
- McKee, S. R., and Sams A. R. 1997b. The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. *J. of Poultry Science* 76: 1616–1620.
- McKee, S. R., Hirschler E. M., Sams A.R. 1997. Physical and biochemical effects of broiler breast tenderization by aging after pre-rigor de-boning. *J. of Food Science* 62: 959-962.
- Mead G. C. 2004. Poultry meat processing and quality. Boca Raton. CRC Press.
- Meek K. I., Claus J. R., Duncan S. E., Marriott N. G., Solomon M. B., Kathman S. J., Marini M. E.. 2000. Quality and sensory characteristics of selected post-rigor, early deboned broiler breast meat tenderized using hydrodynamic shock waves. *J. of Poultry Science* 79: 126–136.
- Montgomery D.C. 2009. Design and analysis of experiments. Seventh Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Moreira A. P. S., Giombelli A., Labanca R. A., Nelson D. L., Glória M. B. A. 2008. Effect of aging on bioactive amines,

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- microbial flora, physico-chemical characteristics, and tenderness of broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 87: 1868–1873.
- Mothershaw A. S., Gaffer T., Kadim I., Guizani N., Al-Amri I., Mahgoub O., Al-Bahry S. 2009. Quality characteristics of broiler chicken meat on salt at different temperatures. *Int. J. of Food Properties*, 12: 681–690.
- Nollet L. M. L. 2007. *Handbook of meat Poultry & Seafood Quality*. Blackwell Publishing.
- Northcutt J. K., Buhr R. J., Young L. L. 1998. Influence of preslaughter stunning on turkey breast muscle quality. *J. of Poultry Science* 77: 487–492.
- Northcutt K., Buhr, R. J. Young L. L., Lyon C. E., Ware G. O. 2001 Influence of age and postchill carcass aging duration on chicken breast fillet quality *J. of Poultry Science* 80: 808–812.
- Northcutt, J. K. 2008. Factors affecting poultry meat quality. <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubcd/b1157-w.html>. 05/2008
- Offer, G., and Knight P. 1988. The structural basis of waterholding in meat. In *Developments in Meat Science*. Vol. 4. R. Lawrie, ed. Elsevier Applied Science, New York, NY.
- Owens C. M., .and Sams A. R. 1998. Meat quality of broiler breast meat following post-mortem electrical stimulation at the neck. *J. of Poultry Science* 77: 1451–1454.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Owens C. M., Alvarado C. Z., Sams A. R. 2010. Poultry Meat Processing. 2^o edition. Boca Raton CRC Press.
- Papinaho P. A., Fletcher D. L., Rita H. J. 1996a. Relationship of breast fillet deboning time to shear force, pH, cooking loss and color in broilers stunned by high electrical current. *J. Agric. Food Science. Finl.* 5: 49–55.
- Papinaho E. A., Ruusunen M. H., Suuronen K., Fletcher D. L. 1996b. Relationship between muscle biochemical and meat quality properties of early deboned broiler breasts. *J. Appl. Poultry Res.* 5: 126-133.
- Papinaho P. A. and Fletcher D. L. 1996. The effect of stunning amperage and deboning time on early rigor development and breast meat quality of broilers. *J. of Poultry Science* 75: 672–676.
- Patsias A., Badeka A.V., Savvaidis I. N., Kontominas M. G. 2008. Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. *J. of Food Microbiology* 25: 575– 581.
- Pearson A. M., Thayne R., Dutson T. R. 1997. Production and processing of healthy meat, poultry and fish products. *Advances in meat research series v 11.* Ed por A.M. Pearson and T.R. Dutson. Blackie Academic and Professional, London.
- Perumalla A. V. S., Saha A., Lee Y., Meullenet J. F., Owens C. M. 2011. Marination properties and sensory evaluation of

