



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**Evolución de algunos parámetros físicos, químicos y
físicoquímicos del músculo *Pectoralis major* de pollo
durante su transformación en carne**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ FLORES

ASESORA: Dra. Adriana Llorente Bousquets

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AFFRMA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: LA. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Evolución de algunos parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos del músculo *Pectoralis major* de pollo durante su transformación en carne.

Cue presenta el pasante: Miguel Ángel Hernández Flores
Con número de cuenta: 419004492 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 05 de Marzo de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	Q.F.B. Martha Patricia Zúñiga Cruz	
SECRETARIO	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
1er. SUPLENTE	LA. Miriam Álvarez Velasco	
2do. SUPLENTE	M. en C. Jonathan Coria Hernández	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMC/egs*

**El presente Trabajo de Tesis de Investigación fue desarrollado en el TMIA:
Taller de Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos en el Laboratorio 7 de
la Unidad de Investigación Multidisciplinaria UIM de la FES Cuautitlán UNAM**

**Recibió apoyo del proyecto DGAPA-PAPIIT IT 202312
“ESTRATEGIAS DE BIOCONSERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA CARNE Y
PRODUCTOS CÁRNICOS”**

DEDICATORIAS

En primer lugar dedico este trabajo a **Dios Todopoderoso**, creador del Universo y todo cuanto contiene.

Dedico el presente trabajo a la máxima casa de estudios del país, a mí amada **Universidad Nacional Autónoma de México**, muy en especial a la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**. Gracias por permitirme formar parte de su alumnado.

A ti que lees este proyecto, y si al igual que yo te encuentras en proceso de titulación, mi mensaje es que no desesperes, no te preocupes, Mas bien ocúpate, estas a nada de concluir esta primer etapa de muchas, que la vida profesional te pondrá por delante. Aprovecha todos los recursos a tu alcance.

A la Doctora Adriana Llorente, por poner particular interés en el desarrollo de este trabajo. Le agradezco su tiempo, dedicación, esfuerzo. Sin su interés y persistencia nada de esto habría sido posible. Es una persona digna de admirar, por su valía como persona y como profesional. Muchas gracias. De verdad, no sé cómo agradecerle.

Finalmente, pero sin duda, la persona más importante en mi vida. **Susy Flores**, te agradezco que aún sin haber nacido de tu vientre, pero sí de tu corazón, me hayas dado la oportunidad de llegar a ser tu hijo y me hayas apoyado en todo momento. Sin tu apoyo no estaría en este momento.

“Si alguno de ustedes le falta sabiduría, pídasela a Dios, y él se la dará, pues Dios da a todos generosamente sin menospreciar a nadie” (Santiago 3:17).

“Oré y me fue dada la Inteligencia; supliqué, y el espíritu de Sabiduría vino a mí. La preferí a los cetros y a los tronos, y estime en nada la riqueza al lado de ella. Vi que valía mas que las piedras preciosas; el oro es solo un poco de arena delante de ella, y la plata, menos que el barro. La ame más que a la salud y la belleza, incluso la preferí a la luz del sol, pues su claridad nunca se oculta” (Sabiduría 7:7-10).

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a Dios Todopoderoso. Gracias Señor trino y uno, sin ti nada de lo anterior habría sido posible, gracias por ponerme en este espacio y en este tiempo, gracias por darme la vida, gracias por poner a las Personas indicadas y los medios necesarios para poder llegar a este momento...

Agradezco a mi madre celestial, la Virgen de Guadalupe, gracias porque cuando estuve a punto de rendirme y en los momentos más difíciles tu dulce voz resonó en mi ser: "Hijito mío, que no se turbe tu corazón, que es poco lo que te aflige. ¿Acaso no estoy yo aquí, que soy tu Madre?".

Agradezco a mi amada UNAM y a la FES Cuautitlán, en especial a la carrera de Ingeniería en Alimentos, que por azares del destino termine formando parte de sus filas. A todos los maestros que compartieron su conocimiento y sus experiencias de vida conmigo y contribuyeron a mi formación profesional y que los recuerdo con mucho cariño, muy en especial a la profesora Lupita López Franco.

Gracias a los miembros del H. Jurado, por su tiempo y dedicación en la corrección de este trabajo.

Agradezco al Profesor Jonathan Coria, por destinar parte de su tiempo en la ayuda de la realización de este trabajo. Muchas gracias Jonathan, eres mi coasesor no oficial y una persona admirable. Infinitas gracias.

Gracias a mis compañeros del Taller de Cárnicos, por hacer mi instancia más amena y llevadera. Chore, Cesar, Omar, Naye, Yos e Ivonne.

Gracias a mi hermano Víctor M. Hernández Flores, que aun siendo más pequeño que yo, me has enseñado de la vida muchas cosas, gracias por compartir conmigo tu determinación y decisión, eso lo valoro bastante; gracias por tu amistad, por los juegos cuando éramos niños y ahora por los proyectos que algún día, no muy lejano, serán realidad.

Agradezco a mi madre Bertha Flores, gracias mama por traerme a la vida, por todo el empeño puesto en nuestra crianza, agradezco tus preocupaciones y desvelos, y ten por seguro que a pesar de tu enfermedad saldrás adelante, Dios te bendiga mama.

Gracias a mis familiares que han creído siempre en mí, que a pesar de mis errores han estado ahí al pie del cañón, dándome ánimo y haciéndome ver mis errores cuando fue necesario. Gracias, los llevo en mi corazón: Juanita, abuelita de mi vida y de mi amor, te agradezco por permitirnos a mi mama y a nosotros formar parte de tu casa, gracias por abrirnos las puertas cuando más lo necesitábamos, gracias por tu cariño ilimitado y tu mano firme cuando fue necesario. Abuelito Esteban (Q.E.P.D), te agradezco las charlas tan interesantes que tuviste conmigo, por compartir tus

experiencias de vida, por inculcarme el hábito de la lectura, aún recuerdo tu partida y aunque me duele en el alma, tengo la certeza que nos volveremos a encontrar cuando Dios así lo decida, tú fuiste lo más cercano a un padre. Anita, te agradezco tu mano firme en mi enseñanza básica, gracias a ti estoy ahora en este momento, gracias porque cuando estuve a punto de dejar la carrera tú me animaste para que la terminara a costa de lo que fuera. Placido, gracias por enseñarme la realidad de la vida y Juan porque más que un primo eres como un hermano.

Gracias Gaby Mora, hermanastra de mi corazón, gracias por tu amistad, no se me olvida que fue a la primer persona que me dirigí cuando ingrese a la Universidad, sin saber que te convertirías en una gran amiga y confidente, añoro cuando nos poníamos a platicar de cosas “raras” de la vida, del universo, de los extraterrestres, de los seres sobrenaturales, de mi situación como foráneo cuando me entraba la nostalgia, de las relaciones amorosas, en fin una larga lista...

Gracias Chio Paz por cruzarte en mi camino, en ti encontré una gran amiga, gracias por compartir momentos íntimos conmigo, por enseñarme lo que es el valor de la amistad, por los sueños e ilusiones del momento... te quiero mucho. Tal vez el destino solo quiso que nos conociéramos... Sabes que ocupas un lugar muy especial en mi corazón, y te llevo como el más lindo recuerdo de la Universidad.

Agradezco a los pocos amigos que tengo, pero a ustedes si les puedo llamar así, gracias por su amistad, su alegría y compartir momentos y experiencias juntos: Layo, Wicho, Byron, Omar, Chio, Gaby.

Agradezco a la Sra. Gloria Galicia, por sus consejos y sus pláticas tan amenas y por compartir conmigo sus experiencias de vida, de verdad gracias por su amistad. A mi tío, el Ing. Gerardo Ángeles, gracias por forjar mi carácter, por enseñarme la vida de un ingeniero, por compartir su experiencia de vida, es una persona admirable, gracias porque con su ejemplo aprendí que cuando caes hasta lo más bajo es tu deber levantarte más fuerte que antes. A la Ing. Edith Ángeles, que en su momento tuvimos nuestras diferencias, pero agradezco que me enseñaras el trabajo de estar al frente de una empresa.

Finalmente agradezco también, a todas aquellas personas que no creyeron en mí y que no dieron ni un quinto, gracias por toda la tierra que me echaron, por las criticas destructivas, por hacerme sentir miserable. Ahora entiendo y les agradezco, porque gracias a ustedes tome el coraje necesario para demostrarme a mí mismo de lo que soy capaz...

“PER ASPERA AD ASTRA”...

ABREVIATURAS

UNA	Unión Nacional de Avicultores	g	Gramo
a_w	Actividad de agua	kg	Kilogramo
CRA	Capacidad de retención de agua	eq	Equivalente
AT	Acidez titulable	m_{eq}	Peso equivalente
RD	Resistencia a la deformación	P.M.	Peso molecular
UIM	Unidad de Investigación Multidisciplinaria	L	Litro
ANOVA	Análisis de varianza	mL	Mililitro
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera	cm^3	Centímetro cúbico
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación	min	Minuto
SIACON	Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta	rpm	Revoluciones por minuto
SE	Secretaría de Economía	lb_f	Libras fuerza
SIAVI	Sistema de Información Arancelaria Vía Internet	Ca^{2+}	Calcio
NOM	Norma Oficial Mexicana	Mg^{2+}	Magnesio
NMX	Norma Mexicana	H^+	Ion hidrogeno
PROY-NOM	Proyecto de Norma Oficial Mexicana	OH^-	Ion hidroxilo
SSA	Secretaría de Salud	NaOH	Hidroxido de Sodio
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists	NaCl	Cloruro de Sodio
RAE	Real Academia Española	M	Concentración Molar
%	Por ciento	N	Concentración Normal
r	Coefficiente de correlación lineal de Pearson	pI	Punto isoelectrico
h	Hora	D. E.	Desviación estandar
°C	Grados Celcius	C. V.	Coefficiente de Variación
cm	Centimetro		
μm	Micrometro		
nm	Nanometro		
kDa	kiloDalton		
s	Segundo		

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE CUADROS	12
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO.....	16
1.1. Producción y consumo de carne de pollo en México	16
1.2. Tipo de músculo y metabolismo	21
1.2.1. Estructura del músculo esquelético	22
1.2.2. Mecanismo de contracción muscular	27
1.2.3. Tipo de fibra muscular.....	29
1.2.4. Proteínas miofibrilares	31
1.3. Factores <i>ante mortem</i> que afectan la calidad de la carne	36
1.4. Sacrificio	41
1.4.1. Rigor mortis.....	45
1.4.2. Resolución del <i>Rigor mortis</i>	47
1.4.3. Actividad enzimática autolítica <i>post mortem</i>	49
1.4.4. Desnaturalización de proteínas.....	51
1.4.5. Proteólisis.....	51
1.5. Composición química de la carne.....	53
1.6. Parámetros de calidad de la carne.....	53
1.6.1. Organolépticos	54
1.6.2. Físicos	55
1.6.3. Resistencia a la deformación (RD).....	56
1.6.4. Fisicoquímicos	57
1.6.5. pH	57
1.6.6. Actividad de agua (a_w).....	59

1.6.7.	Químicos.....	61
1.6.8.	Acidez titulable (AT)	61
1.6.9.	Microbiológicos	62
1.6.10.	Aptitud Tecnológica	63
1.6.11.	Capacidad de retención de agua (CRA)	63
1.7.	Clasificación de la carne de pollo	65
	JUSTIFICACIÓN	68
2.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	69
2.1.	Objetivo General	71
2.2.	Objetivos Particulares	71
2.3.	Hipótesis.....	72
2.4.	Actividades preliminares.....	72
2.4.1.	Condiciones de sacrificio y manejo en su traslado al laboratorio.....	72
2.4.2.	Clasificación de canales de pollo NMX-FF-080-SCFI-2006.....	75
2.4.3.	Acondicionamiento de materia prima cárnica	75
2.4.4.	Evaluación de pH.....	75
2.4.5.	Obtención de materia prima cárnica	76
2.4.6.	Rendimiento de canales	77
2.4.7.	Acondicionamiento de unidades experimentales.....	77
2.4.8.	Preparación de reactivos.....	77
2.5.	Actividades experimentales	79
2.5.1.	Determinación de pH	79
2.5.2.	Actividad de agua (a_w).....	80
2.5.3.	Capacidad de retención de agua (CRA)	81
2.5.4.	Acidez titulable (AT)	82
2.5.5.	Resistencia a la deformación (RD).....	83
2.5.6.	Análisis estadístico de resultados	84
2.5.7.	Análisis del coeficiente de correlación de Pearson.....	84
3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	85
3.1.	pH	85
3.2.	Acidez Titulable (AT).....	92
3.3.	Actividad de agua (a_w).....	94

3.4.	Capacidad de retención de agua (CRA).....	95
3.5.	Resistencia a la deformación (RD).....	98
3.6.	Análisis Estadístico (ANOVA-2 Vías).....	100
3.6.1.	pH.....	100
3.6.2.	Actividad de Agua (a_w).....	104
3.6.3.	Acidez Titulable (AT).....	108
3.6.4.	Capacidad de Retención de Agua (CRA).....	112
3.6.5.	Resistencia a la Deformación (RD).....	116
3.7.	Coefficiente de Correlación de Pearson (r).....	120
3.7.1.	Correlación de Pearson: pH-AT.....	121
3.7.2.	Correlación de Pearson: pH- a_w	123
3.7.3.	Correlación de Pearson: pH-CRA.....	125
3.7.4.	Correlación de Pearson: pH-RD.....	127
3.7.5.	Correlación de Pearson: AT-CRA.....	129
3.7.6.	Correlación de Pearson: a_w -CRA.....	131
3.7.7.	Correlación de Pearson: a_w -AT.....	133
3.7.8.	Correlación de Pearson: RD- a_w	135
	CONCLUSIONES.....	137
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141
	ANEXOS.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Producción de carne de pollo en México (millones de toneladas), 2004-2015..	16
Figura 2.- Estados productores de pollo en México.....	17
Figura 3.- Consumo aparente de carne de pollo en México (millones de toneladas), 2003-2014.....	18
Figura 4.- Producción y consumo aparente de carne de pollo en México	21
Figura 5.- Estructura del músculo esquelético.....	24
Figura 6.- Organización general del músculo esquelético	25
Figura 7.- Estructura de la miofibrilla muscular	26
Figura 8.- Ciclo de contracción muscular	29
Figura 9.- Tipos de fibras musculares identificadas mediante técnicas de tinción histológica.....	30
Figura 10.- Diagrama esquemático de la molécula de miosina	33
Figura 11.- Representación de la molécula de actina	34
Figura 12.- Cadena de actina en un filamento delgado	35
Figura 13.- Neurobiología del estrés.....	37
Figura 14.- Desangrado de pollo.....	43
Figura 15.- Escaldado de pollo.....	44
Figura 16.- Desplumado.....	44
Figura 17.- Enfriamiento de canales de pollo	45
Figura 18.- Cambios <i>post mortem</i> en la concentración de glucógeno, CP y fósforo inorgánico	46
Figura 19.- Efecto del pH sobre la capacidad de retención de agua	58
Figura 20.- Velocidad relativa de las reacciones degradativas en función de la a_w (actividad acuosa) a 20 °C.....	60
Figura 21. Diagrama Experimental.....	70
Figura 22.- Arribo de los pollos al rastro.....	73
Figura 23.- Limpieza manual de plumas.....	74
Figura 24.- Pesaje de la canal en el laboratorio.....	74
Figura 25.- Determinación de pH.....	79
Figura 26.- Determinación de a_w	80
Figura 27.- Determinación de capacidad de retención de agua	81
Figura 28.- Titulación de ácido láctico con NaOH 0.1 N	82
Figura 29.- Determinación de resistencia a la deformación	83
Figura 30.- Evolución del pH de pollo escaldado (60 °C, 40 s) durante 26 horas <i>post mortem</i>	86
Figura 31.- Evolución del pH de pollo sin escaldar durante 26 horas <i>post mortem</i>	88
Figura 32.- Evolución del pH obtenido durante 26 horas <i>post mortem</i>	90
Figura 33.- Evolución de la concentración de Ácido Láctico obtenido durante 26 horas <i>post mortem</i>	92

Figura 34.- Evolución de la actividad de agua (a_w) durante 26 horas <i>post mortem</i>	95
Figura 35.- Evolución de la capacidad de retención de agua (CRA) obtenida durante 26 horas <i>post mortem</i>	96
Figura 36.- Evolución de la resistencia a la deformación (lb_f) a partir de 8 a 12 horas <i>post mortem</i>	99
Figura 37.- Gráfica de interacción obtenida para pH.....	101
Figura 38.- Gráfica de efectos principales obtenida para pH	103
Figura 39.- Gráfica de interacción obtenida para a_w	105
Figura 40.- Gráfica de efectos principales obtenida para a_w	107
Figura 41.- Gráfica de interacción obtenida para AT	109
Figura 42.- Gráfica de efectos principales obtenida para AT	111
Figura 43.- Gráfica de interacción obtenida para CRA.....	113
Figura 44.- Gráfica de efectos principales obtenida para CRA.....	115
Figura 45.- Gráfica de interacción obtenida para RD	117
Figura 46.- Gráfica de efectos principales obtenida para RD	119

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Composición promedio (porcentaje) de algunas carnes	53
Cuadro 2.- Vocabulario específico según el atributo y especie	55
Cuadro 3.- Condiciones óptimas de temperatura para el crecimiento de patógenos en carne de pollo.....	63
Cuadro 4.- Clasificación del pollo en canal	66
Cuadro 5.- Clasificación del pollo en piezas	67
Cuadro 6.- Distribución de lotes en base al peso de la canal	76
Cuadro 7.- Correlación de Pearson para pH y AT	122
Cuadro 8.- Correlación de Pearson para pH y a_w	124
Cuadro 9.- Correlación de Pearson para pH y CRA	126
Cuadro 10.- Correlación de Pearson para pH y RD	128
Cuadro 11.- Correlación de Pearson para AT y CRA.....	130
Cuadro 12.- Correlación de Pearson para a_w y CRA.....	132
Cuadro 13.- Correlación de Pearson para a_w -AT	134
Cuadro 14.- Correlación de Pearson para RD y a_w	136

RESUMEN

La avicultura es la actividad pecuaria más importante en México desde el punto de vista del valor de la producción que genera. En cuanto a consumo, el consumidor mexicano, tiene una alta preferencia por los productos avícolas pollo y huevo. Lo anterior es favorecido por factores como el menor precio relativo en comparación con otras fuentes de proteína animal, la versatilidad en su preparación y el alto número y diversidad de puntos de venta cercanos al consumidor (UNA: Unión Nacional de Avicultores, 2016). La producción de pollo de engorda (broiler) destinado a carne para consumo humano, se produce de forma intensiva y estandarizada para garantizar parámetros de calidad similares o muy cercanos. Sin embargo, por tratarse de un tipo de carne de consumo inmediato, se le ha restado interés en su potencial de procesamiento o aptitud tecnológica, para diversificar la disponibilidad de productos cárnicos, cuya base proteica sea la carne de pollo.

Expuesto lo anterior, se propuso el presente trabajo, el cual tiene por objeto mostrar la evolución o cambios, de algunos parámetros de la carne de pollo durante su transformación de músculo en carne, y así evidenciar la factibilidad de procesamiento o aptitud tecnológica, que pudiera ser objeto este tipo de carne. Dichos parámetros fueron: pH, Actividad de Agua (a_w), Capacidad de Retención de Agua (CRA), Acidez Titulable (AT) y Resistencia a la Deformación (RD). Se utilizaron pollos línea broiler clasificación México Extra (NMX-FF-080-SCFI-2006). Tras el sacrificio en rastro particular en Tultepec, México, se movilizaron las canales de pollo en hielo, al laboratorio 7 de la UIM (Bioconservación) de la UNAM FES Cuautitlán, con un peso comprendido en los siguientes intervalos: a) menor o igual a 2.300 kg, b) 2.400 a 2.800 kg, y c) mayor o igual a 2.900 kg; a las cuales se les analizó pH, a_w , capacidad de retención de agua (CRA), acidez titulable (AT) y resistencia a la deformación (RD), cada 2 horas, durante las 26 horas posteriores a la matanza, en el músculo *Pectoralis major*, conservando siempre las mismas condiciones de temperatura (4 °C).

Para la interacción de factores (Peso y tiempo *post mortem*) y su efecto sobre las determinaciones (pH, a_w , AT, CRA y RD), se realizó un ANOVA de 2 vías con un nivel de confianza del 5%, y se obtuvo en todos los casos que existía dicha interacción, por lo tanto, el efecto de la interacción influye en las determinaciones. Con el coeficiente de correlación de Pearson (r), se utilizó un estadístico de prueba r , con un nivel de confianza del 5%, en el cual se buscó establecer una correlación lineal entre las variables confrontadas (pH, a_w , CRA, AT y RD), sin embargo no se pudo establecer relación lineal en la mayoría de los casos ($|r| < r_{critico}$), sin embargo, se obtuvieron coeficientes lineales de magnitud moderada, lo cual indica que es posible que exista una relación entre las variables en estudio, pero no en base a la evidencia presentada.

INTRODUCCIÓN

El precio y la calidad son factores clave que determinan el consumo en el mercado de los alimentos, y como tal son importantes, tanto para la competitividad y la eficiencia económica de las empresas; así como, para toda la cadena de suministro que satisfaga las demandas del consumidor. En la actualidad el consumo de carne de pollo ha aumentado considerablemente, debido a que este tipo de carne es valorada por poseer características nutricionales deseables, como bajo contenido en lípidos y alta concentración de ácidos grasos poli insaturados, que se consideran como un aspecto positivo para la salud del consumidor (Kerry, Kerry & Ledward, 2000; Milicevic, et al., 2015).

Existen variaciones en la calidad de la carne fresca, debido a que los parámetros de calidad se ven afectados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos que influyen en las características de la fibra muscular y estas determinan la calidad de la carne. Los parámetros de calidad se desarrollan en el periodo *post mortem*, a través de, una variedad de procesos bioquímicos (James, Vincent, de Andrade Lima & James, 2005).

Después de la muerte, los músculos ya no pueden obtener energía por la respiración, como consecuencia del cese de oxígeno, el glucógeno se convierte en ácido láctico en anaerobiosis, por glucolisis *post mortem*, respondiendo a la ruta de Embden-Meyerhof (Anexo 1), convirtiéndose el glucógeno a través de series de metabolitos intermediarios de 3 a 6 carbonos en piruvato, que después es reducido a lactato (Varnam y Sutherland, 1998). La calidad final de la carne es una resultante de la evolución de la temperatura y el pH en el periodo *post mortem* (James, et al., 2005).

La aparición del *Rigor mortis* en aves tiene lugar entre las 2 y las 4 horas desde el sacrificio, habiéndose determinado que son necesarias al menos de 4 a 6 horas para obtener una terneza adecuada en el músculo *Pectoralis major* en la pechuga, y el manejo *ante* y *post mortem* son determinantes en los parámetros de calidad

(Abdullah & Matarneh, 2010). Los parámetros de calidad que se ven modificados por el pH, se encuentran: el color, la capacidad de retención de agua, sabor, ternura y vida de anaquel de la carne (Hamoen, Vollebregth & van der Sman, 2013).

El *rigor mortis*, implica una contracción sostenida del músculo, una serie de cambios físicos, químicos, fisicoquímicos, importantes que ocurren en el músculo esquelético en el periodo temprano *post mortem* y afectan los parámetros de calidad como la ternura, la palatabilidad y el color de la carne (Li, Shi, Xu, Xu & Zhou, 2009). La pérdida de la CRA cuesta millones de dólares a la industria cárnica, y los eventos en el periodo temprano *post mortem*, incluyendo la frecuencia y el grado de disminución de pH, la proteólisis e incluso la oxidación de proteínas, influyen en la capacidad de la carne para retener su propia humedad, esto determina el grado de ternura, la jugosidad y el sabor (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Producción y consumo de carne de pollo en México

Durante el período 2004-2014, la producción de carne de pollo en México creció a una tasa promedio anual de 2.4 por ciento (figura 1). Así, en 2014 se produjeron 2.88 millones de toneladas, volumen máximo histórico que representa un crecimiento de 2.5 por ciento con respecto a la producción de 2013. El inventario de aves para producción de carne, al final de 2013, se ubicó en un récord de 332.89 millones de cabezas (SIAP-SAGARPA, 2015).



Figura 1.- Producción de carne de pollo en México (millones de toneladas), 2004-2015

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2015

La producción de carne de pollo se distribuye en prácticamente todo el país; no obstante, en 20 municipios se concentra el 40 por ciento de la producción nacional; y, en 31 municipios el 51 por ciento de la producción (SIACON-SAGARPA, 2015).

Según los indicadores económicos del sector avícola de la UNA (Unión Nacional de Avicultores), en el año 2016, la producción de pollo destinado a carne (figura 2) se centró en 17 estados, siendo los estados de Aguascalientes, Querétaro y Veracruz, los mayores productores con un 11 por ciento cada uno, de la producción nacional de pollo destinado a carne; le siguen Durango (9%), Jalisco (8%), Puebla y Chiapas 7% cada uno, Guanajuato y Yucatán 6% cada uno, Edo. de México (5%), Sinaloa (4%), Nuevo León y San Luis Potosí 3% cada uno, finalmente Hidalgo, Morelos, Michoacán y Nayarit con un 2% cada uno.

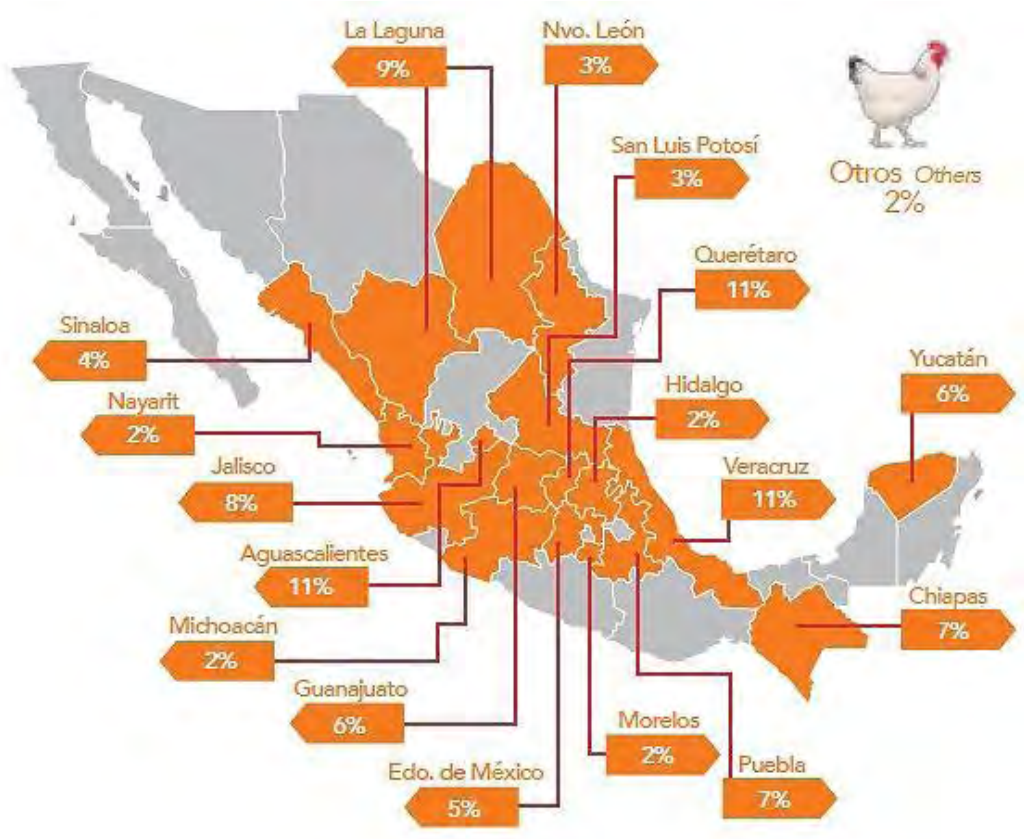


Figura 2.- Estados productores de pollo en México

Fuente: Unión Nacional de Avicultores (UNA), 2016

El consumo aparente de carne de pollo en México (figura 3), creció a una tasa promedio anual de 3.1 por ciento entre 2004 y 2014, es decir, a un ritmo mayor que el crecimiento de la oferta nacional. Así, durante 2014, el consumo aparente de este producto se ubicó en un nivel máximo histórico de 3.48 millones de toneladas. Dicho volumen significa un crecimiento de 3.0 por ciento a tasa anual. Como resultado de un nivel de producción nacional inferior al consumo, éste se complementa con compras al exterior. Así, en promedio, entre 2010 y 2014, la producción nacional de carne de pollo representó el 83.8 por ciento del consumo doméstico, mientras que las importaciones significaron el 16.2 por ciento. En 2014, el volumen de las importaciones netas de carne de pollo ascendió a un récord de 605,000 toneladas, equivalente al 17.3 por ciento del consumo nacional aparente, la proporción más alta desde que se tiene registro (SIAP-SAGARPA, 2015).

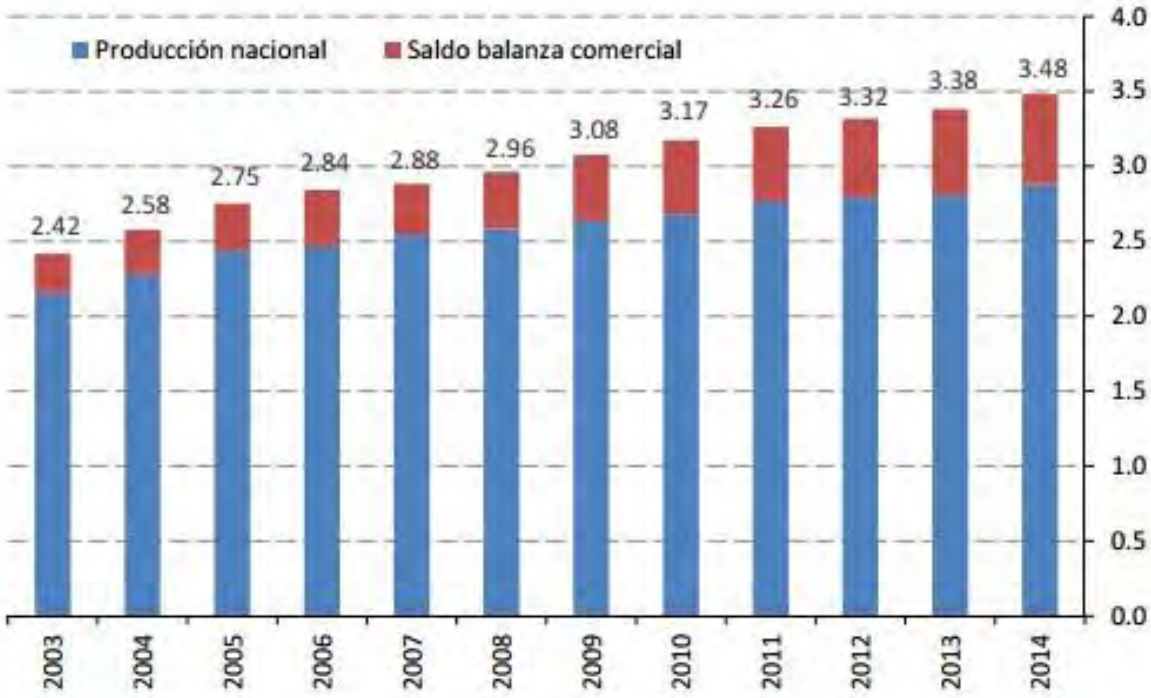


Figura 3.- Consumo aparente de carne de pollo en México (millones de toneladas), 2003-2014

Fuente: SIAP-SAGARPA, SIAVI-Secretaría de Economía, 2015

En la Norma Mexicana NMX-FF-080-SCFI-2006. Productos avícolas. Carne de pollo de engorda en canal y en piezas. Clasificación, se establecen algunas definiciones importantes para efectos de su aplicación en el presente trabajo y se enlistan a continuación:

1. Pollo de engorda: Es el ave de género y especie *Gallus gallus*, seleccionada genéticamente y sometida a un régimen de manejo intensivo que permite obtener una conversión alimento/peso para su procesamiento.
2. Pollo de engorda procesado: Es el ave descrita en el punto anterior, procesada por los métodos técnicos autorizados para su posterior consumo.
3. Pollo entero: Se refiere al pollo sacrificado, desangrado y desplumado que aún mantiene todas sus partes, incluyendo vísceras.
4. Pollo en canal: Es el pollo sacrificado, desangrado y desplumado al cual se le ha quitado la cabeza, el pescuezo, el buche, las patas y las vísceras abdominales y torácicas, a excepción de los riñones.
5. Pollo fresco: Es el pollo que ha sido procesado y mantenido a una temperatura entre 0°C y 4°C.
6. Pechuga: Región de la canal formada por los músculos pectorales alojados sobre el esternón.
7. Procesamiento: Comprende una serie de pasos interrelacionados diseñados para transformar un pollo de engorda en una canal lista para cocinarse, cortada en piezas o en varias presentaciones de carne deshuesada.
8. Peso: Es el indicador en kilogramos que ha alcanzado el pollo al momento de la clasificación, en función al tipo de procesamiento para su comercialización.
9. Edad: Es el período transcurrido entre el nacimiento y el momento del sacrificio del pollo cuando éste ha alcanzado el peso promedio para su procesamiento, de acuerdo a su clasificación.

La avicultura es la actividad pecuaria más importante en México desde el punto de vista del valor de la producción que genera. Durante 2013, la producción de pollo y huevo participaron con 26.0 y 15.5 por ciento del valor de la producción de la

actividad ganadera en el país, respectivamente. La producción de carne de bovino participó con 22.9 por ciento, leche de bovino con 18.8 por ciento y carne de cerdo con 14.0 por ciento. La industria avícola nacional mantiene un crecimiento constante, tanto en la producción como en el consumo, consolidándose como una actividad estratégica para el país, tanto en el ámbito alimentario como económico (UNA, 2015).

La industria avícola generó en 2014 un millón 154 mil empleos, de los cuales 192 mil fueron directos y 962 mil indirectos (UNA, 2015).

A nivel mundial México es el séptimo productor de pollo después de: Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea, India y Rusia. En el mismo ámbito, nuestro país ocupa el sexto lugar en la producción de huevo, detrás de China, Estados Unidos, India, Japón y Rusia (UNA, 2015).

El consumidor en México tiene una alta preferencia por los productos avícolas pollo y huevo. El consumo *per cápita* (figura 4), muestra una tendencia creciente durante los últimos años y claramente diferenciado del consumo *per cápita* de otros productos como la carne de res y la carne de cerdo. Lo anterior, favorecido por factores como el menor precio relativo en comparación con otras fuentes de proteína animal, la versatilidad en su preparación, el alto número y diversidad de puntos de venta cercanos al consumidor (UNA, 2016).

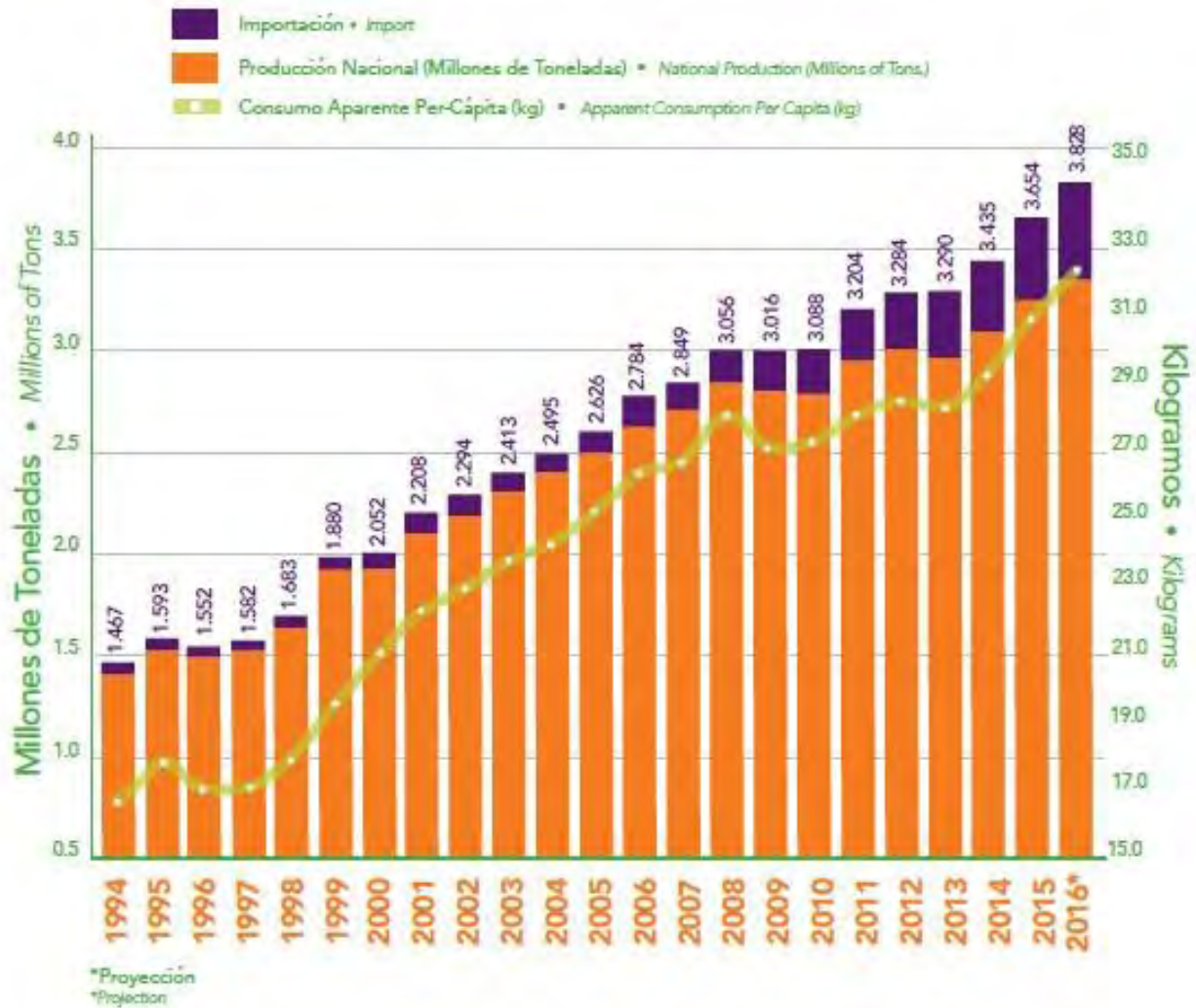


Figura 4.- Producción y consumo aparente de carne de pollo en México

Fuente: UNA, 2016

1.2. Tipo de músculo y metabolismo

Los distintos tipos de músculo presentan diferente composición química según su funcionalidad. El metabolismo de los músculos rojos u oxidativos, está asociado a concentraciones más altas de mioglobina y a un mayor contenido de lípidos que los músculos de metabolismo glucolítico o músculos blancos (Andrés, et al., 2000). El contenido en mioglobina influye sobre características sensoriales como el color,

pero además, este hemopigmento es el principal compuesto con actividad prooxidante en el músculo (Muriel, Antequera y Ruiz, 2002).

