



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN**

MANIPULACIÓN DE POLLO EN UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN Y LOS EFECTOS SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA

Víctor Hugo Barrera Urrutia

ASESORES:

I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas

Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, autoriza al alumno:
Víctor Hugo Barrera Urrutia
Con número de cuenta: 309091763 a presentar el: **Trabajo de Tesis**

Manipulación de pollo en un centro de distribución y los efectos sobre sus propiedades físicas y fisicoquímicas.

Bajo la asesoría del: I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas
Para obtener el título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA Y FECHA
PRESIDENTE	<u>I.B.Q. José Jaime Flores Minutti</u>	 26-05-16
VOCAL	<u>I.A. Alfredo Álvarez Cárdenas</u>	 26-05-16
SECRETARIO	<u>I.A. Francisco Javier López Martínez</u>	 1/06/16
1er. SUPLENTE	<u>M. en C. Jonathan Coria Hernández</u>	 01/JUN/16
2do. SUPLENTE	<u>I.A. Arturo Munguía Sánchez</u>	 30-05-16

Atentamente notificamos su participación en la revisión y evaluación del trabajo para que en un plazo no mayor a 30 días hábiles emita su VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlan Izcalli, Méx. a 26 de Mayo de 2016.

M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
JEFE DEL DEPARTAMENTO

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

IHM/cga

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar a este momento, por brindarme una vida llena de oportunidades, aprendizajes y experiencias. Pero sobre todo, por la felicidad que me ha dado al poner a mi familia y amigos en mi vida.

A mis padres, por haberme brindado la oportunidad de estudiar la carrera. Por confiar y creer siempre en mí, sin su apoyo esto no sería posible. Gracias por su amor, su apoyo incondicional, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida. Gracias por todo lo que han hecho por mí. Los quiero mucho.

A mis hermanos Yola, Carmen y Mau, por brindarme grandes momentos de felicidad y por hacer de lo más ameno este trayecto. Sé que siempre voy a contar con su apoyo incondicional en las buenas y en las malas. Los quiero mucho.

A mis amigas Luz, Sandra, Itzel y Frida, por brindarme su amistad y por hacer de la universidad una de las mejores etapas de mi vida. Gracias por todos sus consejos y apoyo, pero principalmente, gracias por esos momentos de felicidad que pasamos juntos.

A mis asesores de tesis, el I. A. Alfredo Álvarez y la Dra. Luz Zambrano, les agradezco todo lo que me han enseñado y el apoyo que me han brindado, son excelentes profesores. Gracias por creer en mí.

A mis sinodales, el I. B. Q. José Jaime Flores, I. A. Francisco López, M. en C, Jonathan Coria y al I. A. Arturo Munguía, gracias por compartir sus conocimientos para la realización de este trabajo.

A mi Universidad y Facultad, que me dieron la oportunidad de estudiar y formarme como un INGENIERO EN ALIMENTOS. Orgullosamente de sangre azul y piel dorada.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PAPIME PE 103915 y PE 206614 de la DGAPA-UNAM por el apoyo financiero para la realización de este proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Situación de la avicultura en México	1
1.2. Composición química de la carne de pollo	3
1.2.1. Agua	4
1.2.2. Proteínas	5
1.2.3. Lípidos	5
1.3. Estructura y composición del músculo de pollo	6
1.4. Calidad del pollo	9
1.4.1. Cambios <i>ante</i> y <i>post-mortem</i>	10
1.4.2. Parámetros que determinan la calidad de la carne de pollo	13
1.5. Vida útil de la carne de pollo y sus derivados	22
1.6. Distribución de la planta de procesamiento de aves	24
1.6.1. Área de recepción y mantenimiento	24
1.6.2. Área de faenado	25
1.6.3. Zona de eviscerado	26
1.6.4. Área de envasado	26
1.6.5. Cámaras de refrigeración y congelación	27
1.6.6. Almacén	27
1.7. Cadena de frío aplicada al pollo	29
1.7.1. Técnicas de enfriamiento del pollo	32
1.7.2. Almacenamiento	35
1.7.3. Transporte frigorífico	37
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y EXPERIMENTAL	42
2.1. Justificación, problema y objetivos	42
2.1.1. Justificación y problema	42
2.1.2. Objetivo General	43
2.1.2. Objetivos Particulares	43
2.2. Metodología de investigación de campo	44
2.2.1. Actividades preliminares	44
2.2.2. Actividades de trabajo de campo	45
2.3. Metodología de investigación experimental	47
2.3.1. Actividades preliminares	47

2.3.2. Actividades experimentales	48
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
3.1. Actividades preliminares	53
3.1.1. Distribución de temperaturas dentro del contenedor aislado	53
3.1.2. Caracterización de la distribución de temperaturas dentro de la cámara de refrigeración	53
3.2. Actividades de trabajo de campo	54
3.2.1. Prácticas usadas en la manipulación de pollo	54
3.2.2. Manipulación en distribución mayorista	55
3.2.3. Manipulación en venta a detalle	60
3.2.4. Infraestructura, distribución de áreas y equipo utilizado en el mercado de aves	62
3.2.5. Comportamiento de la temperatura ambiental	67
3.2.6. Comportamiento de la temperatura superficial del pollo	68
3.2.7. Comportamiento de la temperatura en el centro térmico del pollo	70
3.3. Actividades experimentales	72
3.3.1. Determinación de pH	72
3.3.2. Determinación de capacidad de retención de agua (CRA)	74
3.3.3. Determinación de parámetros de perfil de color	76
3.3.4. Dureza	82
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES AL MERCADO DE AVES	86
REFERENCIAS	87

Índice de Figuras

Figura	Título	Pág.
1	Consumo <i>per cápita</i> de pollo en México (UNA, 2014)	2
2	Producción de pollo en México en millones de toneladas por año 1994-2015 (UNA, 2014)	3
3	Componentes integradores del músculo esquelético de carne de ave (Pastor, 2009)	7
4	Cambios de color de la mioglobina según sus estados de oxidación-reducción (Pastor, 2009)	19
5	Distribución de coordenadas a^* y b^* en un valor constante de L^* (Konica Minolta, 2003)	20
6	Tonalidades de acuerdo a los $^{\circ}$ Hue (Konica Minolta, 2003)	21
7	Relación entre el tono y la luminosidad (Konica Minolta, 2003)	22
8	Diagrama de bloques para el procesamiento de aves	25
9	Contenedor plástico para pollo	27
10	Cadena de frío de la carne de pollo (Casp, 2003)	31
11	Vehículos isotermo, refrigerante y frigorífico	39
12	Acomodo dentro del contenedor aislado para la distribución de temperaturas	45
13	Termómetro digital Hanna	46
14	Acomodo de las piezas de pollo en forma de pirámide	46
15	Colocación del termopar en el muslo de pollo	47
16	Niveles donde se realizó la lectura de temperaturas en la cámara de refrigeración	48
17	Medición de pH con el potenciómetro	48
18	Configuración del texturómetro para la prueba de compresión	49
19	Colorímetro Agrocólor	50
20	Ventana de Photoshop para transformar coordenadas R, G y B a L^* , a^* y b^*	51

21	Configuración del texturómetro para la prueba de esfuerzo al corte	51
22	Corte de la muestra en el texturómetro Brookfield	52
23	Compresión de la muestra en el texturómetro Brookfield	52
24	Diagrama de manipulación de pollo fresco en distribución mayorista y venta a detalle	55
25	Recepción de pollo a granel en contenedores	56
26	Enjuague de la canal de pollo	58
27	Exhibición de pollo en venta a detalle	61
28	Vista exterior e interior del arcón congelador donde se almacena el pollo	61
29	Distribución de áreas dentro del mercado de aves	63
30	Contenedores apilados con el montacargas en el estacionamiento del mercado de aves	64
31	Báscula utilizada para pesar pedidos inferiores a 10 kg de pollo	65
32	Carro utilizado para transportar el pollo dentro del mercado de aves	65
33	Cubeta donde se enjuaga la canal de pollo	66
34	Contenedor de pollo	66
35	Temperatura ambiental promedio	67
36	Temperatura superficial promedio del pollo	69
37	Movimiento de las canales de pollo	70
38	Temperatura interna promedio del pollo	70
39	Variación de pH según el tratamiento y día de trabajo	72
40	Variación de la capacidad de retención de agua según el tratamiento y día de trabajo	75
41	Variación de la luminosidad según el tratamiento y día de trabajo	76
42	Variación de °Hue según el tratamiento y día de trabajo	79
43	Interpretación del ángulo Hue (Delgado <i>et al.</i> , 2014)	80
44	Variación de croma según el tratamiento y día de trabajo	81
45	Variación de la dureza según el tratamiento y día de trabajo	83

Índice de Tablas

Tabla	Título	Pág.
1	Composición química de la pechuga de pollo (Legorreta, 2010)	4
2	Características de filetes de pollo normales y pálidos (Woelfel <i>et al.</i> , 2002)	12
3	Concentración de mioglobina en carnes (Pastor, 2009)	19
4	Temperatura de transporte de distintos alimentos perecederos (Hidalgo, 2003)	37
5	Efecto del día de trabajo en el pH de la carne de pollo	73
6	Efecto del día de trabajo en °Hue de la carne de pollo	79

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades físicas y fisicoquímicas de pollo fresco por efecto de su manipulación a baja temperatura dentro de un centro de distribución y venta a detalle, como parte fundamental de la cadena de frío.

En el trabajo se muestra como es la manipulación de pollo fresco, por parte de la cadena de frío, en un mercado de aves encargado de la distribución de pollo (proveniente de distintos estados de la República Mexicana), completo o en piezas a vendedores mayoristas y minoristas de la Ciudad de México. El lugar cuenta con dos zonas de venta: una llamada centro de distribución, en donde se vende el producto al mayoreo y otra de venta a detalle, para la venta del producto al menudeo a casas o pequeños negocios. En dichos lugares se midió la temperatura de las canales de pollo para conocer las temperaturas que alcanzaban y si se perdía la cadena de frío, para posteriormente llevar las muestras al laboratorio en donde se les realizaron las pruebas de pH, capacidad de retención de agua, color y dureza.

Con los resultados obtenidos se concluyó, que en el mercado de aves se rompe por completo la cadena de frío del pollo, siendo el centro de distribución el que mantiene más baja la temperatura. Además no hay incidencia de carne pálida, suave y exudativa debido a la manipulación y aumento de la temperatura. Teniendo como resultado un pH en intervalos normales para el muslo de pollo, así como valores normales de capacidad de retención de agua y una luminosidad superior de la carne mexicana a la establecida por autores de otros países. Mostrando diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) en lo que fue el día de trabajo, que engloba una diferente parvada de aves a la del día anterior, así como diferente transporte y matanza, lo que se ve reflejado en su estrés y en consecuencia en las propiedades de la carne.

INTRODUCCIÓN

En México, se desperdician 1.17 millones de toneladas de pollo al año debido a fallas en la cadena de frío o por falta de concientización sobre el manejo comercial de la carne (SEDESOL, 2013; CONACCA, 2015; Sigler, 2015).

Debido a este desperdicio y a la globalización de los mercados, la producción de esta proteína animal se vuelve más demandante, por lo que es necesario que los avicultores, distribuidores, detallistas y todos los involucrados en la cadena de suministro, sean capaces de entregar productos que posean características distintivas en el mercado, que garanticen un producto sano, inocuo y de calidad tanto para los consumidores nacionales como para los internacionales (SAGARPA, 2009; Hernández, 2008). Para ello, se requiere establecer las pautas que garanticen el correcto tratamiento del producto en todas las etapas logísticas, así como la organización que debe darse entre proveedores, clientes, operadores logísticos y consumidor de forma coordinada, para cumplir con las condiciones exigibles en cada una de las fases que abarcan los puntos: de la captura, sacrificio, almacenaje, transporte, tienda y consumidor.

Laguerre *et al.* (2008) mencionan que el control de temperatura por parte de los fabricantes y distribuidores es fundamental para mantener la calidad del producto hasta su consumo. Mientras que por otra parte, Eilert (2005) refiere que el mantenimiento de la cadena de frío se hace para salvaguardar la seguridad de los consumidores y la protección de la salud pública.

La cadena de frío comienza inmediatamente después de que el producto ha sido sacrificado y debe regularse para que en todo momento se mantenga a una temperatura entre 0 y 4 °C (NMX-FF-080-SCFI-2006). Sin embargo, el control de la

temperatura durante el transporte, distribución y almacenamiento (comercial y doméstico) es a menudo deficiente, teniendo condiciones diferentes a las recomendadas por la norma mexicana (0-4 °C), con valores que pueden ser superiores a los 15 °C (Dutra & Prentice, 2014).

De esta forma, la temperatura se vuelve el factor principal que afecta la calidad y seguridad de la carne de pollo, por lo que la cadena de frío es ampliamente utilizada para retrasar el crecimiento de microorganismos y la acción enzimática que causan oscurecimiento, oxidación de lípidos, cambios de color, textura, etc., permitiendo así, prolongar la vida útil del producto (Dutra & Prentice, 2014; Rediers *et al.*, 2009).

Exceder dicha temperatura conlleva a una disminución de la calidad del producto, que es definida como los atributos o características deseables de la carne para el consumo humano, y se encuentran en función de su composición y de factores de palatabilidad como jugosidad, sabor, ternura, olor, color y aspecto (FAO, 2015).

Entre las características deseables para la aceptación de ésta materia prima cárnica se encuentran:

- ❖ El color, considerado primer indicio de calidad y frescura del producto.
- ❖ La firmeza, característica sensorial sumamente importante de la carne, que está relacionada con el estado e interacción de las diferentes estructuras del músculo y sus componentes (miofibrillas, tejido conectivo y agua).
- ❖ El pH, parámetro que afecta varias de sus cualidades (color, capacidad de retención de agua, etc.), que lleva a tener carne PSE (pálida, suave y exudativa) o carne OFS (oscura, firme y seca).
- ❖ La capacidad de retención de agua (indicativo de lo sucedido desde el transporte del animal, pasando por la matanza y el enfriamiento).

Los problemas como el que la carne no se refrigere o que se haga a temperaturas inadecuadas y que se exponga en pollerías fuera del frigorífico, son causas de

innumerables pérdidas en la producción de carne de pollo (López *et al.*, 2013). Por lo que es fundamental revisar las condiciones de manejo de la carne de pollo en un centro de distribución y venta a detalle para analizar cómo es la manipulación en estos sitios y cuál es el efecto sobre sus propiedades físicas y fisicoquímicas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Situación de la avicultura en México

La avicultura intensa se práctica desde los años 60, los principios fueron muy rudimentarios y solo trataban de aprovechar a machos de estirpes de puesta que sobraban en los nacimientos. Sin embargo, en los últimos 40 años la mejora y selección genética de estirpes cárnicas especializadas ha cambiado considerablemente teniendo mejores estándares de producción y calidad.

Los principales objetivos de la selección al nacer es la mejora de la transformación de piensos en carne y los incrementos en los índices de rendimiento de la canal y de sus partes más nobles. Así, los pollos de carne “modernos” son más tiernos, por su menor edad (que implica menos cantidad y grado de madurez del colágeno), de carne más clara, (por su menor contenido en pigmentos), y más jugosos, pues tienen un mayor contenido de humedad y grasa, al ser muy jóvenes por causas genéticas y alimenticias (Moreno, 2005).

En general, la avicultura ha tenido una importante transformación y un fuerte desarrollo e industrialización en las últimas décadas. La necesidad de producir carne de pollo de manera eficiente y económica ha sido una constante, por tanto, los objetivos de la selección genética se han basado en mejorar la velocidad de crecimiento y el rendimiento de la canal, en particular de la pechuga y en menor medida cuartos traseros.

El concepto actual que el consumidor mexicano tiene sobre la carne en general y sobre el pollo en particular ha evolucionado sobre manera en los últimos años, pasando de ser una fuente barata de proteína a una carne nutricionalmente equilibrada, fácil de cocinar y versátil. A su vez, la industria alimentaria ha

encontrado una materia prima con grandes aptitudes tecnológicas y posibilidades de procesar, agregándole al producto final un valor nutrimental extra que se adapta a las exigencias del consumidor, que demanda de forma creciente platos de fácil preparación culinaria.

El consumo de carne en países desarrollados es de 76.1 kg al año por habitante, mientras que en México, en el año 2014 el consumo de carne fue de 63 kg *per cápita*, donde la carne de pollo representó el 43.1 %. La Figura 1 muestra el aumento del consumo de carne de pollo desde el año 1994 hasta el 2015 (UNA, 2014).

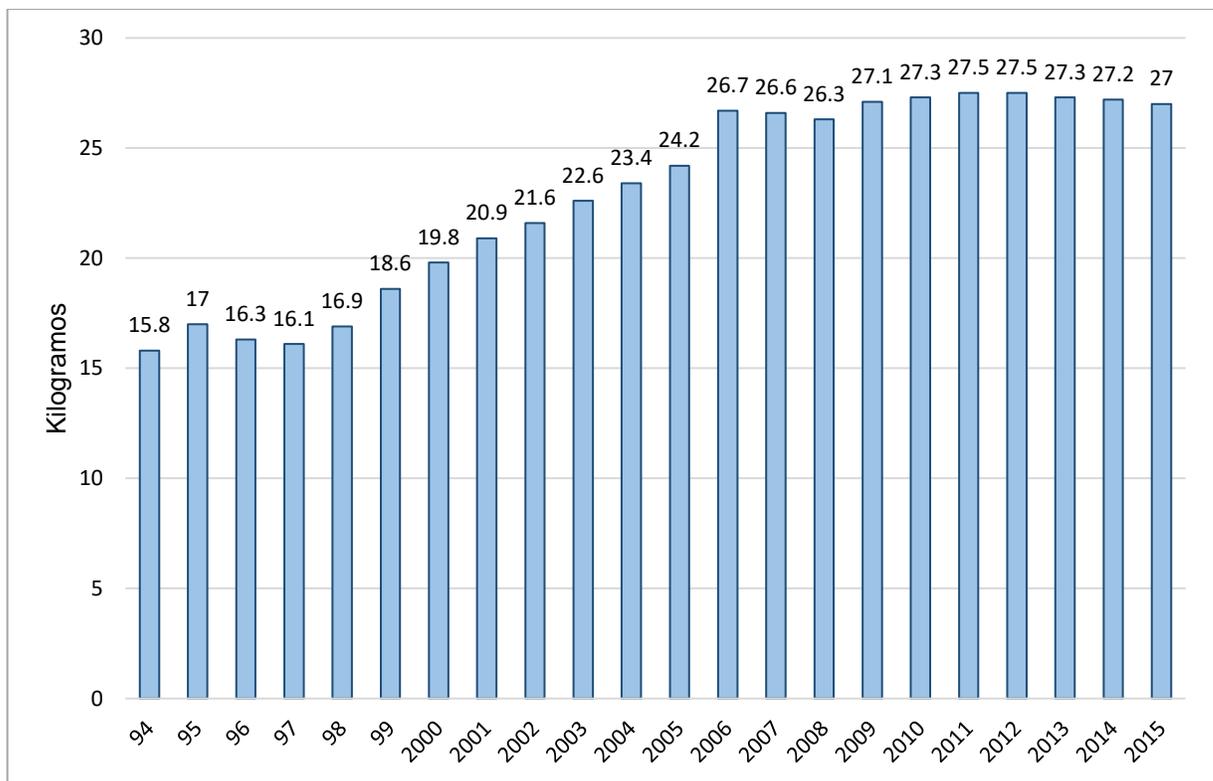


Figura 1. Consumo *per cápita* de pollo en México (UNA, 2014).

Este aumento en la demanda de aves de corral propició el crecimiento del sector de la carne de pollo, representando el 33.5 % de la producción avícola en 2014, donde el huevo participó con 29 % y el pavo con 0.1 % (SAGARPA, 2009; SAGARPA 2012; UNA, 2014).

A nivel mundial, México se encuentra en el séptimo lugar como productor de pollo con un promedio de 3.05 millones de toneladas de carne, representando el 40 % de la producción pecuaria nacional en el 2014 (UNA, 2014). En la Figura 2 se presenta la producción de pollo en México desde el año 1994 hasta el 2015.

Con la globalización de los mercados, la competencia nacional e internacional en la producción de proteína animal se vuelve más demandante. Por lo que es necesario que los avicultores sean capaces de entregar productos que posean características distintivas en el mercado, por ello, se ha recurrido a esquemas de certificación que garanticen un producto sano, inocuo y de calidad, tanto para los consumidores nacionales como para los internacionales (SAGARPA, 2009).

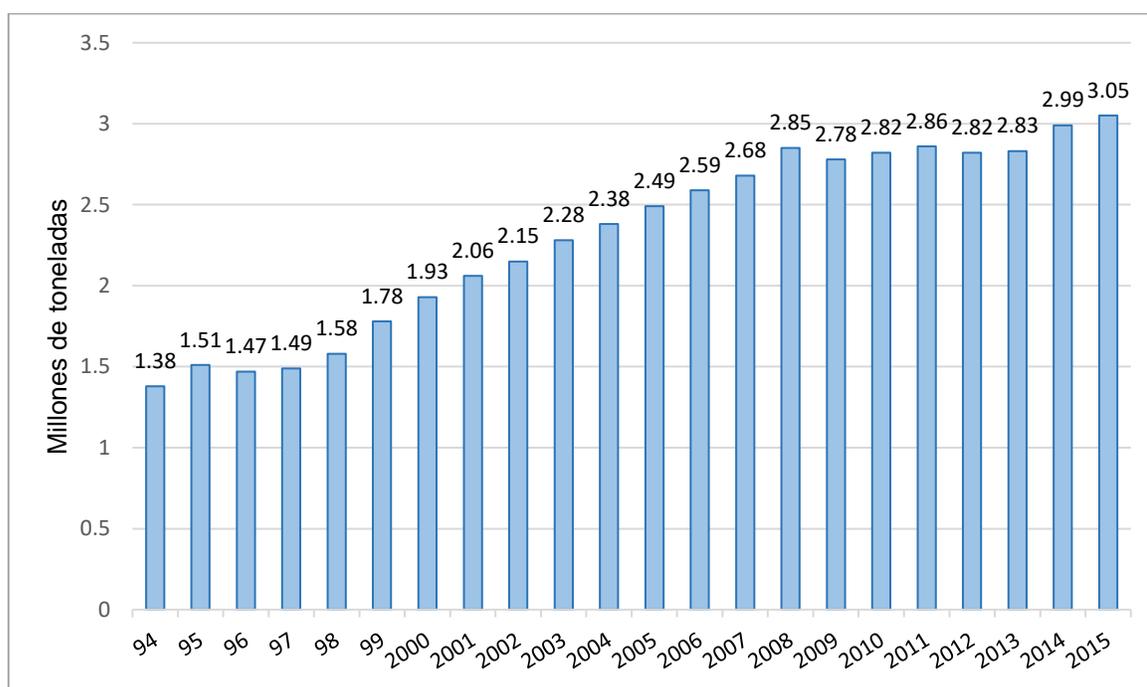


Figura 2. Producción de pollo en México en millones de toneladas por año 1994-2015 (UNA, 2014).

1.2. Composición química de la carne de pollo

La carne de pollo es un alimento con gran valor proteico, en su composición se encuentran aminoácidos esenciales así como vitaminas, siendo de mayor interés

las del complejo B; también contienen numerosas enzimas las cuales son de gran importancia para los procesos de maduración que tiene lugar después de la matanza, entre estas destacan las proteínas glucolíticas, lipasas, fosfatasas y proteasas. Carece en gran parte de tejido adiposo intramuscular, lo que disminuye el porcentaje de grasa en la carne, sin embargo, la cantidad de ácidos grasos insaturados en la carne es relativamente alta, provocando que en ella se produzca el enranciamiento de una forma más rápida cuando el almacenamiento es inadecuado (Grossklaus, 1979). En la Tabla 1 se observa la composición química de la pechuga de pollo.