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- breast fillets from air-chilled and immersion-chilled broiler carcasses. *J. of Poultry Science* 90: 671–679.
- Petracci M., Bianchi M., Cavani C. 2010. Pre-slaughter handling and slaughtering factors influencing poultry product quality. *World's Poultry Science Journal*, 66: 17-26.
- Petracci M. and Fletcher D. L. 2002. Broiler skin and meat color changes during storage. *J of Poultry Science* 81: 1589–1597.
- Pikul J., Leszczynski D. E., Bechtel P. J., Kummerow F. A. 1984. Effects of frozen storage and cooking on lipid oxidation in chicken meat. *J. of Food Science* 49: 838-843.
- Poole, G. H., Lyon C. E., Buhr R. J., Young L. L., Alley A., Hess J. B., Bilgili S. F., Northcutt J. K. 1999. Evaluation of age, gender, strain, and diet on the cooked yield and shear values of broiler breast fillets. *J. Appl. Poultry Res.* 8: 170–176.
- Price J. F. and Schwelgert B. S. 1994. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España.
- 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. *J. of Poultry Science* 80: 676–680.
- Qiao M., Fletcher D. L., Northcutt J. K., Smith D. P. 2002a. The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *J. of Poultry Science* 81: 422–427.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Qiao, M., Fletcher D. L., Smith D. P., Northcutt J. K. 2002b. Effect of raw broiler breast meat color variation on marination and cooked meat quality. *J. of Poultry. Science.* 81: 276-280.
- Ramane K., Strautniece E., Galoburda R. 2012. Chemical and sensory parameters of heat-treated vacuum-packaged broiler and hen fillet products. *Proc. Latv. Univ. Agr.*, 27: 54-58.
- Saha A., Lee Y., Meullenet J. F. Owens C. M. 2009. Consumer acceptance of broiler breast fillets marinated with varying levels of salt. *J. of Poultry Science* 88: 415–423.
- Sams A. R. 2001. *Poultry Meat Processing*. 1° edition. Boca Raton CRC Press.
- Sams A. R., Janky D. M., Woodward S. A. 1990. Comparison of two shearing methods for objective tenderness evaluation and two sampling times for physical-characteristic analysis of early-harvest broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 69: 348–353.
- Savenije B., Schreurs F. J. G., Winkelman-Goedhart H. A., Gerritzen M. A., Korf J., Lambooij E. 2002. Effects of feed deprivation and electrical, gas, and captive needle stunning on early postmortem muscle metabolism and subsequent meat quality. *J. of Poultry Science* 81: 561–571.
- Seabra L. M., Zapata J. F., Fuentes M. F., Aguiar C. M., Freitas E. R., Rodrigues. M. C. 2001. Effect of deboning time, muscle tensioning, and calcium chloride marination on texture