En cuanto a metabolismo muscular se diferencian por su contenido en fosfolípidos. El mayor número de mitocondrias asociado al metabolismo oxidativo o aerobio, conlleva la existencia en las miofibrillas de una mayor cantidad de membranas subcelulares, cuya unidad estructural básica son las moléculas de fosfolípidos. La presencia en mayor cantidad de estas moléculas trae como consecuencia el aumento del contenido global de ácidos grasos poliinsaturados en las células, ya que estos son los que se encuentran en mayor proporción en los fosfolípidos constituyentes de las membranas celulares y subcelulares. Las diferencias entre los distintos tipos de músculo condicionan determinadas características que son importantes al considerar la calidad de la carne. En concreto, el elevado contenido en fosfolípidos y consecuentemente las elevadas proporciones de ácidos grasos poliinsaturados, junto con los mayores niveles de mioglobina que presentan los músculos de metabolismo oxidativo, podrían determinar un cambio en su estabilidad oxidativa frente a los músculos de metabolismo glucolítico (Muriel, et al., 2002).

Los músculos varían en cuanto a función y, en consecuencia, su composición es variable para ofrecer contracción para movimiento o tensión o ambos. La carne está compuesta de todos los tejidos de soporte (nervioso, vascular, adiposo y conectivo) que comprende un músculo y la cantidad de este tipo de tejidos varía según su localización y entre especies. El agotamiento *post mortem* de las reservas de energía en el músculo inicia la aparición del rigor y la demarcación entre músculo y carne (Lyon & Buhr, 1999).

1.2.1. Estructura del músculo esquelético

La carne se compone fundamentalmente de músculos y de cantidades variables de tejido conectivo, además de pequeñas cantidades de tejido epitelial y nervioso.

El músculo esquelético es el principal componente del tejido muscular. Los músculos esqueléticos constituyen la mayor parte del peso (35-65%) de la carne de las canales animales. Para poder comprender los cambios *post mortem* relacionados con la conversión del músculo en carne, sus propiedades y utilidad, deberá estudiarse la estructura, composición y fisiología del músculo *in vivo* (Forrest, Aberle, Hedrich, Judge y Merkel, 1979).

Cada músculo está cubierto por una fina capa de tejido conectivo que se continúa con los componentes tisulares conectivos del interior del músculo (figura 5). En el músculo entran y salen fibras nerviosas y vasos sanguíneos junto con la red de tejido conectivo proporcionándole un sistema de inervación y un lecho vascular para el aporte de nutrientes y eliminación de desechos (Forrest, et al., 1979).

El músculo esquelético tiene una organización muy compleja (figura 6), en parte para permitir que el músculo pueda transmitir eficientemente la fuerza originada en las miofibrillas a todo el músculo y en última instancia a la extremidad o a la estructura que se mueve. La gruesa vaina de tejido conectivo, el epimisio, encierra a todo el músculo. En la mayoría de los músculos, el epimisio continúa hasta los tendones que unen los músculos a los huesos. El músculo se subdivide en paquetes o agrupaciones de células musculares. Estos paquetes (también conocido como fascículos) están rodeados por otra vaina de tejido conectivo, el perimisio. Una fina capa de tejido conectivo, el endomisio, rodea las células musculares. El endomisio se encuentra por encima la membrana de la célula muscular (sarcolema), que consiste de una membrana basal que está asociada con una capa exterior (capa reticular) y que está rodeado por una capa de fibrillas de colágeno finas incrustadas en una matriz (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

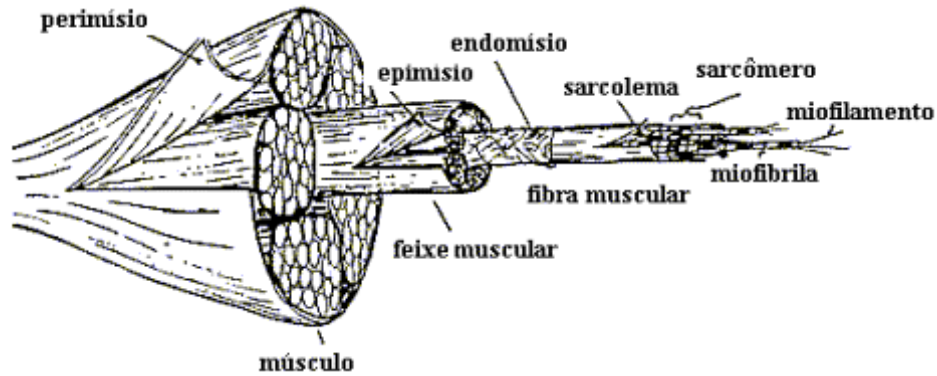


Figura 5.- Estructura del músculo esquelético

Fuente: <http://www.afh.bio.br/sustenta/sustenta4.asp>

La unidad estructural del músculo esquelético es la fibra muscular (figuras 5 y 6). Se trata de células multinucleadas, estrechas y largas, que pueden extenderse de uno a otro extremo del músculo y alcanzar una longitud de 34 cm a pesar de solo tener de 10-100 μm de diámetro (Lawrie, 1967). La miofibrilla se divide en repetidas estrías y se repite con una periodicidad de aproximadamente 2 a 3 μm , cada división constituye al sarcómero, en el músculo de los vertebrados, el sarcómero es una estructura compleja que contiene al menos 28 proteínas diferentes (Choi & Kim, 2008).

La organización del músculo esquelético (figura 6), visto desde un punto de vista macro hasta microscópico, en primer instancia se tiene al músculo esquelético (A) compuesto por haces de fibras musculares (B), dentro de la fibra muscular (C) se encuentran las miofibrillas (D), que a su vez muestra el sarcómero (E) con sus distintas bandas y líneas, en la cual se observa la posición de los miofilamentos en la miofibrilla. Las secciones transversales (F-I) muestran la disposición de los miofilamentos en diversas partes del sarcómero. (J) moléculas de actina G, (K) filamento de actina formado por dos cadenas de actina F enrolladas entre sí. Un filamento de miosina (L), muestra las relaciones de las cabezas con el filamento. Un filamento de miosina (M), en el que se aprecian las regiones de cabeza y cola, y (N) meromiosina ligera (LNM) y meromiosina pesada (HMM) de la molécula de miosina (Forrest, et al., 1979).

Las miofibrillas son bastoncitos cilíndricos y largos, de aproximadamente, 1-2 μm de diámetro (figura 6). Los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla son diferentes en dimensiones, composición química, propiedades y ubicación en el sarcómero, poseen un diámetro aproximado de 14-16 nm, con una longitud de 1.5 μm . Los filamentos gruesos constituyen la banda A del sarcómero, estos filamentos están constituidos en su mayoría de miosina, por lo que se les denomina miofilamentos.

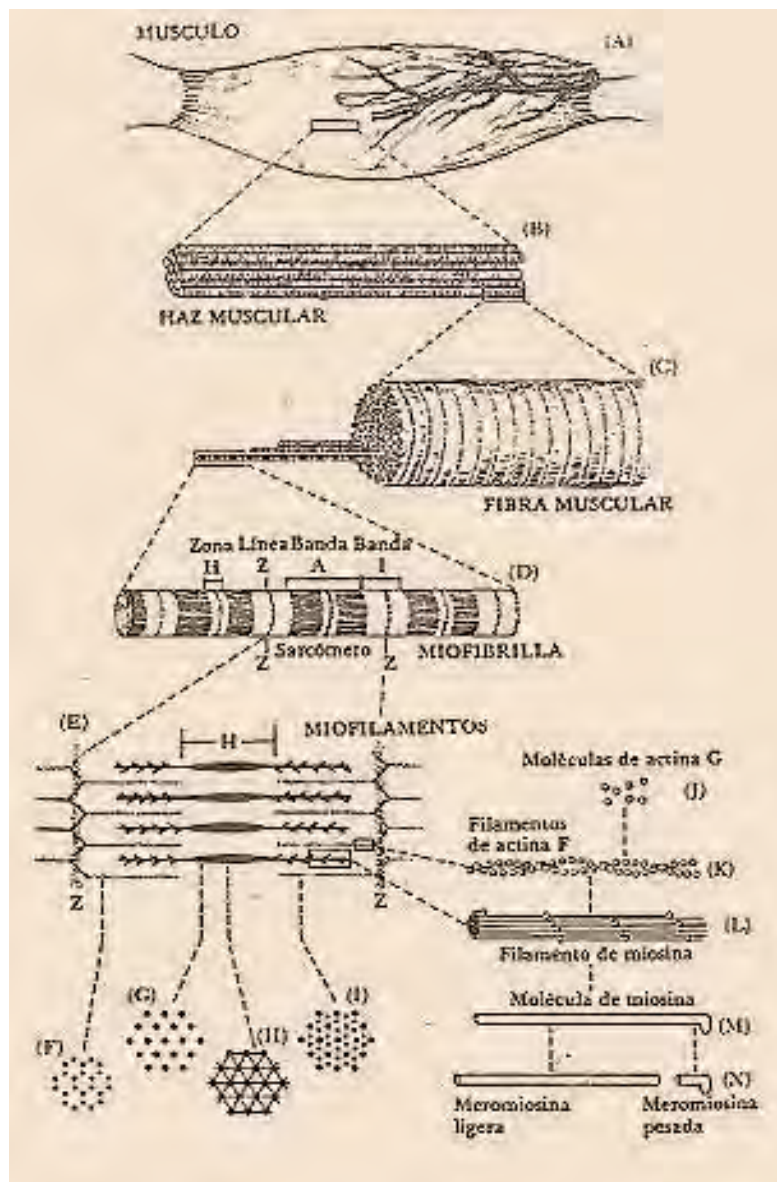


Figura 6.- Organización general del músculo esquelético

Fuente: Forrest, Aberle, Hendrich, Judge y Merkel (1979)

Estos filamentos mantienen un ordenamiento transversal y longitudinal mediante bandas gruesas cruzadas localizadas periódicamente a lo largo de su longitud y por conexiones cruzadas en el centro de la banda A, esta alineación de conexiones cruzadas se conoce como línea M (Forrest, et al., 1979).

Los filamentos delgados tienen unos 6-8 nm de diámetro y se extienden 1.0 μm aproximadamente a cada lado de la línea Z (figura 7). Estos filamentos constituyen la banda I del sarcómero, se constituyen principalmente de actina, por lo que se les denomina filamentos de actina y constituye la zona menos densa de toda la miofibrilla. La zona H es menos densa que el resto de la banda A, ya que constituye la región central entre las terminaciones de los filamentos opuestos de actina (mitad del sarcómero). El ancho de la zona H varía con el estado de contracción muscular. El área más densa de la banda A, se encuentra a cada lado de la zona H, en donde existen filamentos de actina y miosina (Forrest, et al., 1979).

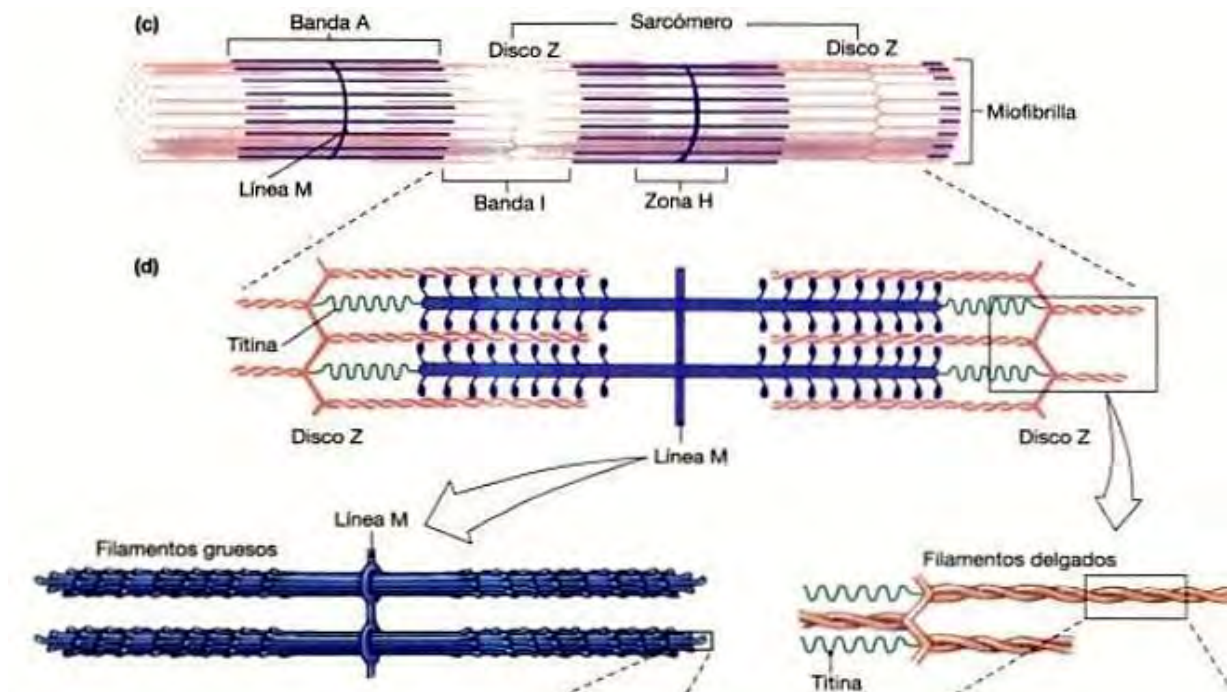


Figura 7.- Estructura de la miofibrilla muscular

Fuente: <https://mianatomia.wordpress.com/tag/placa-motora/>

1.2.2. Mecanismo de contracción muscular

El músculo está formado por el solapamiento de dos conjuntos de filamentos, los filamentos delgados que contienen actina y los filamentos gruesos que contienen miosina. La contracción muscular ocurre cuando estos dos conjuntos se deslizan uno contra el otro de manera activa, acortando el sarcómero. La contracción muscular (ver figura 8) requiere ser controlada de una manera efectiva de tal manera que esta producción de fuerza pueda ser útil para realizar movimientos programados. La estimulación a través de los nervios causa la liberación de cationes calcio del retículo sarcoplásmico. Los cationes calcio pueden controlar la iniciación de la contracción muscular bien actuando en los filamentos delgados (regulación ligada a actina) y/o actuando en los filamentos gruesos (regulación ligada a miosina). La regulación de los filamentos delgados es mediada por el enlazamiento de cationes calcio a la troponina C, y envuelve (vía complejo de troponinas) el movimiento de la tropomiosina hacia el surco del filamento delgado, removiendo el bloqueo estérico que obstaculiza el enlazamiento de las cabezas de miosina a las moléculas de actina. Los filamentos delgados exhiben dos estados estructurales: el estado desactivado, en el cual la tropomiosina bloquea el sitio de enlazamiento de la miosina a las moléculas de actina; y el estado activado en el cual la tropomiosina se mueve fuera del surco descubriendo el sitio de enlazamiento de miosina. La regulación ligada a miosina ocurre bien por el enlazamiento directo de cationes calcio a las cadenas ligeras de la miosina, o por la fosforilación de las cadenas ligeras reguladoras (CLR) de la miosina (Padrón, 2008).

El proceso de contracción muscular consta de las siguientes etapas (ver figura 8):

1. Transmisión del impulso por despolarización del nervio motor al sarcolema.
2. Despolarización de la membrana tubular y apertura del conducto liberador de calcio.
3. Un estímulo nervioso aumenta la concentración de Ca^{2+} en el citoplasma celular, lo que produce un cambio en la conformación de los filamentos

delgados, así como la hidrólisis parcial de ATP por la ATPasa de la miosina durante el cual el ADP y el Pi permanecen unidos formando el complejo ADP-Pi-miosina adoptando un estado de alta energía.

4. La miosina activada se une a una molécula de actina, formando el complejo actina-miosina-ADP con un ángulo de 90° en el puente cruzado y la eliminación de Pi.
5. Una vez unida la actina, la cabeza de miosina experimenta un nuevo cambio conformacional en donde el ángulo del puente cruzado cambia de 90° a 45° y la cabeza S I jala a la actina hacia el centro del sarcómero, generando así el golpe de fuerza con la liberación de ADP.
6. La miosina se encuentra en un nivel bajo de energía formando el complejo actomiosina.
7. Otra molécula de ATP se une a la cabeza S I de la miosina formando el complejo actina-miosina-ATP.
8. La unión de ATP con la cabeza de la miosina reduce la afinidad de la cabeza de la miosina por la actina, dando paso al estado de relajación y formando el complejo miosina-ATP y el inicio de otro ciclo de contracción.

(Hui, Guerrero y Rosmini, 2006).

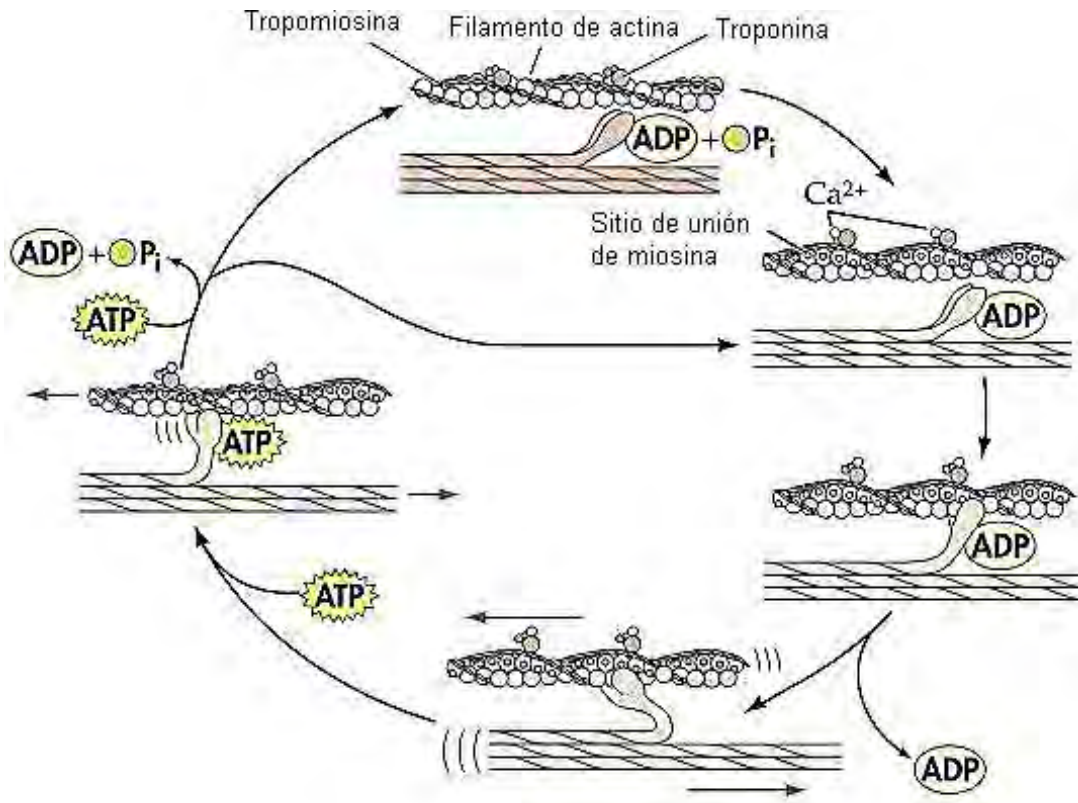


Figura 8.- Ciclo de contracción muscular

Fuente: <http://pichonesdemedicina.blogspot.mx/2010/03/tejido-muscular-y-contraccion-muscular.html>

1.2.3. Tipo de fibra muscular

El tipo de fibra I (figura 9), o de contracción lenta, genera energía para la resíntesis de ATP principalmente por transferencia de energía aeróbica, poseen una bajo nivel de actividad de la miosina ATPasa y una capacidad glucolítica que está menos desarrollada que en las fibras de contracción rápida. Las fibras de contracción lenta poseen una banda Z más amplia que las fibras de contracción rápida, en cambio las fibras tipo IIB poseen una banda Z más delgada. En cuanto a velocidad de contracción se refiere, la velocidad de acortamiento de las fibras de contracción rápida es aproximadamente tres veces más rápido que en las fibras de contracción lenta. Las fibras, tipo IIX y IIA poseen velocidad de acortamiento

similar entre sí, pero son más lentas que las fibras tipo IIB. Las fibras de tipo I contienen grandes y numerosas mitocondrias, además de mioglobina que contiene hierro citocromo de la cadena de transferencia de electrones. Las altas concentraciones de las enzimas mitocondriales y la mioglobina también apoyan para que posean una capacidad metabólica aeróbica mejorada. Las fibras de tipo I contienen una mayor cantidad de lípidos, algunos de los cuales sirven como una fuente de combustible metabólico aeróbico; también contienen cantidades más bajas de glucógeno y glucosa que las fibras tipo IIB, por lo tanto, las fibras tipo IIB utilizan principalmente glucosa como combustible. Las fibras de tipo II (figura 9), sobre todo de tipo IIB, tienen la capacidad de transferir rápidamente la energía para el músculo, lo cual es contundente en el comportamiento del músculo *in vivo* (Choi & Kim, 2008).



Figura 9.- Tipos de fibras musculares identificadas mediante técnicas de tinción histológica

- A) Fibras tipo I y II
- B) Diferenciación de fibras II (IIA y IIB)

Fuente: Choi & Kim, 2008

Las fibras musculares de los pollos se dividen en tres clases diferentes de contracción. Una de ellas, está adaptada para una energía de elevada potencia durante un periodo corto (rápida, glucolítica o IIB) y otra adaptada para una energía de elevada potencia durante un periodo más largo de tiempo (rápida, oxidativa, glucolítica o de tipo IIA). Ambos tipos de fibras poseen miosina y otras proteínas contráctiles que producen un ciclo rápido de puentes cruzados y desarrolla una fuerza rápidamente. Las fibras de la clase IIA tienen más

mitocondrias y un metabolismo más oxidativo que las IIB, por lo que son capaces de mantener una energía de alta potencia durante un periodo de tiempo razonablemente largo (Goldspink & Yang, 1999).

La otra fibra presente en los músculos de las aves es la oxidativa lenta o de tipo I que tiene una forma de miosina que hidroliza el ATP lentamente, produciendo un ciclo lento de puentes cruzados. Esto hace que estas fibras sean más eficaces y económicas para producir movimientos repetitivos lentos y para mantener la fuerza isométrica, pero no para generar potencia (trabajo realizado por unidad de tiempo). En los pollos existe otro tipo de fibra lenta, denominada tónica lenta, presente en músculos como el dorsal ancho anterior. Estas clases de fibras musculares muy lentas o tónicas no están presentes en los mamíferos (Goldspink & Yang, 1999).

Las clases de fibras musculares se diferencian fenotípicamente en que no solo expresan grupos distintos de genes isomorfos miofibrilares con diferentes actividades de ATPasa específica, sino también clases y niveles distintos de enzimas metabólicas. El tamaño de la fibra y la composición del tipo de fibra varían según se trate de pollos de carne o ponedoras. El crecimiento de las fibras de tipo I se produce principalmente en la fase temprana (hasta las 15 semanas) y se relaciona con el crecimiento del hueso. La fase posterior se caracteriza por un desarrollo de las fibras tipo IIA y la transformación de las de tipo IIB en IIA, que resulta en un crecimiento sustancial del músculo de los miembros posteriores. Iwamoto, et al., 1993 citado en Goldspink & Yang (1999); han propuesto que la transformación de las fibras pequeñas del tipo IIA en las mayores IIB desempeña un papel importante en el aumento posterior de la producción muscular (Goldspink & Yang, 1999).

1.2.4. Proteínas miofibrilares

Las proteínas actina y miosina constituyen el 75-80 % de las proteínas de las miofibrillas y la fracción restante la constituyen las proteínas reguladoras, estas últimas reciben ese nombre por sus funciones de control directo o indirecto del

complejo adenosintrifosfato-actina-miosina. Entre ellas se encuentra tropomiosina, troponina, dos proteínas M, α -actinina, proteína C y β -actinina (Forrest, et al., 1979).

Las proteínas musculares se clasifican normalmente en tres grupos: proteínas sarcoplásmicas, miofibrilares y del tejido conectivo. Las proteínas miofibrilares son la fracción mayor del tejido muscular esquelético, constituyendo del 52 al 56% de las proteínas totales musculares, y están compuestas por hasta 20 proteínas distintas. Estas se subclasifican en tres grupos, según sus funciones: proteínas contráctiles, reguladoras y citoesqueléticas (Goll, 1997). Las proteínas miofibrilares o solubles en sal se han definido con frecuencia como aquellas proteínas insolubles en agua, pero solubles en sal 0.6-1.0 M (Goll, 1997). La miosina y la actina son las proteínas contráctiles principales, que suponen el 45% y el 20 % de las proteínas totales miofibrilares, respectivamente (Pearson & Young, 1989), (Smyth, O'Neill & Smith; 1999).

Miosina

La miosina es la mayor proteína miofibrilar (figura 10) constituye 50-55%, aproximadamente, de las mismas. El peso molecular de la miosina nativa es de alrededor de 480 kDa, contiene seis subunidades de polipéptidos que se ordenan en una molécula nativa, con dos cabezas globulares curvadas de 19 nm de longitud, unidas a una cola α -helicoidal (156 x 2 nm). La porción globular es la responsable de la unión de los filamentos de miosina a los filamentos delgados y tiene actividad enzimática (ATPasa). Su punto isoeléctrico es aproximadamente a pH 5.4. La morfología de la miosina es de un bastón alargado con dos abultamientos o porción gruesa en uno de sus extremos. La porción abultada de la molécula recibe el nombre de cabeza y la porción larga del bastón, que constituye la columna vertebral de los filamentos gruesos, el nombre de cola. La porción situada entre la cabeza y la cola se denomina cuello. Cuando la miosina se somete a la acción proteolítica de la enzima tripsina, se escinde cerca del cuello en dos fracciones de diferente peso molecular: meromiosina ligera y pesada (Forrest, et al., 1979; Bandam, 1994), (Hui, et al., 2015).

Propiedades intrínsecas importantes de la miosina:

1. En condiciones fisiológicas de fuerza iónica y pH, de 200 a 400 moléculas de miosina se agregan espontáneamente para formar filamentos (Bendall, 1973 citado en Hui, et al., 2006; Smyth, et al., 1999).
2. La miosina posee una actividad de ATPasa que le aporta la energía necesaria para dirigir la contracción muscular (Smyth, et al., 1999).
3. La miosina se une a la actina-F, y por ello participa en la formación de puentes cruzados entre los filamentos gruesos y finos durante la contracción muscular (Smyth, et al., 1999).
4. Debido a la estructura compleja de la miosina, esta posee propiedades bioquímicas de las proteínas globulares y fibrosas. Tiene un punto isoeléctrico de 5.3, resultado de su contenido elevado en residuos de ácido aspártico y glutámico. La miosina nativa no tiene enlaces disulfuro. La miosina de pollo, al igual que otras miosinas esqueléticas, contiene 43 grupos sulfhidrilos, uno de los cuales está inmerso dentro de la molécula nativa muscular (Smyth, et al., 1999).

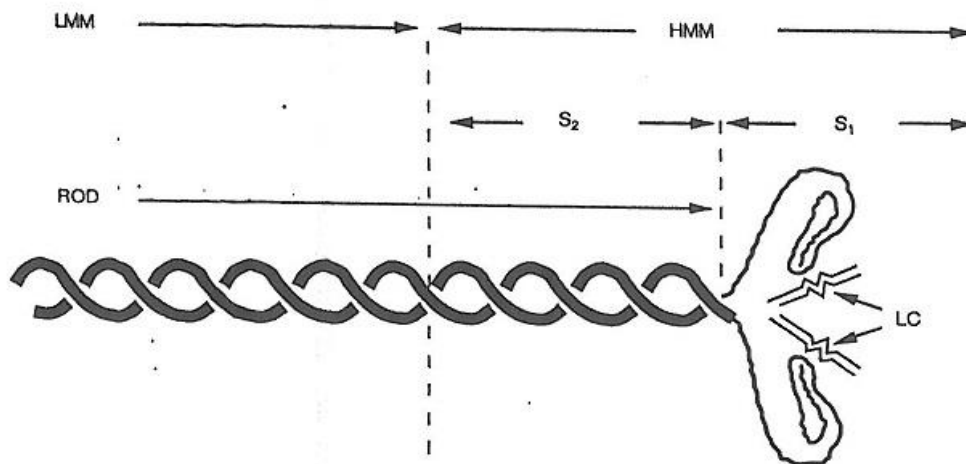


Figura 10.- Diagrama esquemático de la molécula de miosina

HMM: meromiosina pesada; LC: cadenas ligeras; LMM: meromiosina ligera; S2: subfragmento 2, S1: subfragmento 1

Fuente: Richardson & Mead, 1999

La miosina se caracteriza por su gran contenido de aminoácidos, ácidos y básicos, lo que la constituye como una molécula muy cargada, mientras que la actina tiene carga relativamente baja. La miosina contiene menos prolina que la actina, por lo que es de naturaleza más fibrilar. Cuando la miosina se somete a la acción proteolítica de la enzima tripsina, se escinde cerca del cuello en dos fracciones de diferente peso molecular: meromiosina ligera y pesada (Forrest, et al., 1979).

Actina

La actina constituye el 20-25 % de las proteínas miofibrilares (figura 11). Es rica en prolina, que por su grupo imino, constituye al plegamiento de las cadenas polipeptídicas, dando lugar a la formación de una molécula de forma globular de diámetro aproximado de 5.5 nm. El pH isoeléctrico de la actina es de aproximadamente 4.7 (Forrest, et al., 1979).

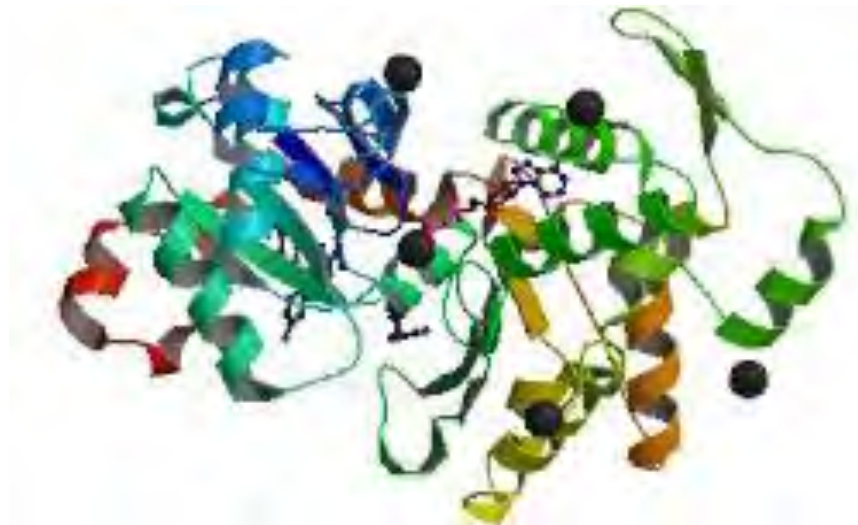


Figura 11.- Representación de la molécula de actina

Fuente: <http://www.rcsb.org/pdb/explore/explore.do?structureId=1J6Z>

La actina es una proteína globular constituida por una cadena polipeptídica simple que une una molécula de nucleótido (ATP o ADP) y un catión divalente (calcio o magnesio) por monómero. A esta forma globular se le conoce como G-actina (Bandam, 1994). La actina globular (G-actina) polimeriza a concentraciones

salinas fisiológicas para formar filamentos, F-actina, que pueden interaccionar con los filamentos de miosina para producir la energía mecánica que hace posible el movimiento. La F-actina tiene una estructura de doble hélice helicoidal, al igual que los filamentos delgados (Hui, et al., 2015).

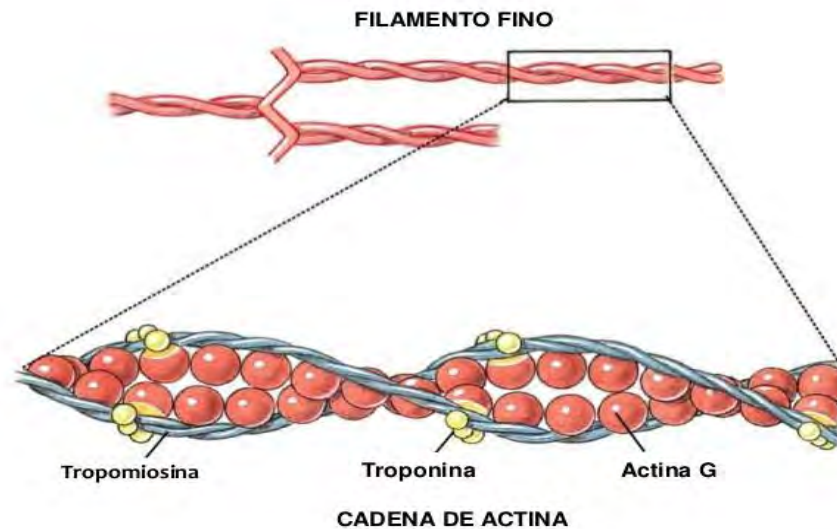


Figura 12.- Cadena de actina en un filamento delgado

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=tropomiosina+y+troponina&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjehys86LSAhWHwIQKHQJ_Ac4Q_AUIBigB#tbn=isch&q=tropomiosina+&imgsrc=C91PKUI1d6p7KM

Existen otras dos proteínas relacionadas con la F-actina que ejercen un papel regulador: tropomiosina y troponina (figura 12). La tropomiosina es una proteína filamentosa, α -helicoidal de aproximadamente 41 nm de longitud, es llamada así por su composición de aminoácidos similar a la miosina. A baja fuerza iónica, la tropomiosina forma agregados filamentosos, dando lugar a cadenas de tropomiosina. La base fisiológica de las propiedades funcionales radica en su unión estequiométrica con la actina (1:7 moléculas) y en su unión a la troponina (Bandam, 1994) (Smyth, et al., 1999).

La troponina es una proteína globular, de 80 kDa. Posee una gran afinidad por el calcio por encima de un umbral de concentración de 10^{-6} M. Esta proteína confiere al complejo actomiosina ATPasa su sensibilidad al calcio. Se localiza en los

filamentos delgados con una periodicidad de 40 nm y está unida a la tropomiosina. La troponina C se une a los iones de calcio; la troponina 1 inhibe la interacción entre miosina y actina; la troponina T se une fuertemente a la tropomiosina, obligando a que todo el complejo de la troponina se localice con una periodicidad de 40 nm, a lo largo de toda la longitud del filamento fino de la miofibrilla (Bandam, 1994 citado en Hui, et al., 2015; Varnam y Sutherland, 1995).

1.3. Factores *ante mortem* que afectan la calidad de la carne

En la actualidad, gran parte de las especies ganaderas (principalmente porcinos y aves), son explotados de forma intensiva. El sistema de producción implica una alta densidad poblacional, movimientos continuos y un manejo continuo por parte del hombre; de manera que los animales pierden sus instintos naturales y las respuestas de comportamiento, quedando expuestos a estímulos estresantes que demandan la puesta en marcha de mecanismos de adaptación. El correcto manejo de los animales antes del sacrificio evita el estrés y colabora en la obtención de carne de mejor calidad para el consumidor (Hui, et al., 2006).

Neurobiología del estrés

El estrés es un estado de adaptación de los animales, que se caracteriza por el desequilibrio homeostático como resultado de uno o más factores, tanto intrínsecos como extrínsecos, y que elabora el sistema nervioso central en función del estado emocional y de sus experiencias previas. El estrés constituye estímulos agresivos que afectan al animal, como el miedo, hambre, sed, condiciones climáticas severas, y que si se mantienen por tiempos prolongados pueden ocasionar patologías. Ante una situación de estrés el sistema nervioso central, sistema endocrino y sistema inmunológico interactúan, respondiendo a los estímulos estresantes de manera coordinada, en la figura 13 se muestra la integración neurobiológica del estrés (Hui, et al., 2006).

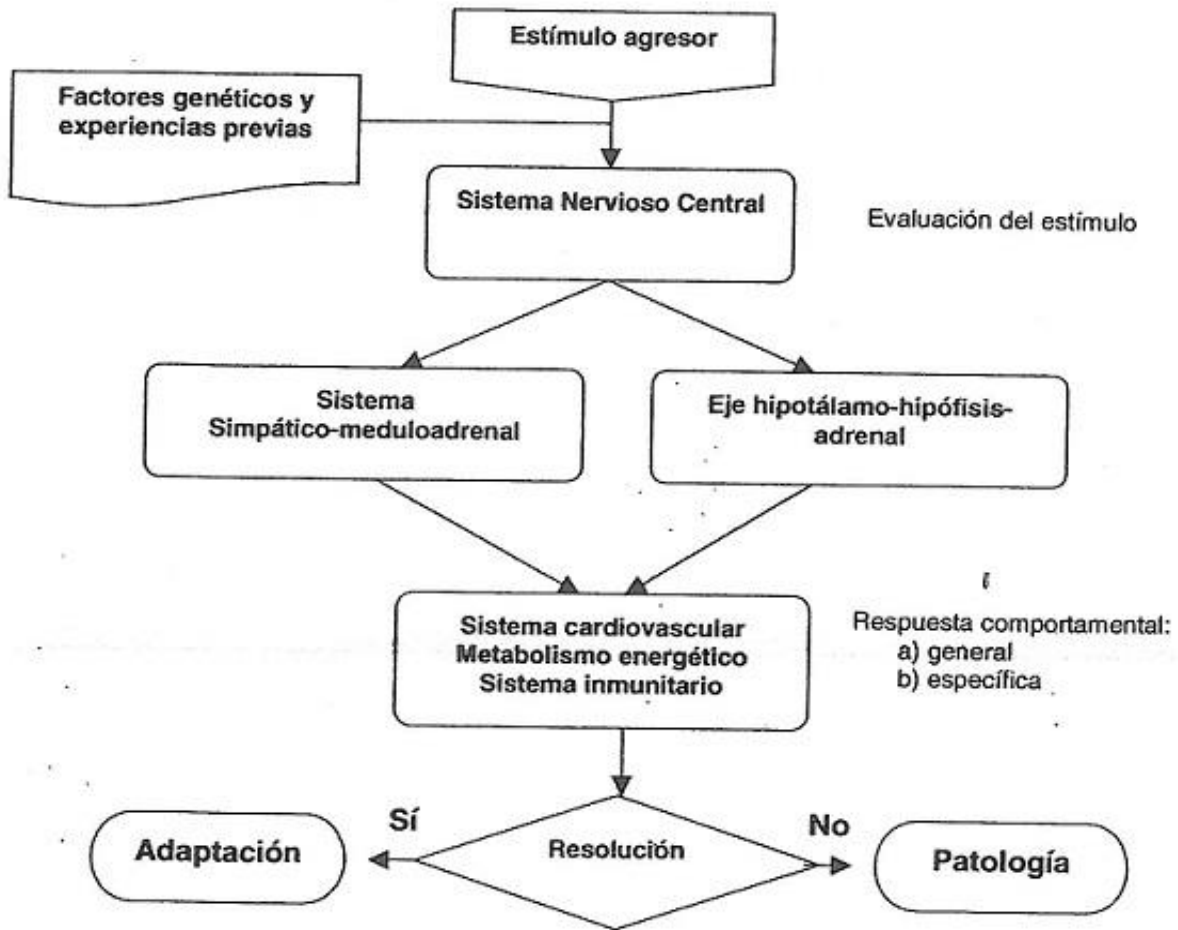


Figura 13.- Neurobiología del estrés

Fuente: Hui, Guerrero y Rosmini (2006)

Factores intrínsecos

Genética

El temperamento de los animales es una condición hereditaria, los animales más tranquilos se adaptan más fácilmente y se estresan menos en tratamientos repetidos. Las razas de animales con un temperamento tranquilo, presentan porcentajes menores de carne oscura, firme y seca o DFD (Dark, Firm, Dry por sus siglas en inglés), en comparación con razas nerviosas. En razas de animales genéticamente excitables, reaccionan repentinamente a experiencias nuevas (Hui, et al., 2006).