Tabla 1.

Composición química de la pechuga de pollo (Legorreta, 2010).

COMPONENTE	CANTIDAD
Energía	145 kcal
Agua	71.6 %
Proteína	22.2 %
Grasa total	6.2 %
Colesterol	62 mg

1.2.1. Agua

El agua es el componente químico más abundante de la carne, puede considerarse el nutrimento más esencial para la vida del animal y del ser humano. La carne de pollo contiene aproximadamente entre 70 Y 75 % de agua, lo que es común en todas las carnes.

El agua es capaz de sostener el crecimiento microbiano y puede servir de vehículo o participar en reacciones químicas y bioquímicas dentro de la carne. De acuerdo al estudio cinético de las reacciones químicas, se sabe que la velocidad de reacción de todos los procesos disminuye rápidamente con el descenso de la temperatura (refrigeración y congelación), inhibiendo así las reacciones químicas, enzimáticas y el crecimiento de microorganismos (Barreiro & Sandoval, 2006; Badui, 2006).

1.2.2. Proteínas

La carne de pollo es sin duda alguna, una importante fuente de proteínas esenciales. Contiene aproximadamente entre 17 y 24 %, la cual es de excelente calidad, fácilmente digestible y contiene todos los aminoácidos esenciales que deben estar presentes en nuestra alimentación (Pilar *et al.*, 2013). El complejo comestible consiste principalmente de las proteínas actina y miosina juntas, con pequeñas cantidades de colágeno, reticulina y elastina (Egan *et al.*, 1987).

Los seres vivos requieren 20 diferentes aminoácidos para formar proteínas, sin embargo, el ser humano solo es capaz de sintetizar 10 de estos, por lo tanto, los restantes los debe obtener por medio de su alimentación, a estos últimos se les denomina “aminoácidos esenciales”.

Los aminoácidos son esenciales para la resistencia corporal ante las enfermedades infecciosas, para la digestión de las sustancias nutritivas, para la acción glandular endocrina y como los componentes de los anticuerpos, de las enzimas digestivas y de las hormonas. Las proteínas en conjunto con el agua, no sólo son la base de la estructura corporal y tisular, sino también de enzimas, hormonas y tienen funciones de agentes transportadores entre otros procesos (Carvajal, 2001).

1.2.3. Lípidos

La cantidad de grasa en el pollo entero varía con la edad y sexo, conteniendo aproximadamente entre 1.9 y 6 % de grasa. Las grasas son una fuente importante de energía en la dieta humana que aportan 2.25 veces más energía por unidad de masa que los carbohidratos y proteínas.

La deposición de grasa abdominal en el pollo es mayor en las etapas tempranas del crecimiento. Posteriormente, conforme madura el animal, aumenta la deposición de grasa, primero en la piel y luego a nivel intermuscular, la cual aumenta a la par del peso corporal. Una ventaja de la carne de pollo es que la mayor parte de la grasa

corporal se encuentra en la piel, y por tanto, al retirarla se reduce el consumo de grasa de origen animal.

En la grasa se depositan los pigmentos de origen vegetal que se suministran al ave por medio del alimento y gracias a esto, la piel toma un color amarillo, color que los consumidores mexicanos demandan.

1.3. Estructura y composición del músculo de pollo

En el cuerpo de los animales, y en este caso del pollo, se pueden encontrar tres tipos de músculos:

- ❖ Músculo cardíaco: Únicamente conforma el corazón de los animales.
- ❖ Músculo liso: Son de movimiento involuntario, se encuentran en las paredes de las vísceras y participan en procesos como la deglución.
- ❖ Músculo esquelético: Todos los músculos estructurales que facilitan el movimiento del cuerpo.

El músculo esquelético tiene dos componentes fundamentales que son el tejido conectivo y las fibras musculares, los cuales se muestran en la Figura 3:

a) El tejido conectivo tomará diferentes nombres dependiendo de su localización en el músculo (perimisio, epimisio y endomisio), sin embargo, su composición será en todos los casos la misma: colágeno, elastina, glucoproteínas y proteoglicanos (Moreno, 2005).

La parte fundamental, el colágeno, es una estructura proteica compuesta en un 12.5 % por hidroxiprolina, este aminoácido es utilizado como indicador de la cantidad de tejido conectivo empleado en una mezcla cárnica, y por tanto, puede definir la nobleza de las partes bajas en grasa.

El colágeno afectará negativamente a la terneza de la carne, no solo por la cantidad, sino por la estructura espacial y el grado de maduración del mismo. Sin embargo,

tras la cocción de la carne, y por efecto de la temperatura (80-90 °C), su estructura proteica se desnaturaliza y el producto final gana en ternura (Richard, 1999). Los proteoglicanos incrementarán la capacidad de retención de agua del músculo.

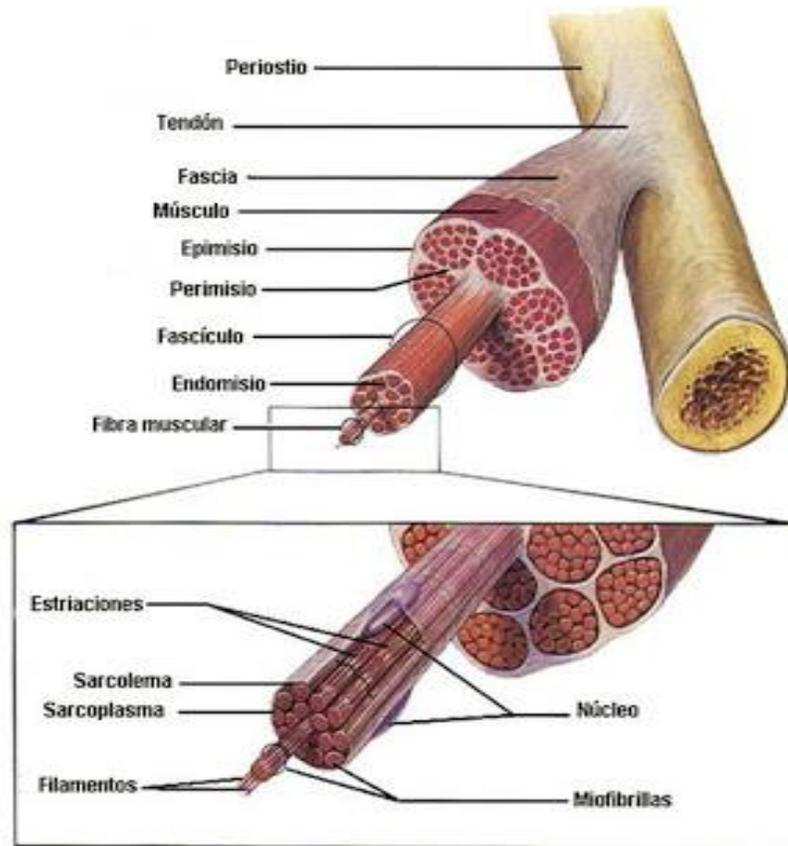


Figura 3. Componentes integradores del músculo esquelético de carne de ave (Pastor, 2009).

b) Las fibras musculares son el segundo de los componentes del músculo esquelético; son elementos fundamentalmente proteicos, rodeados de tejido conectivo (endomisio) y de una bicapa lipoproteica (sarcolema). Por tanto, la primera clasificación que se puede hacer en el caso de los músculos esqueléticos será según el tipo de fibras musculares existentes (Moreno, 2005):

- ❖ Músculos rojos: fibras musculares más estrechas y ricas en mioglobina, con metabolismo oxidativo capaz de mantener contracciones sostenidas y eficientes.

- ❖ Músculos blancos: fibras más anchas, menos pigmentadas y que responden a las necesidades de potencia puntuales por medio del metabolismo glucolítico.

En la carne de pollo esta clasificación se observa en la diferencia de color entre la carne de la pierna (músculo rojo) y la pechuga (músculo blanco). Lo anterior no significa que la pechuga de pollo no tenga fibras rojas, sino que sus músculos preponderantemente están formados por fibras blancas y por lo tanto contienen baja cantidad de mioglobina (Ramírez, 2004). Cori *et al.* (2013) reportó que la concentración de mioglobina en la pierna de pollo es de 0.99 mg/g carne, mientras que en la pechuga es de 0.47 mg/g carne.

El tipo de fibras musculares y el tipo de metabolismo dependerá de muchos factores como son: especie, raza, sexo, edad, localización del músculo, ejercitación de éste, dieta y variabilidad intrínseca del individuo.

La composición de la carne presenta variaciones en función de la edad del animal sacrificado. Foegeding *et al.* (1996) demostró que mientras mayor sea la edad del animal, el contenido de colágeno total con colágeno reticulado será más alto, lo que afecta negativamente la ternura de la carne, debido a que existe una correlación negativa entre ambos. También existen diferencias en la composición de las distintas piezas cárnicas, como en el caso de la pechuga, cuyo contenido en proteínas es mayor en comparación con el muslo (Jaturasitha *et al.*, 2008).

En la carne se pueden distinguir tres tipos de proteínas con interés nutrimental, las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares, que representan propiamente el concepto de proteína cárnica, y las proteínas del tejido conectivo (colágeno y elastina), cuyo porcentaje varía con la región anatómica y que suelen incidir en la calidad de la carne. Estas proteínas ofrecen notables diferencias con las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares en lo que respecta a sus contenidos en aminoácidos, hasta el punto de ser consideradas de bajo valor nutricional. En el colágeno falta el

triptófano, escasea la metionina, abunda la valina y sobresale su contenido en hidroxiprolina, glicina y prolina (Reyna, 2001).

El contenido de grasa, proteína y composición del pollo es similar al del resto de las aves de corral, además de que su contenido proteico no difiere de las carnes rojas.

1.4. Calidad del pollo

Hoy en día, uno de los productos de mayor demanda en Latinoamérica y el resto del mundo es la carne de pollo, como ya se mencionó, el mercado busca productos de fácil preparación y además nutritivos (Alvarado, 2012).

Una característica que ha permitido ser competitiva a la avicultura es su habilidad para cambiar de forma continua según las demandas del mercado, dentro de las cuales se encuentra la calidad de la carne de pollo, incluyendo tanto las características deseables en canales completas, como en piezas o carne deshuesada (Alvarado, 2012), por lo que ha sido necesario la elaboración de parámetros y normas para evaluar la calidad, definiendo así lo que es deseable o aceptado por el consumidor y lo que no lo es, eliminando la subjetividad durante la evaluación de la calidad en demanda.

La definición de calidad dentro de la avicultura es bastante subjetiva, ya que depende de la perspectiva de cada persona. Sin embargo, la perspectiva del consumidor será siempre la más adecuada porque él tomará en cuenta las características sensoriales del producto y únicamente comprará un producto que satisfaga sus expectativas, si el producto no cumple con lo esperado resultará ser definido como un producto de baja calidad (Northcutt, 2004).

La "calidad" se define como atributos o características de la carne deseables para el consumo humano, y se encuentran en función de su composición (coeficiente magro-graso) y de factores de palatabilidad como jugosidad, sabor, terneza, olor, color y aspecto (FAO, 2015; NMX-FF-078-SCFI-2002). Para el consumidor la

aparición es el principal criterio para seleccionar lo que comprará y para una evaluación inicial de la calidad de la carne (Allen *et al.*, 1998).

Existen diversos indicadores de calidad para la carne de pollo, sin embargo, la pigmentación cutánea y la aparición en las canales de ave son los dos indicadores de calidad más utilizados por parte de los consumidores del estado de México. Un mal manejo antes del procesamiento se ve reflejado en la calidad de la canal, como son una pérdida en el rendimiento, lesiones que conllevan a la depreciación del valor de las piezas, así como también presentar un color no deseado (Castañeda *et al.*, 2013).

La calidad de la carne también se ve afectada a causa del estrés al que se somete a las aves durante el manejo antes de la matanza, o al retraso en el enfriamiento después de ésta, dando como resultado carne pálida, suave y exudativa (PSE), en la que disminuye la capacidad para retener agua, lo que impide su uso para productos de valor agregado (Castañeda *et al.*, 2013).

Otros factores que están involucrados en la determinación de la calidad de la carne del pollo son la textura, sabor y capacidad de retención de agua, características dadas por factores como la genética, el medio ambiente, el manejo y el procesamiento (Northcutt, 2004).

1.4.1. Cambios *ante* y *post-mortem*

Diversos factores pueden afectar la calidad de la canal, los cuales se dividen en *ante* y *post-mortem*:

Eventos *ante-mortem*: Son aquellos relacionados con la granja tales como la densidad de población, alimentación y estrés generado, y que son algunos de los causantes de los principales problemas que se observan al evaluar la calidad de la carne. El estrés calórico puede provocar una temprana y rápida glucólisis (McKee y Sams, 1997). Las fibras glucolíticas desarrollan más rápido el *rigor mortis*, el cual

toma alrededor de una hora para la pechuga de pollo. Así, canales que lo adquieren rápidamente deberán enfriarse velozmente para evitar la desnaturalización de proteínas como la miosina, mientras que aquellas que lo alcanzan lentamente se enfriarán a menor velocidad con el propósito de evitar su endurecimiento (Dransfield & Sosnicki, 1998).

Eventos *post-mortem*: Cuando el animal ha muerto la reducción del pH que sufre el músculo es causada por el metabolismo anaeróbico, disminuyendo el pH de 7.2 a 5.8 en la carne, lo que provoca rigidez conocida como *rigor mortis*; si éste se desarrolla demasiado rápido aumentan las posibilidades de que precipiten las proteínas solubles (proteínas sarcoplásmicas), provocando que la carne posea un color pálido y que disminuya su capacidad de retención de agua, resultado en un producto de baja calidad (Dransfield y Sosnicki, 1998).

El ritmo de enfriamiento de las canales tiene efecto sobre el pH de la carne, debido a que la actividad de las enzimas es dependiente de la temperatura. El grado de enfriamiento incide en el grado de caída del pH por la producción de ácido láctico, lo que afecta la velocidad de instauración del *rigor mortis*.

1.4.1.1. Carne pálida, suave y exudativa (PSE)

Esta anomalía en la carne se genera por una glucólisis acelerada, y por tanto, un descenso rápido del pH mientras la temperatura corporal es aún elevada. Por tanto, sus efectos son combinación del bajo pH y de la desnaturalización proteica. Las características de las carnes PSE no solo afectan la aceptabilidad del consumidor, debido al color pálido y textura poco firme del filete, sino que empeora las aptitudes tecnológicas de la carne, capacidad de retención de agua, poder de gelificación y textura, disminuyendo la calidad y rendimientos de los productos cárnicos elaborados (Moreno, 2005).

En diferentes trabajos se ha intentado buscar indicadores medibles en canal que puedan predecir la posibilidad de lotes PSE. La pechuga de pollo ha sido el músculo

elegido para analizar si una canal es o no PSE por dos razones: primero, por ser la parte más noble y accesible de la canal; y segundo, dado que su metabolismo principalmente glucolítico manifestará sobre manera los efectos de una glucólisis forzada.

Los principales parámetros, posibles indicadores de PSE, han sido:

- ❖ pH a diferentes momentos *post-mortem* (0, 3 y 24 horas). Siendo la medida más representativa la de 3 horas *post-mortem* dado que las carnes PSE no van a depender tanto del pH inicial y final como de la velocidad del descenso durante las primeras horas.
- ❖ Color medido tras el sacrificio (0 horas) mediante instrumentos. Particularmente, el valor “L*” o luminosidad (Minolta RC-200) es el parámetro que mejor correlaciona con la posibilidad de carnes PSE.

Woelfel *et al.* (2002) encontraron que el límite del valor CIE L* para diferenciar carne normal de PSE sería $L^* > 54$. Las diferencias de los dos grupos de filetes, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Características de filetes de pollo normales y pálidos (Woelfel et al., 2002).

Parámetros analizados	Normal	Pálido
L* (3h)	51.38	60.41
L* (24h)	52.15	59.81
pH (3h)	6.07	5.76
Humedad	25.18	30.61
Pérdidas por goteo (%)	3.32	4.38
Pérdidas por cocción (%)	21.02	26.39

Es evidente la palidez de las pechugas PSE frente a las normales y el valor de L* - mediante Minolta- puede utilizarse como parámetro indicador, los umbrales establecidos por diferentes autores varían según los estudios y/o equipos de

medida, así: $L^* > 53$ (Castello, 1991; Quiáo, 2002); $L^* > 54$ (Woelfel *et al.*, 2002) y $L^* > 49$ (Barbut, 1997).

Por tanto, el manejo de los animales pre sacrificio (ayuno, transporte, espera) son los principales causantes de carnes PSE en pollos de carne. Este tipo de carne son más claras, tienen escasa capacidad de retención de agua, haciéndose más secas al consumirse debido a la gran pérdida de agua durante el proceso culinario.

La aparición de carne pálida proveniente de filetes de pechuga de pollo y pavo fue observada después del enfriamiento de la carne en la planta de procesamiento y en la venta al menudeo en supermercados. Algunos procesadores separan los filetes pálidos de la carne destinada para productos con valor agregado debido a su pobre funcionalidad, lo que causa variaciones en la calidad de los productos (Sams, 2000). Este tipo de carne en un principio fue descrita como carne con presentación de un color claro amarillo-blanco, que puede virar hasta un color gris durante el almacenamiento y distribución, sin crecimiento bacteriano excesivo (Boulianne & King, 1995).

1.4.2. Parámetros que determinan la calidad de la carne de pollo

Se le llama “pollo fresco” a aquella carne que ha sido procesada y mantenida a una temperatura entre 0 y 4 °C (NMX-FF-080-SCFI-2006).

El concepto “frescura” es intuitivamente sencillo, pero resulta difícil de describir objetivamente ya que implica la relación de diversas características que dependen de la agudeza, sensibilidad y experiencia del consumidor para detectar y evaluar la aparición de olores desagradables y/o cambios en el color.

La pérdida de frescura de la carne se presenta gradualmente y puede determinarse siguiendo los cambios en las características de apariencia general y color, además de la aparición de aromas ácidos y/o putrefactos, viscosidad y exudado.

1.4.2.1. pH

El pH de la carne esta dado en función al sacrificio del animal y éste se ve modificado por la producción o consumo de ácido láctico que se produce durante la matanza, reflejándose en cambios fisicoquímicos y físicos, generando carnes PSE (pálida, suave y exudativa) u OFS (oscura, firme y seca).

El valor normal de pH del pollo "*in vivo*" es cercano a la neutralidad de 7.0 a 7.2. En las cuatro primeras horas después del sacrificio el pH desciende a cifras de: 6.15 (pechuga) y 6.40 (muslo), llegando a valores finales de: 5.70 (pechuga) y 5.90 en el muslo a las 24 horas *post-mortem* (Moreno, 2005). Cuando el descenso del pH se acerca al punto isoeléctrico de las proteínas (pH= 5.1-5.5), inactivará la enzima fosfofructoquinasa, responsable de la glucólisis.

Los principales instrumentos empleados en la medición del pH en los productos cárnicos son:

- ❖ Potenciómetro para carnes.
- ❖ Potenciómetro universal.

1.4.2.2. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es la habilidad de la carne de retener total o parcialmente el agua propia y eventualmente adicionada durante su tratamiento cuando ésta se somete a factores externos u otros tratamientos como lo son el cortado, la molienda, la cocción, el prensado, etc. Cuando se aplica cualquiera de las operaciones anteriores, la carne sufre pérdidas de humedad debido principalmente al agua libre de su estructura.

El agua es retenida en el interior de una red de fibras musculares de dos maneras:

- ❖ La acción de cargas eléctricas de las proteínas permiten fijar firmemente un cierto número de moléculas de agua.

- ❖ La acción ligada a la configuración espacial más o menos abierta de ésta red y consecuentemente la posibilidad importante de contener y retener las moléculas de agua.

El descenso del pH provoca el encogimiento de la red de cadenas polipeptídicas que conlleva a una disminución de la capacidad de la carne para retener agua. Las propiedades físicas más importantes de la carne (color, firmeza, jugosidad y textura) están estrechamente relacionadas con la CRA (Fernández, 2007).

El poder de retención de agua está estrechamente ligado al último pH y guarda un valor alto cuanto más alto es el valor del pH. La velocidad a la que el último pH se estabiliza también tiene influencia. Cuando el pH desciende muy rápido, las alteraciones que sufren las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas se traducen en un descenso en el poder de retención de agua.

Las técnicas usadas para medir la capacidad de retención de agua son (Fernández, 2007):

- a) Goteo: Se mide manteniendo las piezas de carne en bolsas de plástico bajo condiciones estándar, después de un intervalo determinado se mide el peso o volumen de líquido recogido en el fondo de la bolsa. El goteo de la carne no industrializada es ordinariamente pequeño (aproximadamente 0-3 %), pero en casos excepcionales puede ser más alto. Las grandes pérdidas por goteo están asociadas normalmente a valores de pH fuera de las referencias.
- b) Método de centrifugación: Se homogeniza la carne con o sin adición de agua y se somete a una centrifugación. La CRA se calcula a través de la cantidad de líquido separado o del peso de residuo de centrifugación.
- c) Método de compresión: Consiste en colocar muestra de carne sobre papel filtro y comprimir el conjunto entre dos placas depresivas. Como resultado se

forma una delgada película de carne y el agua liberada por ésta resulta absorbida por el papel filtro, apareciendo en el mismo un círculo mojado en torno a la película de la carne. El agua liberada es proporcional a la diferencia del área del círculo empapado y la de la película de la carne.

1.4.2.3. Textura

La textura es el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y superficiales de un producto perceptible por los mecano receptores, los receptores táctiles y eventualmente por los receptores visuales y auditivos (Genot, 2013). Es una manifestación o resultado de una combinación de propiedades físicas y químicas, que incluyen la forma, tamaño, número, naturaleza y disposición de los elementos estructurales constituyentes.

Está compuesta por distintos parámetros tales como:

- ❖ **Fracturabilidad:** Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta. Se expresa en N.
- ❖ **Dureza:** Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar. Se expresa en unidades de fuerza, N.
- ❖ **Cohesividad:** Representa la fuerza con la que están unidas las partículas, límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Es adimensional.
- ❖ **Adhesividad:** Representa el trabajo necesario para despegar el plato de compresión de la muestra o el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (paladar). Se mide en $\text{Kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$.
- ❖ **Elasticidad:** Mide cuanta estructura del alimento se ha roto por la compresión inicial. Es adimensional.
- ❖ **Masticabilidad:** Representa el trabajo necesario para desintegrar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido. Se expresa en Kg.

Los cuales se caracterizan por las impresiones de terneza y jugosidad, que se definen de la siguiente manera (Hleap & Velasco, 2010):

- ❖ Terneza: Es la cualidad de la carne de dejarse cortar y masticar (con mayor o menor facilidad) antes de la deglución, estando directamente ligada a la resistencia mecánica del producto consumible.
- ❖ Jugosidad: Es la impresión resultante de la masticación que es función de una parte del jugo liberado por la carne y de otra por la secreción salivar estimulada esencialmente por la grasa.

La textura de la carne depende del tamaño de los haces de fibras musculares, es decir, del número y diámetro de las fibras, ya que los distintos tipos de éstas fibras presentan diferentes capacidades de contracción y retención de agua, y por tanto, reaccionan de distinta forma a la temperatura. En segundo lugar la longitud del sarcómero y de las miofibrillas inciden sobre la dureza, de forma que cuanto mayor es el estado de contracción mayor valor presenta. Algunos autores consideran que no existe una relación lineal entre estos dos parámetros, mientras que otros afirman que la dureza es completamente independiente de la longitud del sarcómero en los músculos de rápida glucólisis *post-mortem*. Por último, influye la cantidad y naturaleza del tejido conectivo que forma el perimio tisular (Ramírez, 2008).