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- characteristics of chicken breast meat. *J. of Poultry Science* 80: 109–112.
- Shawkat A., Geun-Ho Kang, Han-Sul Yang, Jin-Yeon Jeong, Young-Hwa Hwang, Gu-Boo Park, Seon-Tea Joo. 2007. A Comparison of meat characteristics between duck and chicken breast. *Asian-Aust. J. Animal. Science.* 20: 1002-1006.
- Silva J.A., Patarata L., Martins C. 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *J. of Meat Science* 52: 453-459.
- Smith D. P and Young L. L. 2007. Marination pressure and phosphate effects on broiler breast fillet yield, tenderness, and color. *J. of Poultry Science* 86: 2666–2670.
- Smith D. P., Fletcher D. L., Buhr R. J., Beyer R. S. 1993. Pekin duckling and broiler chicken pectoralis muscle structure and composition. *J. of Poultry Science.* 72: 202-208.
- Smith E. R. and Pesti G. M. 1998. Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broilers. *J. of Poultry Science* 77: 276–281
- Smith D. P. and Acton J. C. 2001. Marination, cooking, and curing of poultry products. Pages 257–280 in *Poultry Meat Science*. A. R. Sams, ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sosnicki A. A, Greaser M. L., Pietzrak M., Pospiech E., Santeâ V. 1998. PSE-Like syndrome in breast muscle of domestic turkeys, a review. *Journal of Muscle Foods* 9: 13-23.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Souza P. A., Kodawara L. M., Pelicano E. R. L, Souza H. B. A., Oba A., Leonel F. R., Norkus E. A., Lima T. M. A. 2005. Effect of deboning time on the quality of broiler breast meat (Pectoralis Major). *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 7: 123-128.
- Souza X. R., Faria P. B., Bressan M. C. 2011. Proximate composition and meat quality of broilers reared under different production systems. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 13: 15-20.
- Teira G., Perlo F., Bonato P., Fabre, R. 2004. Estudio de mermas por descongelación en fillets de pollo. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 28: 203-215.
- Thielke S., Lhafi S. K., Kühne M. 2005. Effects of aging prior to freezing on poultry meat tenderness. *J. of Poultry Science* 84: 607–612.
- Tomisaka Y, Ahhmed A. M., Tabata S., Kawahara S., Muguruma M. 2010 Changes in water-holding capacity and textural properties of chicken gizzard stored at 4°C. *Journal Animal Science* 81: 362–368.
- Trout G. R. and Schmidt G. R. 1984. Effect of phosphate type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. *Journal of Food Science* 49: 687-694.
- Uijttenboogaart T. G. 2007. Electrical stimulation of poultry. <http://www.zootecnicainternational.com/article->

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- archive/processing/686-electrical-stimulation-of-poultry-.html 02/2013.
- Van Den Berg. L. 1962. Physicochemical changes in some frozen foods. First International Congress of Food Science and Technology. London.
- Van Laack R. L. J. M., Liu C. H., Smith M. O., Loveday H. D. 2000. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 79: 1057–1061.
- Warriss P.D. 2000. Meat science: an introductory text. CABI Publishing. New York, USA.
- Wattanachant S., Benjakul S., Ledward D. A. 2004. Composition, color, and texture of Thai Indigenous and broiler chicken muscles. *J. of Poultry Science* 83: 123–128.
- Wilkins L. J., Brown S. N., Phillips A. J., Warriss P. D. 2000. Variation in the color of broiler breast fillets in the UK. *J. of British Poultry Science* 41: 308–312.
- Woelfel R. L. and Sams A. R. 2001. Marination performance of pale broiler breast meat. *J. Poultry Science* 80: 1519–1522.
- Woelfel R. L., Owens C. M., Hirschler E. M., Martinez-Dawson R., Sams A. R. 2002. The characterization and incidence of pale, soft, and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *J. Poultry Science* 81: 579–584.
- Xargayo´ M., Lagares J., Fernandez E., Ruiz D., Borrell D. 2001. Fresh meat spray marinating: The influence of spray injection on the quality of marinated products.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <http://www.metalquimia.com/images/doctecnologic/art13.pdf> 10/ 2006.
- Xiong Y. and Kupski D. R. 1999. Time-dependent marinade absorption and retention, cooking yield, and palatability of chicken filets marinated in various phosphate solutions. *J. Poultry Science* 78: 1053–1059.
- Xiong R., Cavitt L.C., Meullenet J.F., Owens C.M. 2006. Comparison of Allo-Kramer, Warner-Bratzler and Razor Blade shears for predicting sensory tenderness of broiler breast meat. *J. of Texture Studies* 37: 179-199.
- Yoon K.S. 2002. Texture and microstructure properties of frozen chicken breasts pretreated with salt and phosphate solutions. *J. Poultry Science* 81: 1910 – 1915.
- Young L. L. and Buhr R. J. 2000. Effect of electrical stimulation and polyphosphate marination on drip from early-harvested, individually quick-frozen chicken breast fillets. *J. of Poultry Science* 79: 925–927.
- Young L. L. and Lyon C. E. 1997a. Effect of postchill aging and sodium tripolyphosphate on moisture binding properties, color, and Warner-Bratzler shear values of chicken breast meat. *J of Poultry Science* 76: 1587–1590.
- Young L. L. and Lyon C. E. 1997b. Effect of electrical stimulation in combination with calcium chloride or sodium chloride treatments at constant ionic strength on moisture binding