Los animales de una misma raza pueden variar en ritmo de crecimiento y composición corporal, sin embargo, tienen tendencia a crecer y desarrollarse de una manera característica y a producir canales cuyos caracteres son característicos de la raza (Forrest, et al., 1979).

Edad y peso al momento del sacrificio

La cantidad máxima de crecimiento y desarrollo posible, está determinado por la genética, pero la nutrición gobierna la velocidad de crecimiento y la extensión que tendrá el desarrollo. El aprovechamiento de los nutrientes ingeridos se distribuye entre los distintos tejidos y órganos de acuerdo al ritmo metabólico e importancia fisiológica. Cuando el alimento es abundante todos los tejidos del organismo reciben nutrientes suficientes para su mantenimiento, crecimiento normal y engrasamiento, sin embargo si el aporte alimenticio es limitado los tejidos se ven afectados siguiendo un orden inverso en importancia fisiológica (Forrest, et al., 1979).

La edad es un factor relacionado con el peso de la canal, de manera que a mayor edad el peso aumentará, así como la deposición de grasa, el conjunto de estos factores van a condicionar la composición tisular y el tamaño de las piezas obtenidas, es por eso que el momento oportuno del sacrificio corresponde a aquel en el cual se obtenga el mayor rendimiento de la canal y el contenido de grasa que asegure su conservación y un contenido de grasa infiltrado que garantice el sabor y la jugosidad de la carne (Bianchi, et al., 2008; Blas, 1992; Guerrero, 2007; López y Caps, 2004).

Sexo

Existen ventajas de producción (el crecimiento más rápido y las canales más magras) en retención de machos, pero el impacto en los rasgos de calidad de la carne no es tan clara. No tiene ningún efecto sobre el pH o la fuerza de corte, pero contribuye probablemente a obtener una carne más dura (es decir, mayor fuerza de cizallamiento) (Hopkins & Mortimer, 2014).

Factores extrínsecos

Manejo en la granja

El trato que reciben los animales en las granjas de origen por parte de los operarios tiene efecto sobre la calidad obtenida, a partir de los animales procedentes de explotaciones donde los operarios utilizan correctas prácticas de manejo se generan canales con un 50% menos de contusiones, hematomas y carne DFD que las provenientes de animales manejados inadecuadamente. La exposición temprana a un factor de estrés disminuye la emocionalidad y facilita la adaptación (Hui, et al., 2006).

Método de captura

La captura, es una etapa *ante mortem* muy importante para el pollo de engorda. Cuando los pollos han alcanzado el peso deseado, según la demanda del mercado, y termina su etapa productiva en la granja, los pollos son colocados en jaulas y transportados a la planta de procesamiento. El objetivo de planear y coordinar el proceso de captura es asegurar una baja mortalidad al arribo, reducir el miedo y cumplir con los estándares de bienestar en las aves. Esta práctica se realiza generalmente por método manual o mecánico y a cualquier hora (Nicol & Scott, 1990).

Transporte

El transporte de animales desde la granja hasta el rastro es considerado como uno de los factores de estrés más importantes en la industria cárnica, tanto por el propio desplazamiento del animal, como para el resto de actividades a que son sometidos. El tratamiento de los animales previo al transporte, el ruido, las vibraciones, nuevas experiencias, el hacinamiento, las condiciones ambientales, la carga y descarga, el tiempo de transporte y la privación de agua y alimento, son factores de estrés considerables (Hui, et al., 2006).

Mortalidad en los pollos de engorda (Broiler) durante el transporte

Las pérdidas pueden ser minimizadas por el almacenamiento de las cajas de transporte con una menor densidad poblacional de aves en condiciones de calor y refrigeración con ventiladores o aspersores en la llegada a la planta de procesamiento.

El pre-acondicionamiento de pollos de engorda durante su período de crecimiento con episodios calientes puede mejorar la supervivencia al estrés térmico en el transporte antes del sacrificio. Sin embargo, no tiene ningún efecto beneficioso en la capacidad de retención de agua de la carne tras el sacrificio. En situaciones donde el calor no se encuentra como factor de estrés durante el período previo al sacrificio, las pérdidas por cocimiento de la carne de pechuga y pierna es mayor (Gregory, 2009).

Rastro

El tiempo que transcurre entre la remoción de los animales de su ambiente natural al rastro, así como el transporte, son los factores de mayor impacto sobre la calidad de la carne. El diseño correcto de los rastros, como rampas o conductos curvos y corrales redondos, facilitan el movimiento de los animales (Hui, et al., 2006).

Condiciones ambientales

Se ha sugerido que las razas de pollos de engorda modernos son más susceptibles al estrés por calor que los genotipos anteriores. Se afirma que la supresión, inducida por el calor, del crecimiento ahora se está viendo a temperaturas menores en razas comerciales. Además, las razas de crecimiento rápido tienen menor supervivencia durante el estrés por calor. El estrés por calor suprime el apetito, pero puede ser controlado aumentando la velocidad del aire en el cobertizo con ventiladores. La pérdida de peso puede ocurrir durante el período pre-sacrificio cuando las aves se ven privadas de alimento y agua. La protección

de las aves del estrés por calor durante este período puede ayudar a controlar la pérdida de peso (Gregory, 2009).

Calidad de la carne de aves de corral

Los efectos del estrés agudo por calor deben ser examinados por separado de la exposición de por vida a condiciones de calor, al considerar las causas precisas de un clima más cálido en la calidad de la carne de aves de corral, también puede ser necesario considerar el genotipo del ave. Cuando una raza comercial de pollos de engorda (Ross) se produce a partir de los 14 días de edad al sacrificio, a alta temperatura (33 °C día / 27 °C noche), en comparación con los producidos a temperaturas de 23 °C día / 17 °C noche, las aves criadas a las temperaturas más altas tendrán un pH final mayor (Gregory, 2009).

En pollos de engorda que no han sido pre-acondicionados al estrés por calor agudo (34-41 ° C durante 1-18 h), puede disminuir el pH final de la carne del muslo, y la capacidad de producción de súper óxido por las mitocondrias en el músculo del pecho puede ser levantada. Las pérdidas por goteo de la carne de pechuga y las pérdidas por cocción de la carne de la pierna también pueden ser mayores. Algunos estudios han demostrado que la carne de la pechuga puede ser más dura debido al estrés por calor antes del sacrificio o que puede desarrollar una rigidez fuerte. Las úlceras en la piel y el daño muscular durante el desplume son más comunes durante los meses de verano, especialmente en la carne que no están escaldados para aflojar las plumas. El efecto se debe probablemente a la piel más débil en las aves que crecen durante la temporada más caliente (Gregory, 2009).

1.4. Sacrificio

El movimiento y manejo a que son sometidos los animales antes de su sacrificio produce un cuadro de estrés agudo, así como el acarreo, la carga, el transporte, la

descarga, el alojamiento en corrales y el propio proceso de matanza provocan una alteración en la homeostasis de los animales, lo cual se traduce en una disminución de la calidad de la carne. El sacrificio en los animales con fines de consumo comprenden dos operaciones básicas: el aturdimiento o insensibilización y el desangrado (Hui, et al., 2006).

Insensibilización

Existen varios métodos de insensibilización o aturdimiento que van desde un simple golpe físico en la cabeza, hasta los más recientes y sofisticados sistemas por inmersión de gas que han sido utilizado en la matanza de los animales. Desde el punto de vista de bienestar, el propósito del aturdimiento es que el animal quede inconsciente e inmóvil y de esta forma exsanguinarse sin sentir dolor, miedo o estrés. No existen métodos ideales para el aturdimiento y matanza para el pollo de engorda, por lo que es necesario seleccionar aquellos procedimientos que mediante una correcta aplicación, presenten mayores ventajas en términos de bienestar animal y que minimicen los problemas en la calidad del producto final (Medina, 2014).

Se deberá realizar por inmersión de la cabeza en baños electrificados o arcos eléctricos. El tiempo de aplicación, el voltaje y amperaje dependerán del tipo de aparato usado y de las recomendaciones del fabricante (NOM-033-ZOO-1995).

Desangrado y decapitación

El desangrado en los pollos (figura 14) se logra cuando la maquina o el operador hacen un corte unilateral en el cuello (cara ventral) adecuadamente sobre las arterias carótidas y las venas yugulares, incluyendo tráquea y esófago permitiendo la pérdida suficiente y rápida de sangre para matar al ave antes de que entre al escaldado, lo cual requiere una vigilancia continua y el ajuste de los equipos (Medina, 2014).

Desangrado por corte de carótidas, a través de la cavidad bucal inmediatamente después de la insensibilización. Debe asegurarse que las aves se encuentren

desangradas y muertas antes de introducirlas al escaldado. La decapitación o separación de la cabeza del cuerpo, se debe realizar por medio de un objeto cortante, a través de un solo movimiento firme y certero. (NOM-033-ZOO-1995).



Figura 14.- Desangrado de pollo

Fuente: Imagen cortesía de distribuidora de pollo Dijar

Acondicionamiento de canales

En las aves el acondicionamiento de las canales se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Escaldado (figura 15): Se lleva a cabo con el fin de poder retirar las plumas, en agua a 60 °C por un periodo de inmersión de 40 segundos, o a una temperatura del agua de 53 °C por un periodo de inmersión de 45-50 segundos. Es el paso siguiente al sangrado, en el que se sumerge el ave en agua potable a temperatura que permita el desplume (PROY- NOM-087-SSA1-1994).
2. Desplumado (figura 16): Es la etapa del procesamiento durante la cual se remueve la pluma del ave (NMX-FF-080-SCFI-2006).
3. Eviscerado: Consiste en retirar el tracto digestivo, dejando solamente algunas vísceras como pulmones, corazón y riñones (NOM-087-SSA1-1994).



Figura 15.- Escaldado de pollo

Fuente: Imagen cortesía de distribuidora de pollo Dijar



Figura 16.- Desplumado

Fuente: Imagen cortesía de distribuidora de pollo Dijar

Enfriamiento de canales

El enfriamiento de las canales se realiza en agua fría por inmersión, a una temperatura de 4 °C por un lapso de tiempo de 15 minutos, en agua potable con 50 ppm de hipoclorito de sodio (figura 17).



Figura 17.- Enfriamiento de canales de pollo

Fuente: Imagen cortesía de distribuidora de pollo Dijar

1.4.1. Rigor mortis

Posterior a la muerte, se pierde el control nervioso, por lo que se observa la aparición de impulsos localizados, que inician ciclos rápidos de contracción y relajación muscular. El *Rigor mortis* aparece poco después de la muerte en donde el tejido muscular se encuentra en un estado de rigidez sostenida y es inextensible. Los procesos que conducen al establecimiento del *Rigor mortis* son similares a los que ocurren durante la contracción muscular, sin embargo, la condición del rigor es irreversible como consecuencia del agotamiento de las reservas de ATP. El desarrollo de la glucólisis anaerobia y producción de ácido láctico se acompaña de una reducción de las reservas de glucógeno. Al igual que el glucógeno, las reservas de creatina fosfato (CP) disminuye gradualmente debido a que es utilizado para la fosforilación de ADP a ATP, por lo que la elasticidad muscular se pierde progresivamente hasta llegar a un estado de

contracción sostenida por la formación irreversible del complejo actomiosina (figura 18), (Hui, et al., 2006).

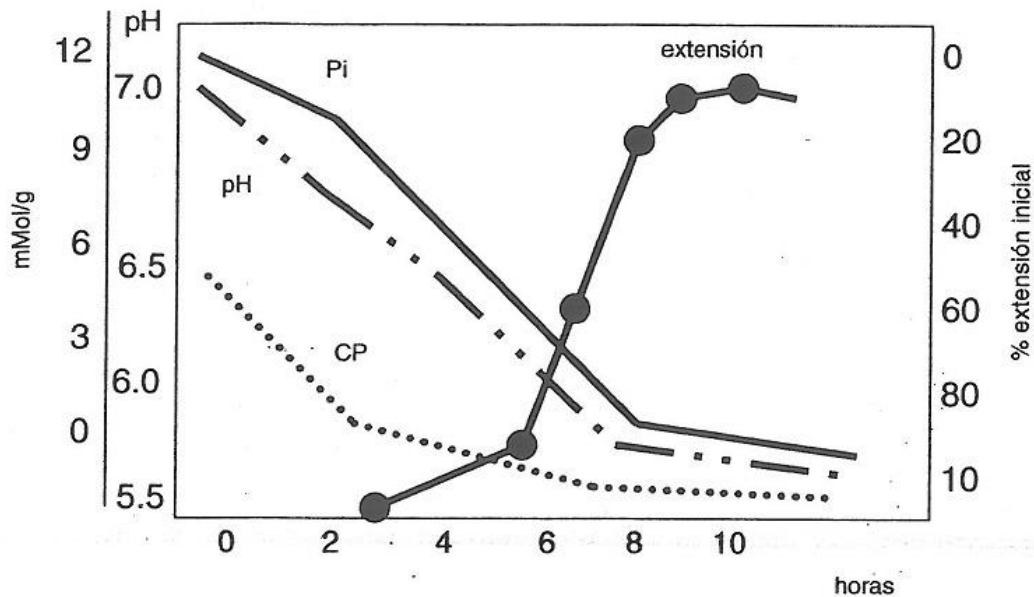


Figura 18.- Cambios *post mortem* en la concentración de glucogeno, CP y fósforo inorgánico

Fuente: Hui, Guerrero y Rosmini (2006)

La aparición del *Rigor mortis* en aves tiene lugar entre las 2 y las 4 horas posteriores al sacrificio, habiéndose determinado que son necesarias al menos de 4 a 6 horas para obtener una terneza adecuada en el músculo *Pectoralis major* en la pechuga (Liu, Lyon, Windham & Savage, 2004; Abdulah & Matarneh, 2010). En general, una carne más pálida de lo normal está asociada a un pH bajo, una humedad superficial elevada, baja capacidad de emulsificación y baja capacidad de retención de agua. Sin embargo es necesario recordar que el efecto de la aplicación de frío y su impacto en la reducción de pH y la aparición de carnes pálidas PSE, no es tan marcado en la carne de ave como en la carne de ternera (James, et al., 2006).

Los tipos de *Rigor mortis* pueden clasificarse en:

1. Rigor ácido: Se presenta en animales fatigados por un largo tiempo de periodo de demora y una fase corta y una corta fase rápida y en los animales fatigados por un periodo de demora sumamente corto. A temperatura corporal el endurecimiento viene acompañado por retracción.
2. Rigor alcalino: Se caracteriza por la rápida aparición del endurecimiento y por marcada retracción, incluso a temperatura ambiente.
3. Tipo intermedio: Se presenta en los animales sometidos a ayuno.

(Lawrie, 1967).

1.4.2. Resolución del *Rigor mortis*

Cambios *post mortem* en el músculo esquelético:

1. Debilitamiento y/o degradación de discos Z conlleva a la fragmentación de las miofibrillas.
2. La degradación de la desmina conduce a la fragmentación de las miofibrillas, probablemente a través de la interrupción de la reticulación transversal entre miofibrillas.
3. La degradación de la titina. Los filamentos de titina que conectan los filamentos de miosina, a lo largo de su longitud, desde la línea M a la Z. La titina se ha propuesto estar involucrada en la regulación de la elasticidad del músculo. La titina cuando es destruida por radiación o proteólisis controlada, la tensión del músculo estirado se reduce. Por lo tanto, la degradación de la titina durante el almacenamiento *post mortem* podría causar debilitamiento de las miofibrillas, y por lo tanto, la mejora en ternura de la carne.

4. La degradación de nebulina. Debido a la ubicación de nebulina en las miofibrillas (banda I), no está claro cómo la degradación de la nebulina afecta a la ternura de la carne.
5. Desaparición de troponina-T y aparición simultánea de polipéptidos con peso molecular de 28-32 kDa. Este es el cambio más notable que se produce durante el almacenamiento *post mortem*. Sin embargo, debido a la ubicación de la troponina-T en las miofibrillas (banda I) es dudoso que la degradación de troponina-T tenga un efecto directo sobre la ternura de la carne. Pero, estos cambios (la desaparición de troponina-T y la aparición de polipéptidos de 28-32 kDa) parecen ser buenos indicadores de la medida de la proteólisis *post mortem*. El origen de los polipéptidos de 28-32 kDa no se ha determinado y, por tanto, estos polipéptidos podrían ser producto de la degradación de las proteínas miofibrilares con masa molecular superior a 32 kDa.
6. Aparición de un polipéptido con un peso molecular de 95 kDa. Ni el origen ni su influencia en la ternura de la carne es conocido.
7. La observación más importante es que la mayoría de las proteínas contráctiles (miosina y actina) no se ven afectadas.

(Koochmaraie, 1992).

Uno de los cambios importantes que se produce en el tejido es la facilidad de la fragmentación de las miofibrillas bajo homogeneización controlada, que no se produce en el tejido no madurado. Este fenómeno se denomina Índice de fragmentación miofibrilar (IMF) y es altamente relacionada con la ternura de la carne. El debilitamiento y/o degradación de los discos Z y la degradación de la desmina (y probablemente la degradación de la titina) son responsables de la mayor fragilidad de miofibrillas durante el almacenamiento *post mortem* (Koochmaraie, 1992).

1.4.3. Actividad enzimática autolítica *post mortem*

Con la muerte del animal se detiene la circulación sanguínea y en el tejido muscular se inicia una serie compleja de cambios, la escasez de ATP aumenta la dificultad de mantener la integridad estructural de las proteínas, mientras que el descenso del pH hace que las proteínas miofibrilares se aproximen a su punto isoeléctrico (Lawrie, 1967).

El músculo contiene diversos tipos de proteasas en cantidades pequeñas, sus propiedades fisicoquímicas y catalíticas pueden variar con la especie animal, alimentación, ejercicio, etc. El manejo del animal y del músculo *post mortem* puede tener un efecto profundo en la actividad de las enzimas endógenas que actúan para producir el ablandamiento *post mortem* (Forrest, et al., 1979).

Catepsinas

Las catepsinas se encuentran en los lisosomas del músculo y tejido conectivo, por lo que en caso de que su membrana se rompa, sus enzimas pueden tener una influencia sobre el músculo (Badui, 2013), por lo tanto se denominan como proteinasas lisosomales que muestran actividad a un pH ácido, se han identificado las siguientes catepsinas en las que se indica el pH óptimo de su actividad, catepsina B, pH 3.5-6.0; catepsina H, pH 6; catepsina L, pH 5 y catepsina D, pH 3-5 (Fennema, 2000).

Las catepsinas lisosomales tienen un efecto conjunto con las calpaínas del músculo durante el proceso de acondicionamiento, pero se ha sugerido que las catepsinas son más importantes que las calpaínas en el rompimiento de la miofibrilla después del *rigor mortis*. La catepsina B, degrada a la miosina, troponina I y a la actina, pero cuando se encuentra asociada con la catepsina L, degradan miosina, troponina T, actina, colágeno, conectina, titina y nebulina, por lo que, la actividad de las catepsinas B y L, tienen influencia en los cambios de blandura, durante el proceso de maduración. La catepsina D tiene efecto sobre la estructura miofibrilar, reduciendo la anchura de la banda A en su región central y

la dislocación de la línea Z, la temperatura influye sobre la actividad de la catepsina D siendo la óptima 45 °C y utilizando hemoglobina como sustrato (Hui, et al., 2006).

Sistema calpaína

El sistema de calpaína endógena juega un papel importante en la regulación de la proteólisis de las proteínas musculares bajo condiciones *post mortem*. Las proteínas que son sustratos de calpaínas incluyen proteínas como la desmina, sinemina, talina y vinculina que forman parte del citoesqueleto de la célula muscular. El sistema calpaína se compone de varias isoformas dependientes de calcio: la cisteína proteasas (calpaínas), y su inhibidor competitivo específico, calpastatina. Los dos mejores isoformas caracterizadas de calpaínas son, la μ -calpaína y la m-calpaína, que degradan el mismo conjunto específico de proteínas miofibrilares y del citoesqueleto que se degrada cuando el músculo se convierte en carne. Conforme el período *post mortem* progresa, se producen cambios dramáticos en el microambiente de la célula muscular (por ejemplo, disminuyendo en el pH, el aumento de la fuerza iónica) que pueden afectar a la actividad del sistema calpaína. Cuando el músculo se convierte en carne, se producen muchos cambios: (1) una gradual agotamiento de la energía disponible, (2) un cambio de metabolismo aeróbico a anaeróbico favoreciendo la producción de ácido láctico, lo que resulta en el pH del tejido descienda desde cerca de la neutralidad hasta 5.4 a 5.8, (3) un aumento de la fuerza iónica, en parte, debido a la incapacidad del ATP dependiente de calcio, y a la función de bombas de sodio y potasio, y (4) una creciente incapacidad de la célula para mantener condiciones reductoras (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Calpastatina

La calpastatina es un regulador eficaz de la actividad de la calpaína en el músculo en el período *post mortem*. La actividad de la calpastatina en el período post-rigor tiene una alta relación con la variación de la terneza de la carne (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

1.4.4. Desnaturalización de proteínas

La estructura nativa de una proteína es el resultado de diversas interacciones atractivas y repulsivas que surgen de diferentes fuerzas intramoleculares y de la atracción de diversos grupos con el agua de su entorno, sin embargo, la estructura nativa es dependiente del ambiente en que se encuentra la proteína (Fennema, 2000).

La estructura nativa es considerablemente dependiente del ambiente en que la proteína se encuentre. El estado nativo es termodinámicamente el más estable, con la mínima energía libre posible en condiciones fisiológicas. Cualquier cambio en el ambiente (como modificaciones de pH, la fuerza iónica, la temperatura, la composición del disolvente, etc.) forzará a la molécula a asumir una nueva estructura. La desnaturalización es un fenómeno que implica la transformación de una estructura plegada, bien definida, formada en condiciones fisiológicas, a un estado desplegado, en condiciones no fisiológicas (Fennema, 2000).

Las proteínas se desnaturalizan durante el proceso de maduración *post mortem*, al ser sometidas a un pH inferior al existente *in vivo*, a temperaturas superiores a 25 °C o inferiores a 0 °C. Las modificaciones que experimentan las proteínas miofibrilares se refleja en su solubilidad, la cual depende del pH final del músculo (Lawrie, 1967).

1.4.5. Proteólisis

La proteólisis endógena *post mortem* es llevada a cabo por el sistema proteolítico neutral, dependiente de calcio, calpaína-calpastatina, es responsable de la degradación de los discos z y de otras proteínas citoesqueléticas (desmina, conectina y nebulina). La calpaína es más activa a pH neutro y las dos isoproteínas se diferencian por la necesidad de calcio para sus actividades. La actividad del sistema calpaína-calpastatina está muy limitada *in vitro* a medida que

desciende el pH *post mortem*, por debajo de 6.0. Esta litación pone en duda el papel del sistema proteolítico neutral en las fases de ablandamiento inducido por maduración. Sin embargo, este suceso está asociado con la disminución de calpaína, pero no de los niveles de las enzimas catépticas (Koochmaraie, 1992).

Proteinasas involucradas en la proteólisis *post mortem*

Las proteinasas deben tener las siguientes características para ser considerados como posibles candidatos para lograr cambios *post mortem* que resultan en enternecimiento de la carne: (1) estar situados dentro de la célula del músculo esquelético; (2) tener acceso al sustrato (es decir a las miofibrillas); y (3) tener la capacidad de degradar las mismas proteínas que se degradan durante el almacenamiento *post mortem* (Koochmaraie, 1992).

Los sistemas proteolíticos que tienen potencial de estar involucrados en la proteólisis *post mortem* se incluyen: (1) las catepsinas lisosomales; (2) el complejo de proteinasas multicatalítica (MCP); y (3) las calpaínas (Koochmaraie, 1992).

La evidencia experimental actual sugiere que las catepsinas lisosomales no juegan un papel significativo en la proteólisis *post mortem*. Parte de esta evidencia experimental incluye: (1) el almacenamiento *post mortem* no tiene efecto sobre la actina y la miosina, mientras que las proteínas miofibrilares son los sustratos primarios para las catepsinas lisosomales; (2) las catepsinas lisosomales están ubicadas dentro de los lisosomas y deben ser liberadas para tener acceso a las miofibrillas. Se ha supuesto que durante el almacenamiento *post mortem* los lisosomas se rompen, liberando así a las catepsinas en el citosol, pero no hay evidencia experimental para apoyar esta hipótesis. Por el contrario, el único experimento que ha examinado la exactitud de esta hipótesis indica que incluso después de la estimulación eléctrica y 28 días de almacenamiento a 4 ° C, las enzimas lisosomales se localiza dentro de los lisosomas todavía (Lacourt, et al., 1986 citado en Koochmaraie, 1992). Debido a estas y otras razones se dice que las catepsinas lisosomales no juegan un papel significativo en la proteólisis *post mortem* (Koochmaraie, 1992).

1.5. Composición química de la carne

La composición de la carne varía de acuerdo con la raza, sexo, edad, alimentación e intensidad de la actividad física. En el cuadro 1 se puede apreciar que, los diferentes tipos de carne se caracterizan por su elevado contenido de proteínas y grasa, y bajo contenido de hidratos de carbono; Contiene la vitamina B₁₂ que no tienen los vegetales, pero carece de la K y la C. Gracias a la tecnología genética, en los últimos años se crían animales con 25 a 30% menos de grasa.

La carne de ave tiene muchas características nutricionales deseables, tales como el bajo contenido de lípidos y concentraciones altas de ácidos grasos poli insaturados, que se consideran como un aspecto positivo y saludable para los consumidores (Milicevic, et al., 2014).

Cuadro 1.- Composición promedio (porcentaje) de algunas carnes

	Res	Cerdo	Borrego	Pollo	Pavo
Agua	71	68	60	66	70
Proteína	21	13	19	18	21
Lípidos	7	18	20	15	8
Minerales	1	1	1	1	1

Fuente: Badui, 2012

1.6. Parámetros de calidad de la carne

La palabra calidad, según el diccionario de la RAE, es la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite apreciarla como igual, mejor o

peor que las restantes de su misma especie. El objetivo fundamental de la calidad, es satisfacer las necesidades del consumidor, aunque éste es un concepto controvertido. Las necesidades pueden estudiarse según diversos puntos de vista, no siempre coincidentes.

En los últimos años, el término calidad ha cobrado gran importancia en el contexto de la industria cárnica. Este concepto, varía, dependiendo a quien vaya dirigido, pero en general se refiere al cumplimiento de ciertos parámetros a los que se debe ajustar un producto normalmente elaborado en forma masiva, el cual es adquirido por el interesado de acuerdo a una situación particular, en algún tiempo y que satisfaga sus necesidades específicas (Rubio, et al., 2005; María, et al., 2006).

El término de carne fresca aplica para designar al producto que no ha sufrido cambios químicos y físicos posteriores a la matanza, pero que no ha sido sometido a ningún procesado ulterior mediante congelación, curado, ahumado, etc. Las propiedades de calidad de la carne fresca determinan su utilidad para el comerciante, su atracción para el consumidor y su adaptabilidad para ser procesada (Forrest, et al., 1979).

Hablar de calidad de la carne se refiere a diferentes parámetros, entre los que destacan, organolépticos, físicos, fisicoquímicos y de aptitud tecnológica (López y Caps, 2004).

1.6.1. Organolépticos

Las características de la carne que contribuyen a su aceptabilidad por el consumidor son aquellas que la hacen agradable a la vista, al olfato y al paladar. El aspecto, el aroma, el sabor, la jugosidad, la dureza y el color son atributos sensoriales que definen la calidad de la carne y están influenciados por la especie, la raza, la edad, la dieta, y el manejo de la carne *post mortem* (Andújar, Pérez y Venegas, 2003).

Se han desarrollado vocabularios especializados para carnes cocinadas de pollo, cerdo y res siendo los atributos empleados el color, olor, flavor, sabor y sabor

residual. Cada uno de estos atributos tiene en común descriptores de sensaciones de alimentos diferentes a los productos cárnicos como linaza, aceites y semillas como se puede apreciar en el cuadro 2 (Sánchez y Albarracin, 2010).

Cuadro 2.- Vocabulario específico según el atributo y especie

Carne	olor	Flavor	Sabor	Sabor residual
General	"cartón"; "linaza"; "sulfuroso"; "carne fresca"; "grasoso"; "pasto"; "nueces".	"carne cocinada"; "carne fresca"; "pescado", "rancio"	umami; "metálico"; "amargo"; "dulce"; "salado"; "ácido"	"astringente"
Pollo	cartón; "linaza"; "sulfuroso"; "tostado"; "carne cocinada"	"carne cocinada"; "rancio"; "aceitoso"; "apanado"; "tostado"; "nueces".	"umami"; "metálico"; "amargo"; "dulce"; "salado"; "ácido"	"astringente"
res	"caramelo"; "linaza"; "sulfuroso"; "carne fresca"; "tostado"; "carne cocinada"	"carne cocinada"; "metálico"; "sabor a carne de pollo"; "lactico (yogurt)" "rancio"; "aceitoso"; "apanado"; "tostado"	"umami"; "metálico"; "amargo"; "dulce"; "salado"; "ácido"	"lactico (yogurt)"; "metálico"
Cerdo	"carton"; "linaza"; "sulfuroso"; "carne fresca".	"carne cocinada"; "pescado", "rancio"; "aceitoso"; "apanado"; "nueces".	"umami"; "metálico"; "amargo"; "dulce"; "salado"; "ácido".	"astringente"

Fuente: Sánchez y Albarracin (2010)

1.6.2. Físicos

La dureza o ternura de la carne es uno de los atributos más importantes de su calidad (Lawrie, 1967). Este atributo no es tan variable en la carne de cerdo, carnero o ternera y pollo, pero sí en la carne de vacuno. Los principales componentes de la carne que contribuyen a su ternura o dureza son el tejido conectivo, las fibras musculares y los lípidos asociados al tejido muscular, aunque estos últimos son los de menor importancia en este aspecto (Grunert, Bredahl & Brunso, 2003).

1.6.3. Resistencia a la deformación (RD)

De acuerdo a la investigación de Ciro, Buitrago y Pérez (2007), los materiales biológicos son considerados materiales de ingeniería cuyas propiedades mecánicas están relacionadas con el comportamiento del material bajo la acción de fuerzas aplicadas, donde la fractura mecánica ha sido reconocida como una de las principales características texturales de los alimentos, ya que tiene notables implicaciones con la respuesta sensorial a la masticación como también un factor decisivo en operaciones de manejo y almacenamiento de productos y en la determinación de la aplicabilidad de métodos de transporte y funcionamiento de equipos.

Watanabe & Devine (1996), estiman que la firmeza puede ser medida con la fuerza requerida para deformar o penetrar un producto, y agrega que el método de deformación permite registrar la curva del tiempo-fuerza conocida como perfil de firmeza. La resistencia al corte se considera como la máxima fuerza requerida para romper un material, mientras que la plasticidad es la deformación permanente que presenta el material al aplicarle cierta fuerza.

La carne está constituida por tres tipos de proteínas: sarcoplásmicas, miofibrilares y del tejido conectivo. La terneza de la carne se relaciona con los cambios estructurales de las proteínas miofibrilares durante la maduración. Sin embargo, las proteínas del tejido conectivo, en especial el colágeno, tienen cierta contribución a este atributo. Por ejemplo, la diferencia entre cortes en cuanto a terneza depende del contenido de colágeno y la composición de las fibras musculares y su interacción. Aquellos cortes que provienen de músculos encargados del sostén se caracterizan por ser más tiernos y tener menor contenido de colágeno en comparación con los cortes provenientes de músculos de movimiento. Si la carne proviene de animales adultos en comparación con la de los jóvenes, por la formación de enlaces maduros en las fibras de colágeno presentan mayor estabilidad al calor y mayor fuerza de corte durante la masticación, reflejándose en menor terneza, sin importar el tipo de músculo de

donde proceda (Nishimura, 2010; Purslow, 2005; Weston, et al., 2002; Bailey, 1985).

1.6.4. Fisicoquímicos

1.6.5. pH

Las concentraciones de los iones H^+ y OH^- en disoluciones acuosas con frecuencia son números muy pequeños y, por lo tanto, es difícil trabajar con ellos. Sorensen en 1909, propuso una medida más práctica denominada pH. El pH de una disolución se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno (mol/L):

$$pH = -\log[H_3O^+] \text{ o } pH = -\log[H^+]$$

(Chang, 2007)

La calidad de la carne se desarrolla durante el proceso *post mortem*, a través de una variedad de procesos bioquímicos. La calidad de la carne final es una resultante de la evolución de la temperatura y el pH en el periodo *post mortem*. Los atributos físicos de calidad que son influenciados por la temperatura y el pH son, la ternesa, la capacidad de retención de agua y el color (Hamoen, 2013).

El pH *post mortem* de la carne depende de la cantidad de ácido láctico producido a partir del glucógeno, durante la glucólisis *post mortem*. La cantidad de ácido láctico producido será menor cuando se ha reducido la cantidad de glucógeno por la fatiga, ayuno o estrés de los animales antes del sacrificio. El pH tiene gran importancia en el crecimiento microbiano (Lawrie, 1967).

Las miofibrillas retienen agua debido a que forman un retículo tridimensional de filamentos y la cantidad de agua inmovilizada depende del espacio existente entre filamentos, lo que se pone de manifiesto observando el efecto del pH sobre la capacidad de retención de agua. Cuando se añade agua a muestras de carne a

las que se les ha ajustado el pH entre 4.5-7, se aprecia un mínimo de CRA a pH entre 5.0 y 5.1 (ver figura 19), valor que corresponde aproximadamente al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares e indica el pH al que la carga neta de las moléculas proteicas es mínima (Andújar, et al., 2003).

Si el pH se encuentra por encima del punto isoeléctrico, desaparecen algunas cargas positivas que determinan la repulsión de los filamentos dejando más espacio a las moléculas de agua. De la misma forma el exceso de cargas positivas a bajos valores de pH, provoca la repulsión y aumenta el espacio entre las moléculas de agua y por tanto aumentan de volumen los miofilamentos (Andújar, et al., 2003).

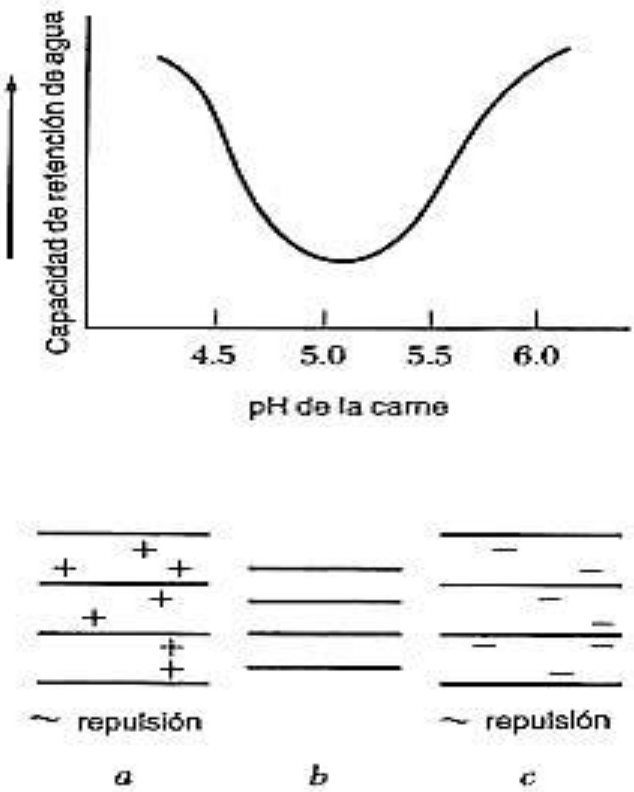


Figura 19.- Efecto del pH sobre la capacidad de retención de agua

Fuente: Andújar, Pérez y Venegas (2003)

1.6.6. Actividad de agua (a_w)

La noción de “actividad” proviene rigurosamente de las leyes de equilibrio termodinámico de G. N. Lewis, por lo que se puede afirmar que (Fennema, 2000):

$$a_w = \frac{f}{f_0}$$

Dónde f es la fugacidad del solvente de la solución (la fugacidad es la tendencia molecular de un solvente a escapar de una disolución) y f_0 es la fugacidad del solvente puro. A bajas presiones (por ejemplo la presión atmosférica), la diferencia entre f/f_0 y P/P_0 es menor del 1%, por lo que se puede definir a a_w en términos de P/P_0 . Por lo que (Fennema, 2000):

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

La a_w es adimensional dado que se calcula como una relación de dos presiones: la del vapor de agua del alimento entre la presión de vapor del agua pura, ambas medidas a la misma temperatura. La presión del vapor de agua de un alimento siempre es menor a la del agua pura, ya que una parte de su líquido está ligado y tiene muy poca movilidad. Su escala va de 0 a 1.0, valores que equivaldrían a un producto con 0% de agua y al agua pura, respectivamente. Más que el contenido de agua, la a_w se emplea para cuantificar la influencia de este líquido en los cambios químicos, enzimáticos y microbiológicos a los que están sujetos todos los alimentos. La actividad de agua se relaciona con la textura de los alimentos. Los alimentos con una actividad de agua elevada tienen una textura más jugosa, tierna y masticable. Cuando la actividad de agua de estos productos disminuye, aparecen atributos de textura indeseables como dureza y sequedad (Badui, 2012).