Su dureza o blandura depende de la mayor o menor dificultad que presente a ser troceada durante la masticación. En la práctica, es una función de la cantidad de tejido conectivo que exista y de la grasa intermuscular que contenga, mientras que en los productos cárnicos transformados, la textura depende de diversos factores relacionados con la tecnología específica de cada caso, y en ella intervienen fundamentalmente las proteínas, los lípidos y el agua (Reyna, 2001).

Los métodos de evaluación de textura para los productos cárnicos dentro del sector alimenticio son (Fernández, 2007):

- a) Ensayos fundamentales: Se basan sobre teorías físicas perfectamente contrastadas en el dominio de los materiales clásicos. Como ventaja tienen que se encuentran ligadas a fundamentos teóricos ampliamente

desarrollados y así pueden extenderse fácilmente por transferencia de métodos, de un campo científico dado al agroalimentario.

- b) Ensayos empíricos: Estos no tienen base científica real, sino que se encuentran basados en la intuición del manipulador. No se encuentran estrictamente definidos y son modificables a voluntad de un experimento a otro. Son difícilmente comparables entre ellos, incluso nada comparables si cambian las condiciones experimentales.
- c) Ensayos por imitación: Intentan simular en cierto grado las fuerzas y deformaciones a las que se somete el alimento mientras está siendo consumido. El resultado obtenido está íntimamente ligado al proceso de análisis, y por ejemplo, es imposible transferir a otros procesos industriales; si se decide cambiar el proceso de fabricación o tratamiento del producto analizado, es necesario entonces rehacer un nuevo análisis completo. El ejemplo más claro es el texturómetro para simular el proceso de masticación.

1.4.2.4. Color

En la carne como en otros productos, el color es un factor preponderante en la decisión de compra por parte de los consumidores, razón por la que debe tomarse en cuenta durante su congelación y almacenamiento (Fernández, 2007). El color de la carne depende de la forma química bajo la que se encuentre una proteína del sarcoplásma celular denominada mioglobina, la cual es responsable del color de la carne (Reyna 2001). La Tabla 3 muestra la concentración de mioglobina en la carne de distintos animales.

El color del tejido muscular es determinado principalmente por el contenido de hemoglobina y mioglobina. Ambas hemoproteínas, son del tipo sarcoplásmicas con una conformación globular, solubles en agua y en soluciones salinas diluidas; sin embargo, desde el punto de vista del procesamiento de carnes, el pigmento más

importante es la mioglobina, dado que la hemoglobina se elimina durante el desangrado en el proceso de matanza (Cori *et al.*, 2013).

Tabla 3.

Concentración de mioglobina en carnes (Pastor, 2009).

Carne	Intervalos de concentración de mioglobina (mg/g de carne)
Pollo	0.37 ± 0.19
Gallina	0.69 ± 0.34
Codorniz	1.13 ± 0.5
Vacuno	4 - 10
Tenera	3
Cordero	3 - 7
Cerdo	2 - 7

La mioglobina y hemoglobina son hemoproteínas que tienen como función principal almacenar y ligar oxígeno, sus reacciones con éste y otros ligantes son similares y resultan en importantes cambios en el color. Los colores de la mioglobina dependen de la reacción que tenga al entrar en contacto con oxígeno y átomos de hierro (Figura 4).

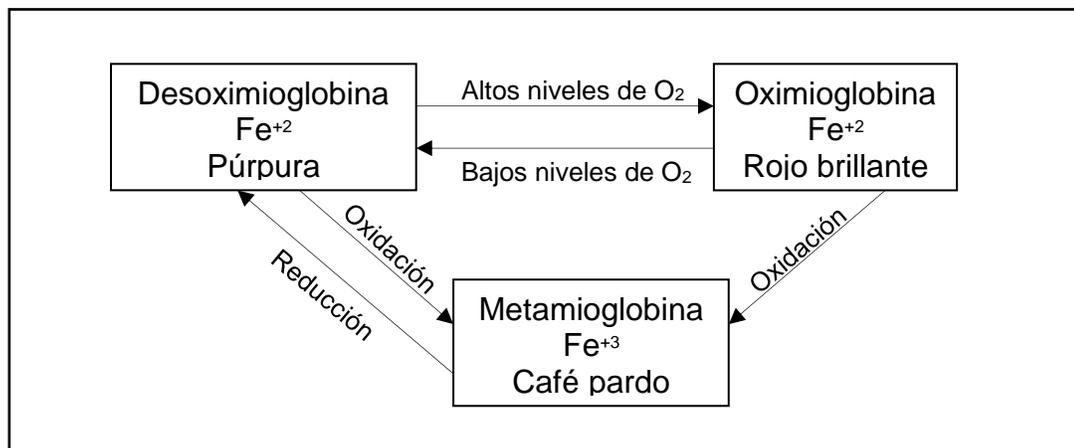


Figura 4. Cambios de color de la mioglobina según sus estados de oxidación-reducción (Pastor, 2009).

La concentración de los pigmentos varía mucho entre las diferentes carnes. Siendo importante los siguientes factores (Fernández, 2007):

- ❖ Especies animales.
- ❖ Razas.
- ❖ Edad.
- ❖ Sexo: La carne de los machos generalmente contiene mayor cantidad de pigmentos que la de los animales hembra.
- ❖ Función muscular: La función de la mioglobina es almacenar oxígeno; por lo tanto músculos que más trabajan contienen más mioglobina.
- ❖ Variaciones dentro del músculo.

El color en los alimentos puede expresarse de diferentes formas y éste tiene influencia en la percepción del consumidor. Existen diferentes métodos para la medición de color que se basan en reflectometría de luz visible, colorimetría triestímulo y análisis de imagen. Estos equipos permiten la obtención de las coordenadas triestímulo XYZ definidas por la CIE (Comisión Internationale de l'Éclairage), o bien el espacio cromático aceptado desde 1976 (CIE-L*a*b*), que incluye coordenadas cilíndricas y rectangulares en un espacio de color uniforme.

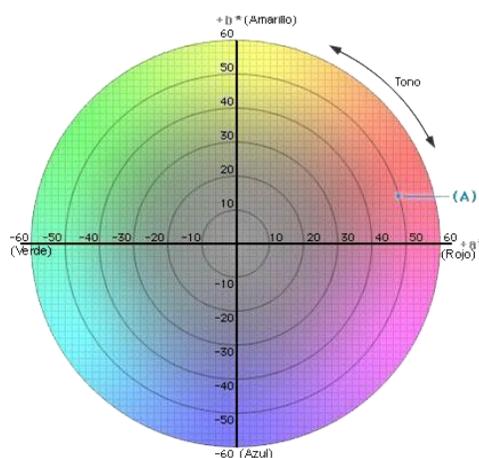


Figura 5. Distribución de coordenadas a^* y b^* en un valor constante de L^* (Konica Minolta, 2003).

Este método expresa los parámetros de color L^* , a^* y b^* en una muestra de alimento, designando: L^* , la luminosidad (claro u oscuro); a^* , el color rojo (valores positivos) o verde (valores negativos) y b^* , el color amarillo (valores positivos) o azul (valores negativos), los cuales se presentan en la Figura 5.

El espacio de color L^* , C^* y h usa el mismo diagrama del espacio de color L^* , a^* y b^* , pero usa coordenadas cilíndricas. La iluminación L^* es igual a la iluminación L^* en el espacio de color L^* , a^* y b^* , el ángulo de tonalidad (h) y la cromaticidad (C^*) ayudan a tener una mejor percepción de la calidad del color de un producto (Sánchez, 2015).

Estos instrumentos integran el valor de la medida en el área de la muestra sobre la que se aplican; si la distribución del color no es uniforme por la presencia de variables como texturas o manchas, entre otras, el valor promedio obtenido no describe adecuadamente el color de la muestra original, es decir, estos equipos no realizan segmentación ni clasificación de las imágenes (Pereira, 2009).

El color como lo detecta el ojo humano, es el resultado de una combinación de diversos factores. Cualquier color específico posee tres atributos conocidos como tono o tinte, luminosidad y croma:

- a) El tono (Figura 6) describe lo que generalmente se piensa o admite como color: amarillo, verde, azul, rojo, etc.

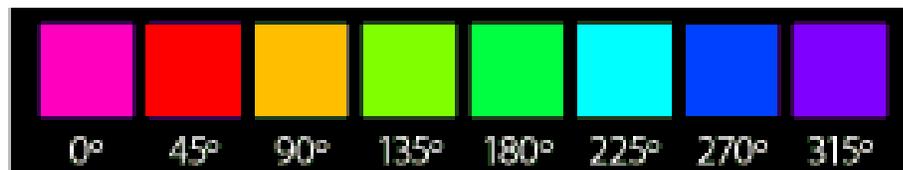


Figura 6. Tonalidades de acuerdo a los °Hue (Konica Minolta, 2003).

- b) La luminosidad de un color es la indicación de su reflectancia total (brillo) (MacDougall, 2002).

- c) El croma (pureza o saturación) son términos que describen la intensidad del color fundamental con respecto a la cantidad de luz blanca mezclada con él. La Figura 7 ejemplifica la relación entre el color y la cantidad de luz.

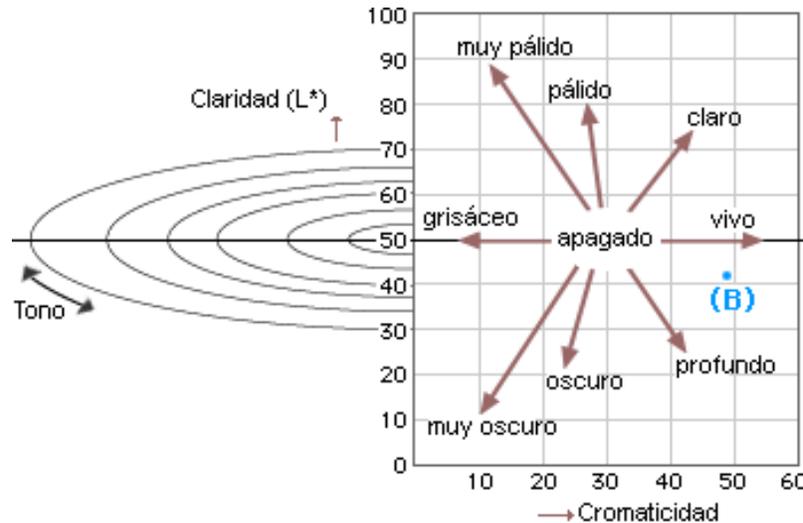


Figura 7. Relación entre el tono y la luminosidad (Konica Minolta, 2003).

1.5. Vida útil de la carne de pollo y sus derivados

La vida útil se puede definir como el periodo desde la recolección o la fabricación del alimento hasta su consumo, donde permanece seguro y con calidad sanitaria en las condiciones recomendadas de producción y almacenamiento (Gordon, 2010).

La vida útil comercial, o fecha de caducidad del producto, es una de las principales limitaciones que tienen los cárnicos de pollo. Esto es así, dado que el final de la vida útil es una consecuencia directa del crecimiento microbiano y/o la oxidación lipídica de las grasas. Por tanto, la vida comercial o fecha de caducidad de un producto no será sino la combinación de (Gordon, 2010):

- ❖ Características del producto o matriz: pH final, actividad de agua (cantidad de agua disponible), composición (cantidad y tipo de grasa), forma y tamaño las cuales determinarán la velocidad del crecimiento microbiano y la oxidación lipídica.

- ❖ Carga microbiana inicial: Consecuencia de las buenas prácticas de fabricación y procesado existentes en la industria.
- ❖ Sistema de conservación empleado: Temperatura de almacenamiento, tipo de envase y la utilización o no de conservadores (antioxidantes, antimicrobianos y antifúngicos).

Las canales de pollo presentan unos índices de carga microbiana post-sacrificio muy superiores al de otras especies no avícolas. Esto es así, dado que la piel no tiene ningún tipo de tratamiento antimicrobiano, y por tanto, con su flora microbiana llega al producto final.

Existen una serie de grupos microbianos, cuya evaluación en la superficie de las canales puede indicarnos la calidad microbiológica, el grado de higiene en los procesos y el mantenimiento o no del frío, así como ayudarnos a predecir la posible vida comercial del producto. Algunos de estos indicadores son:

- ❖ Flora mesófila aerobia: ha sido históricamente uno de estos indicadores para aquellos alimentos almacenados sin necesidad de frío.
- ❖ Psicrotrofos: microorganismos capaces de crecer en refrigeración, y por tanto, indicadores para los alimentos almacenados en frío.

En el caso de la carne de pollo envasada en condiciones aerobias y almacenadas en refrigeración, son las pseudomonas (psicótrofos) los microorganismos indicadores y responsables de su deterioro, produciéndose malos olores a niveles de 10^7 pseudomonas/cm² y aparición de sustancias limosas en superficie y lipólisis de la fracción grasa cuando se alcanza 10^8 pseudomonas/cm².

Los principales factores que afectan el tiempo de vida en la carne son:

- a) Temperatura de almacenamiento: Es el principal factor que afecta el tiempo de vida útil de los alimentos frescos porque el deterioro de estos alimentos

se debe principalmente a la actividad microbiana. Un mal control de la temperatura favorece procesos de podredumbre (frutos) o deshidratación (carnes), acortando el tiempo de vida útil del producto. La temperatura de almacenamiento no debe exceder los 4 °C (Ranken, 2003).

- b) Condición microbiana: Especialmente la relación de los niveles de *Pseudomonas* iniciales (producto fresco) (Ranken, 2003).
- c) Permeabilidad del envase: Se debe cuidar para evitar principalmente cambios de color, oxidación de grasas o desarrollo de microorganismos aerobios causados por la penetración de oxígeno dentro del envase (Ranken, 2003).

1.6. Distribución de la planta de procesamiento de aves

Para el diseño de las plantas de procesamiento de pollo, se utilizan diferentes criterios. Entre las consideraciones más importantes se encuentran: la construcción, coste, sanidad, adecuación de las instalaciones para el personal, eficacia de la instalación y distribución del equipo y facilidad de mantenimiento. Otra consideración importante a tener en cuenta es si el diseño propuesto para una planta cubre con los requisitos establecidos. En la Figura 8 se observa el diagrama de bloques para el procesamiento de aves, mostrando las áreas de trabajo.

La mayoría de las plantas deberán disponer de ocho áreas o zonas generales de trabajo, que corresponden a las áreas de recepción, colgado, sacrificio, desplumado, eviscerado, envasado, cámara de refrigeración y andén de embarque (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.6.1. Área de recepción y mantenimiento

El andén de recepción deberá estar separado de las áreas de procesamiento por una pared de mampostería. En esta zona se incluyen, a veces, el área de sacrificio y el túnel de desangrado, aunque generalmente solo proporciona espacio para la

descarga de las jaulas llenas, colgado de las aves vivas sobre la cinta transportadora que las conduce a la zona de desplumado y carga de las jaulas vacías (Mountney & Parkhurst, 1995).

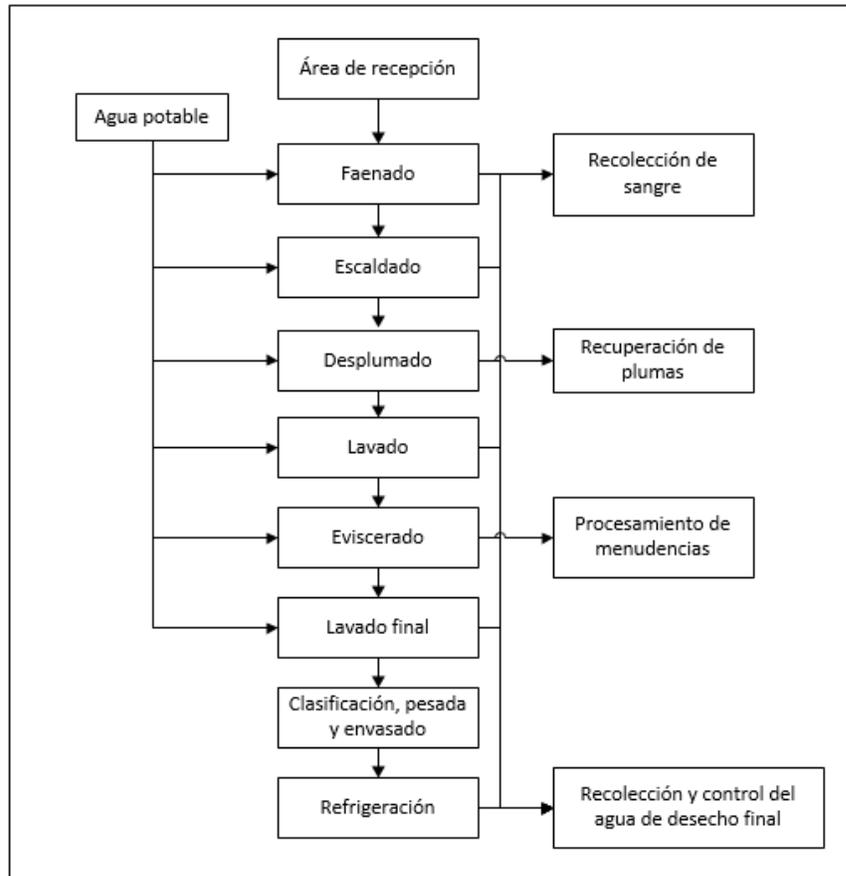


Figura 8. Diagrama de bloques para el procesamiento de aves.

1.6.2. Área de faenado

En esta área se llevan a cabo las operaciones de sacrificio, desangrado (separada de la zona de desplumado por una pared de mampostería), escaldado, desplumado, colgado y lavado.

Una vez completadas estas operaciones los trabajadores transfieren las canales a otra línea transportadora que las conduce a la zona de eviscerado. La zona de faenado requiere de una buena ventilación y eliminación continua de plumas, agua y otros residuos (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.6.3. Zona de eviscerado

Las canales se trasladan desde la zona de faenado a la de eviscerado por medio de una línea transportadora. La sangre, plumas y estiércol procedentes de las canales se friegan y lavan antes de que las aves se cuelguen en los grilletes para su eviscerado. En esta zona se retiran las vísceras y se separan las comestibles de las no comestibles; a continuación, se recortan y lavan las primeras y se eliminan las no comestibles. Durante esta operación se realiza la inspección *post-mortem* a la que seguirán las operaciones de enfriamiento y clasificación (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.6.4. Área de envasado

Frecuentemente el área de envasado se ubica en un lugar contiguo y, si las canales se depositan con hielo, esta zona forma parte del área de eviscerado. Si las canales se envuelven de forma individual o una vez procesadas (troceadas, fileteadas, etc.) el envasado se realiza generalmente en un área separada.

El envasado se hace tanto con fines estéticos como utilitarios, proporcionando numerosas ventajas, como conservar la forma y naturaleza adecuada del producto, asegurar al consumidor que el producto no ha sido previamente manipulado por otro vendedor y, además, que el producto dentro del envase se encuentra en un estado casi tan próximo, en calidad, a como cuando inicialmente se envasó.

Las razones de utilidad implícitas del envasado de los alimentos son la posibilidad de juntar pequeñas unidades en otra de mayor tamaño, más fácil de manipular, protegiéndolos de daños físicos, deshidratación, oxígeno y otros gases, además de darles protección frente a olores, microorganismos, basura, suciedad, insectos y otros contaminantes.

Los contenedores utilizados normalmente para la manipulación de aves refrigeradas son cajas de madera con las esquinas metálicas, contenedores corrugados revestidos de parafina, contenedores de cartón revestidos de polietileno y

contenedores de plástico. Estos contenedores de plástico tienen tapaderas ajustadas y son reutilizables (Figura 9); los otros modelos son desechables después de usarlos una vez. Generalmente, estos contenedores tienen una capacidad de 27 a 32 kg de pollo y de 9 a 14 kg de hielo. Este tamaño está inicialmente delimitado por el peso que un hombre puede manejar (Mountney & Parkhurst, 1995).



Figura 9. Contenedor plástico para pollo.

1.6.5. Cámaras de refrigeración y congelación

En esta zona se incluyen cámaras de refrigeración y congelación en donde las canales de pollo pueden refrigerarse, congelarse y mantenerse almacenadas hasta el momento de su distribución (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.6.6. Almacén

La infraestructura de un almacén afecta a dos factores muy importantes: productividad y seguridad. La productividad se refleja en el tiempo que se tarda en realizar las tareas de traslado y manipulación de los materiales; mientras que la seguridad repercute sobre los accidentes laborales y la prevención de riesgos. Por eso, la proyección del almacén supone estudiar tanto la disposición exterior como la distribución interior. Se trata de hacer una planificación efectiva a largo plazo, es decir, el almacén debe estar diseñado para satisfacer no solamente las necesidades de hoy sino también las del futuro.

1.6.6.1. Infraestructura exterior del almacén

La infraestructura exterior del almacén abarca: orientación del local, vías de acceso (carreteras, autovías, ferrocarriles, etc.), andenes, rampas, puertas, dimensiones del edificio destinado a almacenamiento (superficie y altura), etc. (Escudero, 2005).

a) Accesos

La planificación de accesos y salidas se debe enfocar para reducir posibles accidentes y disminuir las interferencias entre los camiones, los medios de carga y descarga y el personal que circula a pie por las vías de servicio.

b) Andenes

Los andenes son plataformas o estructuras adosadas al almacén, cuyo fin es que el suelo de éste quede a la misma altura que la caja del camión. Por ello, antes de decidir dónde situarlos es preciso analizar los siguientes elementos:

- ❖ Rampas y pendientes de acceso: Son necesarias para que las carretillas elevadoras puedan acceder a la zona de rodadura y al interior de los camiones.
- ❖ Zonas de carga y descarga: La ubicación de las zonas de carga y descarga está condicionada por la orientación del local y los edificios colindantes, lo ideal es ubicarlas en lugares completamente opuestos; es decir, la zona de descarga (entrada de mercancías) en un frente del almacén y la zona de carga (salida de mercancías) en la parte opuesta, de esta forma el flujo del producto seguirá un camino prácticamente recto y el tiempo de tránsito será mínimo.

1.6.6.2. Infraestructura interior del almacén

Dentro de un almacén existen diferentes actividades y áreas en cada una de las zonas que lo conforman (zona de recepción, almacenamiento, preparación de pedidos, expedición y auxiliares).

Es importante que en un almacén refrigerado todas las áreas que lo conforman mantengan la temperatura óptima con el fin de no alterar la cadena de frío.

- a) Zona de recepción: La zona de recepción es donde se deposita transitoriamente la mercancía procedente de la zona de descarga, en ella se realizan las actividades de control de calidad, clasificación de los productos y su adaptación para el almacenaje.
- b) Zona de almacenaje: La zona de almacenamiento es el lugar donde la mercancía quedará depositada hasta el momento de su expedición. El almacenaje en esta zona puede ser en el suelo, en estanterías o en instalaciones complejas.
- c) Zona de preparación de pedidos. La zona de preparación de pedidos es imprescindible cuando las mercancías salen del almacén con una configuración o composición diferente a la que tenían en el lugar de almacenaje.
- d) Zona de expedición: La zona de expedición se destina para ubicar temporalmente, las mercancías que salen del almacén. Esta zona está situada muy próxima a la zona de embarque para que la velocidad de movimiento sea la correcta. Cuando los accesos de carga y descarga están en el mismo lateral del almacén, las zonas de expedición y recepción deben estar claramente diferenciadas. Las actividades que se realizan en la zona de expedición son embalaje, etiquetado de destino y comprobación de los productos seleccionados, o simplemente consolidación de pedidos o agrupación de las mercancías que hay que enviar a cada uno de los clientes.

1.7. Cadena de frío aplicada al pollo

La cadena de frío (USDA, 1995) consiste en una metodología de control de temperatura al interior de una cadena de suministro, que mantenga condiciones de

almacenamiento y distribución apropiadas para un producto determinado. Los usos más comunes de la cadena de frío se da en las industrias de alimentos, farmacéutica, médica y floricultura.

