



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**Efecto de la aplicación de lactato de sodio en la
estabilidad de pechuga de pollo envasada al vacío y
refrigerada**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:
KAREN ANGELINA PEREZ VILORIA

ASESORES:
Dra. Adriana Llorente Bousquets
M. en C. Jonathan Coria Hernández

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE

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

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

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

Efecto de la aplicación de lactato de sodio en la estabilidad de pechuga de pollo envasada al vacío y refrigerada.

Que presenta la pasante: Karen Angelina Pérez Viloría

Con número de cuenta: 413088613 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Abril de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Adriana Llorente Bousquets	
VOCAL	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
SECRETARIO	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
1er. SUPLENTE	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	
2do. SUPLENTE	M. en C. Ana Elvia Sánchez Mendoza	

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

LMCF/javg

Esta tesis forma parte de los proyectos del taller Multidisciplinario de Ingeniería en Alimentos: Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos. Se llevó a cabo en el Laboratorio 7 de Bioconservación en la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Se agradece al Proyecto DGAPA-PAPIIT IT202312 “estrategias de bioconservación y conservación de la carne y sus productos” por el apoyo recibido para este proyecto de tesis y al Proyecto PIAPI 1635 “Procesos Tecnológicos de productos cárnicos”.

Agradecimientos

A Dios por permitirme llegar hasta este punto y darme las fuerzas necesarias para recorrer este sendero y levantarme en cada prueba.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Fes Cuautitlán, mi máxima casa de estudios por la oportunidad de ser parte de esta comunidad y darme las herramientas necesarias para mi formación académica y profesional y que el día de hoy me permite alcanzar un logro más.

A mis asesores de tesis; Dra. Adriana Llorente y M. en C. Jonathan Coria por todo su tiempo y dedicación a este proyecto, por todos los conocimientos transmitidos, y por motivarme a cerrar este ciclo tan importante en mi vida.

A mis sinodales I.B.Q Saturnino Maya, M. en C. Ma. Guadalupe Amaya, M. en C. Araceli Ulloa y M. en C. Ana Elvia Sánchez por su tiempo y paciencia para leer este trabajo, por compartir sus conocimientos y observaciones para llevarlo al mejor termino posible.

A mis profesores Antonio Trejo, Julieta González, Laura Cortázar, Maritza Rocandio, Edith Fuentes, Rosalía Meléndez, José Luis Arjona por todo su apoyo, consejos y conocimientos compartidos.

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de todas las personas que me rodean. Se trata de un proyecto colectivo, que muchos me ayudaron a elaborar. Su contribución es más grande de lo que pueden imaginarse, cada palabra de aliento y cada gesto, me han ayudado a alcanzar esta meta.

Dedicatorias

A mis padres Angelina Viloria y Hugo Pérez por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su amor, paciencia, cuidado y apoyo constante en este camino, por cada sacrificio y desvelo, gracias por guiarme, educarme y hacer de mí la persona que soy, gracias por hacerme ver que las cosas no son fáciles y que cada día uno debe de luchar por lo que quiere, les estoy inmensamente agradecida por todo lo que me han dado, hoy concluyo una etapa muy importante de mi vida y sin ustedes nada de esto hubiera podido realizarse, ¡Los amo!. Hasta el cielo con todo mi amor Papi. ♡

A mi hermana Alondra, por todo tu apoyo, por estar siempre conmigo y aguantarme en mis periodos de estrés a lo largo de mi vida universitaria, te amo hermanita.

A mis abuelos, por amarme, consentirme y apoyarme siempre, esto también se los debo a ustedes, Abu sé que desde el cielo festejas este logro, que también es tuyo.

A mis tíos, Beatriz, Arturo, Esperanza, Heriberto, Omar, Sergio, Brenda y Alicia por apoyarme incondicionalmente e impulsarme a luchar por cada uno de mis sueños, gracias por los consejos, por todo el amor y cariño que me tienen.

A mis primos, Ximena, Carlos, Nayeli, Elizabeth, Dana y Sergio por llenar de felicidad mi vida.

A Alexis Ramírez por apoyarme e impulsarme a luchar y a no darme por vencida en este proceso, fuiste un gran compañero tu ayuda y cariño son invaluable para mí, y parte de este trabajo también te lo debo a ti, gracias.

A todos mis amigos en especial a Samantha, Iván, Elizabeth, Laura, Augusto, Miriam, Oscar, Mitzy y Brenda gracias por hacer ameno el trayecto, de cada uno me llevo un aprendizaje, gracias por brindarme su amistad, alegría, conocimientos, horas de estudio, desvelos, regaños y apoyo en los buenos y malos momentos.

Este trabajo se lo dedico a ustedes que siempre han confiado en mí, que me han apoyado en cada momento y me han brindado su amor incondicional, Todos mis logros no serían posibles sin ustedes.

Con amor Karen 

Nunca es ni muy tarde, ni muy temprano

¡Es justo en tu momento!