La actividad de agua es un factor crítico que determina la vida útil de los productos. Este parámetro establece el límite para el desarrollo de muchos microorganismos, mientras que otros parámetros como temperatura, pH y contenido de azúcares, influyen en la velocidad de crecimiento. La actividad de

agua más baja para el crecimiento de la mayoría de las bacterias que producen deterioro en alimentos esta alrededor de 0.9. En la figura 20, se observa que la actividad de agua para el crecimiento de hongos y levaduras esta próxima a 0.61. El crecimiento de hongos micotoxigénicos se produce con valores de actividad de agua cercanos a 0.76 (Labuza, 1982) sin en cambio, la actividad de agua necesaria para abatir la actividad enzimática se encuentra por debajo de 0.4 de actividad de agua, por lo que la carne fresca es susceptible de que sus proteasas endógenas degraden la carne.

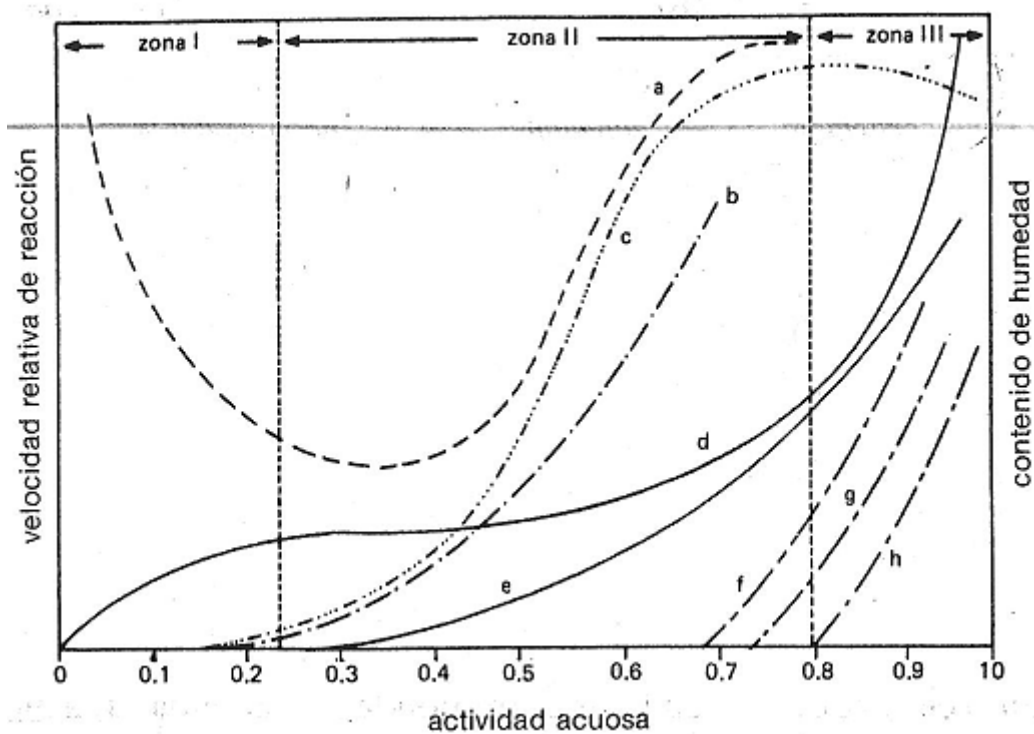


Figura 20.- Velocidad relativa de las reacciones degradativas en función de la a_w (actividad acuosa) a 20 °C

Zona I) Agua de monocapa, Zona II) Agua ligada, Zona III) Agua libre
a) Oxidación de lípidos, b) Reacciones hidrolíticas, c) Oscurecimiento no enzimático,
d) Isotherma de contenido de humedad, e) Actividad enzimática, f) Crecimiento de hongos,
g) Crecimiento de levaduras y h) Crecimiento de bacterias.

Fuente: Badui (2013).

La a_w , la temperatura, el pH y el oxígeno son los factores que más influyen en la estabilidad de los alimentos. Se observa en la figura 20, que muchas de las

reacciones químicas y enzimáticas se favorecen con el aumento de la a_w , debido a que el agua favorece la movilidad del sustrato y de los productos y participa en las transformaciones hidrolíticas; además, las enzimas adquieren su actividad catalítica cuando establecen una estructura terciaria gracias a la influencia de este disolvente. La a_w tiene una gran influencia en el crecimiento de microorganismos, los que requieren una a_w mayor son las bacterias (> 0.91), siendo las bacterias patógenas son las que necesitan a_w mayores para su crecimiento (Badui, 2013).

1.6.7. Químicos

1.6.8. Acidez titulable (AT)

Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y la estabilidad de los mismos. Los productos pesqueros, aves y productos cárnicos son de acidez muy baja y el ácido predominante es el láctico y no los di o tri carboxílicos característicos de los tejidos vegetales. La acidez titulable es el procedimiento usual para determinar la concentración total de ácidos, una alícuota de la solución que contiene el ácido se titula con una solución estándar de álcali hasta el punto en el cual una cantidad equivalente de la base ha sido añadida. Este punto final puede detectarse mediante indicadores (cambio de color), electrométricamente (pH metro), etc. Uno de los cambios más importantes que ocurre en la bioquímica celular es la gradual acumulación de ácido láctico, la cual origina una progresiva acidificación del músculo que se refleja en la disminución del pH. La evolución *post mortem* del pH está caracterizada por la rapidez y la cuantía de su disminución. La velocidad de disminución es directamente proporcional a la actividad de hidrólisis del ATP. Todo factor que modifique la actividad ATPásica conlleva un cambio similar de la velocidad de caída del pH. Para un músculo dado es proporcional a la cantidad total de lactato producido o de glucógeno degradado. (Andújar, et al., 2003).

La acidez titulable puede expresarse convencionalmente en g de ácido por 100 g de muestra (porcentaje), como el ácido orgánico encargado de la acidez de la carne es el ácido láctico, es conveniente usar su factor que es de 0.09 (942.15 AOAC, 2000).

La acumulación de ácido láctico en las primeras fases del periodo *post mortem* puede tener un efecto negativo en la calidad de la carne. El desarrollo de condiciones acidas (pH bajo) en el músculo, antes de que el calor corporal y metabólico se hayan disipado durante la refrigeración de la canal, da lugar a la desnaturalización de las proteínas miofibrilares. El grado de desnaturalización dependerá de la temperatura alcanzada y de lo que haya descendido el pH. La temperatura juega un papel muy importante en la desnaturalización, puesto que el músculo, una vez que ha sido enfriado, puede alcanzar un pH relativamente bajo (5.2-5.4) sin que sea excesiva la desnaturalización (Forrest, et al., 1979).

1.6.9. Microbiológicos

Los parámetros microbiológicos se refieren al nivel de contaminación microbiana, porque aunque en el momento del sacrificio el músculo del animal posee propiedades bactericidas, pronto pierde esta propiedad y puede servir de excelente medio de cultivo. La contaminación de la carne puede provenir del aparato digestivo del animal, el aire y de la manipulación antihigiénica, que comprende desde el sacrificio hasta la preparación para su consumo, para ello será necesario verificar, que la carne tanto para consumo directo como para su transformación, cuente con calidad microbiológica para evitar riesgos en la salud pública (Beltrán, 1994; Carballo, López de Torre y Madrid, 2001; Moreno, 2006).

En el cuadro 3, se muestran las condiciones óptimas de temperatura, para el crecimiento de algunos patógenos, relacionados con la carne de pollo.

Cuadro 3.- Condiciones óptimas de temperatura para el crecimiento de patógenos en carne de pollo

	Temperatura mínima (°C)	Temperatura óptima (°C)
<i>Campylobacter spp</i>	30	42-43
<i>Clostridium perfringens</i>	12	43-47
<i>Escherichia coli</i>	7	35-40
<i>Salmonella spp</i>	5	35-43
<i>Listeria monocytogenes</i>	0	30-37
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2	28-29

Fuente: James, Vincent, de Andrade Lima & James (2005)

1.6.10. Aptitud Tecnológica

La aptitud tecnológica permite establecer la capacidad de la carne para adaptarse a la serie de manipulaciones que tienen lugar durante los procesos de transformación y elaboración de productos cárnicos. Por lo que, tienen una gran importancia en el sector industrial, entre los más importantes se encuentran el pH, la capacidad de retención de agua, consistencia de la grasa (marmoleo) y capacidad emulsificante (Varnam y Sutherland, 1995; Andújar, et al., 2003).

1.6.11. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua se define como la capacidad de la carne de retener su propia agua durante la aplicación de fuerzas externas, como corte, calentamiento, trituración y prensado. Sin embargo, durante la aplicación de cualquiera de estos tratamientos, hay cierta pérdida de humedad, debido a que una parte del agua se encuentra en forma libre. Muchas de las propiedades físicas de la carne, como color, textura y firmeza de la carne cruda, así como en la jugosidad y blandura en la carne cocida, dependen en parte de la capacidad de retención de agua (Forrest, et al., 1979).

Gran parte del agua en el músculo está atrapado en las estructuras de la célula, incluyendo los espacios intra y extra miofibrilares; por lo tanto, los cambios principales en la estructura intracelular de la célula influyen en la capacidad de las células musculares para retener el agua. Conforme el rigor progresa, el espacio para el agua contenida en las miofibrillas, se reduce y el líquido se puede forzar a salir a los espacios extra-miofibrilares, donde es más fácilmente que el agua se pierda por goteo. La contracción lateral de las miofibrillas ocurre durante el rigor y puede transmitirse a la totalidad de la célula, si las proteínas que unen a las miofibrillas, y las miofibrillas a la membrana celular (como desmina) no se degradan. La degradación limitada de proteínas del citoesqueleto puede resultar en una mayor contracción de la célula muscular, lo que se traduce finalmente en la pérdida por goteo. Recientes evidencias sugiere que la degradación de las proteínas del citoesqueleto por proteinasas, como la calpaína, determina la capacidad de retención de agua (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Factores físicos en el músculo que afectan la capacidad de retención de agua

Efecto de la carga neta:

Durante la conversión del músculo a carne, el ácido láctico se acumula en el tejido, lo que conduce a una reducción en el pH de la carne. Una vez que el pH ha alcanzado el punto isoeléctrico (pI) de las principales proteínas, especialmente la miosina (pI = 5.4), la carga neta de la proteína es cero, lo que significa que los números de cargas positivas y negativas en las proteínas son iguales. Estos grupos positivos y negativos dentro de la proteína se sienten atraídos el uno al otro y el resultado en una reducción en la cantidad de agua que puede atraer la proteína (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Efectos estéricos:

Durante el desarrollo del rigor, el diámetro de las células del músculo disminuye y es probable que sea el resultado de la transmisión de la contracción lateral de las miofibrillas a la totalidad de la célula. Adicionalmente, durante el desarrollo del rigor los sarcómeros se pueden acortar. Esto también reduce el espacio disponible para el agua dentro de la miofibrilla. La pérdida por goteo puede aumentar linealmente con una disminución en la longitud de los sarcómeros en las células musculares (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

1.7. Clasificación de la carne de pollo

Para efectos de la norma NMX-FF-080-SCFI-2006, se establecen las siguientes categorías con base en las cuales se clasifica el pollo en canal y en piezas para el consumo humano: 1) México Extra, 2) México 1 y 3) México 2

Para realizar la clasificación del pollo en canal y en piezas, deben considerarse las especificaciones señaladas en los cuadros 4 y 5 de esta misma norma.

Cuadro 4.- Clasificación del pollo en canal

Atributos	México Extra	Mexico 1	México 2
Conformación general de la canal	Musculatura bien desarrollada libre de deformidades que afecten la distribución normal de la carne, de contornos redondeados.	Musculatura bien desarrollada libre de deformidades que afecten la distribución normal de la carne, de contornos redondeados.	Musculatura desarrollada se permiten deformaciones, como quilla dañada o torcida, así como piernas, muslos y rabadilla curvos.
Restos de vísceras	Se permiten restos de esófago y riñón. Se admiten vísceras comestibles en un empaque cerrado dentro o fuera de la cavidad abdominal.	Se permiten restos de esófago, riñón y pulmón. Se admiten vísceras comestibles en un empaque cerrado dentro o fuera de la cavidad abdominal.	Se aceptan restos de víscera. Se admiten vísceras comestibles en un empaque cerrado dentro o fuera de la cavidad abdominal.
Apariencia general de la piel	Debe presentar uniformidad en el color sin importar si éste es blanco o amarillo. No se permiten rasgaduras lineales que expongan la carne de la canal. Se permite la decoloración para el pollo pintado.	Debe presentar uniformidad en el color sin importar si éste es blanco, pigmentado ó pintado, sin embargo, se admiten zonas de decoloración. Se permiten rasgaduras lineales en la rabadilla que no expongan la carne de la canal.	Puede presentar decoloración parcial o total. Se permiten rasgaduras en cualquier parte de la canal.
Hematoma	Libre de hematomas	Sólo en la punta del ala y en el muñón de la pierna	Se aceptan en cualquier parte de la canal
Manchas de bilis	Libre de manchas de bilis	Libre de manchas de bilis	Se permiten manchas de bilis
Plumas y filoplumas	Libre de plumas. Se aceptan filoplumas solamente en alas.	Se aceptan plumas sólo en el ala, muñón de la pierna y pigostilo (última vértebra). Se aceptan filoplumas en cualquier parte de la canal	Se aceptan plumas y filoplumas en cualquier parte de la canal
Fracturas	Libre de fracturas	Se aceptan fracturas sólo en la punta del ala.	Se aceptan fracturas en cualquier parte de la canal
Mutilaciones	Libre de mutilaciones	Libre de mutilaciones	Se permiten mutilaciones en cualquier parte de la canal

Fuente: NMX-FF-080-SCFI-2006

Cuadro 5.- Clasificación del pollo en piezas

Atributos	México Extra	México 1	México 2
Conformación general de la pieza	Musculatura bien desarrollada libre de deformidades que afecten la distribución normal de la carne, de contornos redondeados.	Musculatura bien desarrollada libre de deformidades que afecten la distribución normal de la carne, de contornos redondeados.	Musculatura desarrollada se permiten deformaciones, como quilla dañada o torcida, así como piernas, muslos y rabadilla curvos.
Restos de vísceras	Se permiten rinón o restos del mismo en rabadilla	Se permiten rinón o restos del mismo en rabadilla y restos del pulmón en huacal	Se permiten rinón o restos del mismo en rabadilla y restos del pulmón en huacal
Apariencia general de la piel (No aplica para piezas sin piel)	Debe presentar uniformidad en el color sin importar si éste es blanco o amarillo. No se permiten rasgaduras lineales que expongan la carne de la pieza. Se permite la decoloración para el pollo pintado.	Debe presentar uniformidad en el color sin importar si éste es blanco, pigmentado ó pintado, sin embargo, se admiten zonas de decoloración. Se permiten rasgaduras lineales en la rabadilla que no expongan la carne.	Puede presentar decoloración parcial o total. Se permiten rasgaduras en cualquier pieza.
Hematoma	Libre de hematomas	Se acepta solamente en la punta del ala y en el muñón de la pierna	Se aceptan hematomas en cualquier pieza
Manchas de bilis	Libre de manchas de bilis	Libre de manchas de bilis	Se aceptan manchas de bilis en cualquier pieza
Plumas y filoplumas	Libre de plumas. Se aceptan únicamente filoplumas en alas.	Sólo se aceptan plumas en el ala, muñón de la pierna y rabadilla. Se aceptan filoplumas en cualquiera de las piezas.	Se aceptan plumas y filoplumas en cualquier pieza.
Fracturas	Libre de fracturas	Sólo se aceptan en la punta del ala	Se aceptan fracturas en cualquier pieza
Mutilaciones	Libre de mutilaciones	Libre de mutilaciones	Se aceptan mutilaciones en cualquier pieza

Fuente: NMX-FF-080-SCFI-2006.

JUSTIFICACIÓN

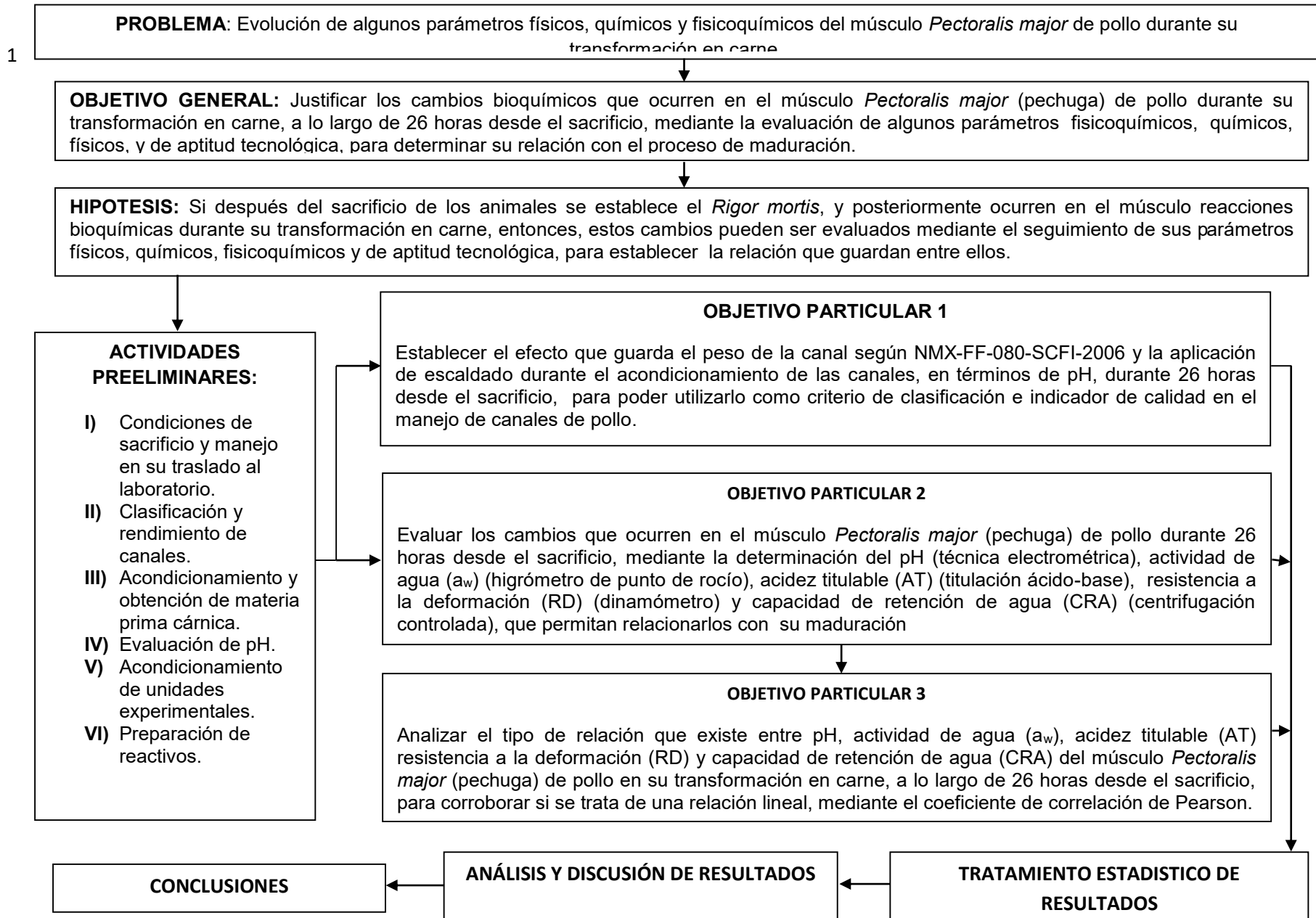
Según señala la Unión Nacional de Avicultores de México, la avicultura es la actividad pecuaria más importante en México desde el punto de vista del valor de la producción que genera. En cuanto a consumo se refiere, el consumidor mexicano, propiamente dicho, tiene una alta preferencia por los productos avícolas pollo y huevo, misma que se refleja en una tendencia creciente de consumo durante la última década, que indica un incremento de 26.5 a 32 kg de consumo *per cápita* anual; esta diferencia de consumo es considerable en comparación con otros productos como la carne de res y la carne de cerdo. Lo anterior es favorecido por factores como el menor precio relativo en comparación con otras fuentes de proteína animal, la versatilidad en su preparación y el alto número y diversidad de puntos de venta cercanos al consumidor. La producción de pollo de engorda (broiler) destinado a carne para consumo humano, se produce de manera masiva y estandarizada para asegurar parámetros de calidad similares o muy cercanos. Sin embargo, en la actualidad existe poca información acerca de cómo dichos parámetros cambian respecto al tiempo transcurrido desde el sacrificio y su relación con los cambios bioquímicos que ocurren durante su transformación en carne (maduración). Se propuso el estudio de la evolución de algunos parámetros (pH, a_w , acidez titulable (AT), resistencia a la deformación (RD) y capacidad de retención de agua (CRA)) del músculo *Pectoralis major* (pechuga) de pollo, durante 26 h desde el sacrificio, así mismo establecer la relación que existe entre estos parámetros durante la transformación en carne. Para contribuir con el acervo informativo sobre la carne de pollo que se produce y consume en México; como apoyo en el desarrollo de indicadores de calidad para ser utilizados durante la comercialización y formulación de productos cárnicos de esta materia prima cárnica.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La realización de esta investigación se llevó a cabo, en primera instancia, en rastro particular con domicilio en Tultepec, México; el cual en su momento se encontraba en calidad de rastro registrado (NOM-008-ZOO) pero de igual forma se encontraba en proceso de obtener la certificación como rastro TIF (NOM-008-ZOO, NOM-009-ZOO, NOM-033-ZOO), que como tal es una instalación destinada al sacrificio, procesamiento, envasado, refrigerado e industrialización de aves (pollo de engorda destinado para consumo humano), el cual es objeto de inspección permanente sanitaria, de instalaciones y de procesos por parte de SAGARPA. En el cual fueron requeridas algunas modificaciones en el procesamiento habitual de la materia prima (pollo de engorda), como la supresión del pretratamiento (escaldado con agua potable a 60 °C con un periodo de inmersión de 40 s) al enfriamiento de las canales de pollo.

Posteriormente se trasladaron las canales de pollo en recipiente térmico (agua y hielo con una temperatura de 0 °C), al laboratorio 7 (Bioconservación) de la UIM perteneciente a la UNAM FES Cuautitlán, para realizar las actividades pertinentes que a continuación se describen en el diagrama experimental (figura 21).

Figura 21. Diagrama Experimental



2.1. Objetivo General

Justificar los cambios bioquímicos que ocurren en el músculo *Pectoralis major* (pechuga) de pollo durante su transformación en carne, a lo largo de 26 horas desde el sacrificio, mediante la evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos, químicos, físicos, y de aptitud tecnológica, para determinar su relación con el proceso de maduración.

2.2. Objetivos Particulares

- 1) Establecer el efecto que guarda el peso de la canal según NMX-FF-080-SCFI-2006 y la aplicación de escaldado durante el acondicionamiento de las canales, en términos de pH, durante 26 horas desde el sacrificio, para poder utilizarlo como criterio de clasificación e indicador de calidad en el manejo de canales de pollo.
- 2) Evaluar los cambios que ocurren en el músculo *Pectoralis major* (pechuga) de pollo durante 26 horas desde el sacrificio, mediante la determinación del pH (técnica electrométrica), actividad de agua (a_w) (higrómetro de punto de rocío), acidez titulable (AT) (titulación ácido-base), resistencia a la deformación (RD) (dinamómetro) y capacidad de retención de agua (CRA) (centrifugación controlada), que permitan relacionarlos con su maduración
- 3) Analizar el tipo de relación que existe entre pH, actividad de agua (a_w), acidez titulable (AT) resistencia a la deformación (RD) y capacidad de retención de agua (CRA) del músculo *Pectoralis major* (pechuga) de pollo en su transformación en carne, a lo largo de 26 horas desde el sacrificio, para corroborar si se trata de una relación lineal, mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

2.3. Hipótesis

Si después del sacrificio de los animales se establece el *Rigor mortis*, y posteriormente ocurren en el músculo reacciones bioquímicas durante su transformación en carne, entonces, estos cambios pueden ser evaluados mediante el seguimiento de sus parámetros físicos, químicos, fisicoquímicos y de aptitud tecnológica, para establecer la relación que guardan entre ellos.

2.4. Actividades preliminares

En la figura 21 se muestra la secuencia experimental para la realización de este proyecto, que a continuación se describe:

En la realización de este proyecto se llevaron a cabo 8 actividades preliminares, para poder dar paso a la realización de los objetivos planteados anteriormente en la metodología experimental, y en consecuencia poder llevar a cabo el proyecto.

2.4.1. Condiciones de sacrificio y manejo en su traslado al laboratorio

El sacrificio de pollos de engorda línea broiler, comienza con el arribo de las aves al rastro (figura 22) dispuestas en rejas de plástico, después el operador coloca al ave en conos de acero galvanizado (figura 14) y hacen un corte unilateral en el cuello (cara ventral) sobre las arterias carótidas y las venas yugulares, incluyendo tráquea y esófago permitiendo la pérdida suficiente y rápida de sangre para matar al ave antes de que entre al escaldado (agua potable a 53 °C con un tiempo de inmersión de 50s) para aflojar las plumas (figura 15), después del escaldado (PROY- NOM-087-SSA1-1994) se retiran las plumas (NMX-FF-080-SCFI-2006) con un equipo de dedos de goma (figura 16) y las plumas restantes se retiran

manualmente (figura 23), una vez realizado limpieza manual el ave es eviscerada, retirado el tracto digestivo y dejando solamente algunas vísceras como pulmones, corazón y riñones (NOM-087-SSA1-1994).

Una vez que se tiene la canal de pollo, es colocado en un contenedor adiabático a una temperatura de 0 °C, en contacto con hielo, en la siguiente hora después del sacrificio es trasladada al laboratorio 7 (Bioconservación) de la UIM (UNAM FES Cuautitlán). Una vez en el laboratorio se pesó la canal (figura 24) y se dispuso en bolsa de plástico con cierre hermético (zip), para minimizar las pérdidas por la recirculación del aire forzado del almacén frigorífico (4 °C).



Figura 22.- Arribo de los pollos al rastro

Fuente: Imagen cortesía de distribuidora de pollo Dijar



Figura 23.- Limpieza manual de plumas

Fuente: Imagen cortesía de distribuidora de pollo Dijar



Figura 24.- Pesaje de la canal en el laboratorio

2.4.2. Clasificación de canales de pollo NMX-FF-080-SCFI-2006

Se inspeccionó que las canales de pollo cumplieran con los criterios de clasificación de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-080-SCFI-2006 para la categoría México Extra (cuadro 4). Las cuales tenían una musculatura desarrollada (contornos redondeados) y libre de deformidades, uniformidad en el color de la piel, sin hematomas ni fracturas de huesos, sin manchas de bilis, libre de plumas y filoplumas (excepto en las alas) y que contuvieran vísceras permitidas por esta norma (corazón, pulmones y riñones).

2.4.3. Acondicionamiento de materia prima cárnica

En el acondicionamiento de la materia prima cárnica, a las canales de pollo se les desarticularon las alas de la caja torácica y las piernas y muslos de la cavidad abdominal, permitiendo un mejor acceso a la pechuga, posteriormente se le retiró piel, grasa y fascias y fue separada de la caja torácica, finalmente se dispuso de la pechuga en bolsas de plástico con cierre hermético, en almacén frigorífico a 4 °C.

2.4.4. Evaluación de pH

La evaluación del pH se realizó de acuerdo al protocolo establecido para la determinación de pH de las actividades experimentales. Con la excepción de que fue utilizado para determinar el efecto del pretratamiento (escaldado de la canal de pollo en agua potable a 60 °C por un lapso de 40 s de inmersión) al enfriamiento de las canales (agua y hielo potable a 0 °C). Por lo cual se realizó con canales con y sin pretratamiento.

2.4.5. Obtención de materia prima cárnica

Se utilizaron pollos línea broiler clasificación México Extra (NMX-FF-080-SCFI-2006), de 40-45 días al sacrificio.

Tras el sacrificio en rastro particular en Tultepec, México, se movilizaron las canales de pollo en recipiente térmico al laboratorio 7 de la UIM (Bioconservación) de la UNAM FES Cuautitlán.

El peso de las canales se encontró en los siguientes intervalos: ≤ 2.300 kg, 2.400-2.800 kg, ≥ 2.900 kg; por lo que fueron manejados de este modo para la evaluación de los actividades experimentales (pH, a_w , AT, CRA y RD), aun cuando todos correspondían a la clasificación México Extra de la NMX-FF-080-SCFI-2006.

La distribución de lotes se hizo en base al peso de la canal y se realizaron las determinaciones de los parámetros (pH, a_w , AT, CRA y RD) cada 2 horas, durante las 26 h posteriores a la matanza, conservando siempre las mismas condiciones de temperatura (almacenamiento a 4 °C en refrigerador convencional con aire forzado) según arreglo matricial que se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6.- Distribución de lotes en base al peso de la canal

Peso I	Peso II	Peso III	Evaluación de pH, a_w , AT, CRA y RD						
			Tiempo <i>post mortem</i> (TPM)						
Pollo 1	Pollo 8	Pollo 15	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h
Pollo 2	Pollo 9	Pollo 16	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h
Pollo 3	Pollo 10	Pollo 17	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h
Pollo 4	Pollo 11	Pollo 18	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h
Pollo 5	Pollo 12	Pollo 19	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h
Pollo 6	Pollo 13	Pollo 20	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h
Pollo 7	Pollo 14	Pollo 21	TPM 1: 2 h	TPM 2: 4 h	TPM 3: 6 h	TPM 4: 8 h	TPM 5: 10 h	TPM 6: 12 h	TPM 7: 26 h

2.4.6. Rendimiento de canales

El rendimiento de las canales, se obtuvo al pesar cada canal de pollo, y este peso se tomó como el 100%, posteriormente, se desarticularon las alas y los muslos con pierna, se separó la caja torácica y se obtuvo el músculo *Pectoralis major*. Se le retiró la piel, grasa, huesos y fascias y posteriormente, se pesó sólo la pulpa (Los resultados para el rendimiento de canales se encuentran en el Anexo 2).

2.4.7. Acondicionamiento de unidades experimentales

Se procedió a retirar la piel, grasa y fascias para tener un mejor acceso a la pechuga (musculo *Pectoralis major*), posteriormente se dividió en 7 partes dispuestas en bolsas de plástico con cierre hermético (zip), durante el almacenamiento frigorífico a 4 °C, en refrigerador convencional con recirculación de aire forzado.

2.4.8. Preparación de reactivos

Solución valorante de NAOH 0.1 N

Para elaboración de la solución valorante de hidróxido de sodio 0.1 N, se partió de la definición de concentración normal, la cual está determinada por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{m_{eq}NaOH}{L \text{ solución}}$$

En la que: N. es la concentración normal expresada en número de equivalentes por litro de solución: $m_{eq}NaOH$, es el peso equivalente del hidróxido de sodio.

Si se tiene que, el número de equivalentes es, para en este caso una base, el número de OH⁻ intercambiables o que es capaz de ceder, entonces, el número de equivalentes del NaOH es 1 equivalente por cada mol. Por lo tanto:

Si se tiene que:

$$P.M._{NaOH} = 40 \text{ g/mol}$$

$$\# \text{ equivalentes}_{NaOH} = 1 \text{ equivalente/mol}$$

Calculando el peso equivalente del NaOH:

$$m_{eq}NaOH = \frac{P.M._{NaOH}}{\# \text{ equivalentes}_{NaOH}} = \frac{40 \text{ g/mol}}{1 \text{ eq/mol}} = 40 \text{ g/eq}$$

Regresando a la definición de concentración normal, para obtener la cantidad de NaOH que hay que agregar a un litro de agua, se tiene que:

$$m_{eq}NaOH = \left(0.1 \frac{eq}{L}\right) \left(40 \frac{g}{eq}\right) (1 L) = 4.0 g$$

Por lo tanto hay que agregar 4 g de NaOH y aforar a 1 L.

Solución de NaCl 0.6 M

Para la preparación de la solución de NaCl 0.6 M, que se utilizó en la determinación de capacidad de retención de agua, se partió de la definición de concentración molar, la cual dice:

$$M = \frac{\text{moles de soluto}}{L \text{ de solución}}$$

Si se tiene que la concentración deberá ser de 0.6 M, significa que hay 0.6 moles de NaCl por cada litro de solución, y si se tiene que el peso molecular del NaCl, es de 58.4428 g por cada mol, por lo tanto la cantidad de NaCl que hay que agregar a 1 L de solución, es:

$$m_{NaCl} = (58.4428 \text{ g/mol})(0.6 \text{ mol/L}) = 35.0657 \text{ g/L}$$

Por lo tanto, hay que agregar 35.0657 g de NaCl, y aforar a 1 L.

2.5. Actividades experimentales

Una vez llevadas a cabo las actividades preliminares, se dio paso a realizar las actividades experimentales, con el fin de cumplir con los objetivos de este proyecto.

2.5.1. Determinación de pH

La determinación de pH se realizó según la técnica 981.12 AOAC 2000, con un potenciómetro OAKTON pH 10 Series (figura 25). Esta determinación se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno.



Figura 25.- Determinación de pH

Se pesaron 10 g de carne y se transfirieron a un vaso de licuadora, se adicionaron 100 mL de agua destilada y se homogeneizaron durante 1 min a alta velocidad. Se filtraron empleando gasa o manta de cielo para retirar el exceso de tejido conectivo. Se tomó la lectura de pH del filtrado por duplicado, introduciendo el electrodo de bulbo, del potenciómetro previamente calibrado, con las soluciones

reguladoras de referencia de pH 4 y pH 7 (Thermo, USA) La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado, no debe exceder de 0.1 unidades de pH, en caso contrario se debe repetir la determinación. Después de obtener el valor de pH del filtrado, se lavó el electrodo con agua destilada para eliminar cualquier residuo de material.

2.5.2. Actividad de agua (a_w)

Se determinó la actividad de agua (a_w) con un higrómetro de punto de rocío mod. Pa_wkit, (figura 26) (Decagon Devices, USA), de acuerdo con la técnica 978.18 AOAC 1980. Se colocó una muestra de carne en cinco cajas del higrómetro y se cerraron con su respectiva tapa, para evitar interferencias por la humedad ambiental, como el higrómetro ya se encontraba calibrado, no fue necesario realizar esta operación. Se colocó el higrómetro sobre la caja con la muestra (ya sin la tapa), evitando tocar el espejo del higrómetro. Posteriormente, se colocó el dispositivo en cero y una vez alcanzado el equilibrio, se registró la actividad de agua y la temperatura que marcó el higrómetro.



Figura 26.- Determinación de a_w

Los datos obtenidos de la evaluación de actividad de agua, se corrigieron, a partir de la ecuación modificada de Clausius-Clapeyron para sistemas alimentarios (Fraunitz, 1979 citado en Rockland & Stewart, 1981), que establece que:

$$\ln \frac{aw_{T_1}}{aw_{T_2}} = \frac{\Delta h_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Dónde: aw_{T_1} , es la actividad de agua que registra el higrómetro; aw_{T_2} , es la actividad de agua corregida; Δh_{vap} , es la entalpia de vaporización del agua (valor constante), correspondiente a la temperatura de calibración del higrómetro ($T_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$); R, es la constante de los gases ideales (valor constante); T_2 , es la temperatura que registro el higrómetro. Por lo tanto el valor de aw_{T_2} , queda:

$$aw_{T_2} = \frac{aw_{T_1}}{e^{\frac{\Delta h_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}}$$

2.5.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

La determinación de capacidad de retención de agua se llevó a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por Guerrero (2006), mediante centrifugación controlada, utilizando una centrífuga refrigerada Centurión K2015R (figura 27).



Figura 27.- Determinación de capacidad de retención de agua

La determinación de CRA, se realizó, por quintuplicado, en cinco tubos de centrifuga (falcon). Se colocaron por separado 5 g de carne. A cada tubo, se añadieron 8 mL de solución fría de NaCl 0.6 M y se agitaron con una espátula por un minuto. Después se colocaron los tubos en un baño de hielo por 30 minutos. Se agitaron nuevamente cada tubo con una espátula por 1 minuto. Posteriormente se procedió a centrifugar los tubos por 15 minutos a 10,000 rpm y 4°C. Por último,

se decantó y se midió el sobrenadante con una probeta de 10 mL. Se expresó la cantidad de solución retenida por 100 g de muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$\% CRA = \frac{V_a - V_s}{\text{peso muestra (g)}} \times 100$$

Dónde:

V_a = volumen de solución salina añadida al tubo de centrifuga

V_s = volumen del sobrenadante

2.5.4. Acidez titulable (AT)

La acidez titulable se determinó mediante titulación de ácido láctico de la carne de pollo con hidróxido de sodio (figura 28), según técnica 942.15 AOAC 2000.



Figura 28.- Titulación de ácido láctico con NaOH 0.1 N

Se pesaron 10 g de muestra, se transfirieron a un vaso de licuadora adicionando 200 mL de agua destilada y se homogenizaron durante 1 min. Después se filtró el homogenizado con una gasa esterilizada, para eliminar el exceso de tejido conectivo, se recibió el filtrado en un matraz aforado de 250 mL y se llevó a aforo con agua destilada. Seguidamente, se transfirieron alícuotas de 25 mL del filtrado a matraces Erlenmeyer de 125 mL, añadiendo 75 mL de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína en cada uno, se agitaron suavemente y se titularon con NaOH 0.1 N. Por último se preparó un blanco con agua destilada (100 mL) y dos gotas de fenolftaleína y se tituló con la solución de NaOH 0.1 N. Se realizó 5 veces la

determinación de acidez titulable por cada corrida experimental. El porcentaje de ácido láctico, se reportó aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acido Lactico} = \frac{(V - V_b)(N \text{ NaOH})(\text{meq acido lactico})(f_D) \times 100}{\text{peso muestra (g)}}$$

$$f_D = \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}}$$

Dónde:

V= Volumen gastado de NaOH en la muestra

V_b= Volumen gastado de NaOH en el blanco

N NaOH= Normalidad de la solución de NaOH

meq ácido láctico= 0.09

f_D= factor de dilución de la alícuota = 4

2.5.5. Resistencia a la deformación (RD)

La resistencia a la deformación se determinó, como la propiedad física de resistencia a la fractura de los materiales por penetración (Ciro, et al., 2007), para lo cual, mediante un dinamómetro Shimpo FG-2.5R, se obtuvo la resistencia a la fractura, en libras fuerza (figura 29).



Figura 29.- Determinación de resistencia a la deformación

La determinación de la resistencia a la deformación se realizó de la siguiente manera: Se cortaron cubos de aproximadamente 2 cm³. Se ajustó la altura del dinamómetro de acuerdo a la altura de las muestras, y se utilizó la geometría de penetración, ajustando el dispositivo en cero. Se accionó la palanca del dinamómetro y se registró la lectura después de 5 s. Se reportaron los valores de resistencia a la deformación en lb_f .

2.5.6. Análisis estadístico de resultados

Después de realizar las determinaciones de pH, a_w , AT, CRA y RD; se procedió a someter los resultados de estas a un análisis de varianza de dos vías (ANOVA-2 way) con un nivel de significancia (α) del 5% (0.05) en el paquete estadístico MINITAB 16, en la cual se buscó encontrar los tres efectos posibles: los efectos de los dos factores en cuestión (Peso y tiempo *post mortem*), así como el efecto de la interacción de estos para cada una de las determinaciones.