La cadena de frío debe comenzar inmediatamente después de que la canal de pollo ha sido refrigerada o congelada y su primer eslabón estará constituido por el almacenamiento a temperatura adecuada en la misma instalación de origen. A partir de este momento, el producto debe mantenerse a la temperatura correspondiente durante el transporte de la fábrica a las instalaciones del mayorista (se entiende que los transportes incluyen también las operaciones de carga y descarga), mientras el mayorista almacene el producto, en el transporte hasta las instalaciones del detallista, en el tiempo en que el detallista almacene la mercancía (especialmente mientras se encuentre expuesta al público en la zona de venta) y finalmente, como último eslabón, en casa del consumidor, secuencia que puede observarse en la Figura 10.

El conservar alimentos perecederos en general, y mantener el producto a la temperatura adecuada, no sólo se refiere al almacenaje o al proceso de congelación o refrigeración, también debe incluir todas las acciones que se llevan a cabo para suministrar oportunamente al consumidor un producto de calidad. Esto es, desde mantener la temperatura del producto con hielo o cualquier otro medio de refrigeración, hasta la construcción de sofisticados sistemas de refrigeración (AECOC, 1997).

El punto más propenso en donde se rompe la cadena de frío es durante el transporte del alimento a casa del consumidor, operación que debe ser lo más corta posible y realizada de forma que el producto no se vea expuesto a altas temperaturas. Por lo tanto, para que la utilización de bajas temperaturas pueda llegar a considerarse un sistema de conservación de alimentos eficiente, es necesaria la existencia de una cadena de frío que asegure las condiciones de temperatura necesarias en todo momento de la vida comercial del producto, y mientras no se haya desarrollado esta

cadena de frío, no se podrá pensar en la utilización a pleno rendimiento de estos sistemas de conservación, por lo que solo los países con un nivel de desarrollo suficiente se pueden plantear la utilización de estas técnicas (Casp & Abril, 2003).

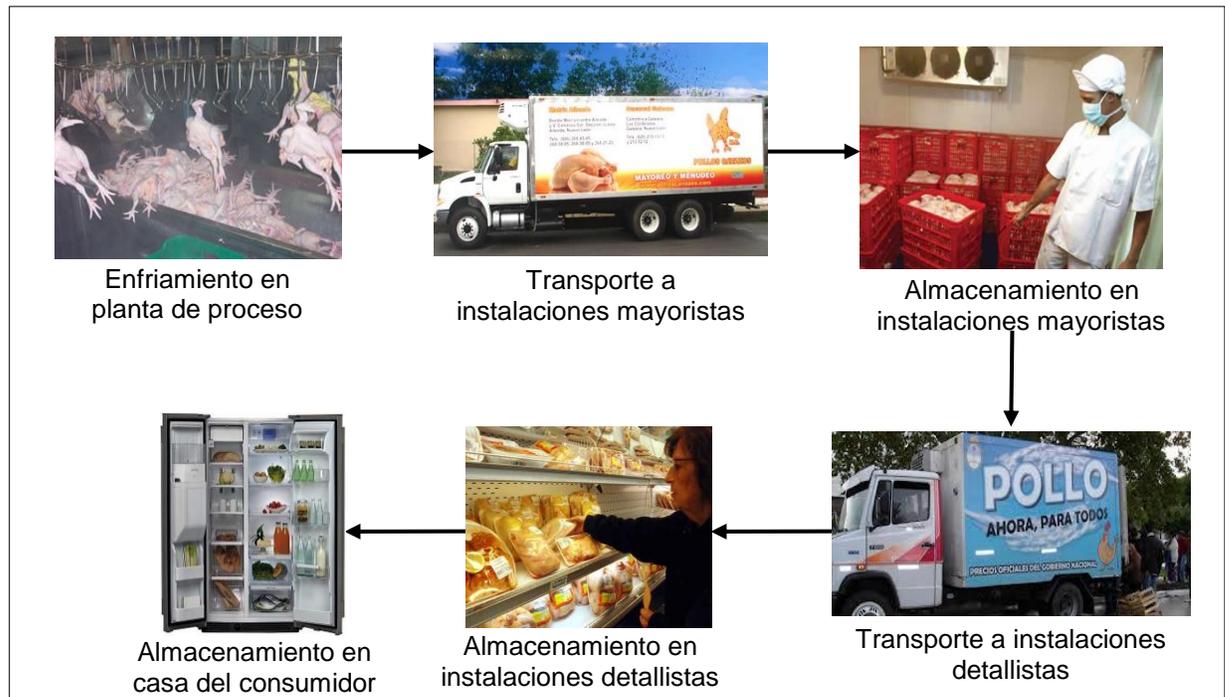


Figura 10. Cadena de frío de la carne de pollo (Casp & Abril, 2003).

En México, el mercado demanda transporte refrigerado asociado con el almacenaje y logística de productos perecederos frescos, congelados y de la industria agroalimentaria, como: hortalizas, carnes frescas rojas, aves, carnes frías, pescados, mariscos, huevo, leche y derivados lácteos. Permitiendo que la comercialización y transporte de productos perecederos, se realice en condiciones no siempre eficientes, provocando grandes mermas. Teniendo un desperdicio anual del 39% de carne de pollo, debido a fallas en la cadena de frío o por falta de concientización sobre el manejo comercial de la carne (SEDESOL, 2013).

Además, otra debilidad de la cadena de frío es el tiempo de carga y descarga, que tiene lugar como promedio tres veces: a la salida de la fábrica, en la plataforma logística y en los puntos de venta. Unas siete u ocho horas, como mínimo, durante las cuales se somete forzosamente al producto a aumentos de temperatura. A esta

media hay que añadir además el tiempo de descarga en el punto de venta, el tiempo transcurrido entre el lugar de almacenamiento y la colocación en los estantes, y el tiempo entre el carrito de compra y el refrigerador del consumidor (Casp & Abril, 2003).

El control tanto técnico como sanitario de los alimentos que normalmente precisan de una temperatura de congelación o refrigeración para su conservación y no alteración, ha de hacerse extensivo a las operaciones de toda la cadena de suministro, de forma que desde el origen hasta el momento final de su consumo, el producto debe conservar las cualidades que le son inherentes. Para ello se requieren establecer las pautas que garanticen el correcto tratamiento del producto en todas las etapas logísticas, así como la organización que debe darse entre proveedores, clientes, operadores logísticos y consumidor para cumplir con las condiciones exigibles en cada una de las fases que abarcan los puntos: desde captura, sacrificio, fabricación, almacenaje, transporte, venta a detalle y consumidor. Todas éstas deben disponer de instalaciones adecuadas que se mantengan bajo régimen de frío artificial, para la conservación del producto (AECOC, 1997).

1.7.1. Técnicas de enfriamiento del pollo

El principal objetivo del enfriamiento de canales de pollo es alargar su vida útil, retardando el crecimiento de microorganismos y afectando de forma mínima sus características organolépticas y nutricionales.

Una vez preparada la carne hay que refrigerarla lo antes posible para reducir la contaminación bacteriana. Generalmente, las salas de refrigeración tienen dos partes: la primera produce un enfriamiento lo más rápido posible hasta una temperatura de 10 a 15 °C (temperaturas superiores son óptimas para el desarrollo microbiano), desde donde pueden pasar al despiece directamente, o bien, pasar a la segunda parte o cámara de almacenamiento (López, *et al.*, 2000).

Las canales de ave se pueden enfriar con aire frío, agua fría, hielo molido o en escamas y agua agitada con aire a presión (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.7.1.1. Aire frío

Ha sido y aún sigue siendo el procedimiento más practicado en Europa, y se utiliza principalmente para canales escaldadas a baja temperatura y que no se van a congelar, sino a mantener refrigeradas (Mountney & Parkhurst, 1995).

Se lleva a cabo en túneles de enfriamiento, el aire entra en contacto con las canales colgadas en ganchos (preferiblemente), o dispuestas de otro modo, y existen diversas modalidades en cuanto a temperatura del proceso (aire entre 2 y -7 °C durante 1 a 3 horas), velocidad del aire y H.R.

Por supuesto, tiene el problema de la desecación superficial, pero el producto es de mejor calidad. El enfriamiento se realiza en dos fases: en la primera, las canales se someten a aire frío a mucha velocidad, que reduce con rapidez su temperatura superficial. En la segunda, sigue el enfriamiento con lentitud durante un periodo largo de tiempo con aire a escasa velocidad a 0 °C. Ambas fases discurren con las aves colgadas (Mountney & Parkhurst, 1995).

La determinación del tiempo de refrigeración depende del tiempo necesario para que las canales alcancen temperaturas por debajo de 4 °C en su centro térmico (Castañeda *et al.*, 2013).

1.7.1.2. Agua fría

Es el sistema mayormente utilizado en Latinoamérica y Estados Unidos de América (EUA). Consiste en colocar las canales en contenedores o tanques con agua fría. Es aplicado de una a dos horas *post-mortem* y se espera que durante este tiempo se inicie el proceso de *rigor mortis* en las canales. Según la norma mexicana (NMX-FF-080-SCFI-2006), las canales de pollo deben reducir su temperatura a 4 °C dentro de 4 horas.

Se han desarrollado enfriadores en serie de funcionamiento continuo para eliminar las operaciones de colocar las aves por lotes en los tanques de enfriamiento, mantenerlas en el tanque y a continuación sacarlas. Estos enfriadores se clasifican en cuatro tipos: de arrastre, de agitación o volteo con flujo paralelo, de agitación o volteo a contracorriente y de tanques oscilantes (Mountney & Parkhurst, 1995).

- a) Los enfriadores de arrastre consisten en dos tanques en los que las canales se suspenden en ganchos que se arrastran a través del medio de enfriamiento. El tamaño de los tanques depende de la velocidad a la que las canales se transportan por el refrigerador. El primer tanque tiene unos 15 metros con agua a unos 5 °C. El segundo tanque contiene hielo fundente entre 0-1 °C. Este segundo tanque en forma de S contiene unos 6 metros lineales de área de enfriamiento.
- b) Los enfriadores del sistema de agitación con flujo paralelo consisten también en dos tanques metálicos de unos 8 metros de largo dependiendo de la capacidad. Un tambor cilíndrico agita las aves en el medio de enfriamiento y la corriente de agua circulante mueve las canales a lo largo del rodillo a una velocidad determinada. El primer tanque utiliza agua corriente y el segundo contiene hielo fundente.
- c) Los enfriadores de sistemas de agitación a contracorriente son esencialmente los mismos que los de flujo paralelo, excepto que el agua circula en dirección opuesta al de las canales. Las canales se mueven a lo largo del rodillo mediante un mecanismo helicoidal.
- d) Los enfriadores de tanque oscilante contienen dos tanques. El primero usa agua corriente fría para enfriar y el segundo contiene agua enfriada con hielo hasta una temperatura entre 1-2 °C. Los tanques se mueven de lado a lado mediante rodillos concéntricos para agitar las canales.

Este sistema es un proceso por medio del cual las canales aumentan su peso debido a que absorben agua (Alvarado, 2012). El agua fría es adecuada para el enfriamiento preliminar, pero no es suficiente para enfriar las canales hasta los 4 °C y además la cantidad de agua requerida es excesiva (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.7.1.3. Hielo y agua agitada con aire a presión

El enfriamiento con hielo molido o en escamas y agua fría es más rápido que usar hielo solo, ya que con el agua fría las canales están completamente sumergidas en el sistema de enfriamiento. La velocidad de enfriamiento es mayor aun cuando se agita el agua.

La agitación del agua de enfriado se puede hacer colocando un tubo galvanizado perforado en el fondo del tanque de enfriamiento e inyectando aire a través del hielo fundente o bien recirculando el agua con una bomba desde el fondo del tanque hasta la superficie (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.7.2. Almacenamiento

El almacenamiento frío se realiza a temperaturas normalmente superiores al punto de congelación, entre 0 y 4 °C, mientras que el almacenamiento en congelación se hace por debajo de los -17.7 °C. La temperatura a que se mantienen las aves durante el almacenamiento frío determina en gran parte su vida útil. Por lo tanto, la vida de las aves en refrigeración depende de un control estricto de higiene, envasado, temperaturas constantes y controladas, ya que cualquier cambio de temperatura puede determinar una menor duración del producto (Ramírez, 2008).

Las canales mantenidas a 0 °C serán comestibles durante varios días, mientras que las mantenidas a 15.5 °C permanecerán en estado comestible por cuestión de horas.

Generalmente, las canales de pollo son almacenadas en hielo molido, en cámaras de refrigeración o aplicando ambas técnicas (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.7.2.1. Hielo molido

La operación consiste en la extracción de las canales refrigeradas de los tanques de enfriamiento e introducirlas en contenedores, para posteriormente pesar las cajas con las aves y cubrirlas con hielo molido o en escamas. Seguidamente se identifica la caja y se registra. Finalmente se cubren las cajas con hielo molido o en escamas (aproximadamente de 13 a 16 kg).

Se han demostrado ventajas de las canales mantenidas húmedas contra las mantenidas en estado seco, comprobando que es mejor el transporte de la canales con hielo: la calidad de frescura del pollo era más duradera, se evitaba la desecación, el tiempo de conservación era mayor y era posible la entrega de un producto con aspecto más atractivo.

Las desventajas o inconvenientes eran: las canales de pollo captaban agua aumentando el peso perjudicando a los compradores, el mantenimiento del pollo húmedo no era un procedimiento sanitario y el hielo y el agua en las canales causaban defectos de calidad (Mountney & Parkhurst, 1995).

1.7.2.2. Cámaras de almacenamiento en refrigeración

Las cámaras de refrigeración mantienen ajustada la temperatura establecida de forma indefinida; sin embargo, las aves almacenadas de dicha forma tienen que tener algún tipo de envasado que impida la desecación.

Este método es usado en la comercialización de las aves y su costo es mayor en comparación con el uso de hielo. Generalmente, las aves llegan desde la planta procesadora al supermercado envasadas en hielo, donde posteriormente son despiezadas en partes y ofrecidas a la venta refrigerada en cajas con una pared transparente mostradora del contenido. En ocasiones, se usa una combinación de ambos métodos (López *et al.*, 2000).

1.7.3. Transporte frigorífico

El transporte de alimentos perecederos está sometido a unas normas muy estrictas que pretenden preservar la inocuidad y la aptitud del producto alimentario para el consumidor final, las cuales se encuentran presentes en el “Acuerdo Sobre Transportes Internacionales de Mercancías Perecederas y Sobre Vehículos Especiales Utilizados en esos Transportes (ATP)”. Estos vehículos de transporte deben de ser construidos conforme a normas nacionales e internacionales. Generalmente, las normas especifican la transmisión de calor máxima económicamente permitida, a través de la carrocería aislada (Hidalgo, 2003).

El transporte frigorífico de alimentos puede llevarse a cabo de tres formas: por vía terrestre, marítima y aérea. Utilizando vehículos o contenedores aislados térmicamente y provistos de un equipo frigorífico capaz de mantener una temperatura suficientemente baja. La Tabla 4 muestra distintos tipos de alimentos perecederos y la temperatura a la que deben ser transportados.

Tabla 4.

Temperatura de transporte de distintos alimentos perecederos (Hidalgo, 2003).

ALIMENTO	TEMPERATURA DE TRANSPORTE (°C)
Crema congelada	-20
Pescado, moluscos y crustáceos congelados	-18
Mantequilla congelada	-10
Mantequilla	6
Productos de caza	4
Leche (cruda o pasteurizada)	4
Productos lácteos (yogurt, crema, queso)	4
Pescado, moluscos y crustáceos	Envasados siempre en hielo fundente
Carne	7
Productos preparados a base de carne	6
Ave de corral y conejos	4

Las cajas de los vehículos deben estar libres de cualquier tipo de instalación o accesorio que no guarde relación con la carga o el sistema de enfriamiento o calefacción de los productos. Asimismo, en el caso de los camiones, no debe existir comunicación entre la caja y la cabina del conductor.

Las partes interiores de las cajas, incluyendo techo y suelo, deben estar fabricadas con materiales resistentes a la corrosión y ser impermeables, fáciles de lavar, limpiar y desinfectar. Deben ser lisos y continuos, sin presentar grietas ni ángulos que hagan difícil la limpieza, lavado o desinfección de las cajas, ni estén provistas de asperezas (salvo los dispositivos de fijación de carga).

Las cajas deben estar en todo momento en perfecto estado de conservación, higiene y limpieza, por lo que, si es preciso, deben lavarse, desinfectarse y, en su caso, desodorizarse antes de proceder a su carga. Como es lógico, en ningún caso debe procederse a la desinfección de la caja de un vehículo si ésta contiene alimentos o productos alimenticios.

Los materiales de todo tipo susceptibles a tener contacto con los productos perecederos transportados deben cumplir con las disposiciones legales vigentes y no ser capaces de alterar los productos o comunicarles propiedades nocivas o anormales durante su vida útil.

El conjunto de dispositivos de cierre de los vehículos, ventilación y circulación del aire deben permitir el transporte de los productos perecederos sin que se deposite en éstos suciedad o contaminación. Los vehículos que estén obligados a llevar termógrafo, deberán tenerlo homologado y en perfecto estado de funcionamiento.

El transporte frigorífico terrestre utilizado para pollo, se clasifica en función al método de enfriamiento, distancia a recorrer, materiales de construcción, entre los factores más importantes (MSSI, 1985). En la Figura 11 se presentan los vehículos más utilizados para el transporte de pollo en México.



Figura 11. Vehículos isotermo, refrigerante y frigorífico.

1.7.3.1. Vehículo isotermo

Vehículo cuya caja está construida con paredes aislantes, con inclusión de puertas, piso y techo, que permiten limitar los intercambios de calor entre el interior y el exterior de la caja, de tal modo que el coeficiente global de transmisión térmica (coeficiente k) permita clasificar a la unidad en una de las dos categorías siguientes (CEPE-ONU, 2015):

- ❖ Vehículo isotermo normal (I_N): Determinado por un coeficiente k igual o inferior a $0.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.
- ❖ Vehículo isotermo reforzado (I_R): Determinado por un coeficiente k igual o inferior a $0.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y por paredes laterales que tienen al menos 45 mm de espesor cuando se trate de unidades de transporte de una anchura superior a 2.5 m.

1.7.3.2. Vehículo refrigerante

Vehículo isotermo que, con ayuda de una fuente de frío (hielo hídrico, con o sin adición de sal; placas eutécticas; hielo carbónico, con o sin regulación de sublimación; gases licuados, con o sin regulación de evaporación, etc.), distinta de un equipo mecánico o de absorción, permite bajar la temperatura en el interior de la caja vacía y mantenerla después con una temperatura exterior media de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (CEPE-ONU, 2015).

De acuerdo a la temperatura máxima admisible, existen cuatro clases de vehículos refrigerantes:

- ❖ Clase A (RRA): hasta un máximo de 7 °C.
- ❖ Clase B (RRB): hasta un máximo de -10 °C.
- ❖ Clase C (RRC): hasta un máximo de -20 °C (uso de termógrafo obligatorio).
- ❖ Clase D (RRD): hasta un máximo de 0 °C.

Si estas unidades constan de uno o varios compartimientos, recipientes o depósitos reservados al agente frigorígeno, deberán poder ser cargadas o recargadas desde el exterior y tener una capacidad conforme al tipo de agente frigorígeno utilizado.

El coeficiente k de los vehículos refrigerantes de las clases B y C será obligatoriamente igual o inferior a $0.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

1.7.3.3. Vehículo frigorífico

Vehículo isoterma provisto de un dispositivo de producción de frío individual o colectivo para varias unidades de transporte (grupo mecánico de compresión, máquina de absorción, etc.) que permite, a una temperatura exterior media de 30 °C, bajar la temperatura en el interior T_i de la caja vacía y mantenerla después de manera permanente de la forma siguiente (CEPE-ONU, 2015):

- ❖ Clase A. Unidad frigorífica provista de un dispositivo tal de producción de frío que T_i pueda elegirse entre +12 y 0 °C, ambos incluidos.
- ❖ Clase B. Unidad frigorífica provista de un dispositivo tal de producción de frío que T_i pueda elegirse entre +12 y -10 °C, ambos incluidos.
- ❖ Clase C. Unidad frigorífica provista de un dispositivo tal de producción de frío que T_i pueda elegirse entre +10 y -20 °C, ambos incluidos.
- ❖ Clase D. Unidad frigorífica provista de un dispositivo tal de producción de frío que T_i sea igual o inferior a 0 °C.
- ❖ Clase E. Unidad frigorífica provista de un dispositivo tal de producción de frío que T_i sea igual o inferior a -10 °C.

- ❖ Clase F. Unidad frigorífica provista de un dispositivo tal de producción de frío que T_i sea igual o inferior a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El coeficiente k de las unidades B, C, D, E y F debe ser obligatoriamente igual o inferior a $0.4\text{ W/m}^2\text{ K}$.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y EXPERIMENTAL

2.1. Justificación, problema y objetivos

2.1.1. Justificación y problema

La carne de pollo es, según los especialistas, una buena aliada de nuestra salud presente y futura, y una forma para poner en práctica lo que llamamos comer sano. Se caracteriza principalmente por su bajo contenido en grasa (menos de un 10%), su aporte de proteínas de alta calidad (aminoácidos esenciales de alta digestibilidad), de vitaminas B₁, B₂, B₆, niacina y ácido fólico, y por su contenido en minerales como el hierro, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Matía *et al.*, 2002).

La situación económica que ha experimentado México en los últimos 15 años, ha orientado a que la gente prefiera la carne de pollo al resto de las carnes debido a que es más barata, por lo que la producción de pollo en México ha crecido de 786 mil toneladas en 1990 a 3.05 millones de toneladas en 2015. Actualmente, la producción anual tiene un desperdicio del 39 % debido a fallas en la cadena de frío o por falta de concientización sobre el manejo comercial de la carne (SEDESOL, 2013; CONACA, 2015; Sigler, 2015).

El que la carne no se refrigere o que se haga a temperaturas inadecuadas y que se exponga en pollerías fuera del frigorífico, son causas de innumerables pérdidas en la producción de carne de pollo (López *et al.*, 2013).

Los procesadores han enfrentado diversos problemas en cuanto a calidad de la carne, relacionados con características de suavidad, color y capacidad de retención de agua, las cuales están relacionadas con carne pálida, suave y exudativa (PSE)

y con carne oscura, firme y seca (OFS), siendo asociada a factores *ante* y *post-mortem*.

La aparición de éste tipo de carne fue observada después del enfriamiento en la planta de procesamiento y en la venta a detalle por Pilar (2011). Por lo que es fundamental revisar las condiciones de manejo de la carne de pollo en un centro de distribución y venta a detalle para analizar cómo es la manipulación en estos sitios y cuál es el efecto sobre sus propiedades físicas y fisicoquímicas.

2.1.2. Objetivo General

Evaluar las propiedades físicas y fisicoquímicas del pollo por efecto de su manipulación a baja temperatura dentro de un centro de distribución y venta a detalle, como parte fundamental de la cadena de frío.

2.1.3. Objetivos Particulares

Objetivo Particular 1

Explicar las prácticas de manipulación de pollo en un centro de distribución y venta a detalle y su relación con sus atributos de calidad.

Objetivo Particular 2

Determinar los cambios físicos (color, dureza y capacidad de retención de agua) y fisicoquímicos (pH) en el pollo, para la determinación del efecto que tienen la manipulación y la temperatura de almacenamiento en sus propiedades.

2.2. Metodología de investigación de campo

2.2.1. Actividades preliminares

2.2.1.1. Obtención de la materia prima

Los muslos de pollo utilizados en la experimentación se obtuvieron en el Mercado de Aves Ferrería, ubicado en Av. de las Granjas, Santa Bárbara, Azcapotzalco, Ciudad de México.

El pollo recibido en este lugar provenía del Estado de Durango y era transportado en vehículos isoterms, en donde el pollo era resguardado en contenedores con una mezcla de hielo molido, que mantenía una temperatura superficial del producto entre 0.2 y 0.7 °C, debido al acomodo con capas de hielo dentro de los contenedores.