Contenido

Índice de cuadros	X
Índice de figuras	XI
Resumen	1
Introducción.....	2
1.1. Definición de carne.....	5
1.2. Carne de pollo	5
1.3. Composición de la carne de pollo	6
1.3.1. Agua	7
1.3.2. Proteínas musculares	7
1.3.2.1. Proteínas miofibrilares.....	8
1.3.2.2. Proteínas sarcoplásmicas	9
1.3.2.3. Proteínas del estroma	10
1.3.3. Grasa	11
1.3.4. Carbohidratos	11
1.3.5. Materia inorgánica (Cenizas)	11
1.4. Composición muscular	12
1.4.1. Sistema contráctil y mecanismo de contracción muscular	12
1.5. Conversión de músculo en carne	14
1.6. Procesamiento primario de la carne de pollo	17
1.7. Factores que afectan la calidad	17
1.7.1. Efecto de las Buenas Prácticas de Producción Pecuaria (BPPP) sobre la calidad	17
1.7.2. Efecto de las Buenas Prácticas de Transporte (BPT) sobre la calidad de la carne	20
1.7.2.1. Carne pálida, suave y exudativa (PSE por sus siglas en inglés)	20
1.7.3. Efecto de las Buenas Prácticas de Sacrificio (BPS) sobre la calidad de la carne	21

1.8.	Propiedades fisicoquímicas y físicas de la carne	21
1.8.1.	Actividad de agua (a_w)	21
1.8.2.	pH	22
1.8.3.	Parámetros de perfil de color	22
1.8.3.1.	Sistema de medición de color CIE $L^*a^*b^*$	23
1.8.3.2.	Mioglobina superficial	25
1.9.	Microbiología de la carne	27
1.9.1.	Microorganismos Gram positivos y Gram negativos	28
1.10.	Conservación de la carne.....	32
1.11.	Teoría de barreras.....	33
1.11.1.	Homeostasis y tecnología de obstáculos	34
1.11.2.	Envasado	35
1.11.2.1.	Envasado al vacío	36
1.11.3.	Refrigeración.....	37
1.12.	Bioconservación	37
1.12.1.	Ácidos orgánicos y sus sales	37
1.12.2.	Lactato de sodio.....	39
	Justificación.....	40
	Objetivo General	41
	Objetivos Particulares	41
	Hipótesis.....	41
	Secuencia experimental	43
2.1.	Metodología experimental	44
2.1.1.	Preparación de las unidades experimentales	44
2.1.1.1.	Corte de pollo	44

2.1.1.2.	Preparación de solución antimicrobiana (Lactato de sodio)	45
2.1.1.3.	Aspersión	45
2.1.1.4.	Envasado y refrigerado	45
2.1.2.	Determinación de pH	46
2.1.3.	Determinación de a_w	46
2.1.4.	Determinación de parámetros de perfil de color	47
2.1.5.	Evaluación de la calidad microbiológica	48
2.1.5.1.	Preparación de agua peptonada	48
2.1.5.2.	Preparación de Agar Nutritivo	49
2.1.5.3.	Esterilización del material	49
2.1.5.4.	Preparación de la dilución primaria	49
2.1.5.5.	Preparación de diluciones decimales	50
2.1.5.6.	Sembrado en superficie.....	50
2.1.5.7.	Cuantificación de microorganismos.....	51
2.1.5.8.	Tinción de Gram.....	52
3.1.	pH.....	54
3.2.	Actividad de agua (a_w).....	56
3.3.	Parámetros de perfil de color	58
3.3.1.	Parámetro L^*	59
3.3.2.	Parámetro a^*	60
3.3.3.	Parámetro b^*	61
3.3.4.	Croma (C^*).....	62
3.3.5.	Reflectancia	62
3.3.6.	Mioglobina superficial	64
3.4.	Microbiología	65

3.4.1. Tinción de Gram	67
Conclusiones.....	72
Referencias	73

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición química aproximada de la carne de pollo.....	6
Cuadro 2. Géneros de microorganismos detectados con más frecuencia en la carne de pollo.....	28
Cuadro 3. Valores promedios de pH correspondiente a cada uno de los tratamientos	54
Cuadro 4. Valores promedios de a_w correspondiente a cada uno de los tratamientos	56
Cuadro 5. Valores promedios de L^* , a^* , b^* , C^* y h^* correspondiente a cada uno de los tratamientos.....	58
Cuadro 6. Fracción de mioglobina superficial en pechuga de pollo	65
Cuadro 7. Promedio de cuenta de bacterias aerobias totales (UFC/g)	66

Índice de figuras.

Figura 1. Incremento del consumo de pollo y proyección a 2030.....	6
Figura 2. Composición del tejido muscular esquelético.....	7
Figura 3. Miosina.....	8
Figura 4. Actina.....	9
Figura 5. Organización de la fibra muscular.....	13
Figura 6. Fases del faenado de aves.....	17
Figura 7. Diagrama de cromaticidad de espacio de color L*a*b*.....	24
Figura 8. Ilustración del ángulo hue y croma C* (índice de saturación) dentro de una parte de un diagrama de cromaticidad.....	25
Figura 9. Esquema que representa el color de la carne en función de los estados de oxidación de la mioglobina.....	26
Figura 10. Diferencias en la estructura de la pared celular entre microorganismos Gram positivos y Gram negativos.....	30
Figura 11. Función de los solventes y colorantes para la tinción de Gram.....	31
Figura 12. Ejemplos de la teoría de barreras.....	34
Figura 13. Metodología experimental.....	43
Figura 14. Corte de pollo.....	44
Figura 15. Asperjado.....	45
Figura 16. Envasado y refrigerado.....	45
Figura 17. Potenciómetro Orión 5-Star.....	46
Figura 18. Higrómetro Decagon Devices.....	47
Figura 19. Colorímetro Konica Minolta CM-600d.....	48
Figura 20. Frasco schott.....	49
Figura 21. Serie de diluciones.....	50
Figura 22. Sembrado en superficie.....	51
Figura 23. Cuantificación de microorganismos.....	52
Figura 24. Tinción de Gram.....	52
Figura 25. Efecto combinado de la adición de lactato-refrigeración-vacío en el pH de la pechuga de pollo (0=día 1, 7=día 7).....	55