2.5.7. Análisis del coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba estadística para analizar la relación entre dos variables medidas en un nivel por intervalos o de razón. Se le conoce también como “coeficiente producto-momento”. Se simboliza con la letra r (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Este coeficiente (r), también se le conoce como coeficiente de correlación lineal y mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados en una muestra (Triola, 2004).

Mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), se analizó la relación entre datos apareados, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), que pudiera darse entre las determinaciones consideradas: pH, AT, CRA, a_w y RD. El coeficiente lineal (r) no considera causalidad, por lo cual cualquiera de las dos variables consideradas para cada correlación puede fungir como dependiente o como

independiente, ya que solo se pretende establecer una relación lineal o en su defecto la independencia de las variables en cuestión, esto en base a los resultados obtenidos del objetivo particular 2.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. pH

El inicio del *Rigor mortis* no es posible apreciarlo para los pollos que se sometieron a escaldado (figura 30), es preciso mencionar que esta operación se realiza en el rastro con el fin de garantizar un producto seguro para el consumidor, dado que se emplea para reducir microorganismos y detener la actividad enzimática.

En la figura 30, es posible apreciar que, existen por lo menos dos ciclos de inicio del *Rigor mortis* en los pollos sometidos a escaldado, por lo cual, se decidió prescindir de esta operación, ya que influiría directamente sobre el pH y por consiguiente en los demás parámetros considerados para este proyecto. No confundir el escaldado para retirar las plumas, con el escaldado (agua potable a 60 °C, con un tiempo de inmersión de la canal 40 s) del cual se está prescindiendo, el cual es un pretratamiento utilizado antes de enfriar las canales con agua y hielo, para posteriormente disponerlas para ser transportadas, para su almacenamiento refrigerado o para venta directa.

No se encontró en la literatura alguna investigación que hiciera referencia a este pretratamiento, por lo cual no se tienen datos de referencia que respalden los resultados obtenidos en este proyecto, sin embargo, James et al. (2005), mencionan que el manejo *post mortem*, en especial los procesos que involucran

transferencia de calor como el escaldado y el enfriamiento de canales, pueden influir positivamente en cuanto a la calidad microbiológica, pero un tanto negativa en cuanto a los fenómenos bioquímicos y estructurales.

De acuerdo con la figura 30 y reiterando la aseveración de James et al. (2005), el inicio del *Rigor mortis* y su posterior resolución, se encuentra condicionado principalmente por los procesos de transferencia de calor *post mortem* a los que son sometidas las canales. Como se mencionó anteriormente, no es posible apreciar un establecimiento del *Rigor mortis*, y pudiera deberse a dichos procesos de transferencia de calor. Como menciona Hui et al. (2015), la energía necesaria para la contracción muscular procede de la hidrólisis de ATP catalizada por la ATPasa de las cabezas de miosina, la cual es modificada por el pretratamiento utilizado, ya que interviene de manera directa sobre la actividad enzimática. Esto en condiciones fisiológicas *in vivo*, sin embargo en condiciones *post mortem*, las proteínas y enzimas se desnaturalizan durante el proceso de maduración *post mortem*, al ser sometidas a un pH inferior al existente *in vivo*, a temperaturas superiores a 25 o inferiores a 0 °C (Lawrie, 1967).

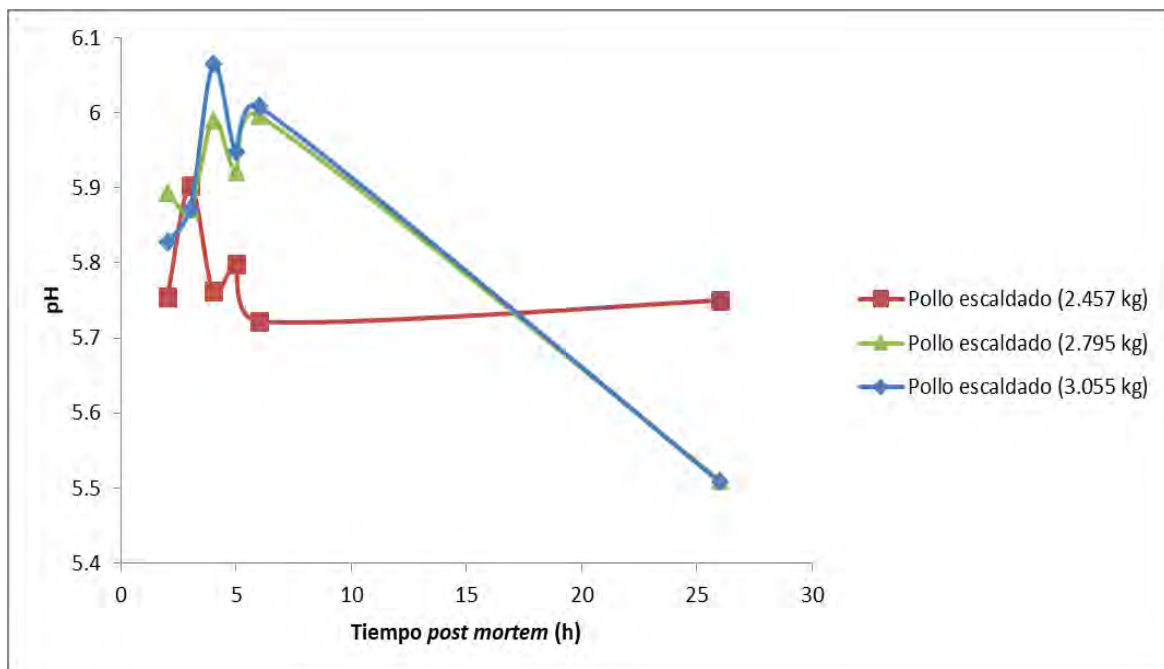


Figura 30.- Evolución del pH de pollo escaldado (60 °C, 40 s) durante 26 horas post mortem

Según James et al. (2005), en las primeras 24 horas *post mortem* es donde se dan los principales fenómenos bioquímicos y estructurales, a partir de cuándo el animal es sacrificado y el músculo se convierte en carne, es aquí también en donde se inicia el enfriamiento de canales y este puede influir positiva o negativamente sobre la calidad de la carne. De igual manera Savell, Mueller & Baird (2004); hace referencia a la importancia de las primeras 24 horas *post mortem*, menciona que muchos eventos bioquímicos y estructurales tienen lugar en las primeras 24 horas después de que el animal es desangrado y el músculo inicia el proceso de conversión en carne. Este periodo tiene gran impacto en la terneza de la carne y el color, en especies específicas, la manera del proceso inicial de enfriamiento resulta con consecuencias positivas o negativas en la calidad de la carne. Es por eso que se optó por llevar a cabo la experimentación durante 24 horas *post mortem* inicialmente, pero por motivos de movilización de las canales de pollo del rastro al laboratorio, se optó por realizarse durante 26 horas *post mortem*.

De acuerdo con James et al. (2005), el escaldado y enfriamiento de canales son importantes pasos iniciales en el procesamiento de las aves de corral que influyen en la seguridad y en la calidad del producto. El propósito principal del enfriamiento de las canales es reducir rápidamente la temperatura, el crecimiento de patógenos y el deterioro de las mismas.

El tiempo transcurrido desde la muerte hasta la aparición del rigor es la fase de retraso y se caracteriza como elasticidad muscular y cambio mínimo en la longitud del músculo. La duración de esta fase está determinada por el pH final y el tiempo transcurrido hasta alcanzar ese valor. La aparición del *Rigor mortis* no se desencadena a un pH específico (por encima de 6) aunque ocurre independientemente del pH cuando se utiliza > 60% del ATP inicial (Khan, 1975 citado en Lyon & Bhur. 1999).

Durante la fase de retraso el músculo es aun extensible debido a que aún está disponible el ATP para unirse con el Mg^{2+} , lo cual ayuda a desconectar los

entrecruzamientos de actomiosina permitiendo que los músculos se relajen (Savell, et al., 2004).

Posteriormente la fase de *Rigor mortis* se puede apreciar en la gráfica de la figura 31, en esta es posible observar primeramente un alza en el pH, el cual se reconoce como la fase de retraso, culminando en un pico máximo de pH, posteriormente se observa una caída gradual en el pH, este fenómeno se explica en base a que la creatina fosfato es reducida drásticamente durante esta fase, la cual inhibe la fosforilación del ADP en ATP, lo cual provoca un pico decreciente en la producción de ATP, indicando el inicio de la fase de rigor, debido a que la disponibilidad de ATP es pequeña para romper las uniones de actina y miosina, los músculos no se pueden relajar y comienza a ser inextensible (Aberle, et al., 2001 citado en Savell, et al., 2004).

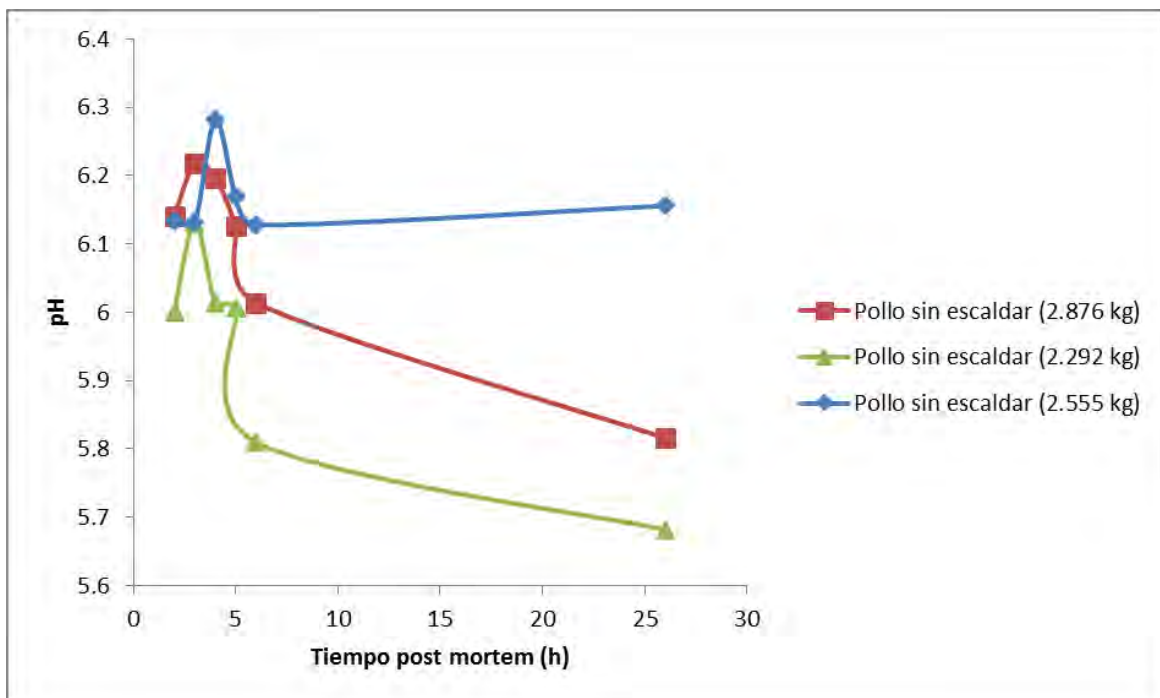


Figura 31.- Evolución del pH de pollo sin escaldar durante 26 horas *post mortem*

Finalmente y haciendo referencia a la figura 31, se observó un descenso en el pH una vez que su valor alcanzó un valor máximo; Howard & Lawrie (1956) citados en Savell et al. (2004); sugirieron que el intervalo de descenso del pH tiene una

relación inversa con la terneza. Cuando el pH cae, se aproxima al punto isoeléctrico; en este punto, todos los aminoácidos cargados positiva o negativamente igualan sus cargas, lo cual ocasiona una máxima atracción entre los dos; esta atracción sostiene a los filamentos unidos densamente y no permite el ingreso de agua, reduciendo drásticamente la CRA (Smulders, et al., 1992 citado en Savell, et al., 2004).

Los resultados obtenidos por Abdullah & Matarneh (2010), confieren cierta credibilidad a los obtenidos en esta investigación, ya que los valores de pH obtenidos están dentro del rango establecido por estos autores (pH = 6.1 a 6.3) para pollos broiler durante las primeras 8 horas *post mortem*, sin embargo para el pH de 24 h *post mortem*, obtuvieron valores de pH entre 6.1 y 6.2, y como se puede observar en la figura 31, solamente con el peso de 2.555 kg se cumple lo descrito por Abdullah & Matarneh (2010); en cuanto a los pesos de 2.292 y 2.876 kg, el pH final cae fuera de este intervalo. Este comportamiento se atribuye al peso, ya que dichos autores basaron su investigación en categorías diferentes de peso a los manejados en esta investigación.

En la figura 32, se muestran los cambios en el pH para los tres intervalos de peso evaluados: 1) menor o igual a 2.3 kg, 2) entre 2.4 y 2.8 kg y 3) mayor o igual a 2.9 kg; durante las 26 horas *post mortem*. Es posible observar que, entre intervalos de peso existen diferencias en el inicio, durante y al final del proceso de conversión del músculo en carne. Un fenómeno muy interesante se observa en cuanto al peso de la canal sobre el descenso del pH, ya que como se muestra en la figura 29, todas las canales con peso diferente presentan pH finales diferentes, por ejemplo, el pH final de la canal correspondiente al intervalo de peso 3 es mayor en comparación con las de menor peso, esto es posible relacionarlo con la reserva de glucógeno, ya que a mayor peso mayor será la reserva de glucógeno y por consiguiente mayor será el pH final.

Para el caso de las aves, en este caso pollo, el *Rigor mortis* tiene lugar muy pocas horas *post mortem*; Soler et al. (2011), mencionan que la aparición del *Rigor mortis* en aves tiene lugar entre las 2 y las 4 horas *post mortem*, siendo el pH final

diferente en los músculos en los que predominan las fibras blancas respecto de aquellos en los que predominan las fibras rojas. El pH final del músculo blanco de la pechuga puede continuar disminuyendo más allá de las 24 horas cuando las canales se enfrían de forma rápida, alcanzado valores medios de 5.6-5.4. En este caso, se utilizó el musculo *pectoralis major* de la pechuga de pollo, en el cual predominan las fibras blancas, por lo que se considera un músculo glucolítico, se puede afirmar la consideración de Soler et al. (2011); puesto que el pH continúa disminuyendo más allá de las 24 horas *post mortem*, en este caso en particular se consideraron 26 horas *post mortem* debido a causas expuestas anteriormente. Continuando con los resultados de pH final reportado por Soler et al. (2011), se observó que los resultados difieren un tanto respecto a los intervalos de peso 2 y 3, siendo que para el intervalo de peso 1 los valores medios de pH final son muy cercanos a los reportados en la literatura, puesto que es el intervalo de peso con el cual el autor y sus colaboradores trabajaron.

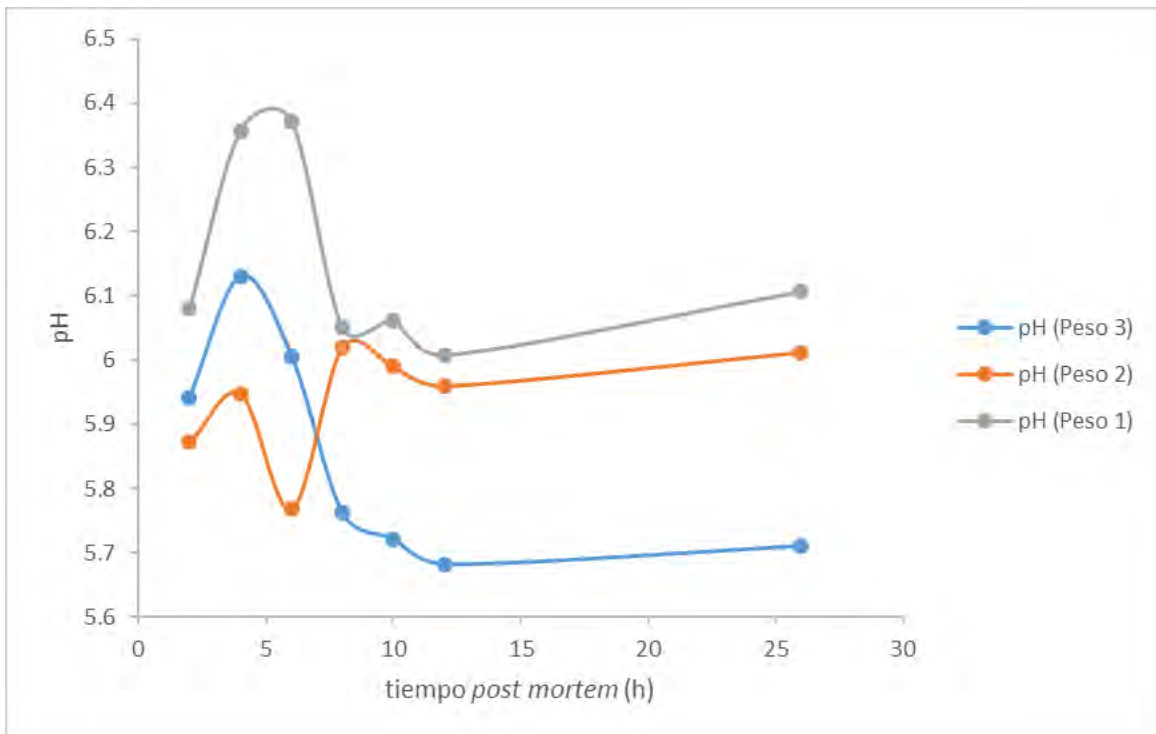


Figura 32.- Evolución del pH obtenido durante 26 horas *post mortem*

Haciendo referencia nuevamente a la figura 32, se observa que conforme avanza el tiempo *post mortem* el pH experimenta cambios en función del tiempo, se observa primeramente que la línea de descenso de pH del intervalo de peso 1 está por debajo de las otras líneas de descenso, así como la línea de descenso del intervalo de peso 3 se encuentra por encima de la línea 2, dado lo cual se podría afirmar que existe una relación muy estrecha en cuanto al peso de la canal y el descenso del pH. Es importante mencionar que el músculo analizado se trata de un músculo glucolítico, entonces requiera una mayor cantidad de energía para satisfacer la demanda de energía cuando se instala el metabolismo anaerobio (Varnam y Sutherland, 1998).

El pH también está relacionado directamente con el potencial de óxido-reducción, y es el responsable de mantener cierta inocuidad, ya que este potencial afecta de manera directa al crecimiento de microorganismos, inclusive los patógenos (Lawrie, 1967). El pH expresa la concentración de hidrogeniones (Chang, 2007), entonces, en un pollo de intervalo de peso 3, mayores serán sus reservas de glucógeno por lo que la cantidad de producción de ácido láctico será mayor y por lo tanto el pH se mantendrá por encima del de los pollos con un peso menor al intervalo 3, esto se debe a que a mayor cantidad de lactato mayores serán las concentraciones de iones hidrogeno. Partiendo de esta premisa se esperaría que, la línea de pH de intervalo 1 este por debajo del resto de líneas, ya que a menor peso menores serán las reservas de glucógeno, por lo tanto menor será la cantidad de lactato producido, y por lo tanto menor será el pH. Al situarse en la figura 32, se observa que lo anterior se cumple en cierta manera, por lo menos en el pH final, aunque no en un inicio ni a lo largo del proceso de conversión del músculo en carne. Varnam y Sutherland (1998), menciona que el descenso del pH puede estar estrechamente relacionado con la producción de lactato, aunque los iones de hidrogeno generados provienen de la hidrólisis de ATP y no de la producción de lactato. Abdullah & Matarneh (2010), mencionan en su investigación que las variaciones que se tienen en cuanto a pH diferentes para pesos similares, podrían estar asociado con las diferencias individuales en las reservas de glucógeno en el músculo, que reflejan la velocidad de finalización del *Rigor mortis*

y la velocidad de descenso de pH del músculo se extiende, o puede ser el resultado de diferencias en el potencial glucolítico entre estas canales.

3.2. Acidez Titulable (AT)

Los ácidos orgánicos presentes en los alimentos influyen en el sabor, color y la estabilidad de los mismos. Los productos pesqueros, aves y productos cárnicos son de acidez muy baja y el ácido predominante es el láctico (Andújar, et al., 2003). La acidez titulable está en función del ácido mayoritario contenido en una matriz de análisis, para este caso nuestra matriz de análisis es el musculo *Pectoralis major* de pollo, y entonces el ácido mayoritario es el ácido láctico, que es el producto principal de la glucolisis anaerobia (Fennema, 2000). El pH es una manera de conocer cómo se va a acumulando ácido láctico en el musculo, ya que al irse concentrando igual lo hará la concentración de hidrogeniones.

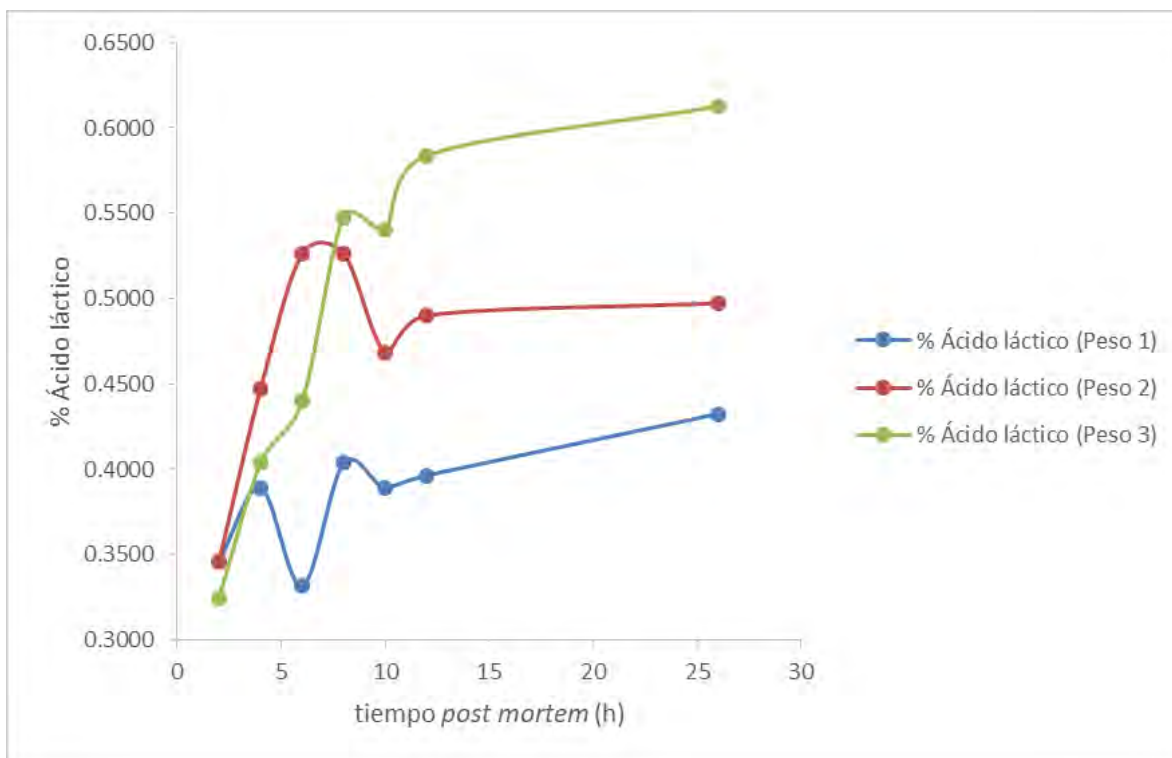


Figura 33.- Evolución de la concentración de Ácido Láctico obtenido durante 26 horas *post mortem*

En la figura 33, se observa que la línea que se encuentra por encima de las demás es la línea de acidez del pollo con intervalo de peso 3, lo cual resulta lógico, si se parte del concepto de cómo se genera el ácido láctico, con una mayor cantidad de reserva de glucógeno se producirá una mayor cantidad de ácido láctico y por lo tanto se tendrá una mayor acidez. Es interesante observar que (figura 33), el pollo de peso intermedio (intervalo de peso 2) muestra una evolución de la acidez de manera casi exponencial en las primeras 6 horas *post mortem*, para finalmente situarse en un valor intermedio de acidez; en cambio si se observa la línea de acumulación de ácido láctico correspondiente al peso 1, se observa que a diferencia del peso 2 y 3, no se genera una cantidad cercana de ácido láctico. De acuerdo con Forrest et al. (1979), el descenso del pH muscular a consecuencia de la acumulación de ácido láctico es uno de los cambios *post mortem* más significativos que aparecen en el musculo durante su conversión en carne. La velocidad con la que desciende el pH y el límite hasta donde desciende es muy variable y puede ser modificado por diversos factores. La reserva muscular de glucógeno puede ser pequeña debido a inanición, ejercicio, condiciones estresantes, condiciones ambientales extremas, manejo *post mortem* inadecuado, etc., contribuyen para que esta reserva se vea reducida o cercana al agotamiento (Lawrie, 1967).

A medida que el ácido láctico se acumula, el pH muscular desciende desde > 7.1 a un pH metabólico de 5.4, por debajo del cual se inhibe la glucólisis. Por ello, la magnitud del descenso de pH y la cantidad de ácido láctico acumulado *post mortem* depende de la cantidad de glucógeno presente en el tejido en el momento de la muerte. Debido a esta relación, la calidad de la carne está influida por las circunstancias de la muerte, el grado de glucólisis *post mortem*, los descensos concomitantes de ATP y de pH, tiempo y temperatura cuando aparece el rigor y el grado resultante de acortamiento muscular (Lister, et al., 1970; citado en Lyon & Buhr, 1999).

3.3. Actividad de agua (a_w)

Se observa en el gráfico de la figura 34, que la a_w varía respecto al tiempo *post mortem*, tendiendo a ser muy variable, esta variación si se observa en la escala no lo es mucho ya que el intervalo en el que lo hace es muy pequeño. Al aumentar la a_w se aumenta el riesgo de que el alimento, sea atacado por microorganismos y enzimas autolíticas, pero el rango en el que varía no es determinante para contrarrestar el ataque microbiano y autolítico, así que de cierta forma la materia prima (músculo *pectoralis major*) sigue estando en la zona de alimentos con a_w alta y de baja estabilidad en combinación con el pH que presenta. Mientras más alta sea la a_w y más se acerque a 1.0, mayor será la inestabilidad del alimento, por esta razón las carnes frescas requieren refrigerarse para su conservación (Badui, 2013). La línea de actividad de agua, para el pollo de mayor peso (2.980 kg) está por encima de las líneas de los dos intervalos de peso menores, más sin embargo, diagnosticar una posible diferencia entre el desarrollo de la a_w en el periodo *post mortem* para los tres pesos manejados es muy arriesgado, porque el rango en el que varía es muy pequeño.

Es interesante observar en la figura 34, que se tienen las a_w más altas con los pesos 2 y 3, en cambio las a_w más bajas se presentan para los pesos 2 y 1. El rango en el cual fluctúa la a_w va desde 0.94 hasta cerca de 0.98, por lo que el valor para este parámetro es similar al reportado en la literatura, la a_w de la carne es de 0.97 (Badui, 2013).

La a_w está directamente relacionada con el crecimiento microbiano. El valor límite de a_w para el crecimiento de *C. botulinum* es de 0.97 para especies psicrótrofas y 0.95 para mesófilas (Hui, et al., 2015). Con lo cual se corrobora que, la materia prima (músculo *pectoralis major*) está altamente expuesta al ataque microbiano, aun en condiciones de almacenamiento refrigerado (4 °C), por lo que será necesario someter la materia prima a un proceso térmico diferente (cocinado, congelación, adicionar aditivos, etc.) para reducir la a_w y por ende prolongar su vida de anaquel. Uno de los métodos para conseguir una reducción de la a_w y, por

tanto, para prolongar la conservación de un alimento, es la adición de sustancias con una alta capacidad de retención de agua (humectantes), como la sal común, el glicerol, el sorbitol y la sacarosa (Belitz y Grosch, 2012).

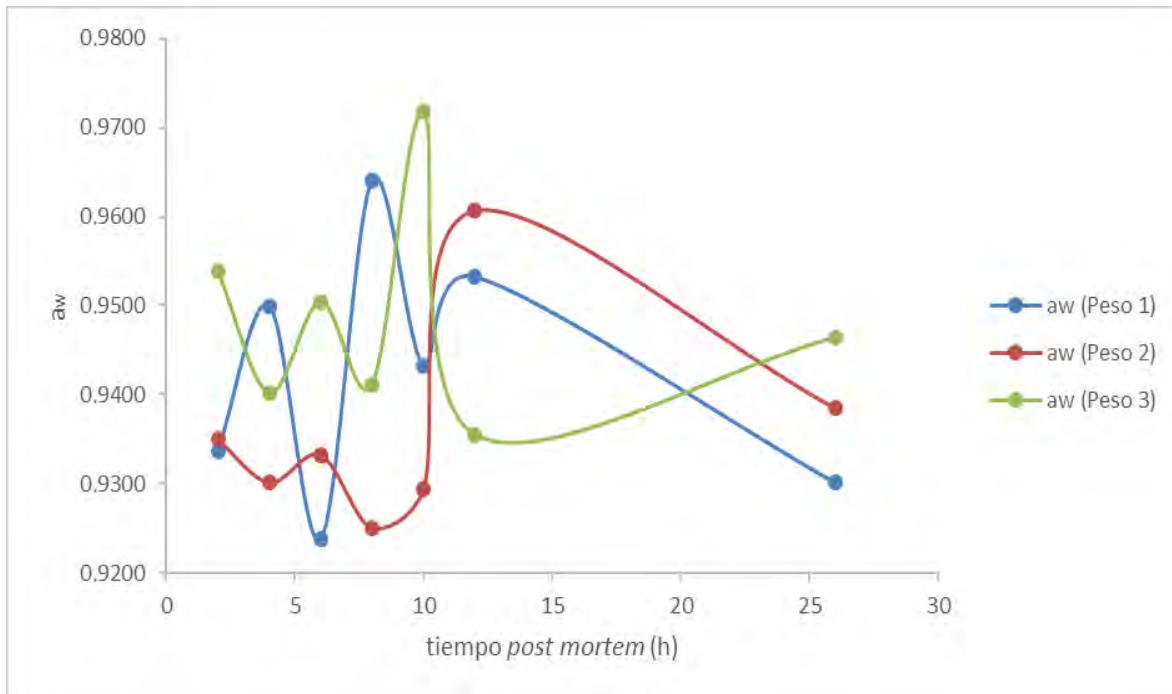


Figura 34.- Evolución de la actividad de agua (a_w) durante 26 horas *post mortem*

3.4. Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA se define como la habilidad que tiene la carne para retener el agua propia y añadida cuando se le somete a un esfuerzo mecánico. Esta propiedad se relaciona con las características de jugosidad, color, y ternura de la carne fresca, así como con el rendimiento en productos cocidos. El pH, la estabilidad oxidativa, el tipo de carne así como la presencia de sales y otros aditivos pueden potenciar o

reducir los valores de CRA; a un pH de 5.5 el valor de CRA es mínimo y alcanza un máximo a valores de pH cercanos a la neutralidad (Forrest, et al., 1979).

En la figura 35, es posible observar el cambio en la capacidad de retención de agua de la carne de pechuga de pollo respecto al tiempo *post mortem*, aquí se observa un comportamiento más difícil de explicar, que en el caso de la acidez, ya que según la literatura, la capacidad de retención de agua se verá disminuida respecto al tiempo *post mortem*, principalmente por efecto del pH sobre las proteínas miofibrilares de las células musculares, las cuales al desnaturalizarse sus proteínas, cambian sus espacios intracelulares, por lo general reduciéndolos, lo que conlleva a una expulsión de agua de sus espacios intracelulares, y por lo tanto tendrán un menor espacio para retener agua (Hamoen, 2013; Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

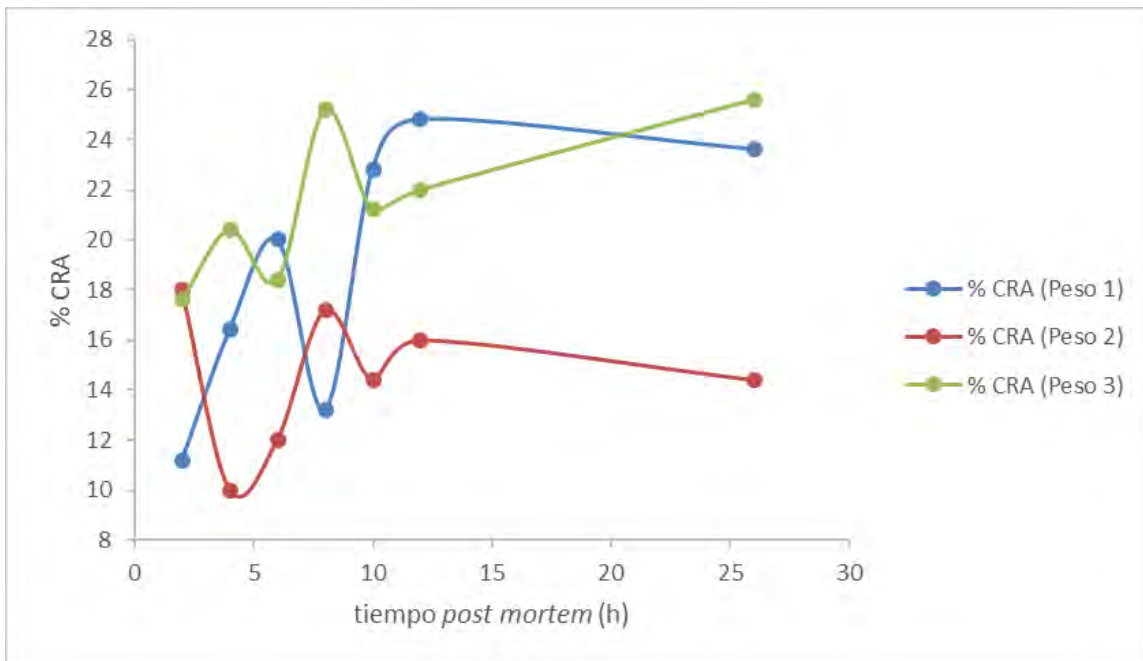


Figura 35.- Evolución de la capacidad de retención de agua (CRA) obtenida durante 26 horas *post mortem*

En este trabajo de investigación, se obtuvieron resultados, diferentes a los reportados en la literatura, de la CRA para el pollo de intervalo de peso 2, ya que

se observan cambios en el aumento y descenso de CRA, después de las 26 h *post mortem*, la CRA disminuye respecto a la CRA inicial.

El fenómeno anterior se puede explicar, debido a que el *Rigor mortis* en aves se instaura de manera muy temprana (2-4 h) en el periodo *post mortem* (Soler, et al., 2011); habiéndose determinado que son necesarias al menos de 4 a 6 horas para obtener una terneza adecuada en el músculo *pectoralis major* en la pechuga de pollo (Abdulah y Matarneh, 2010).

Entonces y partiendo de lo anterior, se puede decir que se experimenta el proceso de maduración, en la cual la degradación enzimática de la membrana muscular, puede permitir cierta difusión de iones, lo que da como resultado la sustitución de algunos iones divalentes de las cadenas proteicas por otros monovalentes y como consecuencia, por cada catión divalente sustituido queda en libertad para ligar agua un grupo reactivo de la proteína y las fuerzas que tienden a aproximar las cadenas proteicas se debilitan, este intercambio de iones durante la maduración de las proteínas musculares determina una mayor capacidad de ligar agua (Forrest, et al., 1979).

La CRA de la carne es dependiente del pH y del medio iónico en el que se encuentren las proteínas. La carga total de las proteínas, y en consecuencia las interacciones electrostáticas, alcanzan su mayor intensidad en sus puntos isoeléctricos. La CRA es mínima en el intervalo de pH de 5.0-5.5 (Belitz y Grosch, 2012). Obsérvese ahora la figura 32, en ningún intervalo de peso se obtuvo un pH de 5.0-5.5, por lo tanto en esta experimentación no se logró observar una CRA mínima. Se puede decir entonces que la CRA está mayormente relacionada con el pH, que con el intervalo de peso, ya que la línea de CRA de peso intermedio está por debajo de la línea de menor peso.

El agua se asocia con la superficie de las proteínas por interacciones dipolo-dipolo y por puentes de hidrogeno, y forman una sola capa o monocapa en la superficie de las proteínas. Esta agua, que representa 0.3 gramos de agua por gramo de proteína, tiene propiedades diferentes al agua libre, y está fuertemente ligada a la

proteína. El resto del agua esta absorbida o atrapada en capilares, poros, células u otras estructuras y puede fluir libremente. La determinación de la CRA mide el agua libre y parte del agua absorbida. El pH de la solución también afecta la CRA. Al igual que con la solubilidad, el pH influye en las cargas. En un homogenizado muscular la CRA disminuye a un mínimo en el punto isoelectrico (pH 5.0, aproximadamente). En ese momento la interacción proteína-proteína entre aminoácidos cargados es dominante. Si el pH se retira del punto isoelectrico la proteína se hace cada vez más cargada y las interacciones proteína-proteína ceden su lugar a interacciones proteína-agua (Chinachoti, 2000 citado en Hui, et al., 2015).

3.5. Resistencia a la deformación (RD)

El principal atributo sensorial en la carne para consumo directo es la retención de agua, asociada a la jugosidad y esta, a la vez, a la suavidad o terniza (Bouton y Harris, 1973 citados en Hui, et al., 2015).

En la figura 36, se observa la evolución del parámetro físico de resistencia a la fractura expresada como resistencia a la deformación (RD), es importante mencionar que este parámetro no se considera como los anteriores, ya que el protocolo que se siguió para su determinación, no es el adecuado para dar seguimiento a su evolución en el tiempo *post mortem* de 26 horas, el cual solo se utilizó como indicador de calidad final del proceso de transformación del musculo en carne.