Se tomaron tres muestras (muslos) provenientes del mismo lote para realizar los análisis en el laboratorio. La primera (tomada por la mañana al momento de la descarga) sirvió como control y se mantuvo en todo momento a una temperatura inferior a 4 °C como indica la norma mexicana (NMX-FF-080-SCFI-2006). La segunda y tercer muestras se tomaron aproximadamente a las 15:00 horas de dos lugares dentro del mercado, los cuales funcionan como venta mayorista y venta a detalle.

La distinción de las zonas de venta mayorista (centro de distribución) y la zona de venta a detalle se hizo debido a que la manipulación y condiciones que tiene el pollo son diferentes para ambos lugares.

Finalmente, las tres muestras se transportaron al laboratorio en un contenedor aislado portátil, que mantenía en su interior dos temperaturas: una inferior a 4 °C y otra entre 12 y 14 °C.

2.2.1.2. Distribución de temperaturas dentro del contenedor aislado

Se utilizó un contenedor aislado con dimensiones de 30 x 20 x 15 cm. El forro de la parte exterior estaba compuesto de *nylon*, mientras que el interior estaba metalizado y cubierto con un forro de plástico impermeable.

El enfriamiento del contenedor se logró utilizando cubos de hielo a -12 °C y la medición de la temperatura se realizó con un termómetro digital que registra la temperatura cada minuto. Los hielos fueron colocados dentro de un contenedor plástico para posteriormente introducirse en el contenedor aislado (Figura 12), teniendo de esta forma dos temperaturas: una dentro del contenedor plástico y otra al exterior de éste, con la finalidad de transportar las muestras al laboratorio, asegurando que se mantendrían a temperatura de refrigeración (igual o inferior a 4 °C) y a temperatura de venta mayorista y venta a detalle (12-14 °C).



Figura 12. Acomodo dentro del contenedor aislado para la distribución de temperaturas.

2.2.2. Actividades de trabajo de campo

2.2.2.1. Prácticas usadas en la manipulación de pollo

Para explicar las prácticas utilizadas en la manipulación de pollo dentro del mercado de aves, como parte de la cadena de frío, se utilizó un cuestionario orientado a la forma de manipulación de pollo, instalaciones y equipos para la conservación de bajas temperaturas, el cual fue elaborado a partir de una guía de verificación de buenas prácticas sanitarias en rastros, presentada por Sánchez en 2001.

2.2.2.2. Comportamiento de la temperatura ambiental

Para medir la temperatura ambiental del centro de distribución y en la zona de venta a detalle, se utilizó un termómetro digital marca Hanna modelo Hi 98509-1 (Figura 13). La temperatura se midió cada hora colocando el sensor del termómetro de tal manera que no estuviera en contacto con ningún objeto, solo con el aire.



Figura 13. Termómetro digital Hanna.

2.2.2.3. Comportamiento de la temperatura superficial del pollo

Para la medición de temperatura en la superficie del pollo se utilizó un termómetro infrarrojo doble láser marca Extech, con un grado de apreciación hasta décimas. La temperatura se midió en tres muestras tomadas al azar que se encontraban acomodadas en forma de pirámide sobre la mesa de trabajo, las cuales se dividieron según el nivel en el que se encontraban en la pirámide como: abajo, centro y arriba (Figura 14).



Figura 14. Acomodo de las piezas de pollo en forma de pirámide.

2.2.2.4. Comportamiento de la temperatura en el centro térmico del pollo

Para la medición de la temperatura en el interior del muslo se utilizó un termómetro digital con la capacidad de registrar temperaturas cada minuto, con un grado de apreciación hasta centésimas, el cual fue introducido en el muslo, justamente a lado del hueso en donde se unen los diferentes músculos que lo conforman. Se ubicó en ese lugar debido a la facilidad con la que la sonda penetraba la carne, así como por ser el sitio con mayor espesor de la pieza, teniendo un espesor promedio de $5.1 \text{ cm} \pm 0.56$, colocando la sonda a 1.7 cm por debajo de la piel como se observa en la Figura 15.



Figura 15. Colocación del termopar en el muslo de pollo.

2.3. Metodología de investigación experimental

2.3.1. Actividades preliminares

2.3.1.1. Caracterización de la distribución de temperaturas dentro de la cámara de refrigeración

Para conservar las muestras, se llevó a cabo una caracterización de temperaturas dentro de la cámara de refrigeración, ubicada en el laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán campo 4, con el fin de ajustar el refrigerador a la temperatura de refrigeración del pollo dada por la norma mexicana (NMX-FF-080-SCFI-2006). La lectura se hizo con un termómetro digital que tiene la capacidad de registrar temperaturas cada minuto y se realizó en los tres niveles dentro del refrigerador, tratando de abarcar toda el área, como se muestra en la Figura 16.



Cámara de refrigeración

Figura 16. Niveles donde se realizó la lectura de temperaturas en la cámara de refrigeración.

2.3.2. Actividades experimentales

2.3.2.1. Determinación de pH

Para la determinación de pH se utilizó el potenciómetro digital marca Hanna 213, que se presenta en la Figura 17. La prueba se realizó con el método propuesto por Restrepo en 2001. Cada ensayo se realizó por triplicado y la diferencia máxima permisible entre estas no excedió 0.1 unidades, ya que en caso contrario debía repetirse la medición.



Figura 17. Medición de pH con el potenciómetro.

2.3.2.2. Determinación de capacidad de retención de agua (CRA)

La medición de capacidad de retención de agua se realizó mediante una adaptación de la prueba propuesta por Fernández en 2007, con la finalidad de establecer las condiciones de prueba de acuerdo a la geometría utilizada, peso de la muestra y condiciones de compresión, para de esta forma obtener resultados reproducibles.

Se llevó a cabo la compresión de una muestra de carne de pollo de 1 cm de ancho x 2 cm de largo x 1 cm de espesor hasta el 20 %, con la sonda TA25/1000 (cilindro con 50.8 mm de diámetro por 20 mm de longitud) y el elemento TA-BT-Kit, utilizando el texturómetro Brookfield CT3 (Figura 23) con una celda de carga de 25 kgf y velocidad de 0.9 mm/s. La configuración del texturómetro se observa en la Figura 18.

The image shows a screenshot of the Brookfield CT3 software interface. The window title is 'Pollo compresion CF 16-1'. The interface is divided into several sections:

- Identificación Muestra:** Nombre Producto: Pollo compresion CF; Nombre de lote: Preliminar; Muestra: Incrementar auto. (selected); Config. Manualm.: 1.
- Dimensiones Muestra:** Medir longitud: ; Largo: 20.00 mm; Forma: Ancho: 10.00 mm; Bloque (selected): Profundidad: 10.00 mm; Cilindro: Diámetro: 10.00 mm.
- Notas Muestra:** Empty text area.
- Tipo de Test:** Compresión (selected), Tensión, APT, Ruptura.
- Objetivo Test:** Carga, Deformación (% Deformación selected), Distancia, Distancia final; Valor Meta: 20.0 %; Esperar t.: 300 s.
- Parámetros Generales de Test:** Carga Activación: 0.07 N; Vel. Test: 0.90 mm/seg; Volver a: Vel. Test (selected), Velocidad Post-Test; Sonda: TA25/100C; Elemento: TA-BT-KIT.
- Tests Múltiple Ciclo:** Contador ciclos: 1; Tpo. Recuperación: 0 s; Medir siempre distancia objetivo desde el punto inicio del primer ciclo.

Figura 18. Configuración del texturómetro para la prueba de compresión.

La muestra se colocó entre dos círculos de papel filtro, previamente pesados, para ser sometida a la compresión durante 300 s. Al término de la compresión, la muestra

fue retirada y los círculos de papel filtro se pesaron nuevamente para obtener el porcentaje de agua liberada (Ec. 1):

$$\% \text{ Agua liberada} = \frac{\text{Peso final del papel filtro} - \text{Peso inicial del papel filtro}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

2.3.2.3. Determinación de parámetros de perfil de color

La medición de color de las muestra se realizó con un colorímetro marca Agrocolor (Figura 19). Antes de colocar las muestras, el equipo se calibró con una placa de color blanco. Las muestras fueron colocadas dentro de una caja Petri transparente para evitar manchar la lente del colorímetro y encima se colocó una hoja de color blanco. Una vez que la muestra estaba en su sitio, se prosiguió a tomar la lectura de las coordenadas R, G y B que proporciona el equipo.



Figura 19. Colorímetro Agrocolor.

Dichas coordenadas R, G y B fueron tratadas con el programa Photoshop CS5 para transformarlas a coordenadas L*, a* y b*, como se muestra en la Figura 20.

Teniendo las coordenadas L*, a* y b* se realizó el análisis de color de las muestras para obtener el ángulo de tonalidad (h) y la cromaticidad (*C), mediante las ecuaciones 2 y 3 (Sánchez, 2015).

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. (3)}$$

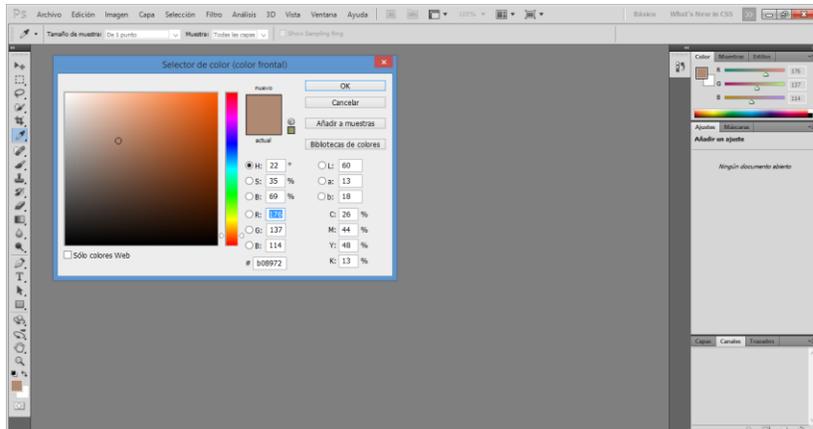


Figura 20. Ventana de Photoshop para transformar coordenadas R, G y B a L*, a* y b*.

2.3.2.4. Determinación de dureza

La prueba de esfuerzo al corte propuesta por Ruiz *et al.* en 2005, se adaptó al texturómetro Brookfield CT3. Se establecieron las condiciones de prueba de acuerdo a la geometría, dimensión de la muestra y condiciones de corte.

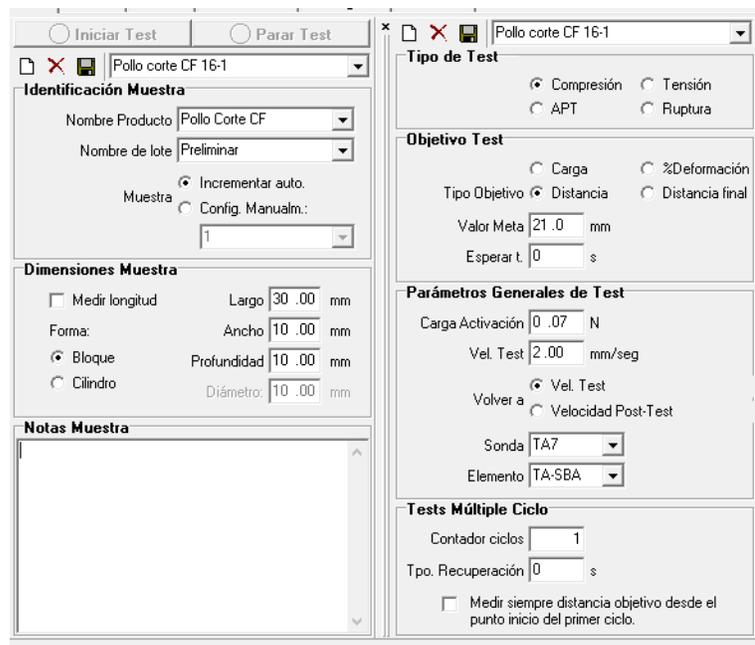


Figura 21. Configuración del texturómetro para la prueba de esfuerzo al corte.

La prueba de esfuerzo al corte se realizó en una muestra de carne de pollo con las siguientes dimensiones: 1 cm de ancho x 3 cm de largo x 1 cm de espesor, utilizando

la sonda TA7 (filo de cuchilla de metal con longitud de 75 mm, ancho de 70 mm, espesor de 3 mm y peso), en conjunto con el elemento TA-SBA (hoja de cizalla), con un valor meta de 10 mm, celda de carga de 25 kgf y una velocidad de 2 mm/s, como se observa en la Figura 21.

La prueba se hizo con el Texturómetro Brookfield CT3 utilizando el accesorio Warner-Bratzler (Figura 22), obteniendo la dureza.



Figura 22. Corte de la muestra en el texturómetro Brookfield.



Figura 23. Compresión de la muestra en el texturómetro Brookfield.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Actividades preliminares

3.1.1. Distribución de temperaturas dentro del contenedor aislado

Como se mencionó, dentro del contenedor aislado se obtuvieron dos temperaturas distintas:

La primera se obtuvo al interior del contenedor plástico que tenía hielos, dando como resultado una temperatura promedio de 0.79 ± 0.28 °C. Esto se logró cerrando el contenedor plástico que resguardaba los hielos para disminuir la transferencia de calor con el exterior y conservar mejor la temperatura.

La segunda temperatura se presentó al exterior del contenedor plástico, teniendo una temperatura promedio registrada de 9.56 ± 1.6 °C.

La temperatura al interior del contenedor tuvo muy pocas variaciones en un lapso de 9 horas, teniendo valores entre 0.5 y 1 °C. Mientras que la temperatura al exterior del contenedor vario un poco más, mostrando valores de temperatura que iban de los 7.9 a los 11.1 °C, debido a los cambios de la temperatura ambiental presentes al exterior del contenedor.

3.1.2. Caracterización de la distribución de temperaturas dentro de la cámara de refrigeración

La distribución de temperaturas dentro de la cámara de refrigeración tuvo un promedio de 5 ± 1 °C en el nivel 2. Asegurando que la temperatura de refrigeración se encontraba en condiciones para almacenar el producto, según la norma mexicana (NMX-FF-080-SCFI-2006).

3.2. Actividades de trabajo de campo

3.2.1. Prácticas usadas en la manipulación de pollo

A partir del cuestionario orientado a la forma de manipulación, instalaciones y equipos utilizados en la conservación de pollo a bajas temperaturas, se observó que dentro del mercado de aves existen dos formas de manipular el pollo. La primera es la que se lleva a cabo en el centro del mercado, el cual funciona como centro de distribución mayorista y la segunda es la que se realiza a sus alrededores, que funciona como venta a detalle. Para ambos casos, la recepción de pollo y el desembarque es el mismo, sin embargo, una vez terminados dichos procesos el pollo puede dirigirse al centro de distribución mayorista o a la venta a detalle.

Una vez que el pollo es recibido en el centro de distribución mayorista, se aplica un lavado para posteriormente colocarlo en las mesas de corte y despiece, donde el pollo es cortado en sus distintas piezas. Al terminar de cortar las piezas, éstas son agrupadas y colocadas en forma de pirámide sobre las mesas para su exhibición, a la espera de ser compradas. Una vez que se han vendido, son envasadas y cargadas en el vehículo del cliente. Finalmente, al término del día, aquellas piezas que no se lograron vender son almacenadas de vuelta en aquellos contenedores en los que fueron recibidos. La Figura 24, muestra cada uno de los procesos a los que se somete el pollo, así como el tiempo y temperaturas (ambiental y superficial del pollo) presentes en cada proceso, los cuales son descritos ampliamente más adelante.

Por otro lado, el pollo designado a la venta a detalle es cortado y despiezado al llegar al lugar, para ser colocado y exhibido sobre la mesa. Una vez comprado, es envasado y entregado al cliente. Finalmente, el pollo que no fue vendido es almacenado en viejos arcones de congelación (Figura 28). Los tiempos y temperaturas (ambiental y superficial del pollo) de cada proceso se presentan en la Figura 24.

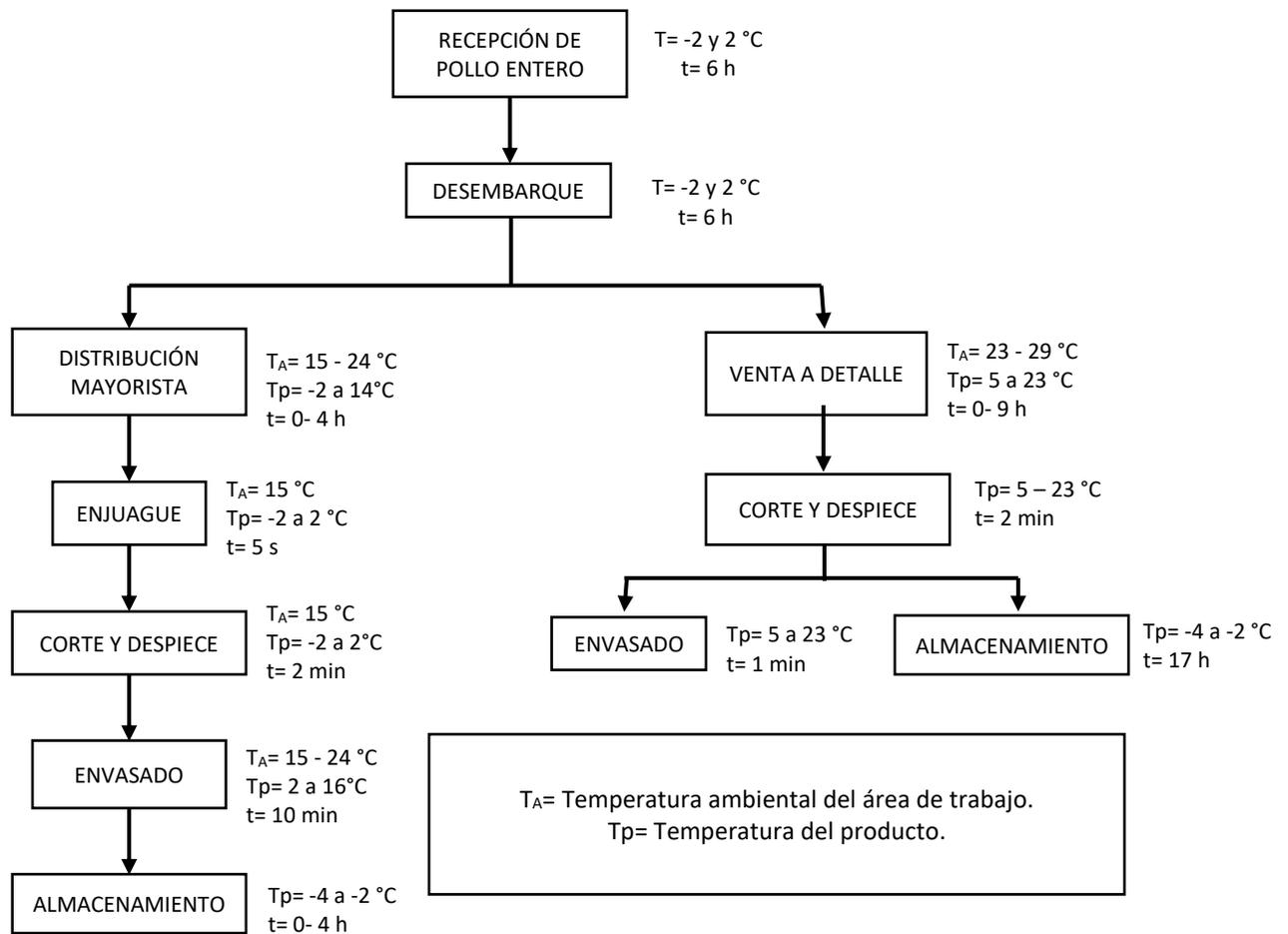


Figura 24. Diagrama de manipulación de pollo fresco en distribución mayorista y venta a detalle.

3.2.2. Manipulación en distribución mayorista

3.2.2.1. Recepción de pollo entero

La recepción del pollo fresco en el mercado de aves se hace entre las 3:00 y 4:00 h. El pollo puede llegar contenido de dos formas distintas según el tipo de vehículo, ya sea isotérmico o frigorífico. La Figura 25 muestra las dos formas de recepción del pollo.

- a) Pollo a granel: Es transportado por vehículos isoterms, el cual presenta una temperatura entre 1.7 y 2 °C. Aquí, el pollo se encuentra mezclado con hielo dentro de la caja del vehículo a una temperatura de 2 °C.

- b) Pollo en contenedores: Es transportado por vehículos frigoríficos o por vehículos de caja cerrada (no posee ningún tipo de aislamiento ni equipo de producción de frío). En estos se transportan entre 30 y 32 contenedores, los cuales en su interior llevan hielo molido y pollo, con un acomodo alternado para mantener una temperatura del producto entre 0.2 y 0.7 °C.



Figura 25. Recepción de pollo a granel y en contenedores.

3.2.2.2. Desembarque

El desembarque comienza aproximadamente entre 15 y 20 minutos después de que el vehículo ha llegado al mercado de aves. La forma de descargar el vehículo depende del acomodo del pollo en su interior (a granel o en contenedores):

- a) Pollo a granel: Es descargado en el andén manualmente por 3 o 4 personas utilizando una pala. El pollo es colocado en carritos, que se tardan en llenar entre 5 y 10 minutos (según el número de trabajadores que descarguen), para posteriormente llevarlos a la zona de lavado.

A la par de la descarga del pollo, una persona se encarga de guardar el hielo del vehículo en bolsas, las cuales son colocadas junto con el pollo dentro del carrito para mantener su temperatura.

- b) Pollo en contenedores: Puede ser descargado en el andén como en el estacionamiento del lugar. Lo ideal es que sean descargados en el andén, pero se vuelve imposible cuando éstos están ocupados por vehículos que contienen pollo a granel, por lo que descargarlos en el estacionamiento se vuelve la única opción.

La descarga de los contenedores se realiza con montacargas y patines hidráulicos, que ayudan a trasladarlos al área de corte y despiece, en donde son almacenados debajo de las mesas. Posteriormente, el pollo se extrae del contenedor según es utilizado, se enjuaga y se coloca sobre las mesas.

El desembarque se hace de forma antihigiénica por las siguientes razones, como se observa en la Figura 25:

- a) En la recepción a granel:

- ❖ El pollo no viene contenido en ningún envase que evite su contaminación.
- ❖ El hielo utilizado para su enfriamiento se encuentra sucio y llega a reciclarse hasta 4 veces.
- ❖ El piso en el que se realiza la descarga se encuentra mojado y sucio.
- ❖ Las personas encargadas de la descarga entran al vehículo y pisan el pollo con sus botas, sin importar que se encuentren sucias. De igual manera los clientes acceden al vehículo para revisar el pollo que están comprando, abriéndose paso entre el hielo y el pollo, sin ningún tipo de calzado que evite su contaminación.
- ❖ El personal come, bebe y fuma en el área.

- b) En la recepción en contenedores:

- ❖ El piso del vehículo frigorífico o de caja cerrada se encuentra sucio.
- ❖ Los contenedores de pollo se encuentran sucios por la parte exterior.
- ❖ El hielo utilizado para el enfriamiento del pollo se encuentra sucio y es reciclado hasta 4 veces.
- ❖ En ocasiones, la descarga de un contenedor se hace volteándolo para derramar el pollo y el hielo sobre el piso sucio y mojado del establecimiento.

3.2.2.3. Enjuague

El enjuague de la canal de pollo se hace en una cubeta que contiene agua potable. En ésta, una persona se encarga de sumergir tres veces dos canales de pollo durante 5 segundos (Figura 26).

Se enjuagan más de 30 aves en una cubeta antes de cambiar el agua nuevamente, por lo que después del quinto enjuague, disminuye la eficacia de limpieza de la canal. Al enjuagar más de cinco aves, el agua comienza a tornarse de color gris, por lo que el agua debería ser cambiada en este punto.