Figura 26. Efecto combinado de la adición de lactato-refrigeración-vacío en a_w de pechuga de pollo (0=día 1, 7=día 7).....	57
Figura 27. Gráfica de caja de luminosidad (L^*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración	59
Figura 28. Gráfica de caja de luminosidad (a^*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración	60
Figura 29. Gráfica de caja de luminosidad (b^*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración	61
Figura 30. Gráfica de caja de luminosidad (C^*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración	62
Figura 31. Porcentaje de reflectancia de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración (C= Muestra control, LS= Muestra adicionada con lactato de sodio).....	63
Figura 32. Log UFC/g de Bacterias Aerobias Totales	66
Figura 33. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en la materia prima	67
Figura 34. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en el control al día 0.....	68
Figura 35. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en muestras adicionadas con lactato de sodio día 0.....	69
Figura 36. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en el control al día 7.....	70
Figura 37. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en muestras adicionadas con lactato de sodio día 7.....	71

Resumen

El consumo de carne de ave ha aumentado a nivel mundial en los últimos años, con una producción nacional que alcanzó 1.5 mil millones y se espera que este nivel se mantenga constante a lo largo de la proyección base según Sagarpa, México (Sagarpa, 2018). Como la carne de ave fresca es un alimento altamente perecedero, debido a su composición química, debe cuidarse la seguridad del producto, la vida útil, la calidad y las características sensoriales deseables asociadas. Muchos factores relacionados con la producción y manejo de la carne de ave promueven niveles elevados de microorganismos (microbiota de origen), aunado a esto, su alto contenido de agua y proteínas reducen su vida útil. En consecuencia, es de gran importancia desarrollar y combinar métodos de conservación para extender la vida útil y aumentar la seguridad de estos productos. Por este motivo se eligió combinar estrategias de conservación tradicionales como el envasado al vacío y la refrigeración, con barreras adicionales de conservación, como bioconservación. Por lo que se tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de lactato de sodio como agente antimicrobiano en la pechuga de pollo envasada al vacío y refrigerada, respecto a un lote control sin adición de lactato de sodio, sobre algunos parámetros físicos (parámetros de perfil de color (PPC)), fisicoquímicos (pH y a_w) y microbiológicos en términos de cuenta de bacterias aerobias totales (BAT) en placas de agar. Para lo cual se prepararon dos lotes de pechuga deshuesada de pollo envasada al vacío, sin adición de lactato de sodio y refrigerada (lote control) y un lote con adición lactato de sodio, envasada al vacío y refrigerada. Se evaluó la calidad sanitaria de la pechuga de pollo y posteriormente ambos lotes fueron evaluados al inicio y a la primera semana de almacenamiento en refrigeración. Los resultados fueron procesados en el programa Minitab 17, donde se realizó un análisis estadístico ANOVA de dos vías. Se encontró que el lactato de sodio fue capaz de inhibir las bacterias Gram negativas por la combinación de barreras aplicadas en el lote de prueba, con una reducción de 3 log UFC/g en total, respecto del lote control. El análisis estadístico evidenció una diferencia altamente significativa ($P < 0.05$) en la calidad sanitaria del lote tratado con lactato de sodio. Los resultados del análisis estadístico de los PPC no evidenciaron cambios significativos ($P > 0.05$), sin embargo, respecto al pH y la a_w si se tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) a la semana de almacenamiento bajo la combinación de las tres barreras.

Introducción

La demanda mundial de carne de pollo se ha incrementado en los últimos años debido a su precio comparativamente bajo con otras carnes y ser, además, una excelente fuente de proteína (FAO, 2007).

Sobre los últimos 50 años, la producción de pollo se ha industrializado lo que resulta en productos avícolas de mayor calidad (Union nacional de avicultores, 2018). Como los precios de los alimentos al por menor van aumentando a nivel mundial, la necesidad de obtener de alimentos económicos, saludable y mínimamente procesados para el consumidor se vuelve más importante.

Un segmento que puede ayudar con estas cuestiones es la mejora de la calidad del producto y la extensión de tiempo de conservación de la carne de pollo.

El pollo crudo se echa a perder con facilidad ya que es rico en nutrientes favorables para crecimiento microbiano y los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos pueden ser el resultado de la contaminación bacteriana debido a diversos factores tales como los tractos gastrointestinales, pieles de animales, el agua, el suelo, las heces, la vegetación, el aire, el polvo, el contacto con alimentos superficies y manipuladores de alimentos (Sofos , 2014).