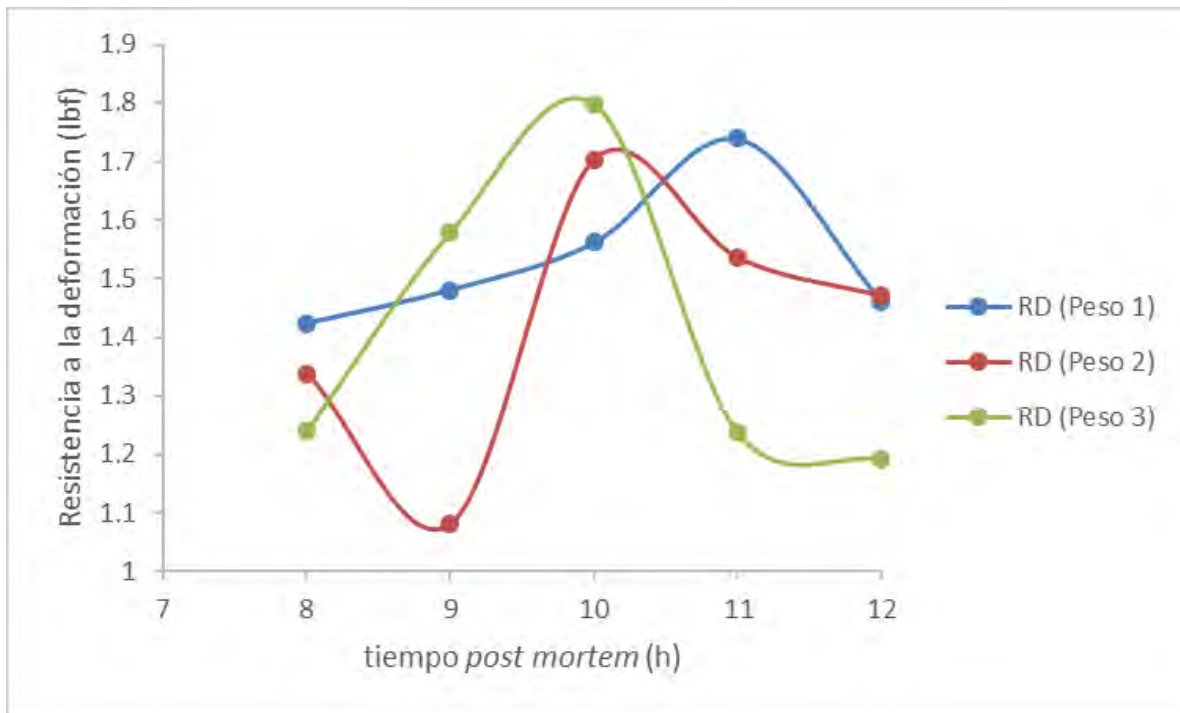


Figura 36.- Evolución de la resistencia a la deformación (lbf_f) a partir de 8 a 12 horas post mortem

Se observa en la figura 36, que la RD muestra un comportamiento “normal” ya que la línea de RD del pollo de mayor peso (intervalo de peso 3) presenta una mayor RD respecto a los de menor peso, esto de acuerdo a la literatura, la cual nos dice que la edad se refleja en peso y viceversa, lo cual al tener mayor tamaño (mayor peso), se tendrá un mayor entrecruzamiento de colágeno intramuscular (Alvarado, 2014) por lo tanto mayor RD.

El agotamiento *post mortem* de las reservas de energía en el músculo inicia la aparición del rigor y la demarcación entre músculo y carne. El grado de contracción muscular en el momento del inicio del rigor varía, pudiendo estar influido por varias vías fisiológicas y métodos de procesamiento, siendo el factor principal que determina la ternura de la carne (Locker 1960, citado en Lyon & Buhr 1999). Cuando el consumidor compra el pollo entero apenas tiene quejas sobre la dureza de la carne de pechuga, porque los músculos completan el proceso de rigor mientras están unidos al esqueleto (Lyon & Buhr, 1999).

3.6. Análisis Estadístico (ANOVA-2 Vías)

3.6.1. pH

En base a los resultados obtenidos del análisis de varianza para el pH, se propuso la siguiente hipótesis para la interacción de factores (Peso*tiempo *post mortem*):

Interacción (Peso*tiempo *post mortem*):

$$H_0: \mu_{P1}*(\mu_{t1}... \mu_{t7}) = \mu_{P2}*(\mu_{t1}... \mu_{t7}) = \mu_{P3}*(\mu_{t1}... \mu_{t7})$$

$$H_1: \mu_{P1}*(\mu_{t1}... \mu_{t7}) \neq \mu_{P2}*(\mu_{t1}... \mu_{t7}) \neq \mu_{P3}*(\mu_{t1}... \mu_{t7})$$

De acuerdo al análisis de los bloques (Peso) y de los tratamientos (tiempo *post mortem*), se tiene diferencia significativa ($P < 0.05$) para la interacción de factores, por lo cual se rechaza H_0 , es decir, se descarta la no interacción entre los factores (Peso y tiempo *post mortem*) y se acepta la interacción ellos, los cuales influyen en el valor de pH.

La decisión de rechazar H_0 , con base en la prueba de hipótesis, se presenta en la figura 37, la interacción de los factores; Peso y tiempo *post mortem*; para el pH. Se destaca que no existen líneas paralelas, por lo tanto la relación entre el tiempo *post mortem* y el pH, está determinada por el Peso. De acuerdo con esta figura (figura 37), con el Peso 1 se obtuvo un pH alto con un tiempo *post mortem* de 4 h, mientras tanto un valor de pH bajo con 12 h; con el Peso 2 se obtuvo un valor máximo de pH con el tiempo *post mortem* de 8 h, mientras el mínimo con 6 h; con el Peso 3, el valor más alto de pH se observó con un tiempo *post mortem* de 6 h, mientras que el más bajo con 12 h.

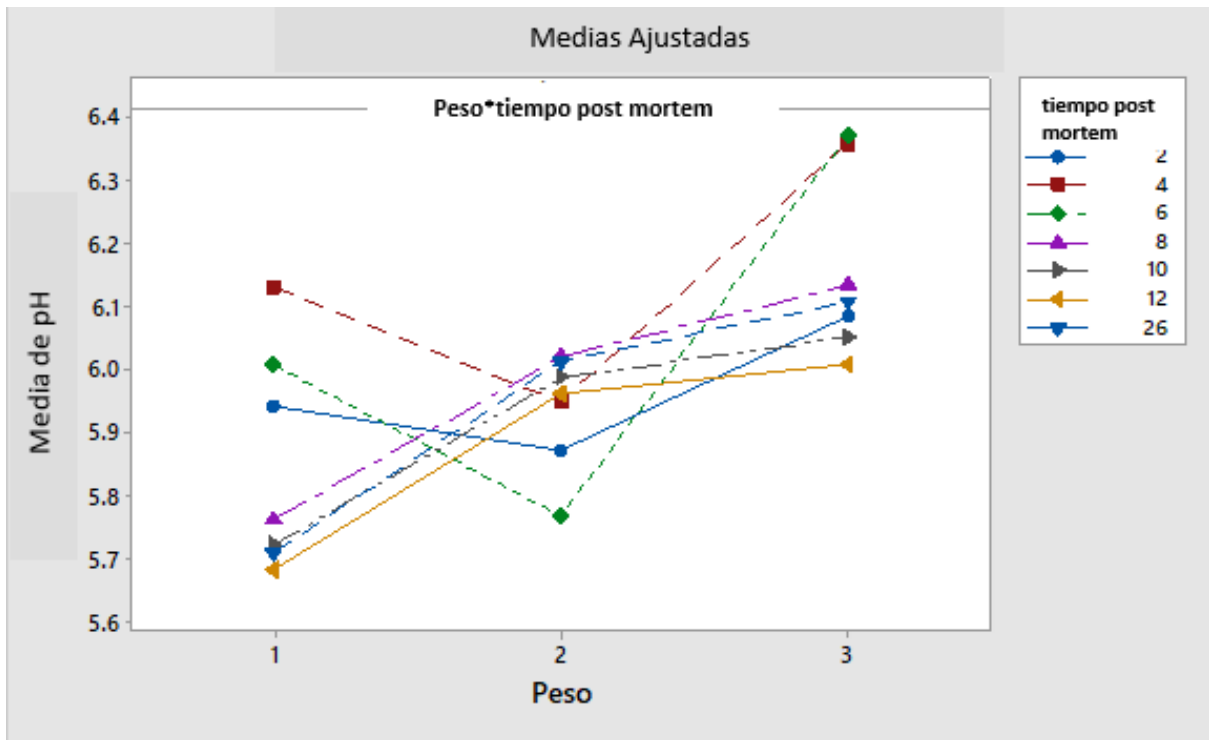


Figura 37.- Gráfica de interacción obtenida para pH

Destaca (figura 37), el establecimiento del *Rigor mortis* a partir de las 4 h *post mortem*, para los Pesos 1 y 3, y a partir de aquí continua el descenso de pH de manera gradual hasta las 12 h posteriores al sacrificio, mas no así para el Peso 2, cuya curva de descenso de pH no muestra el establecimiento del *Rigor mortis*. De acuerdo con Khan (1975), la aparición del *Rigor mortis* no se desencadena a un pH específico, aunque ocurre independientemente del pH cuando se utiliza más del 60% del ATP inicial (Khan, 1975 citado en Lyon & Bhur. 1999), por lo tanto, la evolución del pH del Peso 2 tuvo como principal característica dicho comportamiento. Referente a los Pesos 1 y 3, la evolución del pH se considera normal, ya que como argumenta Liu et al. (2004), se tiene un descenso gradual a partir de las 2 a 4 h posteriores al sacrificio.

Como se mencionó anteriormente, existe interacción entre los factores Peso y tiempo *post mortem*, los cuales influyen de manera directa en la evolución del pH. Para ello, se continúa con el efecto de los tratamientos (tiempo post mortem) y de

los bloques (Peso), ya que no se puede considerar el efecto de uno sin el efecto del otro. Se propusieron las siguientes hipótesis:

- **Tratamientos (tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{t1} = \mu_{t2} = \mu_{t3} = \mu_{t4} = \mu_{t5} = \mu_{t6} = \mu_{t7}$$

$$H_1: \mu_{t1} \neq \mu_{t2} \neq \mu_{t3} \neq \mu_{t4} \neq \mu_{t5} \neq \mu_{t6} \neq \mu_{t7}$$

- **Bloques (Peso):**

$$H_0: \mu_{P1} = \mu_{P2} = \mu_{P3}$$

$$H_1: \mu_{P1} \neq \mu_{P2} \neq \mu_{P3}$$

De acuerdo con el análisis estadístico, existe diferencia significativa ($P < 0.05$) para los tratamientos (tiempo *post mortem*), por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0), es decir, las medias de los tratamientos no son iguales o por lo menos una de ellas es diferente. En el caso de los bloques (Peso) existe también diferencia significativa ($P < 0.05$), por lo cual se rechaza H_0 , dado que las medias de los bloques no son iguales o por lo menos una de ellas no lo es.

En la figura 38 se muestra el gráfico de efectos principales, en primer lugar se tiene al Peso, el cual muestra efecto en sus tres categorías. Se tiene el valor medio de pH más alto con el peso 3, un valor intermedio con el peso 2 y el más bajo con el peso 1. De acuerdo con Abdullah & Matarneh (2010), Glamoclija et al. (2015) y Liu et al. (2004); el valor del pH se modifica por el peso (indicativo del rendimiento alimento/peso), que se traduce en las reservas de glucógeno muscular, de aquí que sea coherente el efecto del Peso sobre el pH, es decir a mayor peso mayores serán las reservas de glucógeno muscular, por lo tanto se obtendrá un valor de pH alto con el mayor peso.

Cabe recordar que, la glucólisis anaeróbica causa la utilización rápida del glucógeno muscular y tiene como resultado la acumulación de ácido láctico como producto residual; a medida que el ácido láctico se acumula, el pH muscular desciende desde 7.1 hasta un pH final metabólico de 5.4, por debajo de la cual se inhibe la glucólisis (de Framery & Lineweaver, 1962; Stewart, et al., 1984; McGinnis, et al, 1989; citados en Lyon & Buhr, 1999), de acuerdo a lo anterior se

puede decir que, el pH final obtenido es muy cercano a lo reportado en la literatura aunque un poco superior.

Continuando en la figura 38, pero ahora con el factor tiempo *post mortem*, es posible apreciar una marcada diferencia a partir de 4 h (se establece el *Rigor mortis*), disminuyendo gradualmente el valor del pH hasta las 12 h, lo cual pone de manifiesto la etapa de resolución del *Rigor mortis*. La magnitud del descenso del pH y la cantidad de ácido láctico acumulado en el tiempo *post mortem* depende de la cantidad de glucógeno presente en el tejido en el momento de la muerte (Lyon & Buhr, 1999). El descenso de pH obtenido muestra un comportamiento cercano al reportado por Lyon & Burh (1999) y por Abdullah & Matarneh (2010), aunque no se puede decir que es igual puesto que ellos utilizaron diferentes categorías de peso.

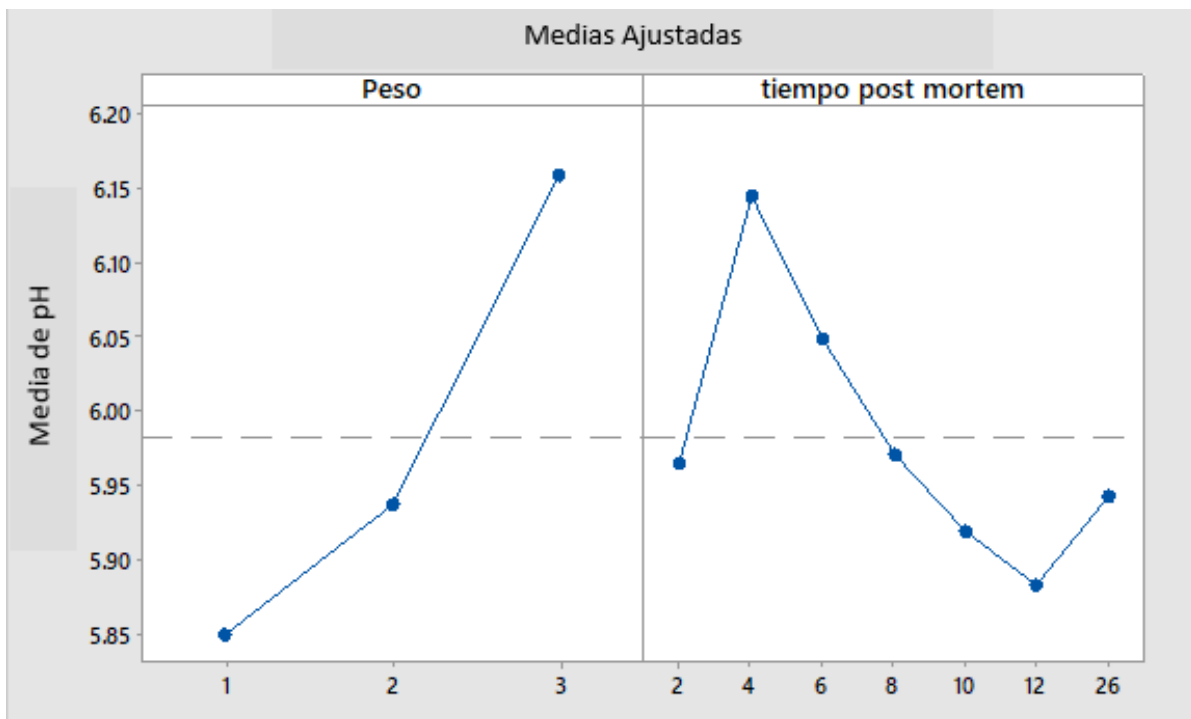


Figura 38.- Gráfica de efectos principales obtenida para pH

3.6.2. Actividad de Agua (a_w)

Con base en los resultados obtenidos del análisis de varianza para la a_w , se propuso la siguiente hipótesis para la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem*:

- **Interacción (Peso*tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{P1} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) = \mu_{P2} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) = \mu_{P3} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7})$$

$$H_1: \mu_{P1} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) \neq \mu_{P2} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) \neq \mu_{P3} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7})$$

De acuerdo con el análisis estadístico (análisis de varianza), se tiene diferencia significativa ($P < 0.05$), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) para la interacción, Peso*tiempo *post mortem*; se puede decir que si existe una interacción entre estos factores; y dicha interacción influye directamente en la a_w .

En la figura 39, se tiene la gráfica de la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem*, sobre la a_w ; es posible apreciar que no existen líneas paralelas, por lo cual, la relación entre el tiempo *post mortem* y la a_w , está condicionada por el Peso.

Haciendo mención nuevamente a la figura 39; destaca con el Peso 1, un valor máximo de a_w con el tiempo *post mortem* de 8 h, mientras el mínimo con 6 h; con el Peso 2, se obtuvo el valor más alto de a_w con el tiempo *post mortem* de 12 h, mientras el más bajo se observó con 8 h; con el Peso 3, el valor más grande de a_w fue con 10 h y el valor más bajo fue con 12 h posteriores al sacrificio. Se pone de manifiesto que, la evolución de la a_w no es similar a la del pH, puesto que no se tienen curvas de ascenso o descenso en el valor de a_w , esto se debe a la naturaleza de la a_w , cuyo comportamiento no es acumulativo ni degradativo respecto al tiempo.

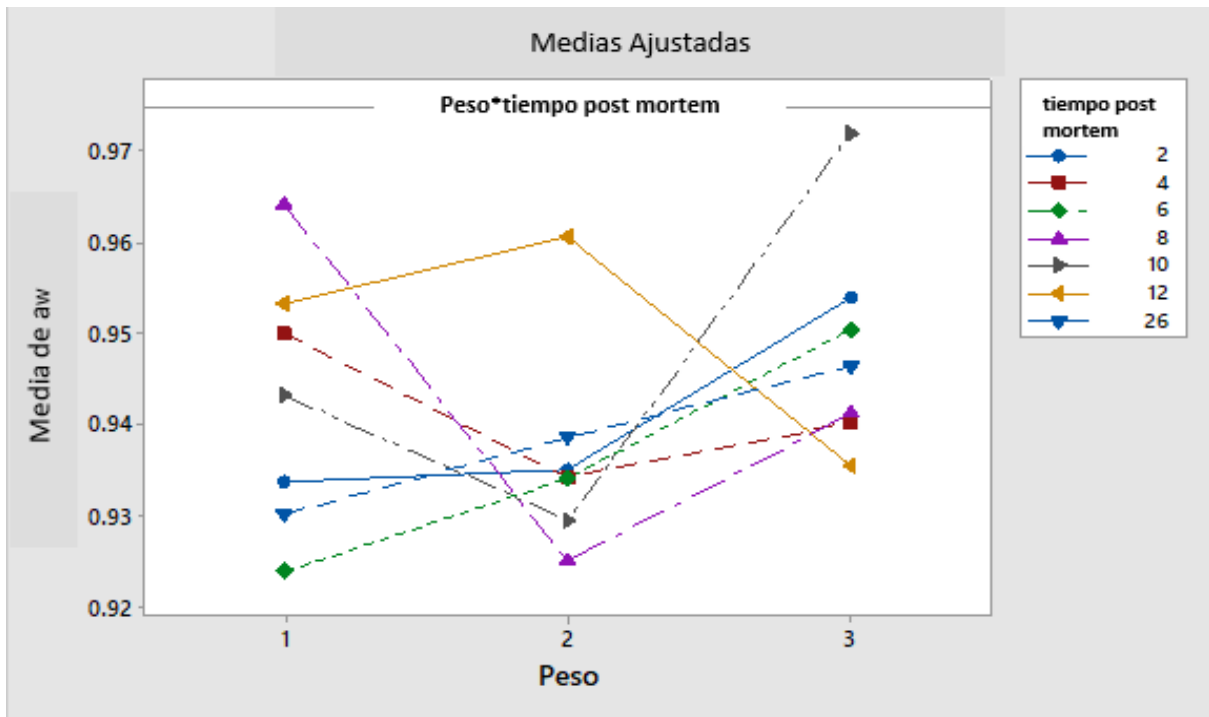


Figura 39.- Gráfica de interacción obtenida para a_w

La a_w por sí misma es una medida del agua disponible o libre y en base a este parámetro, es que se puede predecir la vida útil de un producto, es una propiedad intrínseca y se relaciona de manera no lineal con el contenido de humedad mediante las isothermas de adsorción y desorción; también está en función de los sólidos que contenga el alimento (Badui, 2013). En esta experimentación el rango obtenido de a_w fue entre 0.92 y 0.99, según Scott (1957), la a_w en las carnes frescas frecuentemente es de 0.99 lo que las hace susceptibles a la alteración por ser favorable a un amplio rango de microorganismos (Scott, 1957 citado en Lawrie, 1967). Como se puede apreciar (figura 39), en todos los casos se tiene una a_w cercana al valor de referencia, sin embargo, ligeramente menor. De la Cruz (2011) en su trabajo de investigación reportó un rango de a_w entre 0.90 y 0.92, sin embargo no puede ser comparada puesto que se trata de otro tipo de carne diferente a la de pollo. No se encontró en la literatura datos acerca de la evolución de la a_w para la carne de pollo, solamente datos puntuales, los cuales indican según Badui (2013), Fennema (2000) y Belitz & Grosch (2012), que para este tipo de carne es de 0.9.

En base a la prueba de hipótesis anterior, se puede decir que existe interacción entre los factores, Peso y tiempo *post mortem*, cuya relación influye directamente sobre el valor de a_w , por lo que no se deberá de considerar un factor sin el otro. Se analizó por separado a los factores, para lo cual se propusieron las siguientes hipótesis:

- **Bloques (Peso):**

$$H_0: \mu_{P1} = \mu_{P2} = \mu_{P3}$$

$$H_1: \mu_{P1} \neq \mu_{P2} \neq \mu_{P3}$$

- **Tratamientos (tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{t1} = \mu_{t2} = \mu_{t3} = \mu_{t4} = \mu_{t5} = \mu_{t6} = \mu_{t7}$$

$$H_1: \mu_{t1} \neq \mu_{t2} \neq \mu_{t3} \neq \mu_{t4} \neq \mu_{t5} \neq \mu_{t6} \neq \mu_{t7}$$

En el caso de los bloques (Peso) se obtuvo del análisis de varianza, un valor P igual a el nivel de confianza ($P = 0.05$), existiendo diferencia significativa entre bloques, por lo que se rechaza H_0 de medias iguales, existiendo por lo menos una media diferente en el Peso. Ahora con los tratamientos (tiempo *post mortem*), y en base al análisis de varianza no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$), por lo cual no se rechaza H_0 , puesto que las medias de los tratamientos no difieren de manera significativa.

En la figura 40, para el factor Peso, se tiene un valor mayor de a_w con el peso 3, un valor intermedio y cercano a la media con el Peso 1, sin embargo, con el Peso 2 se obtuvo un valor de a_w menor, respecto a los anteriores.

El efecto que el peso ofrece sobre la a_w , se podría reflejar en el contenido de humedad y su disponibilidad, siendo el peso 1 el factor que ofrezca el menor efecto en comparación con el del peso 3. Durante la conversión del músculo en carne, el contenido de agua muscular, localización, movilidad y disponibilidad cambian como una función de numerosas interacciones de factores (Pearce, Rosenvold, Andersen & Hopkins, 2011). Una vez que el músculo es críticamente

bajo en ATP, las cabezas de miosina comienzan a permanecer unidas a los filamentos de actina, dando lugar a la formación del complejo actomiosina (Rawn, 1989 citado en Pearce, et al., 2011) provocando que el músculo se vuelva inextensible. Esta contracción resulta de la reducción de espacio para el agua en los miofilamentos (Lawrie, 1967).

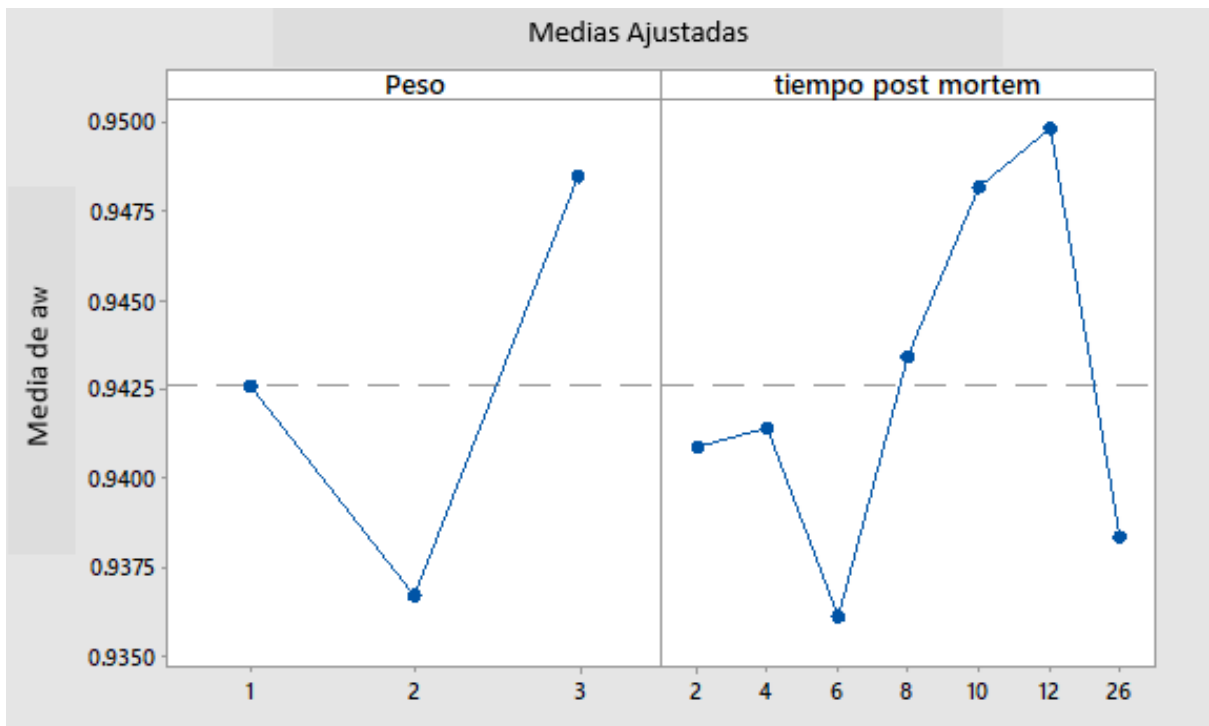


Figura 40.- Gráfica de efectos principales obtenida para a_w

El peso de la canal es un factor que influye en la a_w , debido a la modificación de los espacios para el agua en los miofilamentos que tiene lugar durante la transformación del músculo en carne, y a la disponibilidad del agua, ya que pudiera estar asociada a proteínas (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Continuando en la figura 40, pero ahora para el caso del efecto del tiempo *post mortem* sobre la a_w , se puede apreciar que tiende a aumentar la a_w , a partir de las 6 h hasta las 12 h posteriores al sacrificio, para caer finalmente en el tiempo *post*

mortem de 26 h, esto se pudiera explicar por las mismas razones que con el Peso, debido a que, conforme avanza el tiempo *post mortem* desciende el pH, resultando en la modificación del agua disponible y con ello la a_w , debido a su asociación con proteínas o a la inmovilización de esta por la acción del pH sobre la estructura de las proteínas (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005). En general el a_w aumenta conforme avanza el tiempo *post mortem* y disminuye después de cesar la producción de ácido láctico (26 h *post mortem*), lo cual resulta coherente si se considera que, la disponibilidad del agua (a_w) aumenta al modificarse la longitud del sarcómero y con ello el tamaño de los espacios de los miofilamentos (Pearce, et al., 2011), obteniendo de ello una disminución del tamaño de los espacios entre miofilamentos ocasionando una mayor disponibilidad del agua intramuscular y juntamente un aumento en la a_w .

3.6.3. Acidez Titulable (AT)

De acuerdo al análisis de varianza, para la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem*, sobre el valor de AT, se propuso la siguiente hipótesis:

- **Interacción (Peso*tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{P1} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) = \mu_{P2} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) = \mu_{P3} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7})$$

$$H_1: \mu_{P1} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) \neq \mu_{P2} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) \neq \mu_{P3} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7})$$

Obteniéndose del análisis de varianza diferencia significativa ($P < 0.05$), por lo que se rechaza H_0 y se acepta que dicha interacción influye en la AT.

En la figura 41, se tiene la gráfica para la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem*. Es posible observar que, no existen líneas paralelas, por lo que la relación entre la AT y el tiempo *post mortem* está condicionada por el Peso. De igual manera, se aprecia que con el Peso 1, el valor mayor de AT corresponde al tiempo *post mortem* de 26 h, mientras el menor se observó a las 6 h; con el Peso 2, el valor máximo de AT se observó a las 8 h posteriores al sacrificio, mientras el valor mínimo se observó a las 2 h; finalmente, con el Peso 3, el valor

de AT más grande se obtuvo a las 26 h *post mortem*, mientras que el más pequeño se observó a las 2 h.

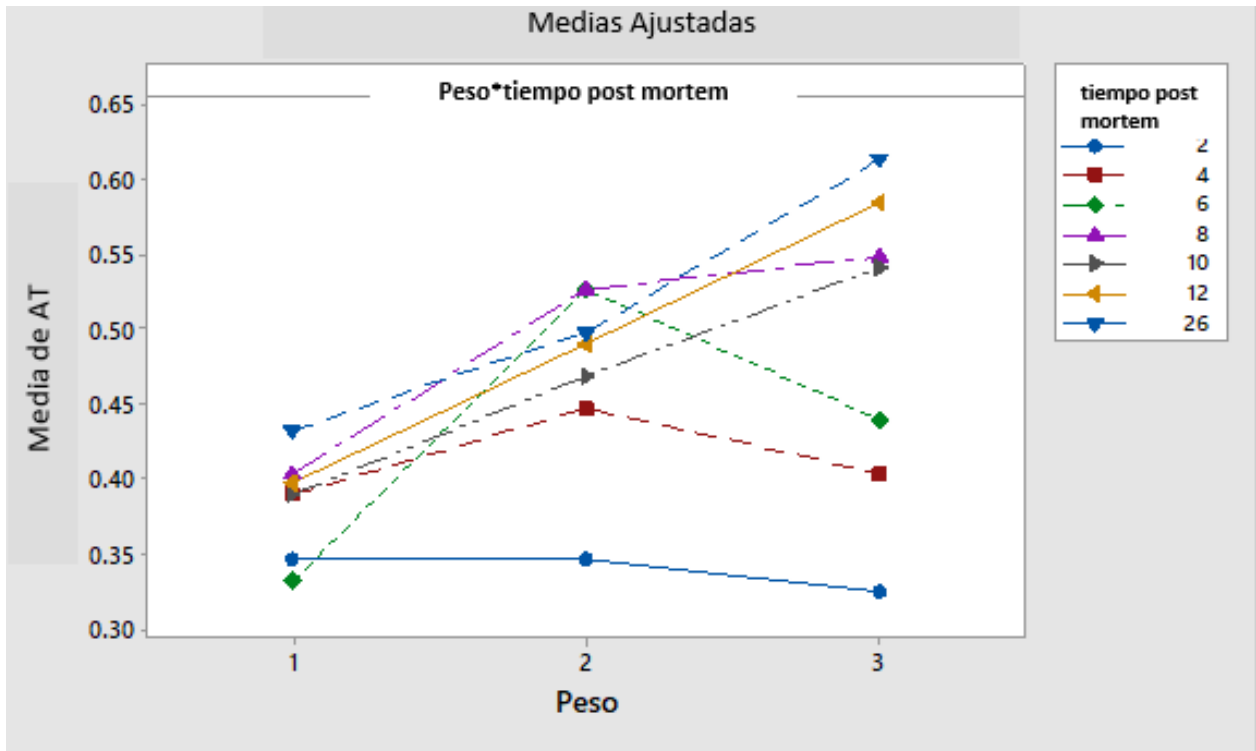


Figura 41.- Gráfica de interacción obtenida para AT

Se destaca en general (figura 41), que el valor máximo de AT se presentó a las 26 h *post mortem*, mientras que el mínimo a las 2 h. Respecto al Peso, el valor máximo de AT se obtuvo con el mayor (Peso 3), mientras el mínimo se observó con el menor (Peso 1). De acuerdo con el trabajo desarrollado por Gómez y Gómez (2013), los resultados de AT que obtuvieron se encuentran dentro del rango de 0.34 y 1.46 para el músculo *Pectoralis major* de pollo, en este caso se obtuvieron valores de AT comprendidos dentro de dicho rango, que se traducen como la producción de ácido láctico *post mortem*, de acuerdo con Lyon & Buhr (1999), el músculo después de la muerte se acidifica, debido a la acumulación de ácido láctico, el cual procede de la degradación del glucógeno por medio de la glucólisis anaeróbica, en un proceso que libera energía en forma de ATP, el cual mantiene la extensibilidad del musculo, cuando se agota el musculo entra en la

fase de *Rigor mortis* y se vuelve inextensible. El músculo *Pectoralis major* de pollo, es un músculo en el cual el sistema glucolítico anaeróbico es el predominante, que en general está involucrado en los estallidos esporádicos y bruscos de actividad en los que se requieren grandes cantidades de energía (Fennema, 2000). Durante la glucólisis anaerobia, el glucógeno es convertido a través de una serie de compuestos fosforilados de seis y tres átomos de carbono a piruvato, que a continuación es reducido a lactato (Fennema, 2000).

De acuerdo a la prueba de hipótesis anterior, se obtuvo que la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem*, influyen en el valor de AT, por lo cual el efecto de un factor no puede ser considerado independiente del otro, para el análisis de varianza de bloques (Peso) y tratamientos (tiempo post mortem), se propusieron las siguientes hipótesis:

- **Bloques (Peso):**

$$H_0: \mu_{P1} = \mu_{P2} = \mu_{P3}$$

$$H_1: \mu_{P1} \neq \mu_{P2} \neq \mu_{P3}$$

- **Tratamientos (tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{t1} = \mu_{t2} = \mu_{t3} = \mu_{t4} = \mu_{t5} = \mu_{t6} = \mu_{t7}$$

$$H_1: \mu_{t1} \neq \mu_{t2} \neq \mu_{t3} \neq \mu_{t4} \neq \mu_{t5} \neq \mu_{t6} \neq \mu_{t7}$$

Con el análisis de varianza se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) para los bloques (Peso), por lo cual se rechaza H_0 de medias iguales y en base a evidencia se puede decir que por lo menos una media es diferente. Con los tratamientos (tiempo post mortem) se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$), por lo cual se rechaza H_0 para los tratamientos, descartando la igualdad de medias entre estos.

El efecto del Peso (figura 42) sobre la AT, a medida que el Peso es mayor se tiene una producción de ácido láctico mayor, de acuerdo con Lyon & Buhr (1999), la cantidad de ácido láctico acumulado en el periodo *post mortem* depende de la cantidad de glucógeno presente en el momento de la muerte. Se observa entonces, que con el Peso 1, se obtuvo una cantidad menor de ácido láctico;

mientras que conforme aumento el Peso (Peso 2 y 3), también lo hizo la cantidad de ácido láctico.

En la figura 42, pero ahora con el factor tiempo *post mortem*, es posible apreciar en general que, destaca el aumento en la producción de ácido láctico (aumento de AT) conforme este avanza. El tiempo *post mortem*, el grado de glucólisis *post mortem*, los descensos de ATP y pH, temperatura y el grado de acortamiento muscular, así como las circunstancias de la muerte, influyen directamente en la calidad de la carne (Lister et al, 1970 citado en Lyon & Buhr, 1999). De igual manera se puede apreciar que la gráfica descrita por la AT en el tiempo *post mortem* se asemeja a un percentil, ya que la cantidad de ácido láctico se acumula conforme avanza el tiempo *post mortem* y se expresó a manera de porcentaje.

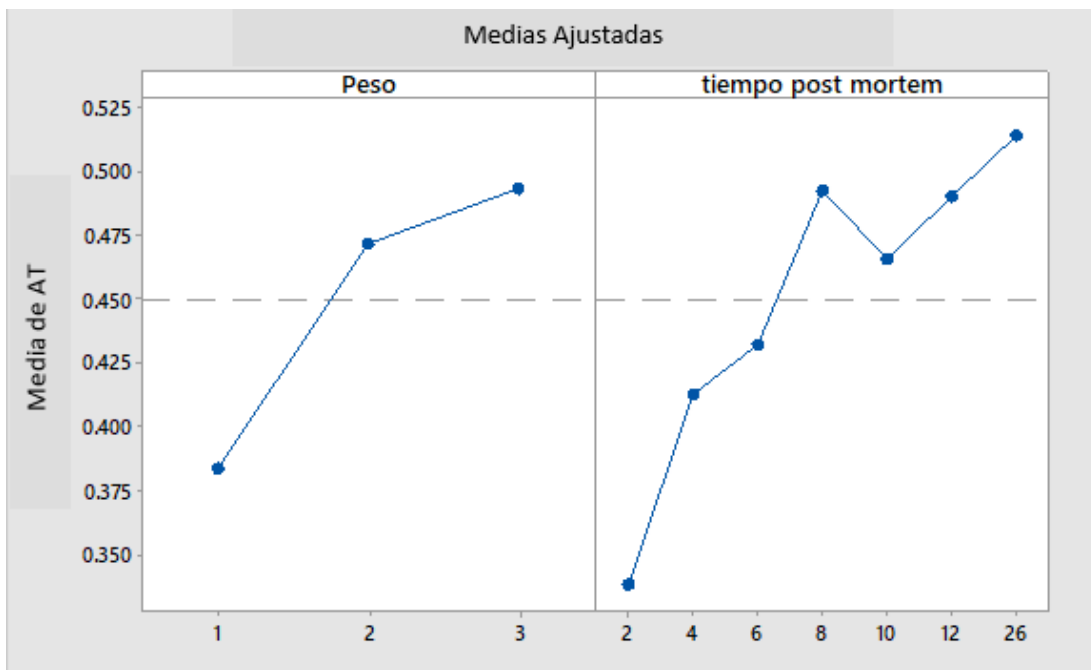


Figura 42.- Gráfica de efectos principales obtenida para AT

3.6.4. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Se propuso la siguiente hipótesis, para la interacción de los factores, Peso y tiempo post mortem, sobre el valor de CRA:

- **Interacción (Peso*tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{P1} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) = \mu_{P2} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) = \mu_{P3} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7})$$

$$H_1: \mu_{P1} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) \neq \mu_{P2} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7}) \neq \mu_{P3} * (\mu_{t1} \dots \mu_{t7})$$

Conforme al análisis de varianza, se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) entre medias, por lo tanto se asume que por lo menos una media es diferente, rechazando H_0 , es decir la interacción de estos factores afecta el valor de CRA.

En la figura 43, se tiene la gráfica para la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem*, sobre el valor de CRA. Se observa que no existen líneas paralelas, lo cual indica que la relación entre el tiempo *post mortem* y la CRA está determinada por el Peso. Al igual, es posible apreciar que con el Peso 1, el valor más alto de CRA corresponde al tiempo posterior al sacrificio de 12 h, mientras el más bajo se observó con 2 h; con el Peso 2, el valor máximo de CRA se obtuvo con 2 h post mortem y el mínimo con 4 h; con el Peso 3, la CRA mas alta se observó a las 26 h posteriores a la muerte y la más baja a las 2 h. No se encontró en la literatura información acerca de la evolución de la CRA respecto al tiempo *post mortem*, solo se encontraron datos puntuales, como señala Rengifo y Ordóñez (2010), la CRA para el músculo *Pectoralis major* de pollo es de 22.5; en cambio Gómez y Gómez (2013) encontraron un rango de CRA de 10 a 22.61, y para este trabajo el rango de CRA estuvo entre 10 y 25.