Terminado el enjuague de la canal, el pollo se coloca sobre las mesas de corte y despiece, para comenzar a seccionar el pollo en sus diferentes piezas.



Figura 26. Enjuague de la canal de pollo.

3.2.2.4. Corte y despiece

El corte y despiece comienza una vez que la canal ha terminado de enjuagarse y es colocada sobre la mesa. Aquí, el pollo es cortado en sus diferentes piezas como son: pechuga, alas, muslo, pierna y patas. La pechuga, el muslo y la pierna son acomodadas en forma de pirámide sobre la mesa para su exhibición, mientras que las alas y las patas son puestas debajo de la mesa sobre la tapa de un contenedor de pollo, a unos cuantos centímetros del piso del establecimiento.

La estancia en este lugar es incierta. A veces puede ser muy corta y a veces muy larga, teniendo como máximo un tiempo de tres horas. Lo que provoca un aumento de temperatura de las piezas de pollo, llegando a alcanzar temperaturas de hasta 16 °C en su superficie.

El pollo puede quedarse al descubierto o en una bolsa sobre la mesa. Generalmente, el pollo que se encuentra en bolsas es porque ya ha sido vendido y está próximo a salir del lugar.

Los pedidos realizados principalmente son de filetes de pechuga, los cuales son hechos para restaurantes, mientras que los pedidos de piezas como pierna y muslo se hacen para comedores de empresas y escuelas.

3.2.2.5. Almacenamiento

El almacenamiento del pollo se hace al final del día de trabajo. Todas las piezas de pollo se almacenan según la forma en la que fueron recibidas, es decir:

- ❖ Si el pollo venía contenido a granel dentro del vehículo, se vuelve a almacenar dentro del mismo y se cubre nuevamente con hielo.
- ❖ Si el pollo venía en contenedores, éste se acomoda nuevamente dentro de éstos, intercalando capas de pollo y capas de hielo, para finalmente guardar los contenedores dentro de la caja del vehículo en que arribaron al lugar.

3.2.3. Manipulación en venta a detalle

3.2.3.1. Recepción

La recepción de las canales de pollo en el establecimiento de venta a detalle se hace entre las 6:30 y 7:00 h. El pollo que se recibe se encuentra contenido en bolsas de plástico y presenta una temperatura entre 0 y 2 °C.

Además de recibir las bolsas de pollo, se reciben bolsas con hielo molido provenientes del vehículo en el que el pollo arribó al mercado de aves, las cuales son almacenadas en arcones congeladores inservibles y viejos que solo sirven para mantener la temperatura (Figura 28).

3.2.3.2. Corte y despiece

El corte y despiece dura entre 15 y 30 minutos y varía según la cantidad de pollo recibido. Comienza una vez que se ha recibido el pollo y después de que el establecimiento ha sido instalado, siendo acomodado inmediatamente en los lugares de venta después de que se corta.

3.2.3.3. Venta

La venta inicia aproximadamente a las 7:30 h. y puede terminar hasta las 15:00 h., momento en el cual la venta disminuye o se ha terminado de vender completamente el pollo. Las piezas de pollo son acomodadas sobre la mesa en forma de pirámide y son cubiertas con un trozo de tela húmeda para evitar contacto directo con los rayos del sol (Figura 27).

La venta en el establecimiento es un punto crítico donde se pierde la cadena de frío, llegando a alcanzar temperaturas superficiales de hasta 23 °C, muy superior a la establecida por la norma mexicana (NMX-FF-080-SCFI-2006) de 4°C.



Figura 27. Exhibición de pollo en venta a detalle.

3.2.3.4. Almacenamiento

El almacenamiento solo se lleva a cabo si las piezas de pollo no se terminaron de vender durante el día. Consiste en guardar el pollo en arcones congeladores viejos (Figura 28), los cuales ya no cuentan con un sistema de producción de frío y que, debido a su aislamiento, sirven para mantener la temperatura en su interior.

Dentro de los arcones congeladores se acomoda el pollo intercalado con hielo. En este punto la temperatura del pollo oscila los 23 °C, mientras que la temperatura del hielo se encuentra entre -4 y -2 °C.



Figura 28. Vista exterior e interior del arcón congelador donde se almacena el pollo.

3.2.4. Infraestructura, distribución de áreas y equipo utilizado en el mercado de aves

3.2.4.1. Infraestructura

a) Accesos: El mercado de aves cuenta con dos vías de acceso:

- ❖ La primera se encuentra ubicada Av. de las Granjas, Santa Bárbara, Azcapotzalco, Ciudad de México. En esta entrada acceden tanto los vehículos que van a desembarcar, como los vehículos que van a embarcar, además del tránsito de personas.
- ❖ La segunda entrada se encuentra conectada al mercado ubicado a un costado del mercado de aves. Por aquí únicamente pueden acceder personas caminando.

b) Andenes: Se encuentran elevados a la altura de la caja del vehículo de transporte, sin embargo, no están divididos con estructuras que indiquen el lugar donde se debe instalar cada vehículo para iniciar la descarga, además, no se encuentran aislados de ninguna forma con el exterior.

c) Rampas y pendientes de acceso: Cuenta con 5 rampas de acceso por las que circulan los montacargas que trasladan los contenedores del estacionamiento a la zona de corte y despiece (cuando el desembarque es efectuado allí). También son usadas para bajar los carritos llenos de pollo que han sido comprados por clientes, los cuales cargan la mercancía en su auto; o simplemente son utilizadas por los clientes para acceder al establecimiento y poder comprar.

d) Zonas de carga y descarga: Como se mencionó anteriormente, la descarga puede realizarse en dos lugares: en los andenes o en el estacionamiento. Sin embargo, la carga del producto realizada por los clientes siempre es realizada en el estacionamiento. Ya sea trasladando el

pollo manualmente o bien, en carritos, según sea la cantidad de pollo que se necesite mover.

3.2.4.2. Distribución de áreas

La distribución de áreas con la que cuenta el mercado de aves (Figura 29) permite que se siga un almacenamiento de tipo continuo. El cual es de gran importancia debido a la reducción de costos de operación dentro del establecimiento, ya que la estancia del producto en el lugar solo se da por unas cuantas horas. Su distribución permite surtir y repartir órdenes grandes y pequeñas a cada tienda mayorista y minorista, usando envíos que permiten beneficios económicos. De esta forma, el mercado de aves sirve como un intermediario que surte producto inmediatamente a vendedores mayoristas y minoristas, encargándose de descargar el producto y venderlo en canales completas, piezas o producto con valor agregado. Es un sistema que se ha ido adoptando al paso de los años, hasta volverse un procedimiento rutinario.

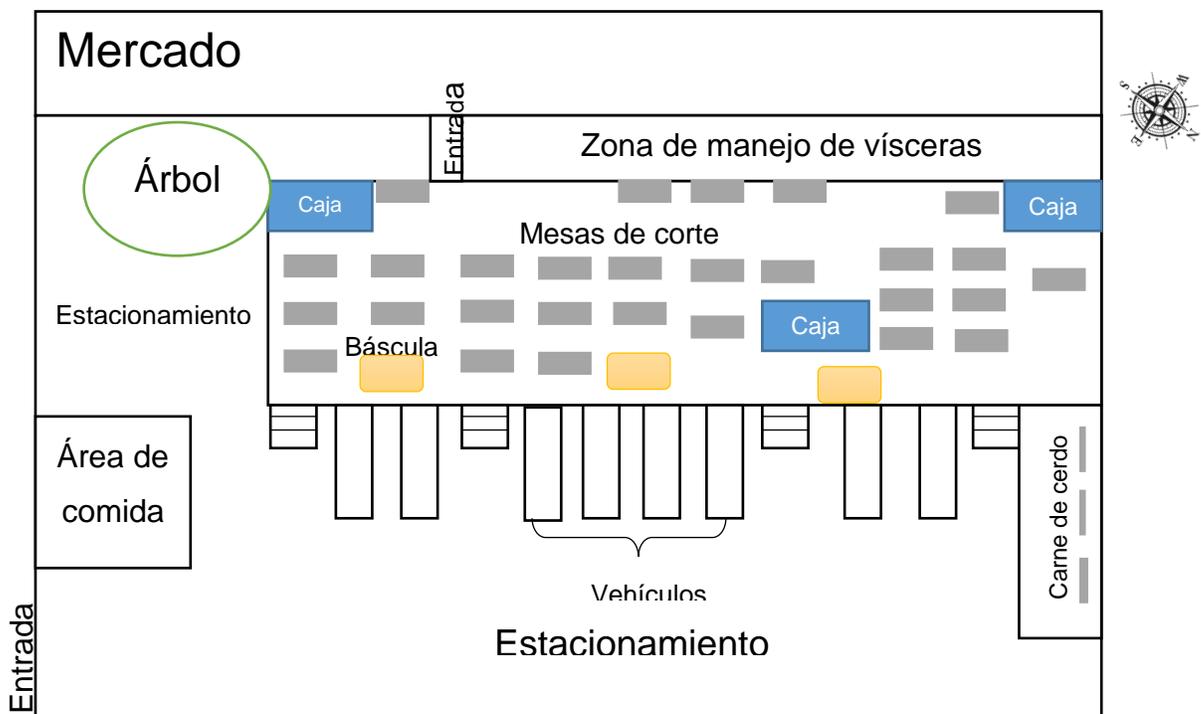


Figura 29. Distribución de áreas dentro del mercado de aves.

3.2.4.3. Equipos y utensilios

a) Equipos

- ❖ **Patín hidráulico:** Está concebido y diseñado para el transporte de los contenedores dentro del mercado de aves. Se usa cuando los vehículos desembarcan en el andén. Básicamente transportan los contenedores de la zona de desembarque a la zona de corte y despiece, distribuyéndolos en cada una de las mesas.
- ❖ **Montacargas:** El establecimiento cuenta con tres montacargas y son utilizados cuando los vehículos realizan el desembarque en el estacionamiento, debido a que se vuelve imposible descargar una caja de 320 kg que se encuentra a más de un metro de altura del suelo.

Además, el montacargas también es utilizado para apilar los contenedores vacíos en el estacionamiento del mercado de aves (Figura 30).



Figura 30. Contenedores apilados con el montacargas en el estacionamiento del mercado de aves.

- ❖ **Báscula:** En el lugar se pueden encontrar dos tipos de básculas. La primera, mostrada en la Figura 31, es utilizada para pesar pedidos con un peso inferior a los 10 kg de producto y se ubican a lado de las mesas de corte y despiece para la venta a detalle. El segundo tipo de báscula se utiliza para pesar pedidos superiores a los 10 kg de producto y solo se cuenta con tres en todo el

establecimiento, las cuales están ubicadas en los andenes, para despachar rápidamente el pollo a los mayoristas.



Figura 31. Báscula utilizada para pesar pedidos inferiores a 10 kg de pollo.

- ❖ **Carritos:** Al igual que el patín, los carritos son utilizados para transportar el pollo al interior del mercado de aves, sin embargo, éstos son utilizados para transportar el pollo que se recibe a granel (Figura 32).



Figura 32. Carro utilizado para transportar el pollo dentro del mercado de aves.

b) Utensilios

- ❖ **Tijeras:** Su uso consiste en cortar la canal de pollo en sus distintas piezas, así como para hacer filetes de la pechuga de pollo.
- ❖ **Aplanador de filetes:** Se encarga de reducir el espesor y aumentar el área de los filetes de pechuga de pollo, a partir del golpeteo que tiene con el filete. El espesor final y el tamaño que tendrá el filete son especificados por el cliente de acuerdo al uso que vaya a tener.

- ❖ **Bolsas plásticas:** Se usan para guardar las piezas de pollo que han sido vendidas, con dimensiones de 70 x 50 cm y pueden llegar a contener aproximadamente 15 kg de pollo.
- ❖ **Cubeta:** Se llena con agua potable y se utiliza para enjuagar las canales de pollo. La Figura 33 muestra la cubeta al término de enjuagar las canales.



Figura 33. Cubeta donde se enjuaga la canal de pollo.

- ❖ **Contenedores:** Cubos plásticos en los que viene contenido el pollo dentro del vehículo frigorífico o vehículo de caja cerrada (Figura 34). En estos se almacena el pollo en capas de hielo, lo que ayuda a mantener una temperatura inferior a 4 °C durante su manejo dentro del mercado de aves.

Tienen dimensiones de 120 x 105 x 97 cm y pueden llegar a contener 320 kg de pollo.



Figura 34. Contenedor de pollo.

3.2.5. Comportamiento de la temperatura ambiental

La temperatura ambiental que se tuvo presente en los días de trabajo se muestra en la Figura 35. Se puede observar que los días 1, 2, 3 y 4 presentan una temperatura ambiental más baja que los días 5, 6 y 7, debido a que en los primeros días de experimentación, el clima se vio afectado por el huracán Patricia, catalogado en inicio como el más peligroso del mundo, que posteriormente se convirtió en una tormenta tropical. Éste desastre natural hizo disminuir la temperatura de los primeros días de experimentación, que como puede notarse en la Figura 35, fue aumentando al pasar los días.

El día 1 presenta las temperaturas ambientales más bajas de toda la experimentación, con una temperatura en el centro de distribución de 14°C y una temperatura en la zona de venta a detalle de 16 °C.

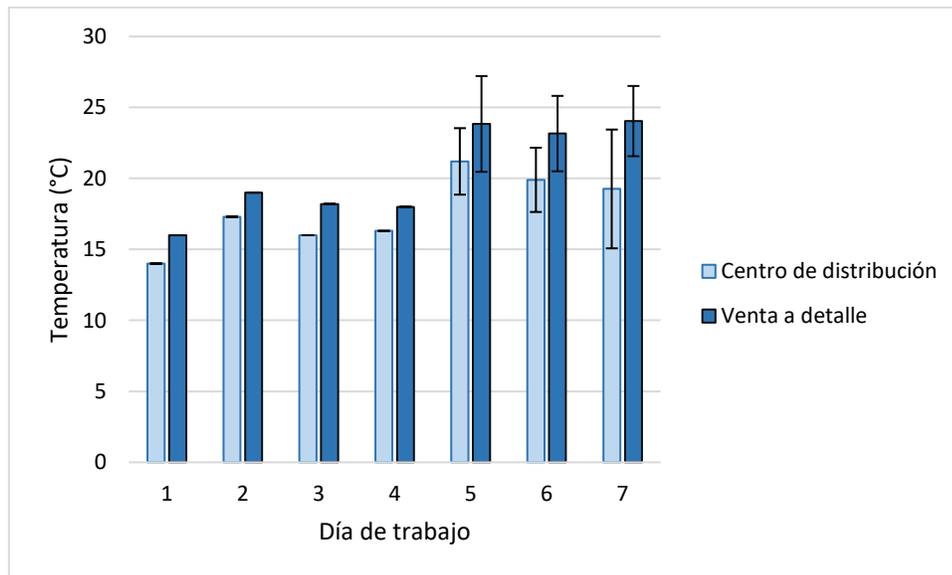


Figura 35. Temperatura ambiental promedio.

Entre los días 2, 3 y 4, la temperatura del centro de distribución varió aproximadamente 1 °C, presentando valores de temperatura entre los 16 y 17.3 °C. Mientras que la temperatura en la zona de venta a detalle varia con 2 °C, encontrándose entre 18 y 19 °C.

El día 7 presentó la temperatura ambiental más alta de la experimentación en la zona de venta a detalle, con una temperatura promedio de 24 °C, siendo mayor por solo 1°C a las que se tuvieron presente en los días 5 y 6 (23.8 y 23.1 °C). Por otra parte, la temperatura más alta registrada en el centro de distribución fue la del día 5.

Como se observa en la Figura 35, la temperatura en la zona de venta a detalle siempre es superior a la del centro de distribución. Esto se debe a que el centro de distribución cuenta con una instalación con paredes y techo, que aunque no son las mejores, disminuyen la transferencia de calor con el exterior. A diferencia con la zona de venta a detalle, la cual se encuentra en el exterior del centro de distribución y cuenta solamente con una lona plástica, que no disminuye la transferencia de calor entre el producto y los rayos del sol, como ocurre en el centro de distribución.

3.2.6. Comportamiento de la temperatura superficial del pollo

En la Figura 36 se presenta la temperatura superficial promedio del pollo, observándose que la temperatura en la zona de venta a detalle es superior a la que se tiene dentro del centro de distribución.

La zona de venta a detalle presenta una temperatura superficial promedio de 13.8 ± 3.6 °C, y tal como mencionan Dutra & Prentice en 2014, la cadena de frío se pierde en los puntos de transporte, distribución y almacenamiento, llegando a alcanzar temperaturas superiores a los 15 °C”.

Mientras que la temperatura promedio superficial en el centro de distribución es de 7.6 ± 1.8 °C, que aunque es más baja a la que se tiene en la zona de venta a detalle, no cumple con la temperatura óptima de 4 °C que la norma mexicana (NMX-FF-080-SCFI-2006) recomienda.

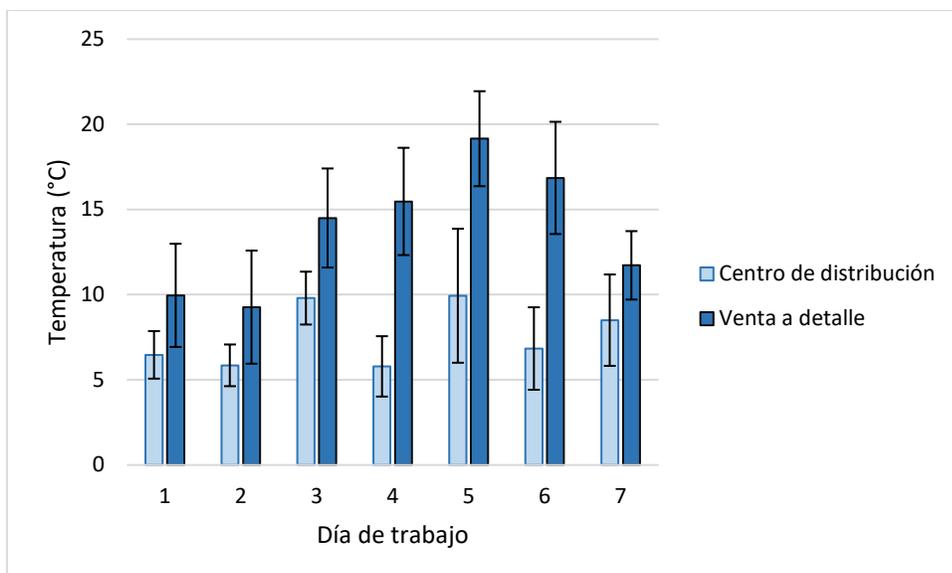


Figura 36. Temperatura superficial promedio del pollo.

La temperatura superficial más baja dentro del centro de distribución se obtuvo el día 4, con un valor de 5.78 °C. Mientras que el día 5 se obtuvo la más alta, con un valor de 9.93 °C. Por otra parte, la temperatura más alta en la zona de venta a detalle se obtuvo el día 5, con valor de 19.1 °C, mientras que la más baja se obtuvo el día 2, con valor de 9.2 °C.

La temperatura se conserva en ambas zonas gracias al acomodo de las piezas en forma de pirámide y su constante movimiento (Figura 37). Así, las piezas que se encuentran en la punta de la pirámide conservan menos tiempo su temperatura, debido a que están en contacto directo con la temperatura del ambiente, a diferencia de las que se encuentran en la base de la pirámide, las cuales están rodeadas por piezas de pollo que se encuentran a la misma temperatura, lo que disminuye la transferencia de calor.

Es evidente que la cadena de frío se pierde en ambos lugares, sin embargo, se mantiene más baja la temperatura dentro del centro de distribución que en la zona de venta a detalle.



Figura 37. Movimiento de las canales de pollo.

3.2.7. Comportamiento de la temperatura en el centro térmico del pollo

La temperatura promedio en el centro del pollo se observa en la Figura 38, se puede ver que en la zona de venta a detalle se presentan las temperaturas más altas, como sucedió con la temperatura ambiental y la superficial.

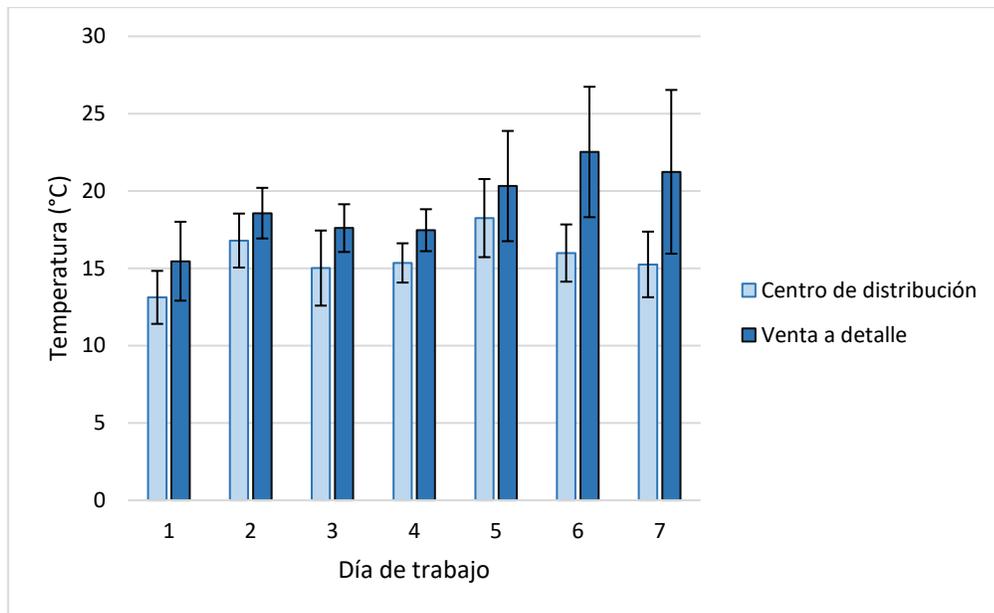


Figura 38. Temperatura interna promedio del pollo.

La temperatura interna promedio del pollo en el centro de distribución es de 15.6 ± 1.7 °C. La temperatura más alta en esta zona se presenta el día 5, con un valor de

18.2 °C y la más baja se registró el día 1, con valor de 13.1 °C. Mientras que la temperatura en la zona de venta a detalle es de 19 ± 2.5 °C, presentando la temperatura más alta el día 6, con un valor de 22.5 °C y la más baja el día 1, con valor de 15.4 °C.

Comparando las temperaturas del pollo, es notable que la temperatura interna es mayor a la superficial en todos los casos. Sun & Wang en 2003, mencionan que durante los procesos de enfriamiento convencionales, la temperatura máxima siempre se va a localizar en el centro térmico de la carne y la temperatura mínima en la superficie. También, la diferencia de temperaturas que existe entre ellas tienen un promedio de 6.9 ± 3.2 para el centro de distribución y de 4.7 ± 3.5 para la zona de venta a detalle, tal como informan Sun & Wang en 2003, que presentan una diferencia de temperaturas entre superficie y centro térmico de 6 a 9 °C.

Sin embargo, el centro térmico presenta un aumento de temperatura más rápido en comparación con el aumento de la temperatura superficial. Esto se debe a que el área de transferencia de calor era más grande, ya que la pieza donde se midió la temperatura interna era colocada en la base de la pirámide y no era incluida en el movimiento de las demás piezas por la difícil manipulación por parte de los trabajadores del establecimiento, ya que se encontraba penetrada por la sonda unida al termómetro digital. De esta manera, la pieza utilizada para medir la temperatura interna se encontraba en contacto con la mesa del establecimiento y con el aire del ambiente, lo que incrementaba su transferencia de calor, además de ser privada de ese movimiento que permitía disminuir su transferencia de calor en ciertos momentos, por lo que su temperatura superficial siempre se encontraba en aumento y por consecuencia la interna también.