Un ámbito prioritario de la cadena de producción avícola es la mejora en la manera de procesar y manejar los alimentos para evitar contaminaciones, Para lograr este objetivo es necesario desarrollar e implementar programas de reducción de riesgos y llevarlos a cabo.

Las tendencias modernas incluyen la aplicación del concepto de la tecnología de obstáculos y el uso de conservadores de alimentos naturales con el fin de mantener un mínimo procesamiento, además de garantizar la protección tanto de microorganismos alterantes y patógenos (Chouliara & Kontominas, 2006).

Por lo tanto este proyecto tiene el objetivo de explicar, el efecto que tiene la refrigeración, el envasado al vacío y la adición de lactato de sodio, sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas de la pechuga de pollo como una forma de reducir la micro flora de la pechuga de pollo, con el fin de tener una

estabilidad en estas propiedades durante su almacenamiento, para proporcionar una forma de seguridad al consumidor, evitando así enfermedades de transmisión alimentaria (ETA) y daños en la calidad sensorial de la pechuga de pollo, garantizando un alimento de calidad.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Definición de carne

La carne es una buena fuente de proteínas de alta calidad, puesto que animales y humanos comparten muchas necesidades nutrimentales y fisiológicas. Proviene de los músculos esqueléticos de diversos animales y se caracteriza por su estructura fibrosa y su textura, si bien es un sistema complejo (Badui, 2006)

La NOM-194-SSA1-1994 define la carne como “Estructura muscular estriada esquelética, acompañada o no de tejido conectivo, hueso y grasa, además de fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos; proveniente de los animales para abasto, que no ha sido sometida a ningún proceso que modifique de modo irreversible sus características sensoriales y fisicoquímicas; se incluyen las refrigeradas o congeladas”.

1.2. Carne de pollo

De acuerdo con la NMX-FF-080-SCFI-2006 la carne de pollo se define como, Ave de género y especie *Gallus gallus*, seleccionada genéticamente y sometida a un régimen de manejo intensivo que permite obtener una conversión alimento/peso para su procesamiento.

De acuerdo con el reporte Perspectivas Agrícolas 2016-2025 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se proyecta que la carne de ave lidere el crecimiento en la producción mundial de carne, debido al incremento en la demanda mundial de esta proteína animal, en comparación con las carnes rojas. Así, se estima que el consumo de carne de ave represente dos tercios del consumo adicional del total de carnes.

Los bajos costos de producción y un accesible precio del producto, en comparación con otros tipos de carne, han contribuido a que la carne de ave se convierta en una importante opción de consumo en los países en desarrollo (OCDE-FAO, 2016).

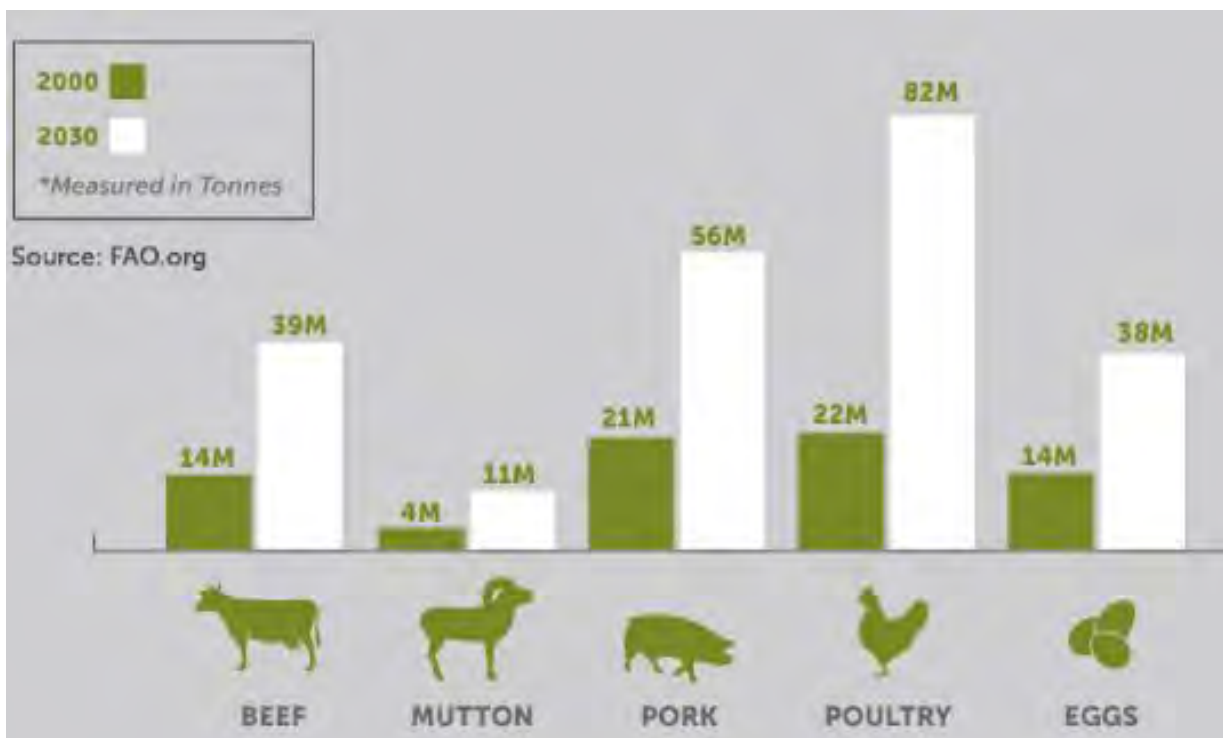


Figura 1. Incremento del consumo de pollo y proyección a 2030

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/008/y9492s/y9492s08.htm>, 2018

1.3. Composición de la carne de pollo

La composición química (cuadro 1) varía según especie, sexo, el sistema de crianza, la alimentación, la raza y la edad. La carne de pollo se compone de agua, proteínas, minerales, grasas, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos. Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad (FAO, 2007).