De acuerdo con Varnam y Sutherland (1998), la CRA de la carne, desciende al disminuir el pH debido a la disminución de las uniones iónicas. Al mismo tiempo la retracción lateral de las miofibrillas expelle agua simplemente por la disminución del espacio entre los filamentos. Se conoce también que, la CRA de la carne, de

gran importancia en muchos procesos tecnológicos, es dependiente del pH y del medio iónico en el que se encuentren las proteínas, por lo tanto es mínima en el intervalo de pH de 5.0-5.5 (Belitz y Grosch, 2012).

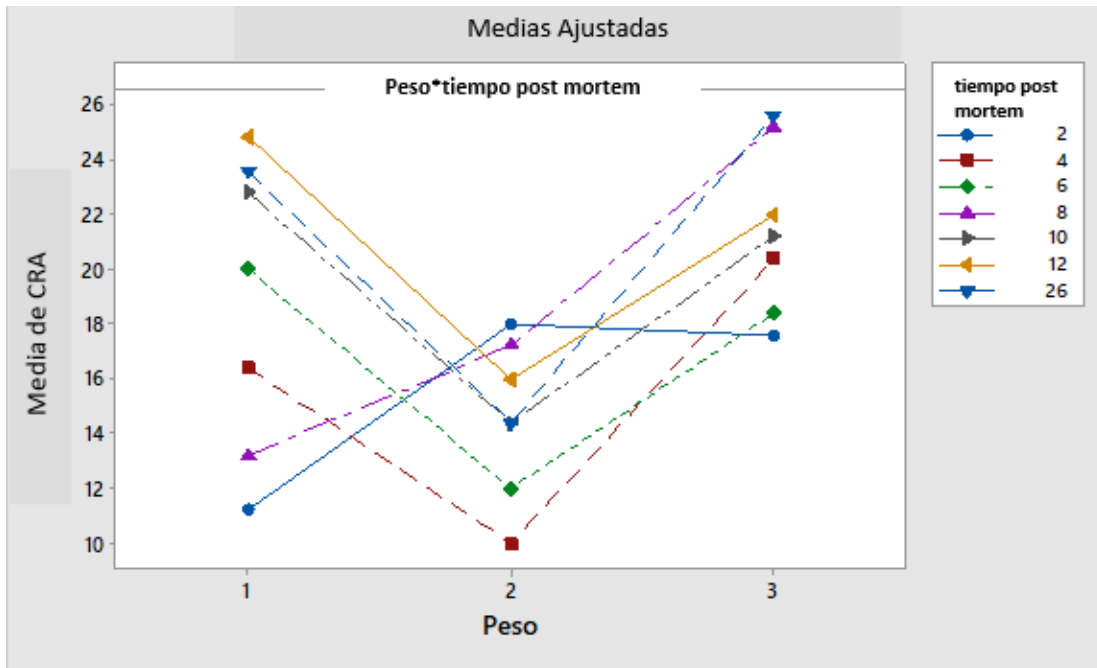


Figura 43.- Gráfica de interacción obtenida para CRA

De acuerdo al análisis de varianza anterior se encontró que la interacción de los factores (Peso y tiempo *post mortem*) influye de manera directa en la CRA, ahora para los bloques (Peso) y los tratamientos (tiempo post mortem), se propusieron las siguientes hipótesis, con el fin de determinar el efecto de los bloques y de los tratamientos:

- **Bloques (Peso):**

$H_0: \mu_{P1} = \mu_{P2} = \mu_{P3}$

$H_1: \mu_{P1} \neq \mu_{P2} \neq \mu_{P3}$

- **Tratamientos (tiempo *post mortem*):**

$H_0: \mu_{t1} = \mu_{t2} = \mu_{t3} = \mu_{t4} = \mu_{t5} = \mu_{t6} = \mu_{t7}$

$H_1: \mu_{t1} \neq \mu_{t2} \neq \mu_{t3} \neq \mu_{t4} \neq \mu_{t5} \neq \mu_{t6} \neq \mu_{t7}$

Según el análisis de varianza se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) para los bloques (Peso), por lo cual se descarta la H_0 y se asume que por lo menos una media es diferente. Con los tratamientos (tiempo *post mortem*), igualmente se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$), por lo tanto se descarta H_0 y se asume que existe por lo menos una media diferente.

En la figura 44, con el efecto del Peso, se observa que el valor medio de CRA más alto lo proporciona el Peso 3, mientras que con el Peso 2 se obtuvo el valor medio de CRA más bajo, finalmente con el Peso 1, se obtuvo un valor medio de CRA intermedio. En primera instancia cabe recordar que, la CRA se define como la capacidad de la carne de retener su agua durante la aplicación de fuerzas externas, como lo son cortes, calentamiento, trituración y prensado. Sin embargo, durante una aplicación más suave de cualquiera de estos tratamientos, existe una cierta pérdida de humedad, debido a que una gran parte del agua presente en la carne se encuentra en forma libre (Forrest, et al., 1979). Ahora bien, como puede observarse el Peso es determinante en la CRA, debido a que esta se modifica según la disponibilidad del agua. El Peso pudiera ser un indicativo de la presencia de una mayor cantidad de grasa intramuscular, lo que conllevaría a una variación en la disponibilidad del agua, debido a su interacción de esta con las proteínas miofibrilares (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

Durante la conversión del músculo en carne y maduración, el agua miofibrilar puede ser movilizada debido a la alteración de la estructura de la célula muscular y cambios en el pH (Hoff-Lonergan & Lonergan, 2005). El agua inmovilizada comprende por arriba del 85% del agua muscular. Esta se localiza dentro de los filamentos gruesos y entre los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla (Honikel, 1996). Por último se tiene la fracción de agua conocida como agua libre, la cual puede ser fácilmente movilizada, a través de fuerzas físicas menores, formadas al encogerse las miofibrillas en el *Rigor mortis* (definido como el momento en el cual no hay ATP disponible para la liberación de la miosina desde el complejo actomiosina (Honikel, 2004). La movilidad de esta fracción del agua es libre y no se observa fácilmente en la carne pre rigor (Pearce, et al., 2011).

Continuando en la gráfica de la figura 43, pero ahora con el factor tiempo *post mortem*, es posible observar que no existe efecto con el tiempo *post mortem* de 2 y 4 h, que de acuerdo con Pearce et al. (2011), menciona que la movilidad del agua libre no se observa fácilmente en la carne pre rigor. Se destaca de igual forma que, a partir de las 4 h posteriores al sacrificio y hasta las 26 h, el valor medio de CRA aumenta; a diferencia de otro tipo de carnes, la carne de pollo, en especial la de la pechuga (músculo Pectoralis major), muestra un rango de pH superior al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares, por lo cual la CRA tiende a aumentar.

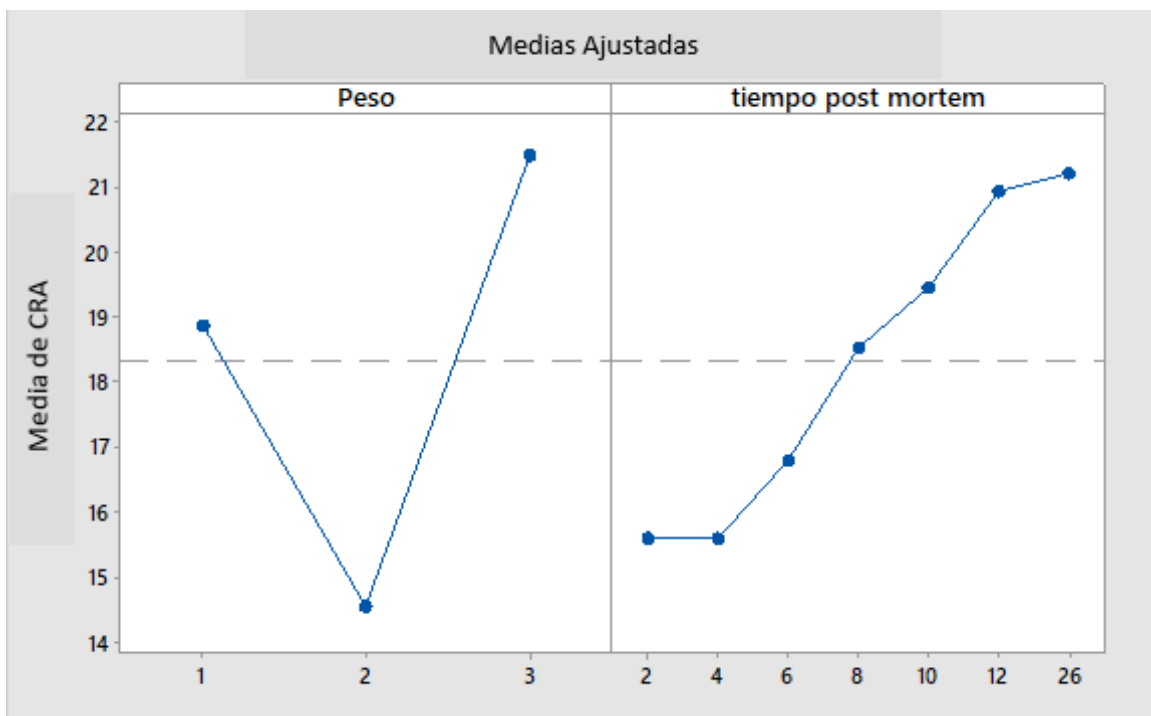


Figura 44.- Gráfica de efectos principales obtenida para CRA

3.6.5. Resistencia a la Deformación (RD)

Se propuso la siguiente hipótesis, para la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem* y su efecto en el valor de RD:

- **Interacción (Peso*tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{P1} * (\mu_{t4... \mu_{t6}}) = \mu_{P2} * (\mu_{t4... \mu_{t6}}) = \mu_{P3} * (\mu_{t4... \mu_{t6}})$$

$$H_1: \mu_{P1} * (\mu_{t4... \mu_{t6}}) \neq \mu_{P2} * (\mu_{t4... \mu_{t6}}) \neq \mu_{P3} * (\mu_{t4... \mu_{t6}})$$

En base al análisis de varianza, se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) para la interacción de factores (Peso y tiempo *post mortem*), por lo cual se rechaza H_0 y se asume que existen diferencias entre medias, o por lo menos una de ellas es diferente, ya que la interacción de dichos factores determinan el valor de RD.

En la figura 45, se tiene la gráfica de la interacción de los factores, Peso y tiempo *post mortem* y su efecto en la RD. Se observa que no existen líneas paralelas, lo cual quiere decir que la relación entre el tiempo *post mortem* y la RD está determinada por el Peso. Destaca que, con el Peso 1, se obtuvo el valor más alto de RD con el tiempo *post mortem* de 11 h, mientras el más bajo con 2 h; con el Peso 2, se observó un valor máximo de RD a las 10 h posteriores al sacrificio y el mínimo con 9 h; finalmente con el Peso 3, el valor de RD más alto se obtuvo a las 10 h posteriores a la matanza, mientras el más bajo fue con 12 h. No se encontraron valores de RD en la literatura, ni su evolución durante el periodo *post mortem*, dado que no es un parámetro de calidad, sino que se manejó como parámetro físico indicativo de terneza. Se conoce que el aumento en la terneza se debe a la degradación de las proteínas como la titina, nebulina, actina y miosina que da como resultado la pérdida de tensión y cambios en la estructura de las miofibrillas (Hui, et al., 2006). Al igual, la cantidad de tejido conectivo del músculo afecta la textura de la carne, en aquellos músculos especializados en realizar ejercicios vigorosos durante la vida del animal, sin embargo, un músculo poco

ejercitado, como el *Pectoralis major* de pollo, posee una textura fina (Forrest, et al., 1979).

La terneza de la carne es probablemente el factor más importante que afecta la calidad que percibimos y aumenta por la maduración durante el almacenamiento (resolución del *Rigor mortis*). La velocidad de tenderización involucra numerosos factores, pero la proteólisis y el aumento *post mortem* de la presión osmótica parecen ser los más importantes (Varnam y Sutherland, 1998). La CRA se relaciona con la terneza de la carne, ya que, cuanto mayor sea la cantidad de agua ligada a la estructura más hinchado estará el músculo y más blanda y jugosa estará la carne (Belitz y Grosch, 2012).

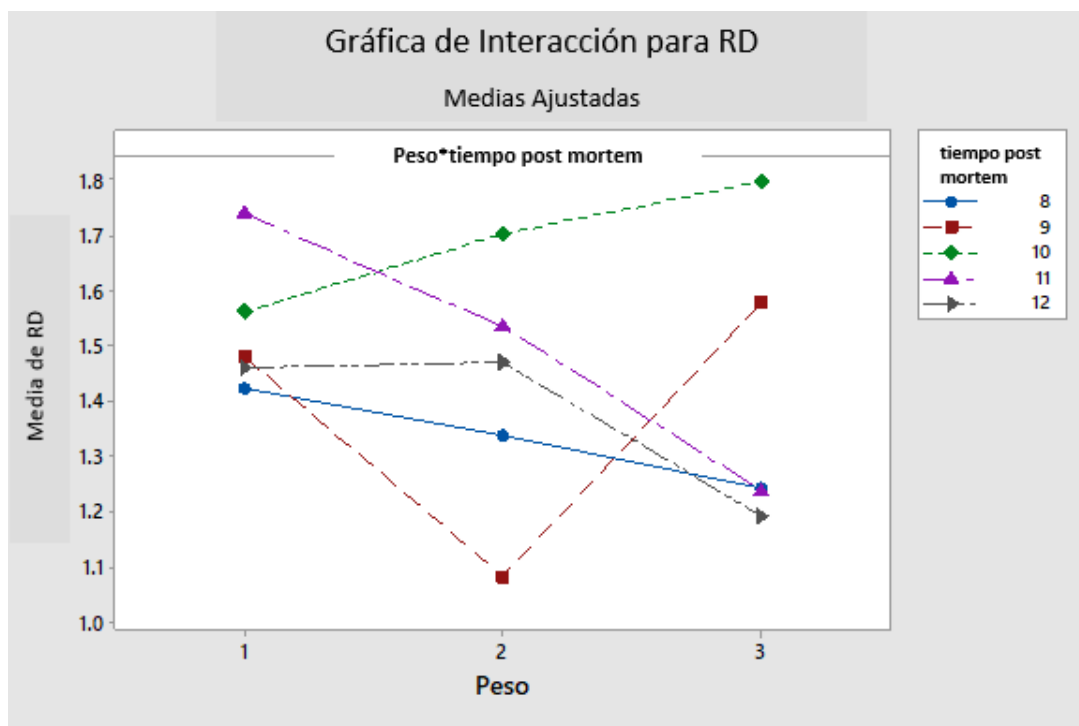


Figura 45.- Gráfica de interacción obtenida para RD

En el análisis de varianza anterior se obtuvo que la relación de los factores, Peso y tiempo post mortem, influyen de manera directa sobre el valor de RD, ahora para el efecto de bloques (Peso) y tratamientos (tiempo post mortem), se propusieron las siguientes hipótesis;

- **Bloques (Peso):**

$$H_0: \mu_{P1} = \mu_{P2} = \mu_{P3}$$

$$H_1: \mu_{P1} \neq \mu_{P2} \neq \mu_{P3}$$

- **Tratamientos (tiempo *post mortem*):**

$$H_0: \mu_{t8} = \mu_{t9} = \mu_{t10} = \mu_{t11} = \mu_{t12}$$

$$H_1: \mu_{t8} \neq \mu_{t9} \neq \mu_{t10} \neq \mu_{t11} \neq \mu_{t12}$$

Del análisis de varianza se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$) para los bloques (Peso), por lo cual se descarta H_0 y se asume que existen medias diferentes o por lo menos una de ellas es diferente, Con los tratamientos (tiempo *post mortem*) igual se obtuvo diferencia significativa ($P < 0.05$), por lo tanto se rechaza H_0 y se acepta que las medias son diferentes o por lo menos una de ellas lo es,

En la figura 46 se muestra la gráfica de efectos principales de los factores (Peso y tiempo post mortem), se observó primeramente al Peso y se destaca que el valor de RD disminuye al aumentar el Peso, es decir se tiene mayor RD con el Peso 1, menor RD con el Peso 3 y un valor medio, pero cercano al Peso 3 con el Peso 2. El efecto proporcionado por el Peso, se podría atribuir a la interacción que tienen las proteínas miofibrilares con el agua y con la misma grasa, partiendo de esta premisa se podría deducir que, a medida que el peso aumenta también lo hace la terneza (menor RD). Estas proteínas (actina y miosina) comprenden más de la mitad de las proteínas del músculo esquelético y son los factores principales en la aparición del *Rigor mortis* y su resolución, terneza, CRA, emulsificación y propiedades ligantes de la carne (Lyon & Buhr, 1999).

En la figura 46, se tiene también al tiempo *post mortem* y su efecto en la RD, se observo un valor maximo en la RD a las 10 h *post mortem* y de ahí una disminución. Es importante aclarar, que para este análisis no se consideraron las evaluaciones como con las otras determinaciones, solo se recolectaron datos de RD a partir de las 8 h *post mortem* hasta las 12 h. Por lo cual no es posible observar el comportamiento de la RD durante las primeras horas *post mortem*. Mediante los datos obtenidos, se podría explicar el descenso de la RD a partir de las 10 h *post mortem*, como un periodo más prolongado para la aparición del *Rigor mortis* y para el descenso del pH en los músculos de fibras blancas se debe a la existencia de una mayor cantidad de reserva energética inicial, principalmente en forma de glucógeno (Hay et al., 1973 citado en Lyon & Buhr, 1999).

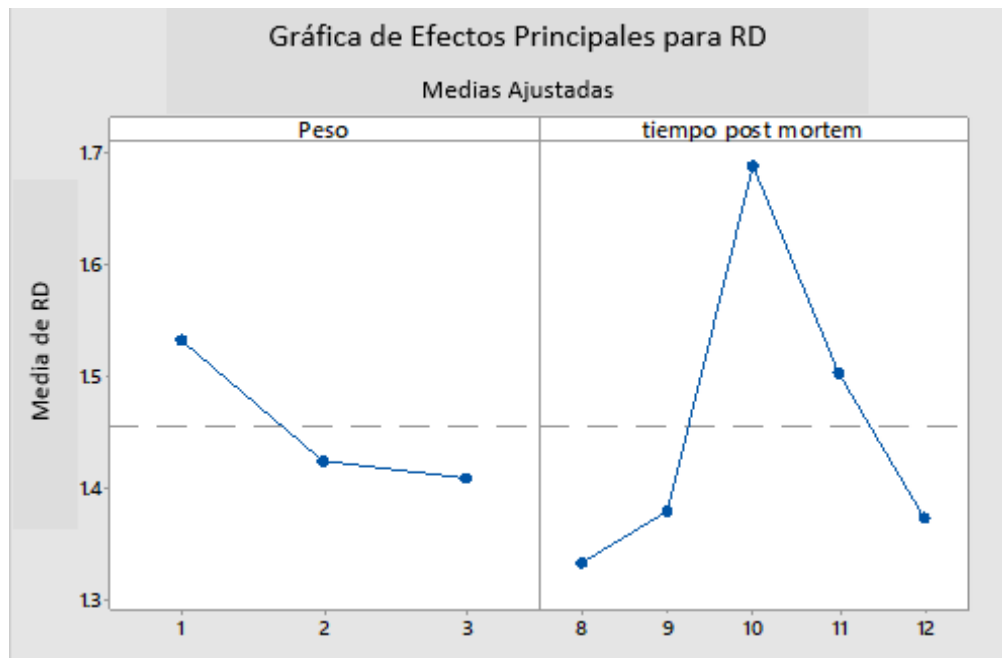


Figura 46.- Gráfica de efectos principales obtenida para RD

3.7. Coeficiente de Correlación de Pearson (r)

Se conoce que, el descenso del pH muscular a consecuencia de la acumulación del ácido láctico es uno de los cambios *post mortem* más significativos que tienen lugar en el músculo durante su conversión en carne (Forrest, et al., 1979). La velocidad de descenso del pH muscular desempeña un papel importante en la textura de la carne y en el periodo apropiado para la fabricación del producto. La ternura puede estar afectada por velocidades tanto muy lentas como muy rápidas de glucólisis *post mortem* inicial. El pH muscular también es crítico para las propiedades ligantes y las características de humedad de la carne. La relación entre la velocidad de cambio de pH y la calidad final de la carne (entendida como CRA, color y dureza) está en función de la temperatura del músculo cuando se alcanza un pH de 6.0 (Lyon & Buhr, 1999).

El descenso de pH por lo tanto, representa un papel muy importante para las funciones de las proteínas que constituyen la carne, por lo cual se planteó para este proyecto, mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), analizar la relación entre datos apareados, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), que pudiera darse entre los parámetros pH, AT, CRA, a_w y RD. El coeficiente de correlación lineal (r) no considera causalidad, por lo cual cualquiera de las dos variables consideradas para cada correlación puede fungir como dependiente o como independiente, ya que solo se pretende establecer si existe una relación lineal o en su defecto la independencia de las variables en cuestión. La finalidad de la correlación es examinar la dirección y la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas. De este modo se conocerá la intensidad de la relación y también se conocerá si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable (Martínez, de Irala y López-Azpiazu, 2001). Los resultados de las correlaciones, se muestran a continuación:

3.7.1. Correlación de Pearson: pH-AT

En el análisis de correlación de Pearson, para el pH y la AT, se dispusieron de 7 datos apareados (bivariantes), para establecer si existe correlación lineal entre ellos, para esto se propuso la siguiente hipótesis:

H₀: r = 0

H₁: r ≠ 0

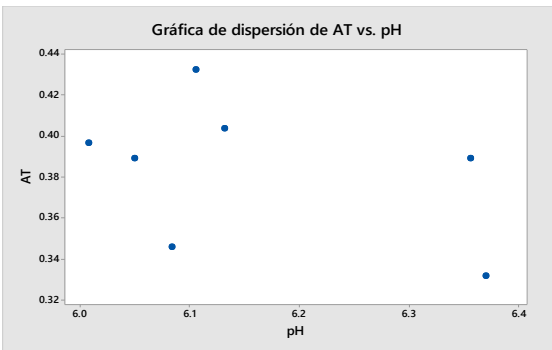
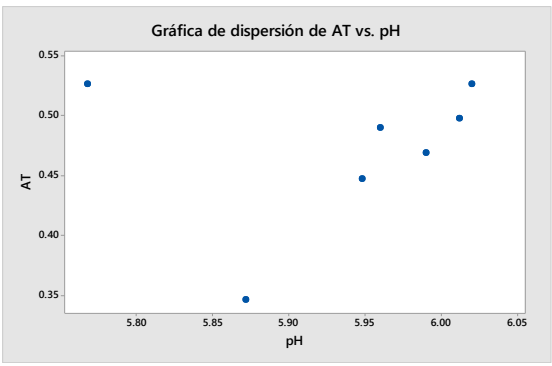
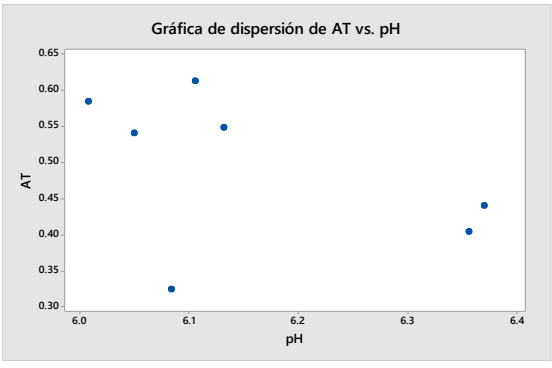
Con el Peso 1 y en base al análisis de correlación, no se rechaza H₀, debido a que la correlación lineal no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), ya que no existe evidencia suficiente para concluir que entre el pH y la AT existe correlación lineal. Como puede observarse en el diagrama de dispersión del cuadro 7, los datos bivariantes no se ajustan a un patrón lineal, con lo cual se reafirma la decisión de no rechazar H₀, sin embargo la magnitud de la correlación es moderada pero al límite de ser débil ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) en un intervalo de confianza de -0.8917 a 0.4853 con un valor de probabilidad del 34.5%.

Con el Peso 2, basado en el análisis de correlación, no se rechaza H₀, es decir la correlación lineal no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), debido a que no existe evidencia suficiente para confirmar que entre el pH y la AT existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 7, se observa que los datos se ajustan a un patrón lineal, pero la magnitud de la correlación es débil ($|r| < 0.3$), en un intervalo de confianza de -0.6743 a 0.8149 con una probabilidad del 73.2%.

Finalmente, con el Peso 3, y en base al análisis de correlación, no se rechaza H₀, debido a que la correlación lineal no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), porque no se cuenta con evidencia suficiente para confirmar que entre el pH y la AT existe correlación lineal. En el cuadro 7 se muestra el diagrama de dispersión y es posible observar que los datos apareados de pH y AT no se ajustan a un patrón lineal, además de que la magnitud de r es moderada pero al límite de ser débil ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) en un intervalo de confianza de -0.9022 a 0.4433 con un valor de probabilidad del 29.3%.

Se destaca que para los tres Pesos no es posible establecer una correlación lineal entre el pH y la AT, puesto que la evidencia presentada no es suficiente para asegurar una correlación lineal, aunque se conoce que la AT es dependiente del pH (Fennema, 2000), sin embargo Varnam & Sutherland (1998), argumentan que los iones hidrogeno (pH) provienen principalmente de la hidrolisis de ATP y no necesariamente de la acumulación de ácido láctico *post mortem* (AT).

Cuadro 7.- Correlación de Pearson para pH y AT

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		'-0.422 / 0.345	'-0.8917 a +0.4853
2		'+0.160 / 0.732	'-0.6743 a +0.8149
3		'-0.465 / 0.293	'-0.9022 a +0.4433

3.7.2. Correlación de Pearson: pH- a_w

Para el análisis de correlación de Pearson, entre el pH y la a_w , se busca establecer una correlación lineal entre datos apareados ($n=7$), para ello se propuso la siguiente hipótesis:

H₀: $r = 0$

H₁: $r \neq 0$

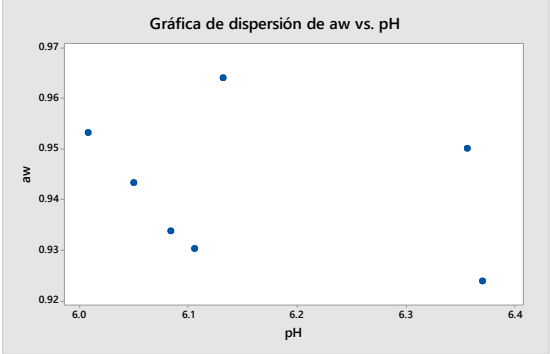
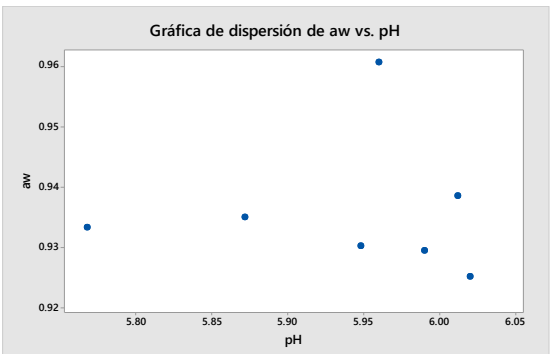
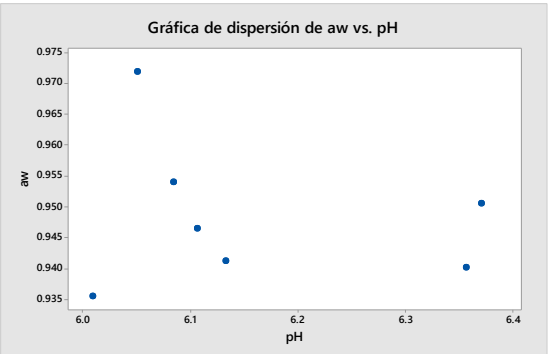
Mediante el análisis de correlación de Pearson, con el Peso 1 no se rechaza H₀, debido a que no se cuenta con evidencia suficiente para afirmar que entre el pH y la a_w existe correlación lineal, es decir la correlación lineal no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$). En el cuadro 8, se observa en el diagrama de dispersión que los datos no se ajustan a un patrón lineal, además de que la magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$), en un intervalo de confianza de -0.8520 a 0.6022 con una probabilidad del 54.8%.

A través del análisis de correlación, con el Peso 2 no se rechaza H₀, porque la evidencia no es suficiente para establecer que existe correlación lineal entre el pH y la a_w , es decir la correlación lineal no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$). Refiriéndose al cuadro 8, se observa en el diagrama de dispersión que los datos no se ajustan a un patrón lineal, y que la magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) al límite de que las variables (pH y a_w) sean independientes ($|r| \approx 0$), en un intervalo de confianza de -0.7557 a 0.7505 con una probabilidad del 99%.

Por medio del análisis de correlación lineal, para el Peso 3 no se rechaza H₀, ya que la correlación lineal no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), es decir la evidencia presentada no es suficiente para sustentar la conclusión de que se trata de una correlación lineal entre el pH y la a_w . La magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$), en un intervalo de confianza de -0.8220 a 0.6623 con una probabilidad del 69.8%, además en el cuadro 8 se observa en el diagrama de dispersión que, los datos no se ajustan a un patrón lineal, con lo cual se confirma la decisión de no rechazar H₀.

En los tres Pesos, no es posible establecer una correlación lineal entre el pH y la a_w , debido a que la evidencia presentada no es suficiente para asegurar que existe correlación lineal. Aunque se conoce que la relación que guarda el pH con la a_w es muy importante, ya que considera en que zona de estabilidad se encuentra un alimento (Badui, 2013), evidentemente no se puede hablar de una correlación lineal entre estas variables (pH y a_w).

Cuadro 8.- Correlación de Pearson para pH y a_w

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		'-0.296 / 0.548	'-0.8520 a +0.6022
2		'-0.006 / 0.990	'-0.7557 a +0.7505
3		'-0.181 / 0.698	'-0.8220 a +0.6623

3.7.3. Correlación de Pearson: pH-CRA

En el análisis de correlación lineal, se busca sustentar que existe una correlación significativa entre datos bivariantes ($n=7$) de pH y CRA, Para esto se propuso la siguiente hipótesis:

$H_0: r = 0$

$H_1: r \neq 0$

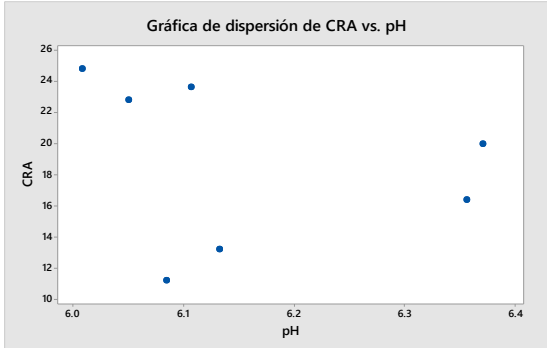
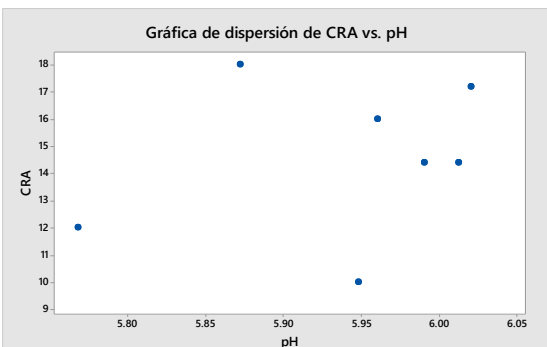
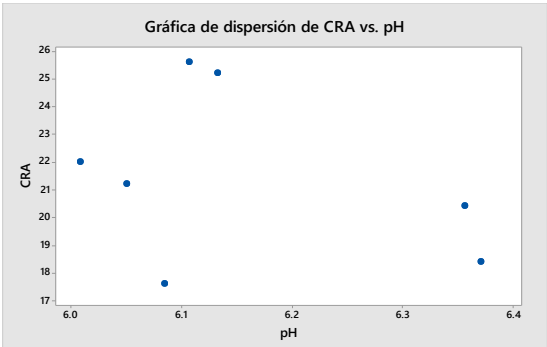
Mediante el análisis de correlación con el Peso 1, no se rechaza H_0 debido a que la correlación entre el pH y la CRA no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), ya que la evidencia presentada no es suficiente para sustentar que existe correlación lineal. En el cuadro 9, se observa en el diagrama de dispersión que los datos no se ajustan a un patrón lineal. Se tiene también que la magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$), en un intervalo de confianza de -0.8392 a 0.6301 con una probabilidad del 62.3%.

Por medio del análisis de correlación con el Peso 2, no se rechaza H_0 porque la correlación entre el pH y la CRA no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), debido a que no es suficiente la evidencia para afirmar que existe correlación lineal. En el cuadro 9, se observa en el diagrama de dispersión que, los datos apareados no se ajustan a un patrón lineal. La magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) en un intervalo de confianza de -0.6164 a 0.8457 con un valor de probabilidad del 58.2%.

A través del análisis de correlación con el Peso 3, no se rechaza H_0 , ya que la evidencia presentada no es suficiente para sustentar una correlación lineal entre el pH y la CRA, debido a que la correlación no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$). En el diagrama de dispersión del cuadro 9, se observa que los datos no se ajustan a un patrón lineal, al igual que la magnitud de r es moderada pero al límite de ser débil ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) en un intervalo de confianza entre -0.8727 y 0.5481 con una probabilidad del 44.3%.

En los tres Pesos no es posible establecer una correlación lineal entre el pH y la CRA, debido a que la evidencia presentada no es suficiente para sostener que existe correlación lineal entre el pH y la CRA, aunque se conoce que la CRA es dependiente del pH debido al papel de este sobre las propiedades funcionales de las proteínas, entre ellas las propiedades ligantes (Lyon & Buhr, 1999), evidentemente no se puede hablar de una correlación lineal entre estas variables.

Cuadro 9.- Correlación de Pearson para pH y CRA

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		'-0.234 / 0.613	'-0.8392 a +0.6301
2		'+0.255 / 0.582	'-0.6164 a +0.8457
3		'-0.349 / 0.443	'0.8727 a +0.5481

3.7.4. Correlación de Pearson: pH-RD

En el análisis de correlación lineal se busca establecer una correlación lineal entre el pH y la RD con 5 datos apareados ($n=5$), para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0: r = 0$

$H_1: r \neq 0$

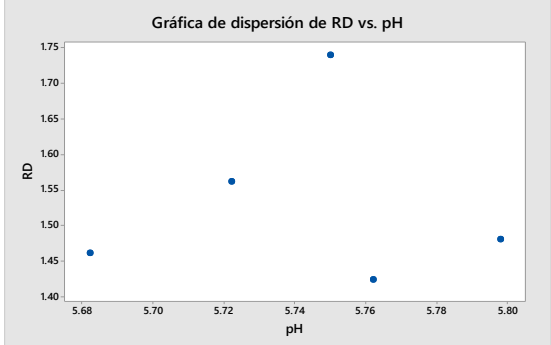
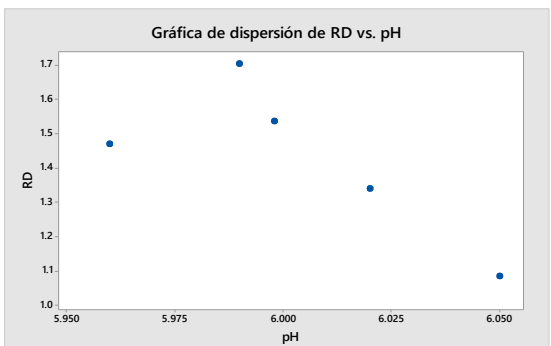
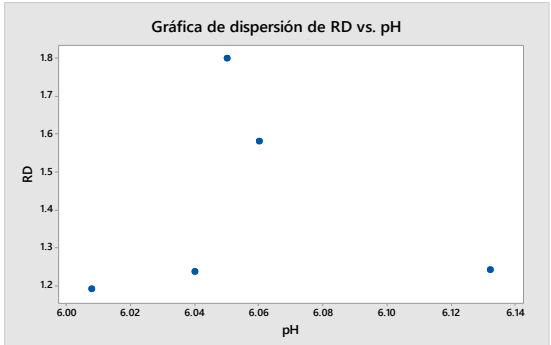
A través del análisis de correlación con el Peso 1, no se rechaza H_0 , debido a que la correlación no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), porque la evidencia presentada no es suficiente para sustentar que entre el pH y la RD existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 10, se observa que los datos bivariantes no se ajustan a un patrón lineal, además de que la magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) en un intervalo de confianza de -0.8794 a 0.8851 con un valor de probabilidad del 98.4%.

Mediante el análisis de correlación con el Peso 2, no se rechaza H_0 , ya que la correlación entre el pH y la RD no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), al menos no en base a evidencia, por lo tanto no se puede afirmar que exista correlación lineal. En el cuadro 10, se observa que en el diagrama de dispersión, los datos no se ajustan a un patrón de linealidad. La magnitud de r es fuerte pero al límite de ser moderada ($|r| > 0.7$) en un intervalo de confianza de -0.9828 a 0.3792, pero con una probabilidad de tan solo el 13.9%.

Por medio del análisis de correlación para el Peso 3, se tiene que la correlación entre el pH y la RD no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo cual no se rechaza H_0 , porque la evidencia presentada no es suficiente para sustentar la aseveración de que existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 10, se observa que los datos apareados no se ajustan a un patrón lineal. La magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) en un intervalo de confianza de -0.8875 a 0.8768 con un valor de probabilidad del 96.9%.

Con los tres Pesos no fue posible establecer una correlación lineal entre el pH y la RD, ya que en base a evidencia no es suficiente para afirmar que existe correlación lineal. Aunque se conoce que la RD es dependiente del pH debido al papel de este sobre las propiedades ligantes de las proteínas que se reflejan en la textura de la carne (Forrest, et al., 1979), evidentemente no se puede hablar de una relación lineal entre estas variables.

Cuadro 10.- Correlación de Pearson para pH y RD

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		+0.013 / 0.984	-0.8794 a +0.8851
2		-0.756 / 0.139	-0.9828 a +0.3792
3		-0.024 / 0.969	-0.8875 a +0.8768

3.7.5. Correlación de Pearson: AT-CRA

Con el análisis de correlación, mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), se busca establecer una correlación de carácter lineal entre la AT y la CRA, con 7 datos bivariantes, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

$H_0: r = 0$

$H_1: r \neq 0$

Con el Peso 1, mediante el análisis de correlación, no se rechaza H_0 , debido a que la correlación entre la AT y la CRA no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), es decir en base a evidencia no se puede sostener que existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 11, se observa que los datos no se ajustan a un modelo de linealidad. La magnitud de r es moderada pero al límite de ser débil ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) en un intervalo de confianza de -0.5140 a 0.8836 con una probabilidad del 38.7%.