3.3. Actividades experimentales

3.3.1. Determinación de pH

Investigadores reportan que la calidad de la carne se ve influenciada por el último pH, debido a que existe una disminución significativa entre el pH a los 30 min después del sacrificio y el pH a las 24 h, por lo que es considerado uno de los parámetros físicos más importantes para predecir la calidad sensorial de la carne (Song & King, 2015). La Figura 39 muestra la variación de pH según el tratamiento (centro de distribución y venta a detalle) y el día de trabajo en que se realizaron las pruebas.

La muestra control presenta un pH promedio de 6.14 ± 0.07 , muy semejante al reportado por Woelfel *et al.* (2002) con valor de 6.07 para filetes normales. Puvača *et al.* (2015), reportaron valores de pH para el muslo de pollo entre 5.9 y 6, mientras que Li *et al.* (2015) mostraron un valor de 5.98 ± 0.08 . Lo que indica que la muestra control presenta un pH que entra en los intervalos considerados para carne normal.

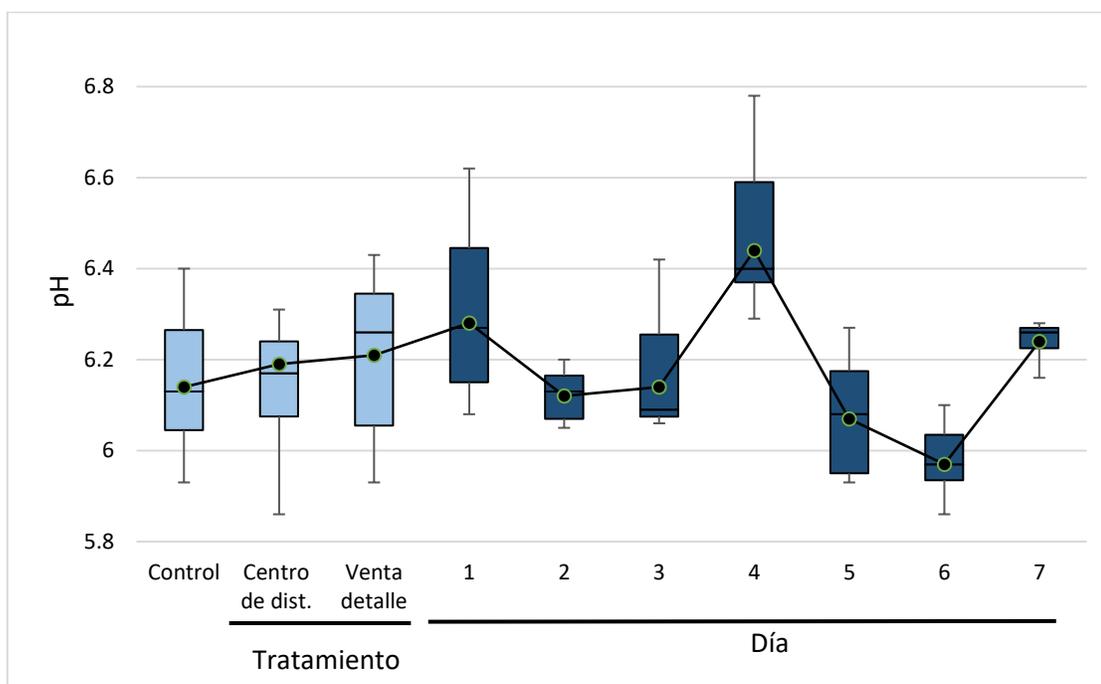


Figura 39. Variación de pH según el tratamiento y día de trabajo.

La manipulación en el centro de distribución presenta un pH de 6.19 ± 0.07 , mientras que el pH de la zona de venta a detalle es de 6.21 ± 0.07 . Los valores obtenidos en ambas zonas no muestran diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$). Quiao *et al.* (2002) reportaron intervalos de pH de 5.81, 5.96 y 6.23 para carnes más blancas de lo normal, normales y más oscuras de lo normal respectivamente, los cuales fueron significativamente diferentes unos de otros. Razón por la que es posible establecer que las carnes monitoreadas presentan un comportamiento normal según el tipo de manipulación.

Cada una de las muestras (control, centro de distribución y venta a detalle), está definido por una temperatura interna distinta, con valores de 4, 15.6 y 19 °C respectivamente. En la Figura 39 se observa que el pH aumenta conforme la temperatura que se tiene en cada zona, sin embargo, no es estadísticamente significativo, teniendo valores entre 6.14 y 6.21.

Los valores de pH para el día de trabajo presentan diferencias estadísticamente significativas entre estos, como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5.

Efecto del día de trabajo en el pH de la carne de pollo.

Día	1	2	3	4	5	6	7
pH	$6.28 \pm 0.06^{b,c}$	6.12 ± 0.06^d	$6.14 \pm 0.06^{b,c,d}$	6.44 ± 0.06^a	$6.07 \pm 0.06^{d,e}$	5.97 ± 0.06^e	$6.24 \pm 0.06^{b,c}$

Parámetros en horizontal con diferente letra presentan diferencia significativa entre estos ($p < 0.05$).

Las muestras de los días 1 y 7 no presentan diferencia significativa, teniendo valores de pH de 6.28 y 6.24. Al igual que los días 2, 3 y 5, los cuales presentaron valores de pH iguales a 6.12, 6.14 y 6.07. Los días 4 y 6 presentaron diferencia significativa con todas las muestras, teniendo valores de 6.44 y 5.97.

Se observa que los valores de pH son ligeramente mayores a los establecidos, ya que estos valores están dados para la pechuga de pollo. Cori *et al.* (2013) y

Zimmerman (2009), encontraron en su estudio que el pH de la pierna es superior al de pechuga de pollo, con valores entre 6.2 y 6.03 para carne normal, debido a que el muslo es un músculo de contracción lenta y oxidativo, que degrada el ATP muy lentamente, a diferencia de la pechuga, que es un músculo de contracción rápida y glucolítico. Así, el muslo forma menos ATP en comparación con la pechuga, formando menos ácido láctico a partir de la degradación de glucógeno, provocando una baja disminución en el pH. Además a esto, la restricción del movimiento de las piernas del pollo asociado a los ganchos donde se ubican los animales en el matadero, propicia un rápido inicio de la glucólisis y con ello, una baja acumulación de ácido láctico que no permite el descenso de pH a intervalos normales.

El pH obtenido según el día de trabajo, se encuentra en intervalos normales, con excepción de los días 1, 4 y 7, que sobrepasan el valor de pH de 6.2, considerándose carnes oscuras, firmes y secas.

3.3.2. Determinación de capacidad de retención de agua (CRA)

En la Figura 40 se presenta la variación de la capacidad de retención de agua según el tratamiento en el mercado de aves (centro de distribución y venta a detalle) y el día de trabajo en que se realizaron las pruebas.

La muestra control con un pH correspondiente a carne normal, presentó una capacidad de retención de agua del 6.3 %. Li *et al.* (2015) presentan valores de pérdidas de agua por centrifugación con un intervalo de 6.25 ± 1.88 % para carnes normales y de 10.34 % para carnes PSE. Se hizo esta comparación debido a que en ambas pruebas se aplica una fuerza externa para liberar el agua y a que los resultados se asemejan más a los obtenidos durante la experimentación. De esta manera, la muestra control presenta una CRA perteneciente a una carne normal.

De acuerdo con el tratamiento (centro de distribución y venta a detalle), no existen diferencias significativas ($p > 0.05$) que indiquen, que en estos lugares la carne presente variaciones de CRA. El centro de distribución presenta una CRA promedio

de 8.04 ± 1.8 %, mientras que en la zona de venta a detalle se presenta un valor de 6.7 ± 1.8 %. Ambos valores se encuentran aún en el rango para carnes normales presentados por Li *et al.* (2015).

La capacidad de retención de agua para los días 1, 3, 4, 5, 6 y 7 no tiene diferencia significativa ($p < 0.05$), sin embargo, el día 2 con valor de CRA igual a 14.3 % presenta diferencias significativas con los demás días ($p < 0.05$).

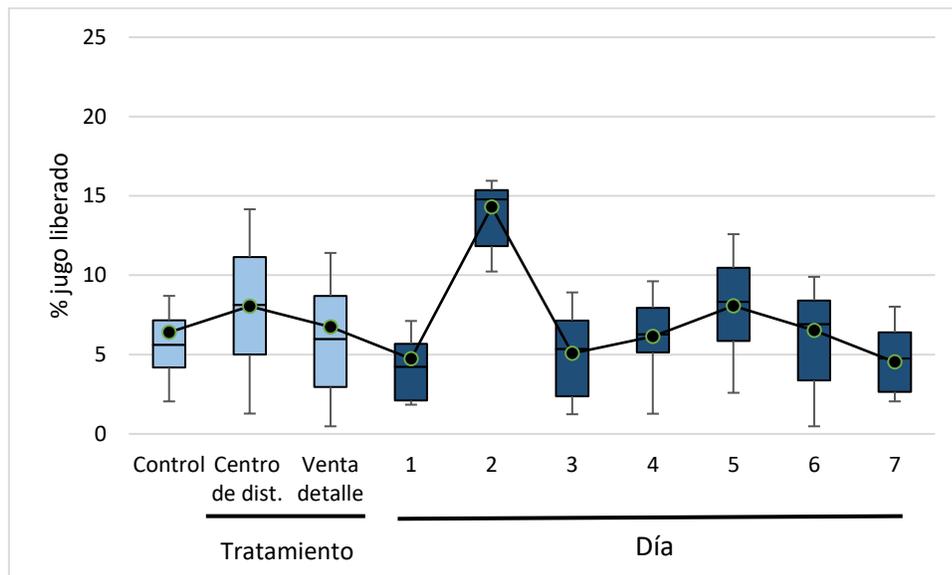


Figura 40. Variación de la capacidad de retención de agua según el tratamiento y día de trabajo.

Teóricamente la capacidad de retención de agua está asociada con el pH del músculo, a pH's considerados altos (>6) la CRA es alta, mientras que a pH's cercanos o por debajo del punto isoeléctrico de la actomiosina (aprox. 5) se determina una pérdida en CRA. Es decir, un pH bajo proporciona una débil interacción proteína-agua y, por tanto, una mayor pérdida de agua (Xiong *et al.*, 1993).

Este fenómeno se presenta en los días 2, 3, 5 y 6, que presentan un pH más bajo en comparación a los demás (Figura 40), en donde los días 2, 5 y 6 presentan

valores de agua liberada de 14.3, 8.06 y 6.52 %, siendo mayores al de los días 1, 4 y 7 que presentaron un pH mayor.

3.3.3. Determinación de parámetros de perfil de color

3.3.3.1. Luminosidad

Muchos investigadores han demostrado una relación significativa entre el color de la carne fresca y su pH (Allen *et al.*, 1998; Fletcher, 1999). Barbut (1997), reportando que la luminosidad de la carne (L^*) tiene la mayor correlación con carnes PSE.

La Figura 41 muestra la variación que tiene la luminosidad (L^*) del pollo según el tratamiento y día de trabajo en que se realizó la prueba. Observándose que la muestra control presentó un valor de L^* de 61.7 ± 10.9 , considerado para carnes pálidas. Diversos autores han establecido umbrales de L^* para considerar a una carne pálida, los cuales varían según el estudio y/o equipo de medida, así: $L^* > 53$ (Quiao, 2002), $L > 54$ (Woelfel *et al.*, 2002) y $L > 49$ (Barbut, 1997).

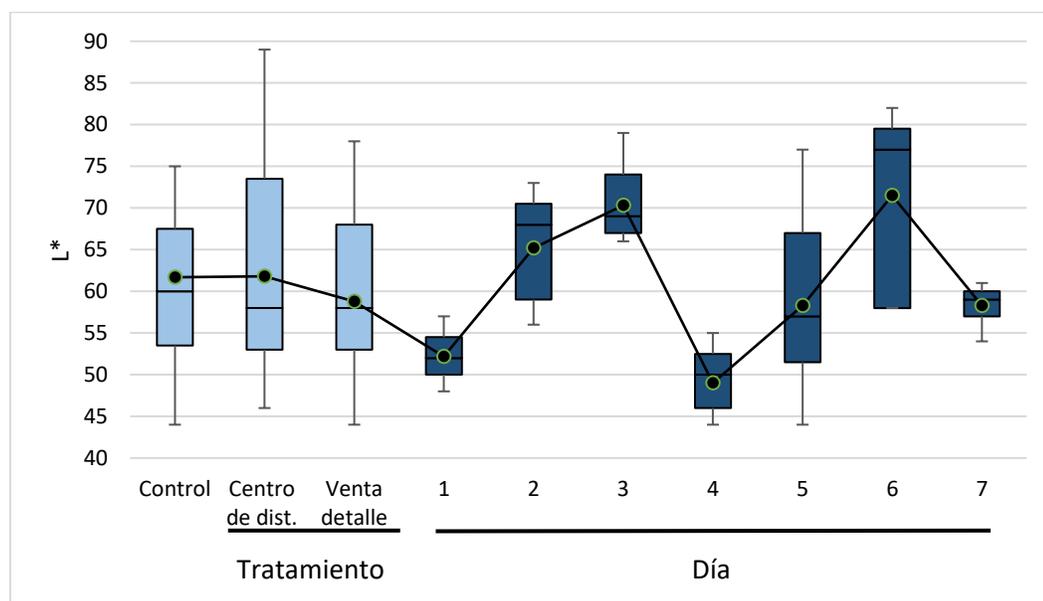


Figura 41. Variación de la luminosidad según el tratamiento y día de trabajo.

Según el tratamiento, el centro de distribución tiene un valor L^* de 61.8 ± 10.5 y de 58.8 ± 8.3 en venta a detalle, que no muestran diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$), demostrando que el tratamiento no tiene gran impacto en el cambio de luminosidad.

Los valores sobrepasan el valor L^* propuesto por Woelfel *et al.* (2002), por lo que en ambos lugares se tienen carnes pálidas, sin embargo, la luminosidad se ve más afectada de acuerdo al día en el que se realizó la toma de muestras. La Figura 41, muestra que los días 2, 3 y 6 tienen valores de luminosidad demasiado altos, los cuales tienen valores de 65.2, 70.3 y 71.5 que entran en el intervalo de carnes pálidas ($L^* > 54$). Mientras que los días 1, 4, 5 y 7 presentan valores de L^* más bajos, que son considerados para carne normal, como los días 1 y 4, con valores de L^* de 52.2 y 49 y los días 5 y 7 con valor de L^* igual a 58.3, que sobrepasan por 4 unidades el valor designado para una carne normal.

Diversos autores demuestran una estrecha relación entre el pH y la luminosidad de la carne. Woelfel *et al.* (2002) presenta un pH= 6.07 y $L^*= 52$ para carnes normales y un pH= 5.76 con $L^*= 59.8$ para carnes pálidas. Li *et al.* (2015) informa valores de pH= 5.98 y $L^*= 51.3$ para carnes normales, mientras que para carnes pálidas son iguales a 5.6 y 57.7.

Comparando los valores de luminosidad con el pH, se observa que se cumple lo que indica la teoría, mostrándose que los días con un pH alto, tal como el 1, 4 y 7, tienen un valor de luminosidad menor.

Todos los valores de L^* presentados, excepto los días 1 y 4 (que son normales) son para una carne pálida, suave y exudativa. Sin embargo, el pH para estos dos días, teóricamente está dado para lo que se considera una carne oscura, firme y seca, mientras que para los demás días corresponde a una carne normal. Por lo que es posible establecer que en el mercado de aves la carne es más pálida a la de otros

lugares, debido a que un pH para carne OFS da valores de L* para carne normal y un pH para carne normal, da valores de L* para carne pálida, suave y exudativa.

Delgado *et al.* (2014) presentan valores de L* para la carne mexicana en su experimentación, en la cual, se realizaron 845 mediciones de color en carne de pollo, reportando que los valores de L* igual o menores a 50 son muy pocos, al igual que valores de L* extremadamente altos (superiores a 70) que no llegan a superar el 10%. Mientras que valores de L* entre 52 y 64 tienen un porcentaje del 71.2% del total de las muestras, que es considerado por la bibliografía como carne pálida. Así, la carne de pollo consumida en México es pálida en comparación con la reportada teóricamente en otros países, mostrando valores de L* entre 52 y 64, que la bibliografía reporta para carnes pálidas, suaves y exudativas. Mostrando además, un pH normal al igual que capacidad de retención de agua.

3.3.3.2. °Hue

Los °Hue (h) describen lo que generalmente se piensa o admite como color: amarillo, verde, azul, rojo, etc. En la Figura 42 se muestra la variación de h según el tratamiento y el día de trabajo.

Los muslos de pollo control presentan un valor promedio de h igual a 45.2 ± 5.1 . Quiao *et al.* (2001) presenta valores de L*, a* y b* para carnes OFS, normales y PSE, los cuales fueron transformados a h con la ecuación 2, obteniendo valores para dichas carnes de 37.7, 51 y 58.4. Mientras que Delgado *et al.* (2014) presenta valores de h para el 74.1 % de sus muestras entre 67 y 75. Estos valores se asemejan a los presentados por Hwang *et al.* (2015), que da valores entre 67 y 81.

Los valores obtenidos de h son parecidos a los presentados por Quiao (2002), sin embargo, no existe una relación entre h y carnes pálidas, normales y oscuras.

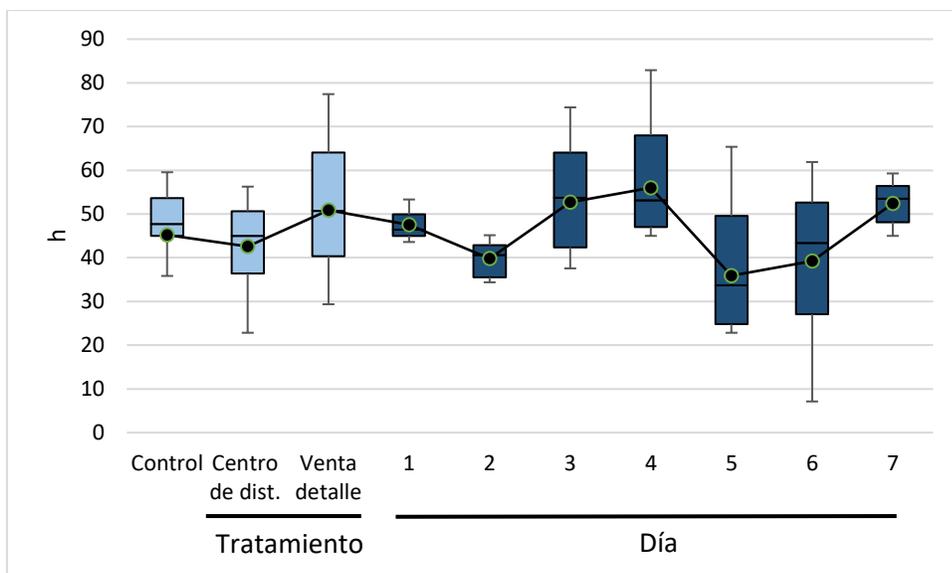


Figura 42. Variación de °Hue según el tratamiento y día de trabajo.

El tratamiento en el centro de distribución tuvo un valor de h igual a 42.6 ± 5.1 , mientras que en venta a detalle fue de 50.9 ± 5.1 . Ambos valores no tienen diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$), por lo que el tipo de tratamiento no influye en el cambio de los °Hue.

El día de trabajo en que se tomaron las muestras presentan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Como se observa en la Tabla 6, los días 2, 5 y 6 con valores de 39.8, 35.93 y 39.27, presentan variación significativa con los días 1, 3 y 7, los cuales tienen valores de °Hue igual a 47.5, 52.78 y 52.45. Mientras que el día 4 presenta variación significativa con todos los demás días, con un valor de 56.01.

Tabla 6.

Efecto del día de trabajo en °Hue de la carne de pollo.

Día	1	2	3	4	5	6	7
° Hue	$47.5 \pm 6.74^{a,b,c}$	$39.8 \pm 6.74^{b,c}$	$52.78 \pm 6.74^{a,b}$	56.01 ± 6.74^a	35.93 ± 6.74^c	$39.27 \pm 6.74^{b,c}$	$52.45 \pm 6.74^{a,b}$

Parámetros en horizontal con diferente letra presentan diferencia significativa entre estos ($p < 0.05$).

Para observar el color según los °Hue se presenta la Figura 43, en donde la línea discontinua en color negro marca la posición aproximada del ángulo de 45°. Nótese que valores inferiores favorecen el tono rojo y a medida que el ángulo se acerca a los 90°, se favorece el color amarillo. El círculo negro representa el intervalo de colores percibido según los °Hue y la saturación resultantes de la experimentación.

La diferencia encontrada en el color de la carne con respecto a otros trabajos se debe, tal y como señala Quiao (2002), a diferencias de manejo, dieta y genética, además de las características del colorímetro empleado. También a la pieza de pollo en la que se hizo el estudio, ya que Cori *et al.* (2013) afirman que la porción corporal es determinante para el color, teniendo concentraciones de mioglobina en la pierna de 0.99 mg/g en comparación con la pechuga de 0.47 mg/g, que como se sabe da el color rojo a la carne, por lo que h está más cerca de los 45°, mostrando un color en la carne entre naranja y amarillo.

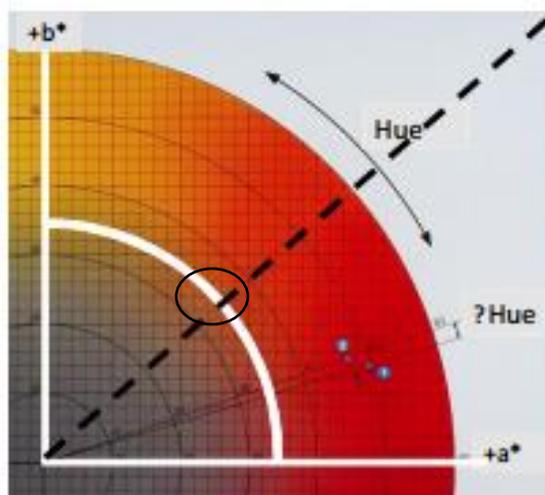


Figura 43. Interpretación del ángulo Hue (Delgado *et al.*, 2014).

3.3.3.3. Croma

El croma (pureza o saturación) es un término que describe la intensidad del color fundamental con respecto a la cantidad de luz blanca mezclada con éste, siendo 0 en el centro y 100 en el perímetro (Figura 43).

En la Figura 44, se observan las muestras control que presentaron un croma promedio de 21.7 ± 2.52 . Para compararlo, se tomaron los valores de L^* , a^* y b^* de Quiao *et al.* (2001) para carnes OFS, normal y PSE, los cuales al ser transformados a croma dan un valor de 6.5, el cual se encuentra alejado al resultado de la experimentación con valores entre 17.8 y 30.

Teóricamente no existe un valor de croma que muestre si una carne es oscura, normal o pálida. Sin embargo, en la experimentación de Delgado *et al.* (2014), se presentan intervalos de croma para carne de pollo mexicana, en la cual el 60.8 % de las muestras tiene un croma entre 16 y 30, que indica un color que va de moderado a fuerte (croma superior a 20 %). Dentro de este intervalo se encuentran los valores obtenidos en la experimentación, demostrando que la carne de pollo mexicana presenta un croma diferente al establecido por la bibliografía de otros países.