Cuadro 1. Composición química aproximada de la carne de pollo

Composición	Agua	Proteínas	Grasas	Cenizas
Carne de pollo	75.0	22.8	0.9	1.2
Pechuga	74.4	23.3	1.2	1.1

Fuente: Meat processing technology for small- to medium-scale producers (FAO, 2007)

1.3.1. Agua

En los tejidos musculares vivos, el agua puede oscilar entre el 65% y el 80% de la masa total y sirve como un componente básico del metabolismo celular y de órganos, como medio de transporte de metabolitos y productos de desecho, como un termorregulador, como solvente, y como un lubricante. En el tejido muscular *post mortem*, el agua es el componente principal de las células individuales y comprende el 75-80% de la masa celular, el agua influye directamente en la estructura, aspecto y sabor de los alimentos y en su susceptibilidad a la alteración, Por lo tanto, el agua comprende una gran parte del sarcoplasma muscular y rodea las proteínas miofibrilares (Keeton *et al.*, 2014):

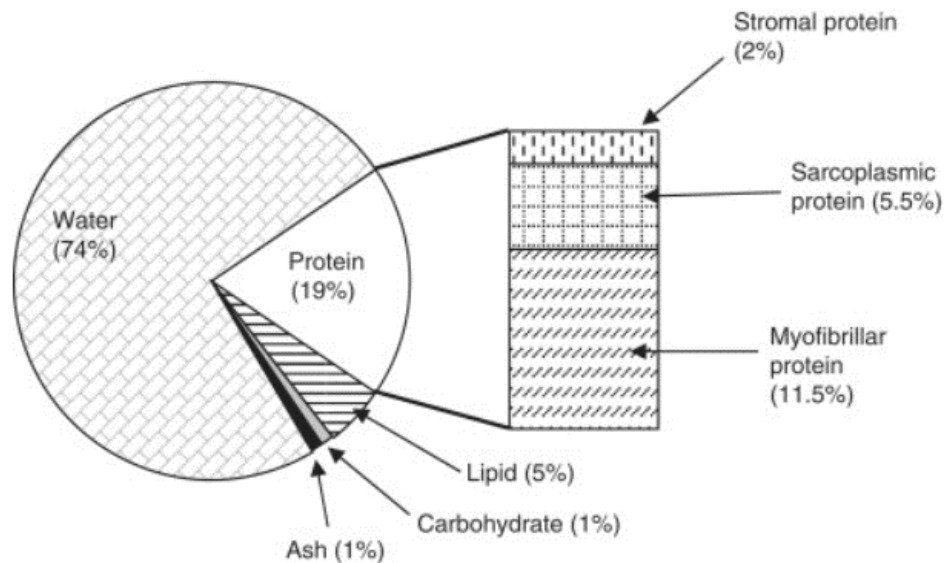


Figura 2. Composición del tejido muscular esquelético

Fuente: Keeton *et al.*, 2014.

1.3.2. Proteínas musculares

Las proteínas constituyen la materia seca principal de la carne, aproximadamente 15-22%. Desempeñan un papel fundamental en las funciones fisiológicas del animal y en los cambios que se originan después de la muerte, las cuales son las que definen la calidad de la carne. Existen tres grupos principales de proteínas en el músculo: miofibrilares, sarcoplasmáticas y proteínas del estroma (Tolandr , 2015).

1.3.2.1. Proteínas miofibrilares

Son las que conforman estructuralmente el tejido muscular y, además, las que transforman la energía química en mecánica durante la contracción y relajación de los distintos músculos. Es la fracción más abundante ya que equivale a 50% del total de proteínas de la carne; son solubles en soluciones salinas concentradas y sus principales componentes son la miosina, la actina, la tropomiosina, la troponina y la actinina (Badui, 2012):

Miosina: Representa un porcentaje alto de las proteínas miofibrilares, La miosina está integrada por dos cadenas fibrosas rígidas semejantes enrolladas entre sí, que terminan en una doble cabeza constituida a su vez por cuatro cadenas polipeptídicas (figura 3a). Aproximadamente se unen 400 moléculas de miosina en un arreglo cabeza-cola para producir un filamento grueso que es el responsable directo de las contracciones musculares (figura 3b). La cabeza tiene actividad enzimática y posibilidad de interactuar con la actina para producir la actomiosina; hidroliza el ATP en ADP y fosfato inorgánico, con liberación de la energía necesaria para el trabajo mecánico del músculo, en una reacción que se activa por iones Ca^{2+} , pero que se inhibe por el magnesio Mg^{2+} (Badui, 2012).