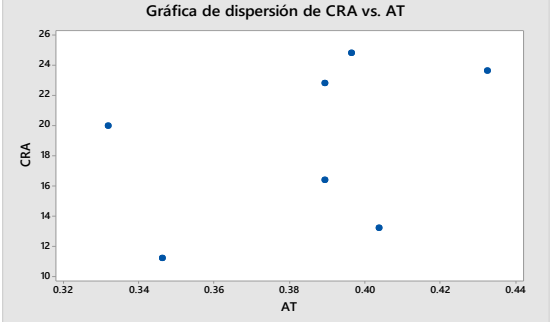
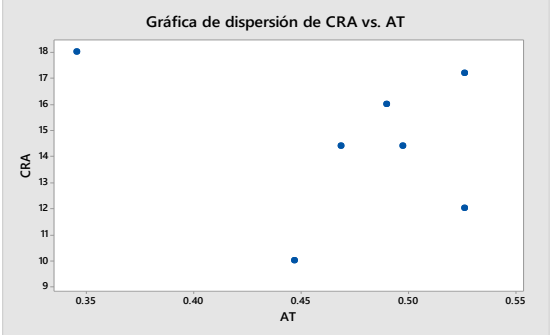
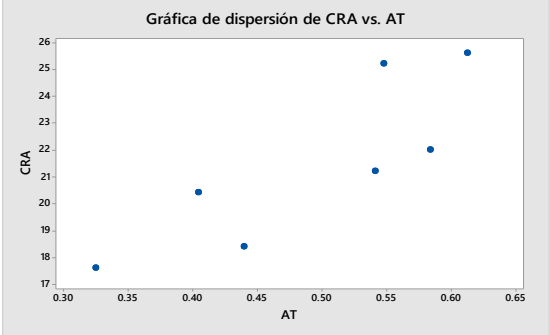
Con el Peso 2, mediante el análisis de correlación, no se tiene correlación significativa ($|r| \leq r_{critico}$) entre la AT y la CRA, por lo cual no se rechaza H_0 en base a evidencia, no es lo suficiente para afirmar que existe correlación lineal. En el cuadro 11, se observa en el diagrama de dispersión que los datos apareados no se ajustan a un patrón lineal. La magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) en un intervalo de confianza de -0.8517 a 0.6029 con un valor de probabilidad del 55.1%.

Con el Peso 3, a través del análisis de correlación se rechaza H_0 , puesto que la correlación entre la AT y la CRA es significativa ($|r| > r_{critico}$), y se asume que en base a evidencia existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 11, se observa que los datos se ajustan a un modelo de linealidad, en tanto que la magnitud de r es fuerte ($|r| > 0.7$) con sentido positivo (es decir que cuando una variable aumenta la otra también) en un intervalo de confianza de 0.2430 a 0.9761, pero con tan solo un 1.7% de probabilidad.

No fue posible establecer una correlación lineal entre la AT y la CRA con los Pesos 1 y 2, en cambio con el Peso 3 si se observó una correlación lineal, sin

embargo el valor de probabilidad es muy bajo, esto en cuanto a la evidencia presentada. Se conoce que la producción de ácido láctico (AT) tiene efecto sobre las propiedades funcionales de las proteínas que se reflejan en las propiedades ligantes de la carne (Lyon & Buhr, 1999), evidentemente no se puede hablar de una relación lineal entre estas variables, sin embargo en el Peso 3 se obtuvo una correlación lineal, por lo cual se establece que pudiera existir una correlación lineal entre la AT y la CRA.

Cuadro 11.- Correlación de Pearson para AT y CRA

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		+0.390 / 0.387	-0.5140 a +0.8836
2		-0.275 / 0.551	-0.8517 a +0.6029
3		+0.842 / 0.017	+0.2430 a +0.9761

3.7.6. Correlación de Pearson: a_w -CRA

Con el análisis de correlación lineal mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), se buscó establecer una correlación de carácter lineal entre la a_w y la CRA, con 7 datos apareados, para lo cual se propuso la siguiente hipótesis:

$H_0: r = 0$

$H_1: r \neq 0$

Mediante el análisis de correlación con el Peso 1, no se encontró que la correlación entre la a_w y la CRA fuese significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo cual no se rechaza H_0 , debido a que en base a evidencia no se puede afirmar que exista correlación de carácter lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 12, se observa que los datos no se ajustan a un modelo de linealidad, lo cual reafirma la decisión de no rechazar H_0 , en tanto, la magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) con sentido negativo, en un intervalo de confianza de -0.8250 a 0.6571 y una probabilidad del 68.3%.

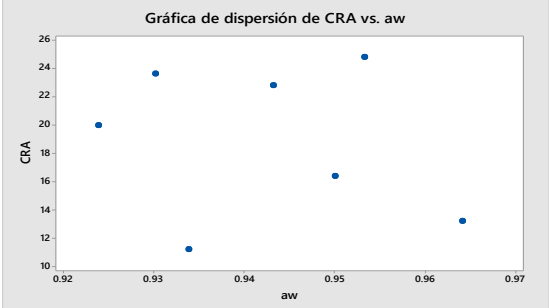
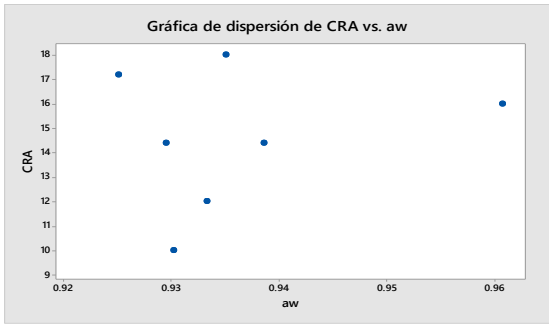
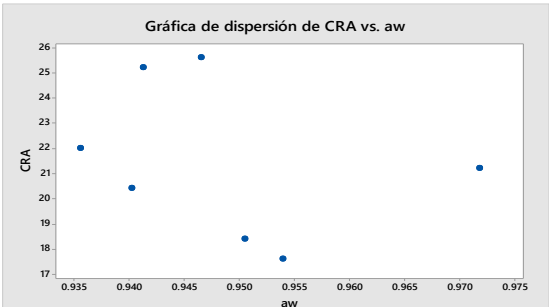
A través del análisis de correlación con el Peso 2, no se rechaza H_0 , debido a que la correlación entre la a_w y la CRA no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), en base a la evidencia presentada no es suficiente para establecer una correlación de carácter lineal. En el cuadro 12, se observa en el diagrama de dispersión que los datos no se ajustan a un patrón lineal, con lo cual se reafirma la decisión de no rechazar H_0 , mientras tanto, la magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) con sentido positivo, en un intervalo de confianza de -0.6583 a 0.8244 y con una probabilidad del 68.6%.

Por medio del análisis de correlación con el Peso 3, se encontró que la correlación entre la a_w y la CRA no fue significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo tanto no se rechaza H_0 , ya que en base a la evidencia presentada no es posible concluir que existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 12, se observa que los datos no se ajustan a un patrón de linealidad, con lo cual se reitera la decisión de no rechazar H_0 . La magnitud de r es débil ($|r| < 0.3$) con sentido negativo, en un

intervalo de confianza de -0.8590 a 0.5853 y con un valor de probabilidad del 51.3%.

En los tres Pesos no fue posible establecer una correlación lineal entre la a_w y la CRA, debido a que la evidencia no fue suficiente para establecer correlación lineal alguna. Esta relación no se encontró información en la literatura, sin embargo se consideró por que las variables involucradas (a_w y CRA) se encuentran influenciadas por el pH y la AT, evidentemente no se puede hablar de una correlación lineal entre estas variables.

Cuadro 12.- Correlación de Pearson para a_w y CRA

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		-0.190 / 0.683	-0.8250 a +0.6571
2		+0.188 / 0.686	-0.6583 a +0.8244
3		-0.300 / 0.513	-0.8590 a 0.5853

3.7.7. Correlación de Pearson: a_w -AT

Con el análisis de correlación, se pretende establecer una correlación de carácter lineal entre la a_w y la AT, con 7 datos apareados, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

H₀: $r = 0$

H₁: $r \neq 0$

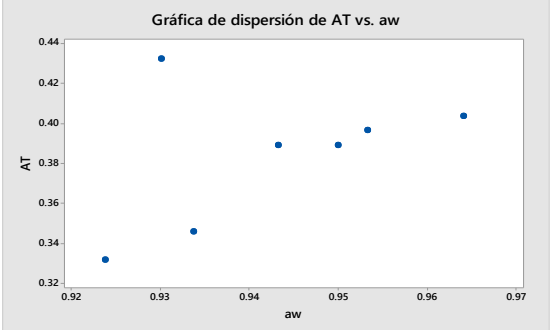
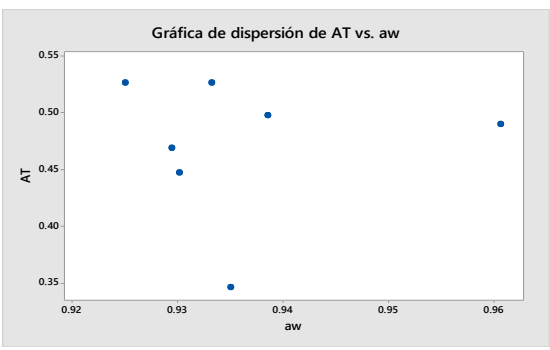
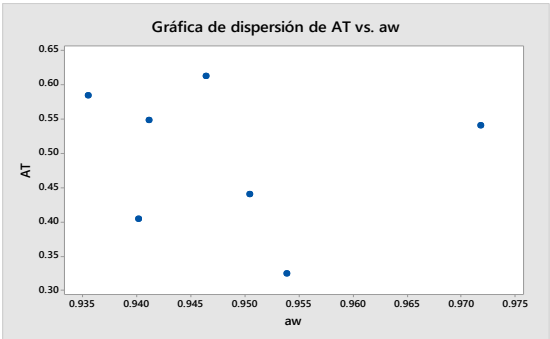
Con el Peso 1 y mediante el análisis de correlación, se encontró que la correlación entre la a_w y la AT no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo tanto no se rechaza H₀, debido a que la evidencia presentada no es suficiente para sostener que existe correlación lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 13, es posible apreciar que los datos se ajustan a un patrón lineal, en tanto, la magnitud de r es moderada ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) con sentido positivo, en un intervalo de confianza de -0.7465 a 0.7595, pero con una probabilidad del 31.6%.

Mediante el análisis de correlación, en el Peso 2, se encontró que la correlación entre la a_w y la AT no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo cual no se rechaza H₀, ya que en base a la evidencia presentada no es posible afirmar que existe correlación lineal. En el cuadro 13, se observa en el diagrama de dispersión que, los datos no se ajustan a un patrón de linealidad, con lo cual se reitera la decisión de no rechazar H₀, mientras tanto, se obtuvo un coeficiente de correlación (r) de magnitud débil ($|r| < 0.3$) y con sentido positivo, en un intervalo de confianza entre -0.7465 y 0.7595 con un valor de probabilidad del 97.5%.

Por medio del análisis de correlación, en el Peso 3, se obtuvo una correlación entre la a_w y la AT no significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo tanto no se rechaza H₀, debido a que la evidencia no fue suficiente para concluir que existe correlación de carácter lineal. En el diagrama de dispersión del cuadro 13, se observa que los datos no se ajustan a un patrón de linealidad, por lo cual se confirma la decisión de no rechazar H₀. La magnitud de r fue débil ($|r| < 0.3$) con sentido negativo, en un intervalo de confianza de -0.8040 a 0.6912 con un 78.3% de probabilidad.

No fue posible establecer una correlación lineal entre la a_w y la AT con los tres Pesos, ya que la evidencia presentada no fue suficiente para concluir que existe correlación lineal. Esta relación no fue encontrada en la literatura, sin embargo se consideró, ya que las variables involucradas (a_w y AT) pudieran relacionarse, debido a la estrecha relación de la AT con el pH, por lo que se esperaría una posible relación con la a_w , evidentemente no se puede hablar de una correlación lineal entre estas variables.

Cuadro 13.- Correlación de Pearson para a_w -AT

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		+0.446 / 0.316	-0.4624 a +0.8976
2		+0.015 / 0.975	-0.7465 a +0.7595
3		-0.129 / 0.783	-0.8040 a +0.6912

3.7.8. Correlación de Pearson: RD- a_w

Mediante el análisis de correlación, se buscó establecer una correlación de carácter lineal entre la RD y la a_w , con 5 datos bivariantes, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

H₀: $r = 0$

H₁: $r \neq 0$

Con el Peso 1 y mediante el análisis de correlación, se encontró que la correlación entre la RD y la a_w no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo tanto no se rechaza H₀, debido a que en base a evidencia no es posible establecer correlación lineal alguna. Se observa en el diagrama de dispersión del cuadro 14, que los datos no se ajustan a un patrón de linealidad, con lo cual se reafirma la decisión de no rechazar H₀. La magnitud de r fue moderada ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) con sentido negativo, en un intervalo de confianza de -0.9544 a 0.7126 y con un 43.9% de probabilidad.

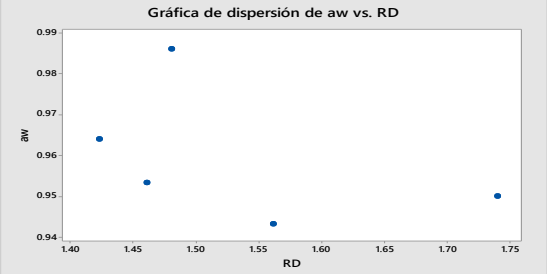
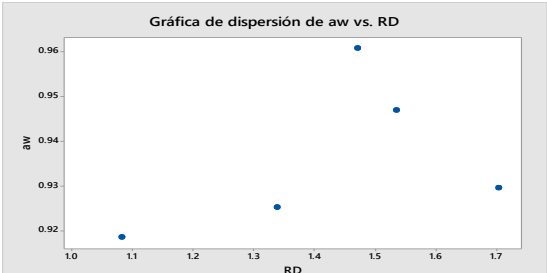

Por medio del análisis de correlación, con el Peso 2, se encontró que la correlación entre la RD y la a_w no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo cual no se rechaza H₀, ya que la evidencia presentada no es suficiente para afirmar que existe correlación lineal. En el cuadro 14, se aprecia en el diagrama de dispersión que los datos no se ajustan a un modelo de linealidad, con lo cual se reafirma la decisión de no rechazar H₀. La magnitud de r fue moderada ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) con sentido positivo, en un intervalo de confianza entre -0.7088 y 0.9551, con una probabilidad del 43.2%,

A través del análisis de correlación, en el Peso 3, se encontró que la correlación entre la RD y la a_w no es significativa ($|r| \leq r_{critico}$), por lo tanto no se rechaza H₀, debido a que la evidencia no fue suficiente para establecer correlación lineal alguna. En el diagrama de dispersión del cuadro 14, se aprecia que los datos no se ajustan a un patrón lineal, con lo cual se reitera la decisión de no rechazar H₀. La magnitud de r fue moderada ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$) pero al límite de ser fuerte, con

sentido positivo, en un intervalo de confianza de -0.5097 a 0.9762 y con tan solo un 21% de probabilidad.

En conclusión no fue posible establecer una correlación lineal entre la RD y la a_w , sin embargo la magnitud de r fue moderada en los tres Pesos, por lo que pudieran estar relacionadas las variables en cuestión, sin embargo la evidencia no fue suficiente para probar que existía correlación lineal. Esta relación no fue encontrada en la literatura, sin embargo se consideró ya que las variables involucradas (RD y a_w) pudieran relacionarse, debido a que se encuentran en el mismo intervalo de tiempo *post mortem*, evidentemente no se puede hablar de una correlación lineal entre estas variables.

Cuadro 14.- Correlación de Pearson para RD y a_w

Peso	Diagrama de dispersión	Coeficiente de Correlación de Pearson [r] / Valor-P	Intervalo de confianza
1		-0.457 / 0.439	-0.9544 a +0.7126
2		+0.463 / 0.432	-0.7088 a +0.9551
3		+0.677 / 0.210	-0.5097 a +0.9762

CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue evidenciar y fundamentar los cambios *post mortem* en la carne de pollo (músculo *Pectoralis major*) que se distribuye y consume en México, mediante la evaluación de los parámetros: pH, a_w , AT, CRA y RD, para ello se consideró la influencia de los factores Peso y tiempo *post mortem* sobre dichos parámetros. Se observó su evolución en base a la interacción de los factores antes mencionados. Concluyéndose lo siguiente:

Con el pH, el peso cumple un papel muy importante en relación al nivel de descenso de pH *post mortem*, de igual manera el tiempo *post mortem* funge un papel muy importante, ya que es en este periodo fue donde se observó el descenso del pH. Se comprobó lo descrito en la literatura respecto a este parámetro en las aves (en este caso pollo) y aunque el *Rigor mortis* no es tan marcado como en la carne de otras especies animales destinadas para consumo humano (en el pollo el *Rigor mortis* se presentó en las primeras horas *post mortem*), su resolución juntamente con el grado del descenso de pH sirven como indicativo del desarrollo de la calidad de la carne de pollo (mediante los indicadores AT, a_w , CRA y RD) y como este tipo de carne puede ser factible de procesamiento. Al tratarse de carne de consumo inmediato con una elevada escala de producción, se le ha restado interés a su aptitud de procesamiento, sin embargo bien valdría la pena que su uso se tecnificará, con el fin de obtener productos cárnicos más económicos respecto a los existentes en el mercado.

En el caso de la AT, producto principalmente de la acumulación de lactato *post mortem*, también se corroboró lo descrito por algunos autores, que postulan que el pH puede estar estrechamente relacionado con la producción de lactato aunque los iones de hidrogeno generados provienen de la hidrólisis de ATP y no de la producción de lactato. La AT al considerar a todos los ácidos orgánicos presentes y titulables, se corroboró nuevamente como el peso influye en la cantidad de estos y a su vez determinaron el grado de la AT. Este parámetro es de gran interés en la estabilidad de la carne, debido a que representa una barrera natural frente a la

proliferación de microorganismos que pudieran contaminarla. Las gráficas de AT, al tratarse del incremento en la concentración de ácidos orgánicos (lactato en su mayoría) durante el periodo *post mortem*, mostraron un comportamiento percentil (acumulativo) en función del tiempo *post mortem* y el peso.

Con el a_w , al ser un indicativo de la estabilidad de un alimento (en este caso carne de pollo), su fluctuación durante el tiempo *post mortem* fue muy pequeña aunque considerable, ya que a medida que el tiempo *post mortem* avanzaba, no mostro un comportamiento percentil (acumulativo) en ningún momento y con ningún peso, por lo cual se corrobora lo descrito en la literatura para el a_w , la cual es una función de estado y no del efecto del factor peso, pero si del factor tiempo *post mortem*. La variabilidad del a_w fue considerable aunque nunca se obtuvieron valores extremos, por debajo o por encima, al reportado.

La CRA, producto principal del efecto del pH sobre las propiedades ligantes de las proteínas, representa una característica muy importante para la aptitud tecnológica que pudiera ser sujeto la carne de pollo, en la innovación de productos cárnicos y con ello ampliar el compendio de estos productos en el mercado.

A diferencia de otras carnes (rojas principalmente), la carne de pollo mostro características deseables para su procesamiento. El comportamiento de este parámetro (CRA) fue diferente al reportado en la literatura, ya que se obtuvo un aumento en la CRA en el tiempo *post mortem*, frente a otro tipo de carnes; tal vez, este comportamiento sea un indicativo del comportamiento diferente para las carnes blancas, como la de pollo, y como esto puede representar una ventaja en cuanto a aptitud tecnológica se refiere.

La RD (indicativo de terneza), cumple un papel muy importante, como el principal atributo sensorial de la carne para consumo inmediato, como la carne de pollo en este caso. Según lo reportado en la literatura, la carne de pollo apenas presenta problemas por parte del consumidor, en cuanto a dureza se refiere, ya que se considera dentro de las carnes con un grado de terneza agradable, sin embargo, en la pechuga (*Pectoralis major*), se obtuvo un grado de RD considerable, el cual

estuvo en función del peso. Se corroboró lo descrito en la literatura, respecto a la solubilidad del colágeno (principal causa del grado de dureza en la carne) y como este se ve afectado por la edad (aunque se consideró la misma edad en todos los casos), al tratarse de una producción intensiva y en masa, el rendimiento alimento/ganancia de peso, es variable e impacta directamente en la ternura y por lo tanto en la RD.

En el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza de 2 vías ($\alpha=0.05$), para cada una de las determinaciones realizadas (pH, AT, a_w , CRA y RD), en el cual se buscó el efecto de los factores involucrados (Peso y tiempo *post mortem*) en su interacción, sobre las determinaciones. Se observó y se concluyó lo siguiente:

Con el pH, se obtuvo diferencia significativa ($P < \alpha$), en la interacción entre los factores Peso y tiempo *post mortem*, lo cual indica que la interacción de estos factores afecta el valor de pH.

Con la AT, se obtuvo diferencia significativa ($P < \alpha$), en la interacción de los factores Peso y tiempo *post mortem*, por lo tanto el efecto de la interacción influye en la AT.

Para la a_w , se obtuvo diferencia significativa ($P < \alpha$) en la interacción de los factores Peso y tiempo *post mortem*, lo cual indica que estos factores afectan el valor de a_w .

Para la CRA, en la interacción de los factores Peso y tiempo *post mortem*, se obtuvo diferencia significativa ($P < \alpha$), por lo tanto dicha interacción influye en el valor de CRA,

Con la RD, en la interacción de factores (Peso y tiempo *post mortem*), se obtuvo diferencia significativa ($P < \alpha$), por lo tanto el efecto de la interacción afecta a la RD.

En todos los casos se rechazó H_0 , la cual versaba en que no existía interacción entre factores, aceptándose en todos los casos la hipótesis de investigación, que planteaba que dicha interacción entre los factores involucrados (peso y tiempo *post mortem*) existió, y que tanto el efecto de uno de ellos sobre cada una de las determinaciones realizadas (pH, a_w , AT, CRA y RD) cambio según la categoría del otro factor.

Para el análisis estadístico mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r), se utilizó un estadístico de prueba r , con un nivel de confianza del 5%, en el cual se buscó establecer una posible relación de carácter lineal entre las variables confrontadas, no se pudo establecer correlación lineal en ningún caso, sin embargo, existieron coeficientes lineales de magnitud fuerte ($|r| > 0.7$), pero con un valor de probabilidad bajo ($P \approx 0$), y de magnitud moderada ($0.3 \geq |r| \leq 0.7$), pero al límite de ser débil ($|r| < 0.3$), lo cual indica que es posible que exista una relación entre variables, pero no lineal. Este análisis estadístico se realizó con el fin de encontrar patrones lineales entre datos apareados, y de haber obtenido alguna correlación lineal, poder establecer una ecuación que mediante el valor obtenido en una variable se pudiera predecir el valor de la otra variable correlacionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, A., Y., & Matarneh, S., K. (2010). Broiler performance and the effects of carcass weight, broiler sex, and postchill carcass aging duration on breast fillet quality characteristics. *Journal of Applied Poultry Research* 19 (2010), 46-58.
- Alvarado, C., G.-A. (2014). Evaluación de los posibles cambios que sufre el colágeno en conejos de la raza California durante las 96 h posteriores al sacrificio (Tesis de maestría en ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F., México.
- Andújar, G., Pérez, D. y Venegas, O. (2003). Química y bioquímica de la carne y de los productos cárnicos. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
- Andrés, A., I., Cava., R., Mayoral, A., I., Tejeda, J., F., Morcuende, D. & Ruiz, J. (2000). Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of fiber. *Meat Science* 59 (2001), 39-47.
- Badui, D., S. (2012). La ciencia de los alimentos en la práctica. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
- Badui, D., S. (2013). Química de los alimentos. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
- Bailey, A., J. (1985). The role of collagen in the development of muscle and its relationship to eating quality. *J. Anim. Sci.* 60 (6), 1580-1587.
- Belitz, H.-D. & Grosch, W. (2012). Química de los alimentos, 2ª edición. Zaragoza, España: Acribia S. A.
- Beltrán, F. J. (1994). Aplicación de análisis de riesgos, identificación y control de puntos críticos en el proceso de obtención, distribución y venta de carne de

res y cerdo en tiendas de autoservicio y en el rastro. Secretaría de Salud. México.

Bianchi, G., Garibotto, G., Franco, J., Ballesteros, F., Betancur, O. y Fredd, O. (2008). Calidad de carne ovina: Impacto de las decisiones tomadas a lo largo de la cadena. Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, UDELAR.

Blas, C. (1992). Factores que determinan el rendimiento y la calidad de la canal en conejos. *Mundo Ganadero*, 7 (8), 72-75.

Carballo, B., López de Torre, G. y Madrid, A. (2001). Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Madrid, España: Mundi-Prensa.

Chang, R. (2007). Química, 9ª edición. México D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.

Choi, Y., M. & Kim, B., C. (2008). Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science* 122 (2009), 105–118.

Ciro, V., H.-J., Buitrago, G., O.-H. y Pérez, A., S.-A. (2007). Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, 60 (1), 3785-3796.

Cruz de la, L., M. (2011). Evaluación del pH, capacidad de retención de agua, color y dureza en el músculo *longissimus dorsi* de conejo en su transformación en carne. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de estudios superiores Cuautitlán. Cuautitlán Izcalli, México.

Fennema, O., R. (2000). Química de los alimentos. Zaragoza, España: Acribia.

Forrest, C., J., Aberle, E., D., Hedrich, H., B., Judge, M., D. y Merkel, R., A. (1979). Fundamentos de ciencia de la carne. Zaragoza, España: Acribia.

- Glamoclija, N., Starcevic, M., Janjic, J., Ivanovic, J., Boskovic, M., Djordjevic, J., Markovic, R. & Baltic, M. Z. (2015). The effect of breed line and age on measurements of pH-values as meat quality parameter in breast muscles (m. *Pectoralis major*) of brioler chickens. *Procedia Food Science* 5 (2015), 89-92.
- Goldspink, G. & Yang, S. Y. (1999). Estructura, desarrollo y crecimiento muscular. En Richardson, R. I. & Mead, G. C. (Ed.), *Ciencia de la carne de ave* (pp. 3-8), Zaragoza, España: Acribia.
- Gómez, P. y Gómez, O. (2013). Evaluación de la calidad de la carne de pollo (*Pectoralis major* y *Pectoralis minor*) que se expende en la Ciudad de Pasto (Nariño) (Tesis de Grado). Universidad de Nariño, Ciudad de Nariño, Colombia,
- Gregory, N., G. (2009). How climatic changes could affect meat quality. *Food research international*, 43 (2010), 1866-1873.
- Grunert, K., G., Bredahl, L. & Brunso, K. (2003). Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector—a review. *Meat Science* 66 (2004), 259–272.
- Guerrero, I. (2006). Ciencia y tecnología de carnes (No. 664.9 C569c). México, MX: Limusa.
- Guerrero, I. (2007). Calidad de la carne, Curso-Taller: Ciencia y Tecnología de Carne. FESC, UNAM, México.
- Hamoen, J., R., Vollebregt, H., M. & van der Sman, R., G., M. (2013). Prediction of the time evolution of pH in meat. *Food Chemistry*, 141 (2013), 2363-2372.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C. & Baptista, L. P. (2014). Metodología de la investigación. Cd. México, México: McGraw Hill.
- Honikel, K. O. (1996) Reference methods supported by OECD and their use in Mediterranean meat products. *Food chemistry*, 59 (4), 573-582.

- Honikel, K. O. (2004). Conversion of muscle to meat. En Jansen, W. K., Devine, C. E. & Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of meat sciences*: Elsevier Academic Press.
- Hopkins, D., L. & Mortimer, S., I. (2014). Effect of genotype, gender and age on sheep meat quality and a case study illustrating integration of knowledge. *Meat Science*, 98 (2014), 544–555.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S., M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71 (2005), 194-204.
- Hui, Y., M., Guerrero, L., I. y Rosmini, M., R. (Ed.) (2006). *Ciencia y tecnología de carnes*. Mexico D.F., México: Limusa.
- James, C., Vincent, C., de Andrade Lima, T., I. & James, S., J. (2005). The primary chilling of poultry carcasses-a review. *International journal of refrigeration*, 29 (2006), 847-862.
- Kerry, J., Kerry, J., & Ledward, D. (Ed.). (2000). *Meat Processing: Improving quality*. Boca Raton, USA: CRC Press LLC.
- Koohmaraie, M. (1992). Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36 (1994), 93-104.
- Labuza, T.P. 1982. *Shelf Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press, Westport, CT.
- Lawrie, R., A. (1967). *Ciencia de la carne*. Zaragoza, España: Acribia.
- Li, C., Shi, P., Xu, C., Xu, X. & Zhou, G. (2009). Tracing processes of rigor mortis and subsequent resolution of chicken breast muscle using a texture analyzer. *Journal of Food Engineering* 100 (2010), 388-391.
- Liu, Y., Lyon, B., G., Windham, W., R. & Savage, E., M. (2004). Principal component analysis of physical, color, and sensory characteristics of

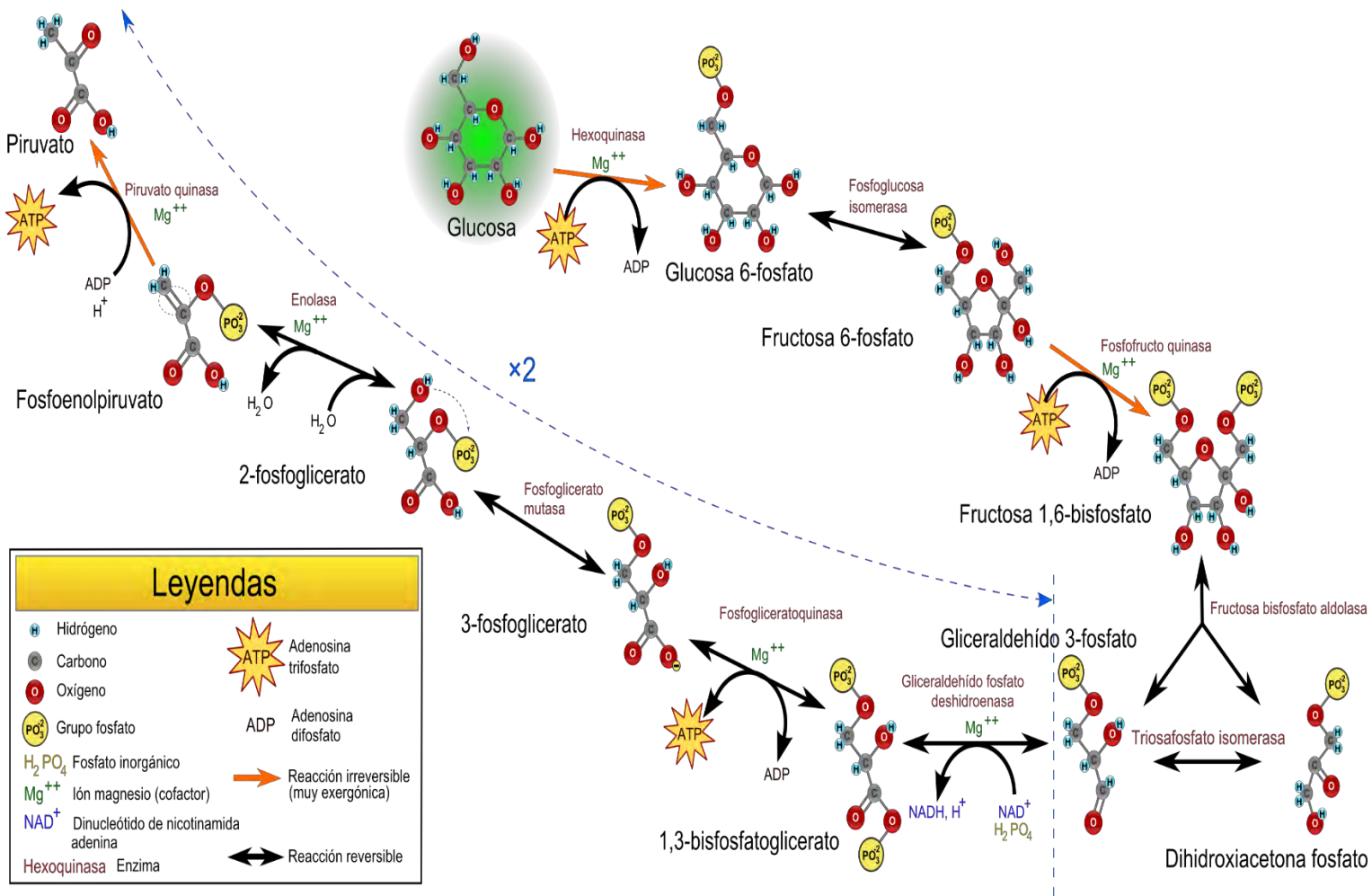
- chicken breast deboned at two, four, six and twenty-four hours post-mortem. *Poultry Science* 83 (2004), 101-108.
- López, R. y Caps, A. (2004). Tecnología de mataderos. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Lyon, C. E. & Buhr, R. J. (1999). Bases bioquímicas de la textura de la carne. En Richardson, R. I. & Mead, G. C. (Ed.), *Ciencia de la carne de ave* (pp. 111-135), Zaragoza, España: Acribia.
- María, G., A., Buil, T., Liste, G., Villaroel, M., Sañudeo, C. & Olleta, J., L. (2006). Effects of transport time and season on aspects of rabbit meat quality. *Meat Science*, 72 (2007), 773-777.
- Martínez, M., de Irala, J. y López-Azpiazu, I. (2001). Correlación y regresión. En Martínez, M., de Irala, J., y Faulín, F. (Ed.). *Bioestadística amigable* (pp. 383-396), Madrid, España: Díaz de Santos, S. A.
- Medina, V., M. (2014). Bienestar en pollo de engorda: Factores antemortem. (Tesis de maestría en ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México D. F., México.
- Milicevic, D., Trbovid, D., Petrovic, Z., Jakovac-Strajn, B., Nastasijevic, I. & Koricanac, V. (2014). Physicochemical and functional properties of chicken meat. *Procedia Food Science*, 5 (2015), 191-194.
- Moreno, B. (2006). Higiene e inspección de carnes I, 2a edición. Zaragoza, España: Díaz de Santos.
- Muriel, E., Antequera, T. y Ruiz, J. (2002). Efecto del tipo de músculo sobre parámetros de calidad en carne fresca de cerdo ibérico. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* (3) 4, 241-247.
- Nicol, C., J. & Scott, G., B. (1990). Pre-slaughter handling and transport of broiler chickens. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 28 (1990), 57-73.

- Nishimura, T. (2010). The role of intramuscular connective tissue in meat texture. *Anim. Sci. J.*, 81 (2010), 21-27.
- Norma Mexicana NMX-FF-080-SCFI-2006. Productos avícolas. Carne de pollo de engorda en canal y en piezas. Clasificación.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.
- Official Methods of Analysis of the AOAC. pH: 981.12, 17th ed., 2000.
- Official Methods of Analysis of the AOAC. Titratable acidity: 942.15, 17th ed., 2000.
- Official Methods of Analysis of the AOAC. Water Activity: 32.004-32.009. 13th ed., 1980.
- Padrón, R. (2008). El mecanismo molecular de la regulación de la contracción muscular. *Archivos Venezolanos de farmacología y terapéutica*, (27) 1, 2-4.
- Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J. & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversation of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science*, 89 (2011), 111-124.
- Proyecto de Norma PROY- NOM-087-SSA1-1994. Bienes y servicios. Aves frescas refrigeradas y congeladas enteras y troceadas envasadas. Especificaciones sanitarias.
- Purslow, P.P. (2005). Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science*, 70 (2005), 435-477.
- Rengifo, L. y Ordóñez, E. (2010). Efecto de la temperatura en la capacidad de retención de agua y pH en carne de res, cerdo, pollo, ovino, conejo y pescado paco. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Vol 7, pp 79.

- Rockland, L. & Stewart, G. (Ed.). (1981). *Water activity: influences in food quality*. New York, U.S.A.: Academic press.
- Rubio, M. S., Delgado, E. J., Iturbe, F. A., Méndez, R. D., Cassis, L. & Rosiles, R. (2005). Composition and quality of Mexican and imported retail beef in México. *Meat Science*, 69 (2006), 465-471.
- Sánchez, I., C. y Albarracin, W. (2010). Análisis sensorial en carne. *Revista Colombiana de ciencias pecuarias*, 23 (2), 227-239.
- Savell, J. W., Mueller, S. L. & Baird, B. E. (2004). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70 (2005), 449-459.
- Smyth, A. B., O'Neill, E. O. & Smith, D. M. (1999). Propiedades funcionales de las proteínas musculares de los productos de ave procesados. En Richardson, R. I. & Mead, G. C. (Ed.), *Ciencia de la carne de ave* (pp. 111-135), Zaragoza, España: Acribia.
- Soler, S., M.-D., Mateos, O., M., Safón, G., E., Soler, R., P. y Garcés, N., C. (2011). Caracterización del color y relación con el pH de pechuga de pollo durante el procesado de las canales en matadero. XLVII Simposio científico de avicultura, Santiago de Compostela, España.
- Triola, M. F. (2004). Estadística. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación de México, S. A. de C. V.
- Varnam, A. H. & Sutherland, J. P. (1998). Carne y productos cárnicos. Zaragoza, España: Acribia S. A.
- Watanabe, A. & Devine, C. (1996). Effect of meat ultimate pH on rate of titin and nebulin degradation. *Meat science*, 42 (4), 407-413.
- Weston, A., R., Rogers, R., W. & Althen, T., G. (2002). The role of collagen in meat tenderness. *The professional Animal Scientifics*, 18 (2002), 107-111.

ANEXOS

1. Ruta metabólica de Embden-Meyerhof



Leyendas			
	Hidrógeno		Adenosina trifosfato
	Carbono		Adenosina difosfato
	Oxígeno		Reacción irreversible (muy exergónica)
	Grupo fosfato		Reacción reversible
$H_2 PO_4$	Fosfato inorgánico		
Mg^{++}	Ión magnesio (cofactor)		
NAD^+	Dinucleótido de nicotinamida adenina		
Hexoquinasa	Enzima		

Fuente: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/532347>

2. Rendimiento de Canales de Pollo

Identificación de la Muestra	% Rendimiento	% Merma	% Pierna y Muslo	% Pechuga	% Alas
Pollo 1	49.0842	2.9304	18.4982	26.5568	4.0293
Pollo 2	51.1765	10.3922	21.7647	25.4902	3.9216
Pollo 3	49.5446	8.3789	21.3115	24.5902	3.6430
Pollo 4	53.5484	7.5269	23.0108	26.4516	4.0860
Pollo 5	48.5453	10.3857	20.4668	23.8498	4.2287
Promedio	49.9351	7.2338	20.5248	25.5457	3.8646
D. E.	1.0994	3.8604	1.7697	0.9845	0.1994
% C. V.	0.0220	0.5337	0.0862	0.0385	0.0516