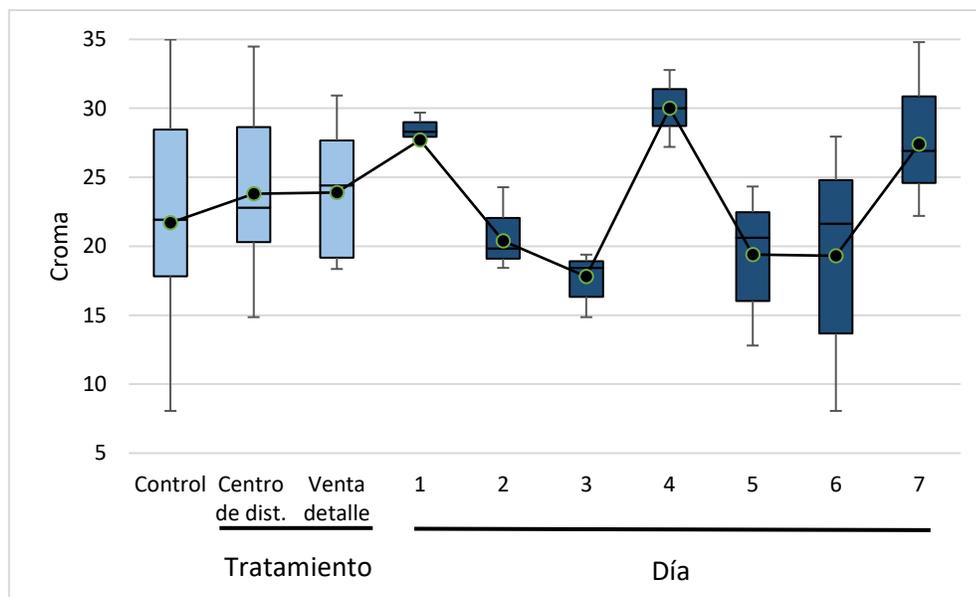


Figura 44. Variación de croma según el tratamiento y día de trabajo.

En el centro de distribución se tiene un croma promedio de 23.8 ± 2.52 , mientras que en venta a detalle el valor es de 23.9 ± 2.52 . En ambos lugares no se tiene

diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$), por lo que no se ve afectado el croma por el tipo de manipulación.

Se tienen diferencias significativas según el día de trabajo en el que se realizaron las pruebas ($p < 0.05$). Los días 1, 4 y 7 tienen valores de croma de 27.7, 30 y 27.4, presentando diferencias significativas con los días 2, 3, 5 y 6, con valores de 20.4, 17.8, 19.4 y 19.3.

Como se mencionó anteriormente, el croma describe la intensidad del color fundamental ($^{\circ}$ Hue) con respecto a la cantidad de luz mezclada con este (L^*). Los días 1, 4 y 7 presentan $^{\circ}$ Hue muy cercanos a 45° que indica un color rojo (Figura 43) y un valor de L^* cerca de 50 (valores cercanos a 0 son oscuros y a 100 son blancos), lo que muestra un equilibrio en donde el color se hace más fuerte y se asemeja al color fundamental (rojo), por lo que el valor de croma es más alto en comparación con los demás días.

3.3.4. Dureza

La dureza depende de la mayor dificultad que presente la carne de pollo a ser troceada durante la masticación; y el tejido conectivo, formado por colágeno y elastina, desempeña un papel determinante en la dureza de la carne (Onega, 2003).

La Figura 45 muestra los resultados de dureza obtenidos experimentalmente. Como se puede observar, la muestra control presenta un valor de dureza de 25.7 ± 2.5 N, que es mayor al establecido por Marcinkowska *et al.* (2015) de 9.3 ± 0.44 N y al de Poltowicz *et al.* (2015), con valor de 16.75 N. Las tres pruebas fueron realizadas por el método Warner-Bratzler y las muestras tenían 1 cm de espesor. Sin embargo, los resultados presentados por Marcinkowska *et al.* (2015) y Poltowicz *et al.* (2015), se realizaron en carne que se cocinó a 75°C , la cual presenta menor dureza en comparación con la carne fresca, ya que al cocinarse la carne a temperaturas entre 63 y 65°C se provoca la desnaturalización y solubilización de las fibras de colágeno para formar gelatina. De esta manera, el colágeno que integra las láminas de tejido

conectivo que envuelven cada una de las fibras musculares y cada uno de los fascículos musculares, pasa de tener una estructura fibrosa y altamente resistente a la masticación, a formar una estructura que se mastica sin dificultad en la boca (Ruiz, 2010).

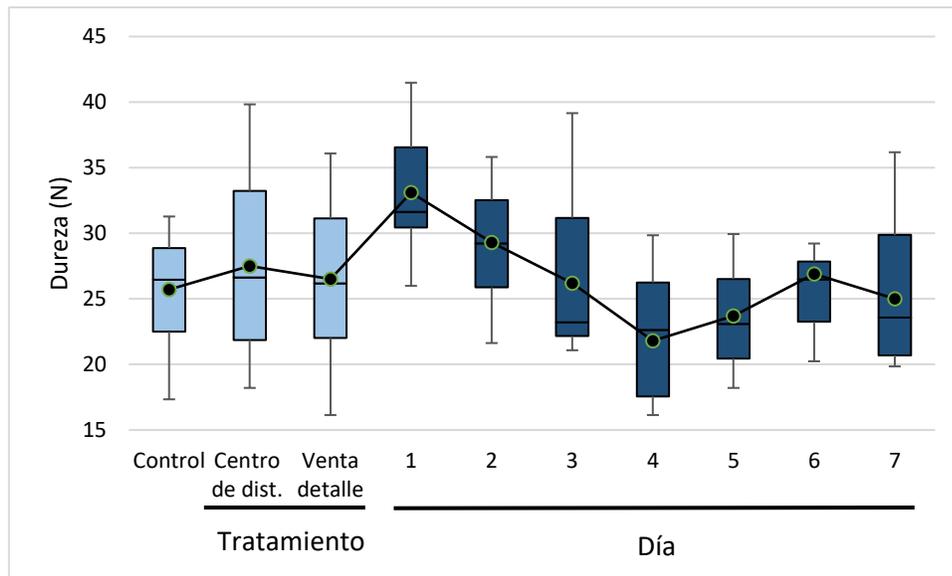


Figura 45. Variación de la dureza según el tratamiento y día de trabajo.

En el centro de distribución se tiene una dureza de 27.5 ± 2.5 N, que no presenta diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) con el valor obtenido en venta a detalle de 26.5 ± 2.5 N.

Entre los días de trabajo en que se realizaron las muestras existe diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), en donde los días 2, 3, 5, 6 y 7 con valores de 29.3, 26.2, 23.7, 26.9 y 25, presentan diferencia con los días 1 y 7, con valores de 33.15 y 21.88.

El valor de dureza obtenido fue mayor al establecido por la bibliografía, debido factores como el tamaño de la muestra, la temperatura de cocinado, la velocidad del ensayo y la dirección de las fibras (Onega, 2003). Además, la dureza está en

función de la cantidad y naturaleza del tejido conectivo que existe entre cada ave (colágeno soluble e insoluble), así como del número y tipo de fibras musculares (Ramírez, 2008).

CONCLUSIONES

Las prácticas de manipulación, no aseguran que la temperatura interna del pollo sea igual o inferior a 4°C. En el centro de distribución la temperatura superficial e interna en el pollo son de 7.56 y 15.6 °C y en la zona de venta a detalle de 13.8 y 19 °C respectivamente. En ambos lugares se rompe la cadena de frío, sin embargo, el centro de distribución mantiene por más tiempo la temperatura baja del producto debido a su edificación, que disminuye la transferencia de calor con el ambiente.

Las buenas prácticas de manufactura en el manejo de pollo se aplican de manera inadecuada dentro del establecimiento, principalmente durante el desembarque.

El pH del pollo se encuentra en intervalos normales, con tendencia a lo que se define como una carne oscura, firme y seca. La capacidad de retención de agua es propia de una carne normal, al igual que la luminosidad de la carne, demostrando que la carne de pollo en México es más pálida a la de otros países. Los °Hue se orientan a colores rojos, mientras que la dureza obtenida demuestra que se trata de una carne suave.

No existe diferencia significativa que indique que la manipulación y el aumento de temperatura afecten los parámetros físicos y fisicoquímicos de la carne dentro del mercado de aves. Dichos parámetros muestran diferencia significativa entre días, que engloba un diferente lote de aves al del día anterior, diferente transporte y matanza, que se refleja en su estrés y por ende en las propiedades de la carne.

El mantener la temperatura baja del producto y una buena manipulación, podrían evitar el desperdicio de esta proteína animal, que en 2015 se determinó en 1.17 millones. Se debe crear conciencia sobre el manejo de la carne, ya que la suma de pérdidas de cada distribuidor está alcanzando grandes cifras.

RECOMENDACIONES AL MERCADO DE AVES

- ❖ Capacitar a los trabajadores sobre la importancia de la cadena de frío en productos perecederos tales como el pollo. Ya que tomando conciencia del problema se podría disminuir el desperdicio de ésta proteína en el lugar.
- ❖ Retirar el pollo del recinto frío para su despiece según los pedidos realizados, para que de esta forma el pollo no quede en exhibición por tiempos prolongados que conlleva al aumento de su temperatura.
- ❖ Exhibir el pollo mezclado con hielo, como suele realizarse en establecimientos que deben asegurar la temperatura del producto.
- ❖ No dejar que el producto este en contacto directo con el sol.
- ❖ Mantener el movimiento constante de las piezas de pollo, ya que de esta forma conserva por más tiempo su baja temperatura.
- ❖ Acelerar el tiempo descarga del producto del vehículo, ya que es excesivo.
- ❖ Evitar que durante la descarga, el pollo y el hielo entren en contacto directo con el piso del establecimiento.
- ❖ Mejorar las prácticas sanitarias dentro del establecimiento para evitar la contaminación directa y cruzada del producto, causantes de enfermedades transmitidas por los alimentos.
- ❖ Establecer un método de limpieza y desinfección de equipos y utensilios, tales como tijeras, aplanadores, mesas, etc.
- ❖ La ropa y calzado del personal encargado de descargar el pollo del vehículo deben estar limpios e íntegros.
- ❖ No permitir que personas ajenas al establecimiento entren en contacto con el producto.
- ❖ Colocar letreros que no permitan fumar, comer, beber, escupir o mascar dentro del lugar.

REFERENCIAS

- AECOC. (1997). Distribución de productos congelados. Consultado el 25 de Octubre de 2015. [http://sede.aecoc.es/web/logistica.nsf/c26e324ee59af673c12568c500468a18/c7a0d69c72936338c1256b7a004ea172/\\$FILE/RAL%20Congelados.pdf](http://sede.aecoc.es/web/logistica.nsf/c26e324ee59af673c12568c500468a18/c7a0d69c72936338c1256b7a004ea172/$FILE/RAL%20Congelados.pdf)
- Allen, C., Fletcher, D., Northcutt, J., & Russel, S. (1998) The relationship of broiler breast color to meat quality and shelf-life. *Poultry Science*, 77 (2), 361-366.
- Alvarado, C. (2012). Calidad de la carne de pollo. Consultado el 20 de Octubre de 2015. <http://www.elsitioavicola.com/articles/2268/calidad-de-la-carne-de-pollo/>
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. México: Pearson. 716 pp.
- Barbut, S. (1997). Problem of pale, soft and exudative meat in broiler chickens British. *Poultry Science*, 38, 422- 427.
- Barreiro, J. & Sandoval, A. (2006) Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Venezuela: Equinoccio. 365 pp.
- Boulianne, M.m & King, A. (1995). Biochemical and color characteristics of skin boneless pale chicken breast. *Poultry Science*, 74, 1693- 1698.
- Carvajal, G. (2001). Valor nutricional de la carne de: res, cerdo y pollo. Costa Rica. Corporación de Fomento Ganadero.
- Casp, A. & Abril, J. (2003) Procesos de conservación de alimentos. España: Mundi-Prensa. 491 pp.
- Castañeda, M., Braña, D., Rosario, C. & Martínez, W. (2013). Calidad microbiológica de la carne de pollo. México: SAGARPA. Consultado el 25 de Octubre de 2015.

<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/19.%20Calidad%20microbiol%C3%B3gica%20de%20la%20carne%20de%20pollo.pdf>

Castello, J. (1991). Producción de carne de pollo. España: Real Escuela de Avicultura.

CONACCA (2015). Analizan cadenas de frío con el apoyo de CONACCA. Consultado el 6 de Octubre de 2015. <http://conacca.mx/index.php/j-stuff/noticias/172-analizan-cadenas-de-frio-con-el-apoyo-de-conacca>

Cori, M., Figueroa, C. & Rivas, N. (2013). Solubilidad proteica, contenido de mioglobina, color y pH de la carne de pollo, gallina y codorniz. Universidad Central de Venezuela, 63 (241), 133- 143.

CEPE-ONU. (2015). Acuerdo sobre transportes internacionales de mercancías perecederas y sobre vehículos especiales utilizados en esos transportes (ATP). Consultado el 19 de abril de 2016. <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/C34A3365-BB37-4EB3-85AC-47E02BEF1B0F/135821/BOEATP201311936.pdf>

Delgado, E., Castañeda, P., Braña, D. & Espinosa, D. (2014). Patrones fotográficos para la evaluación del color en piel y en carne de pollo. México: SAGARPA.

Dransfield, E. & Sosnicki, A. (1998). Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *Poultry Science*, 78, 743- 746.

Dutra, A. & Prentice C. (2014). Use of photochromic indicator for dynamic monitoring of the shelf life of chilled chicken based products. *Meat Science*, 96, 1219-1226.

Egan. H., Kirk, K. & Sawyer, R. (1987). Análisis químico de alimentos de Pearson. México: Editorial Continental S.A.

Eilert, S. (2005). New packaging technologies for the 21st century. *Meat Science*, 71, 122– 127.

- Escudero, M. (2005). Almacenaje de productos. España: Ediciones Paraninfo. 368 pp.
- FAO. (2015). Producción y sanidad animal. Calidad de la carne. Consultado el 6 de Octubre de 2015. http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/quality_meat.html
- Fernández, S. (2007). Evaluación de los cambios fisicoquímicos de carne de bovino congelada-descongelada y almacenada en refrigeración. Tesis de Ingeniería en Alimentos. México: UNAM.
- Fletcher, D. (1999). Color variation in commercially packaged broiler breast fillets. *Journal of Applied Poultry Research*, 8, 67-69.
- Foegeding, E., Lanier, T. & Hultin, H. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. *Food Chemistry*. 3, 879-942.
- Genot, C. (2013). Congelación y calidad de la carne. España: Acribia. 112 pp.
- Gordon, L. (2010). Food packaging and shelf life. USA: CRC.
- Grossklaus, D. (1979). Inspección sanitaria de la carne de ave. España: Acribia. 354 pp.
- Hernández, E. (2008). Descripción de las operaciones, tecnología y buenas prácticas de higiene y sanidad en un centro de almacenamiento y distribución de alimentos perecederos, cámara frigorífica de: congelados, carnes, pescados, lácteos, frutas y verduras. Tesis de Ingeniería en Alimentos. México: UNAM.
- Hidalgo, J. (2003). El transporte de alimentos perecederos. Consultado el 5 de Febrero de 2015. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/normativa-legal/2003/12/22/10013.php>
- Hleap, J. & Velasco, V. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. 8, 46-56.

- Hwang, K., Kim, H., Song, D., Kim, Y., Ham, Y., Lee, J. & Kim, C. (2015). Effects of antioxidant combinations on shelf stability of irradiated chicken sausage during storage. *Radiation Physics and Chemistry*, 105, 315-319.
- Jaturasitha, S., Srikanchai, M., Kreuzer, M. & Wicke, M. (2008). Differences in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to northern Thailand (Black-boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island Red). *Poultry Science*. 87, 160-169.
- Laguerre, O., Ben, M. & Flick, D. (2008). Methodology of temperature prediction in an insulated container equipped with PCM. *International Journal of Refrigeration*, 31(6), 1063-1072.
- Legorreta, I. (2010). Handbook of poultry science and technology. *Wiley* (2), 81- 100, 311-320, 389- 400.
- Li, K., Zhao , Y., Kang, Z., Wang, P., Han, M. & Zhou, G. (2015). Reduced functionality of PSE- like chicken breast meat batter resulting from alterations in protein conformation. *Poultry Science*, 94, 111-122.
- López, G., Carballo, B. & Madrid, A. (2000). Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. España: Mundi-Prensa. 321 pp.
- López, J. (2013). Envasado de pechuga de pollo marinada en atmósfera modificada activa. Tesis de Ingeniería en Alimentos. México: UNAM.
- López, L., Braña, D. & Hernández, I. (2013). Estimación de la vida de anaquel de la carne. México: SAGARPA. Consultado el 6 de Octubre de 2015. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/21.%20Estimaci%C3%B3n%20de%20la%20Vida%20de%20Anaquel%20de%20la%20Carne.pdf>
- Marcinkowska, M., Zdanowska, Z., Stelmasiak, A. & Damaziak, K. (2015). Effect of packaging method and cold-storage time on chicken meat quality. *CyTA - Journal of Food*, 1-5.
- Matía, P., Rubio, M., Charro, A. & Cabrerizo, L. (2002). La carne de pollo en la alimentación saludable. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- McDougal, D. (2002). Color in foods. USA: C.R.C. Press. 340 pp.
- McKee, S. & Sams, A. (1997). The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. *Poultry Science*, 76, 1616- 1620.
- Konica Minolta (2003). Comunicación precisa de los colores. Consultado el 5 de Febrero de 2016. <http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/04.html>
- Moreno, R. (2005). Calidad de la carne de pollo. *Nutreco R & D*. Consultado el 10 de Octubre de 2015. http://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/01_02_47_calidad.pdf
- Mountney, G. & Parkhurts, C. (1995). Poultry products technology. USA: Food Products Press. 449 pp.
- MSSI. (1985). Reglamentación técnico-sanitaria sobre condiciones generales de transporte terrestre de alimentos y productos alimentarios a temperatura regulada. Consultado el 19 de abril de 2016. http://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/sanidadExterior/control esSanitarios/instaAlmacen/pdf/RD_168-85_RTS_Almacenam_Frig.pdf
- NMX (2002), NMX-FF-078-SCFI-2002. Productos pecuarios-Carne de bovino en canal- Clasificación. México: SCFI 2015. Consultado el 26 de Abril de 2016. http://expocarnes.com/wp-content/uploads/2015/02/3.-NMX-FF-078-SCFI-2002_clasific_prod_pecuarios1.pdf
- NMX (2006), NMX-FF-080-SCFI-2006. Productos avícolas- Carne de pollo de engorda en canal y en piezas- Clasificación. México: SCFI 2015. Consultado el 8 de Octubre de 2015. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2007/CDAgropecuaria/pdf/87NOM.pdf>
- Northcutt, J. (2004) Factores que afectan la calidad de la carne de aves. Consultado el 25 de Octubre de 2015. <http://avicol.co/descargas2/b002.pdf>

- Onega, M. (2003). Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Tesis Doctoral. España: Universidad Complutense de Madrid.
- Pastor, A. (2009). La carne y productos cárnicos. Consultado el 20 de Octubre de 2015. <http://alimentosmanipulación.blogspot.mx/2009/11/la-carne-y-productos-carnicos-alimentos.html#comment-form>
- Pereira, C. (2009). Sistema de visión computarizada y herramientas de diseño gráfico para la obtención de imágenes de muestras de alimentos sementadas y promediadas en coordenadas CIE-LAB. Posgrado de Biotecnología. Venezuela: Universidad Simón Rodríguez.
- Pilar, M. (2011). Factores involucrados en la calidad de la carne de pollo. *Nacameh*, 5 (1), S84- S95.
- Pilar, M., Braña, D. & Martínez, W. (2013). Carne de pollo mexicana. México: SAGARPA.
- Poltowiez, K., Nowak, J. & Wojtysiak, D. (2015). Effect of feed restriction on performance, carcass composition and physicochemical properties of the M. Pectoralis Superficialis of broiler chickens. *De Gruyter*. 15, 1019-1029.
- Puvača, N., Kostadinovic, L., Levic, J., Ljubojevic, D., Tufarellu, V., Jovanovic, R., Tasis, T., Ikonc, P. & Lucač, D. (2015). Proximate composition, cholesterol content and lipid oxidation of meat from chickens fed dietary spice addition (*Allium sativum*, *Piper nigrum*, *Capsicum annum*). *Animal Production Science*, A-H
- Quiao, M. (2002). The relationship between raw broiler breast meat color and composition. *Poultry Science*, 81, 422- 427.
- Ramírez, G. (2008). Estudio de la carne. Universidad de Antioquía: Colombia. Consultado el 9 de Octubre de 2015. http://aprendeonlinea.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/424/Carne_y_derivados2009.pdf

- Ramírez, J. (2004). Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. Tesis Doctoral. España: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ranken, M. (2003). Manual de la industria de carne. España: Mundi- Prensa. 201 pp.
- Rediers, H., Claes, M., Peeters, L., & A, A. (2009). Evaluation of the cold chain of fresh-cut endive from farmer to the plate. *Postharvest Biology and Technology*, 51(2), 257-262.
- Restrepo, D., Arango, C., Amézquita, A. & Restrepo, R. (2001). Industria de carnes. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 275 pp.
- Reyna, J. (2001). Cambios fisicoquímicos y bioquímicos de la carne y productos cárnicos. Campeche: Instituto Superior Calkini.
- Richard, J. (1999). Extracellular modifications to muscle collagen: Implications for meat quality. *Poultry Science*, 78, 785- 791.
- Ruiz, F., Blázquez, E. & Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*. 69, 527-536.
- Ruiz, J. (2010). Cocina al vacío y a temperaturas controladas. Consultado el 15 de Septiembre de 2016. <http://www.sebbm.com/pdf/166/d02166.pdf>
- SAGARPA. (2009). Manual de buenas prácticas pecuarias en unidades de producción de pollo de engorda. México. Consultado el 6 de Octubre de 2015. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INI FAP/15.%20Carne%20de%20pollo%20mexicana.pdf>
- SAGARPA. (2012). Aumentó 89.5 % el consumo de carne por persona en México en dos décadas. México. Consultado el 6 de Octubre de 2015. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/jalisco/boletines/Paginas/B0502012.aspx>
- Sams, R. (2000). Poultry Meat Processing. USA: C.R.C. Press. 442 pp.

- Sánchez, F. (2001). Guía del cuestionario del acta para la verificación de buenas prácticas sanitarias en rastros. Curso de actualización en higiene de la carne. México: UNAM.
- Sánchez, L. (2015). Incorporación de nanocápsulas de aceite esencial de lima en un líquido de cobertura para la conservación de piña refrigerada. Tesis de Ingeniería en Alimentos. México: UNAM.
- SEDESOL. (2013). Se desperdician más de diez mil toneladas de alimentos cada año en México. Consultado el 6 de Octubre de 2015. <http://www.sedesol.gob.mx/en/SEDESOL/Comunicados/1394/se-desperdician-mas-de-diez-mil-toneladas-de-alimentos-cada-ano-en-mexico>
- Sigler, S. (2015). Efecto del ácido lipóico sobre los parámetros productivos, la calidad de la canal y la biogénesis mitocondrial del pollo de engorda. Tesis de Maestro en Ciencias. México: UNAM.
- Song, D. & King, A. (2015). Effects of heat stress on broiler meat quality. *World's Poultry Science Journal*, 71, 701- 709.
- Sun, D. & Wang, L. (2003). Experimental investigation of performance of vacuum cooling for commercial large cooked meat joints. *Journal of Food Engineering*, 61, 527-532.
- UNA. (2014). Crecerá 2.5 % la avicultura mexicana en 2015. México. Consultado el 5 de Octubre de 2015. <http://www.una.org.mx/index.php/panorama/crecera-2-5-la-avicultura-mexicana-en-2015>
- USDA. (1995). Protecting perishable foods during transport. Handbook, 669.
- Woelfel, R., Owens, C., Hirschler, E., Martínez, R. & Sams, A. (2002). The characterization and incidence of pale, soft and exudative broiler meat in a commercial processing plant. *Poultry Science*, 81, 579- 584.
- Xiong, Y., Pescatore, A., Cantor, A., Blanchard, S. & Straw, M. (1993). Influence of genetic strain, pH and salts on cooking properties of processed light and dark broiler meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 28, 429-434.

Zimerman, M. (2009). pH de la carne y factores que lo afectan. Consultado el 25 de Febrero de 2016. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina_carne/146-carne.pdf