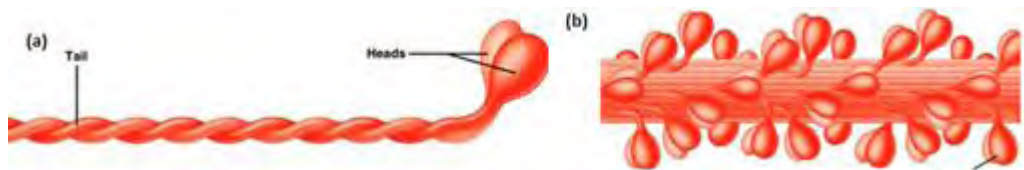


Figura 3. Miosina

Fuente: (Guo, 2017)

Actina: Es la segunda proteína miofibrilar de importancia que presenta dos fracciones: la G (actina globular) y la F (actina fibrosa); la primera presenta 30% de conformación de α -hélice y contiene una molécula de ATP; la actina F se produce por la polimerización de la fracción G en presencia de magnesio y se combina con la miosina para formar la actomiosina (figura 4) (Badui, 2012).

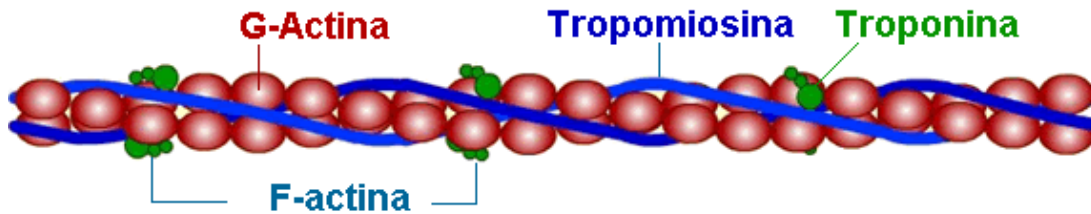


Figura 4. Actina

Fuente: (Guo, 2017)

El complejo de actomiosina se disocia en presencia de ATP y de iones Mg^{2+} , tiene una mayor actividad enzimática para hidrolizar ATP, que se favorece por la presencia de Ca^{2+} y Mg^{2+} ; esta molécula está directamente relacionada con el fenómeno de la contracción y de la relajación muscular.

Tropomiosina: Representa una pequeña parte de la proteína miofibrilar, La tropomiosina se agrega extremo con extremo y se fija a los filamentos de actina a lo largo de cada surco de la doble hélice de actina de tal modo que cada molécula interacciona con 7 monómeros de G-actina (figura 4) (Badui, 2012).

Troponina: Que es parte de la proteína miofibrilar, está formada por tres subunidades designadas: La troponina es una proteína fijadora de calcio que aporta la regulación de calcio al proceso contráctil vía el filamento delgado. La troponina I, cuando se ensaya sin las otras subunidades, inhibe fuertemente la actividad ATPasa de la actomiosina. La troponina T funciona proporcionando un punto de asociación fuerte para la unión de la troponina a la tropomiosina.

La tropomiosina y la troponina se combinan en un complejo que regula las interacciones de miosina con el filamento delgado (Badui, 2012).

1.3.2.2. Proteínas sarcoplásmicas

Estos polipéptidos también se conocen con el nombre genérico de migeno; son fundamentalmente globulinas y albúminas pertenecientes a los sistemas que intervienen en el metabolismo celular, como el de la glucólisis, al igual que enzimas como las catepsinas, la creatina cinasa y la mioglobina. Este grupo de proteínas se caracteriza por ser buenos agentes emulsificantes y por retener una gran cantidad de

agua, lo que evita pérdidas de humedad durante el proceso de cocción de los distintos productos cárnicos, tienen la capacidad de coagular y formar geles cuya textura es muy deseable en diversos alimentos (Badui, 2012):

Mioglobina: La mioglobina es una proteína globular formada por una sola cadena polipeptídica es el pigmento primario que da color a los tejidos musculares, La cantidad de mioglobina varía considerablemente entre los diversos músculos y en ella influyen la especie, la edad, el sexo y la actividad física, Tal es el caso de la carne de pollo, donde la pechuga de color claro se distingue fácilmente del músculo color rojo de del muslo (Badui, 2012).

Hemoglobina: La hemoglobina está formada por cuatro globinas unidas unas con otras formando un tetrámero, Casi toda la hemoglobina se elimina cuando los animales se matan y sangran. Si el músculo está adecuadamente sangrado, la mioglobina será responsable del 90% o más de la pigmentación (Badui, 2012).

1.3.2.3. Proteínas del estroma

Éste es un grupo muy abundante de polipéptidos; conforman el tejido conectivo fuerte de los tendones, la piel, el hueso y las capas más rígidas que envuelven y soportan los músculos, como el endomisio, el perimisio y el epimisio. En conjunto, este grupo de compuestos representa aproximadamente 35% de las proteínas totales de un animal vivo, pero en cuanto a tejido muscular (carne) sólo equivale a 3% (Badui, 2012):

Colágeno: Es la proteína básica de este tejido, proporciona fuerza y soporte a la estructura muscular. Hay varios tipos de colágeno, El colágeno insoluble es factor definitivo de la dureza de la carne. Cuando se hidroliza se produce el ablandamiento de este producto, muy deseable para su consumo. Para este efecto, se han usado diversas enzimas proteolíticas, como la bromelina, la ficina y la papaína (Badui, 2012).