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- and textural quality of early-harvested breast fillets. *J. of Poultry Science* 76: 1446–1449.
- Young, L. L. and Lyon C. E. 1997c. Effect of calcium marination on biochemical and textural properties of peri-rigor chicken breast meat. *J. of Poultry Science*. 76: 197–201.
- Young L. L., Buhr R. J., Lyon C. E. 1999. Effect of polyphosphate treatment and electrical stimulation on postchill changes in quality of broiler breast meat. *J. of Poultry Science* 78: 267–271.
- Young L., Cason J., Smith D., Lyon C., Dickens J., Walker J. 2005a. Effects of electrical stimulation and simulated conventional and extended chilling method on cooked chicken breast meat texture and yield. *Int. J. Poultry Science* 4: 60-63.
- Young L. L., Smith D. P., Cason J. A., Walker J. M. 2005b. Effects of pre-evisceration electrical stimulation and polyphosphate marination on color and texture of early harvested chicken broiler breast fillets. *Int. J. of Poultry Science* 4: 52-54.
- Young L. L. 1997. Effect of post-chill deboning on tenderness of broiler breast fillets. *J. Appl. Poult. Res.* 6: 174–179.
- Young L. L., Smith D. P., Cason J. A., Walker J. M. 2004. Effect of intact carcass electrical stimulation on moisture retention characteristics of polyphosphate-treated non-aged boneless broiler breast fillets. *Int. J. of Poultry Science* 3: 796–798.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Young L. L. and Lyon C. E., 1994. Effects of rigor state and addition of polyphosphates on the color of cooked turkey meat. *J. of Poultry Science* 73: 1149-1152.
- Zhu S., Bail A., Ramaswarny H. S., Chapleau N. 2004. Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. *J. of Food Science* 69: 190–197.
- Zhuang H. and Savage E. M. 2009. Variation and Pearson correlation coefficients of Warner-Bratzler shear force measurements within broiler breast fillets. *J. of Poultry Science* 88: 214–220.
- Zhuang H. and Savage E. M. 2012. Postmortem aging and freezing and thawing storage enhance ability of early deboned chicken pectoralis major muscle to hold added salt water. *J. of Poultry Science* 91: 1203–1209.
- Zhuang H. and Savage E. M. 2010. Comparisons of sensory descriptive flavor and texture profiles of cooked broiler breast fillets categorized by raw meat color lightness values. *J. of Poultry Science* 89: 1049-1055.
- Zhuang H., Savage E. M., Smith D. P., Berrang M. E. 2009. Effect of dry-air chilling on sensory descriptive profiles of cooked broiler breast meat deboned four hours after the initiation of chilling. *J of Poultry Science* 88: 1282–1291.
- Zhuang H., Savage E. M., Lawrence K. 2010. Effect of 3 postmortem electrical stimulation treatments on the quality

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

of early deboned broiler breast meat. *J of Poultry Science* 89: 1737–1743.

Zocchi C. and Sams A. R. 1999. Tenderness of broiler breast fillets from carcasses treated with electrical stimulation and extended chilling times. *J of Poultry Science* 78: 495–498.

**PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA
TESIS**

7. PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA TESIS

- 7.1 International Journal of Poultry Science

“Meat Quality Evaluation of Broiler Breast Fillets Affected by Aging Time and Marination”

Autores: F. Perlo, P. Bonato, R. Fabre, G. Teira and O. Tisocco.

2010; 9 (2): 177-182

- 7.2. Journal of the Science Food and Agriculture

“Combined effect of electrical stimulation, aging time and marination on quality of chicken breast fillet processed under commercial conditions”

Autores: F. Perlo, P. Bonato, R. Fabre, G. Teira and O. Tisocco.

2012; 92: 2183–2187