Elastina: Esta se encuentra en cantidades más bajas, generalmente en las paredes de las arterias, tendones, nervios y ligamentos, proporcionando ellos con algo de elasticidad (Badui, 2012).

1.3.3. Grasa

El tejido adiposo animal (grasa) se compone principalmente de lípidos neutros conocidos como triacilgliceroles y fosfolípidos. Los lípidos también existen como esteroides y ésteres de esteroles (componentes de colesterol) y cerebrósidos. Diversas formas de lípidos sirven como fuente de energía para la célula, como componente estructural y funcional de la pared celular, como aislamiento o protección de órganos vitales, y como agentes solubilizantes de ciertas hormonas y vitaminas (A, D, E y K). Las grasas se pueden metabolizar para producir 2.25 veces más energía que los carbohidratos o las proteínas y, por lo tanto, son un nutriente denso en energía (Keeton *et al.*, 2014).

1.3.4. Carbohidratos

El glucógeno es el carbohidrato más abundante en los tejidos animales. La cantidad inicial de glucógeno en los tejidos musculares durante la matanza afecta el color muscular, la textura, la firmeza, la CRA, la capacidad emulsionante y la vida útil máxima del músculo, ya que el glucógeno es la fuente de energía para el proceso de transformación de músculo a carne (Keeton *et al.*, 2014).

1.3.5. Materia inorgánica (Cenizas)

En los tejidos cárnicos, el porcentaje de cenizas es una estimación del contenido mineral total que se compone por hierro, cobre, zinc, yodo, manganeso, molibdeno, cobalto y selenio son microelementos esenciales en la dieta, mientras que el bario, bromo, cadmio, cromo y flúor son microelementos dentro de los tejidos cárnicos con funciones definidas. Aluminio, arsénico, boro, plomo, litio, níquel, rubidio, silicio, plata, estroncio, titanio y vanadio están presentes, pero pueden no tener funciones bien definidas o pueden ser contaminantes ambientales (Keeton *et al.*, 2014).

1.4. Composición muscular

El músculo constituye un tejido altamente organizado, tanto morfológicamente, como bioquímicamente, con la finalidad de producir energía química para convertirla en movimiento mecánico y trabajo: El músculo está formado por un conjunto de células alargadas provistas de numerosos núcleos, llamadas fibras musculares, que se agrupan en haces envueltos por vainas de resistente tejido conjuntivo; Cada fibra muscular está separada por una membrana llamada sarcolema, que se pliega en involuciones dentro de la célula formando los túbulos T (figura 5), esta organización interviene en el mecanismo de la transmisión nerviosa y de la contracción.

El *sarcoplasma* contiene numerosas enzimas, inclusiones de glucógeno, grasa, y las mitocondrias, sede principal, del metabolismo oxidativo productivo de ATP, que aporta la energía de contracción.

El retículo sarcoplásmico, tiene también una función neuro-metabólica y está conectado con los túbulos. Sobre la membrana celular, cada fibra muscular está rodeada de tejido conjuntivo, formando una capa que se llama endomisio.

Un haz de muchas fibras forma una unidad envuelta por otra capa más gruesa de tejido conjuntivo, que se llama perimisio. Una agrupación de muchos haces forma un músculo que también está envuelto por otra capa más gruesa de tejido conjuntivo llamada epimisio. El epimisio, en los extremos del músculo, termina en tendones que se unen al esqueleto. Todas estas capas conectivas están unidas de modo que hay una continuidad en todo el tejido conjuntivo (Primo, 1998).

1.4.1. Sistema contráctil y mecanismo de contracción muscular

La miofibrilla está formada por dos filamentos proteicos principales (figura 5):

- Filamentos gruesos: Constituidos por moléculas de miosina
- Filamentos delgados: Constituidos por moléculas de actina

Sobre el mecanismo de la contracción se dispara por la llegada de un impulso nervioso a la membrana celular (sarcolema), que se transmite al interior a través de los túbulos y produce una liberación de Ca^{2+} del retículo sarcoplasmático al sarcoplasma (Primo, 1998).

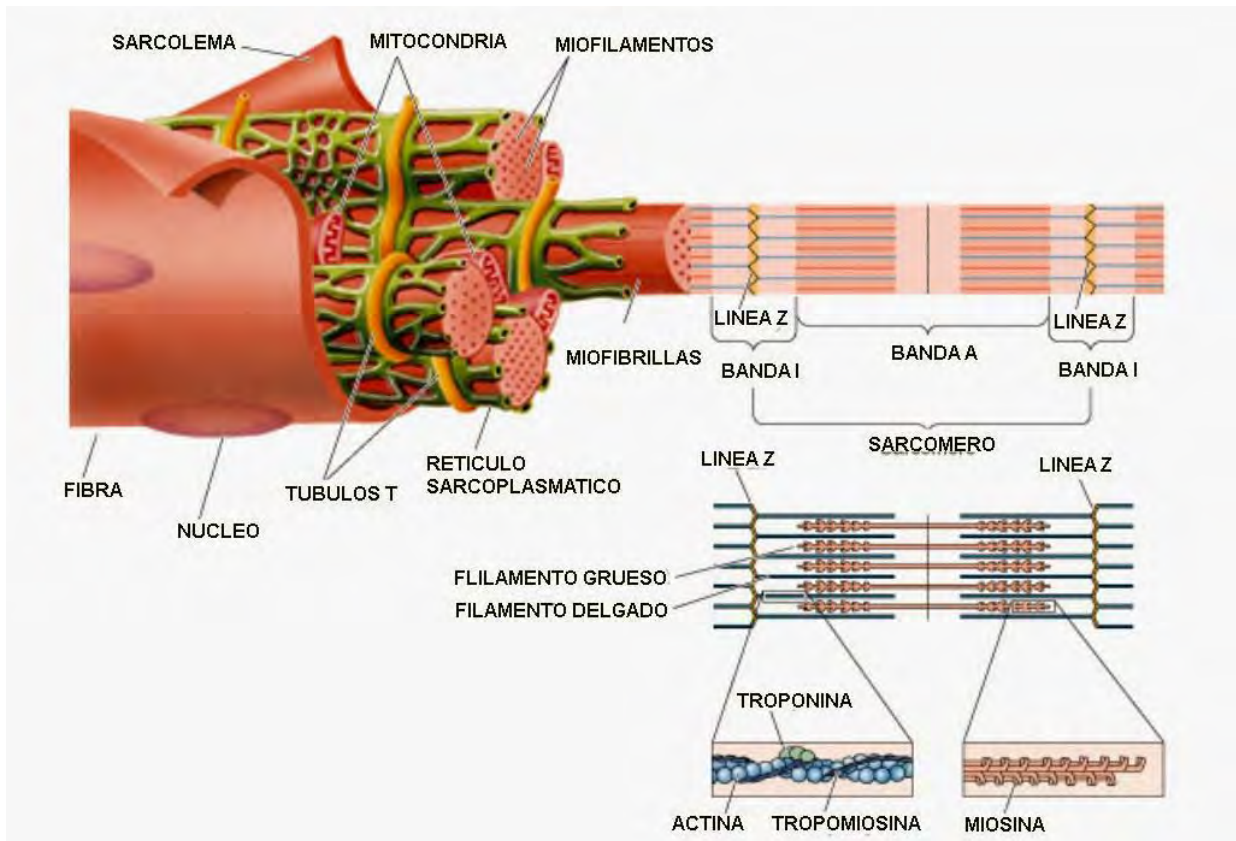


Figura 5. Organización de la fibra muscular

Fuente: <http://www.etitudela.com/profesores/rma/celula/images/actinmiosina.jpg>

El Ca^{2+} desencadena la serie de eventos que conduce a la contracción. El Ca^{2+} se une a la troponina- Ca^{2+} lo que introduce un cambio estructural y posicional de la tropomiosina. Este cambio activa la actina por destape de sus sitios activos. Se produce la unión actina miosina con hidrólisis simultánea de ATP, giro deslizante y contracción de las miofibrillas.

El giro contráctil se produce por interacción de las cabezas terminales de la miosina con los sitios activos de la actina, y la hidrólisis de ATP por la acción enzimática de las mismas cabezas, que aporta la energía de la contracción.

El músculo necesita un aporte importante de ATP que se produce, en las mitocondrias por el ciclo tricarboxílico, cuando hay suficiente aporte de O_2 . En los esfuerzos duros y continuos, si el aporte de O_2 por la sangre es insuficiente, la oxidación va por vía glicólisis \rightarrow ácido láctico, ahorradora de O_2 y con menor rendimiento energético. En la

relajación muscular normal, el Ca^{2+} se reabsorbe en el retículo endoplásmico y baja en el sarcoplasma, el complejo Ca^{2+} -troponina se descompone y todo el mecanismo de la contracción retrocede a su estado relajado (Primo, 1998).

1.5. Conversión de músculo en carne

El proceso de conversión del músculo en carne puede dividirse en tres fases (Sentandreu *et al.*, 2002):

- La fase previa al *rigor*, durante la cual los músculos permanecen excitables, podría corresponder a la duración de la supervivencia del sistema nervioso
- La fase de *rigor*, durante la cual los compuestos ricos en energía (ATP, fosfocreatina, glucógeno) se agotan.
- Fase *post rigor*, maduración o tenderización de la carne: El proceso comprende una serie de cambios bioquímicos y estructurales que van transformando la arquitectura muscular y las características de la carne.

Tras el sacrificio el músculo queda privado de riego sanguíneo y por tanto de oxígeno; aumenta la concentración de CO_2 y se bloquea la síntesis de ATP (fuente normal de energía muscular), cuyas reservas se dividen progresivamente en ADP y ácido fosfórico. El músculo pasa a metabolismo anaerobio, obteniendo energía del glucógeno de reserva, lo que produce finalmente ácido láctico. También cambian sus propiedades eléctricas, al modificarse la distribución de los electrolitos en los compartimentos intra y extracelulares. A medida que desciende el pH disminuye el número de cargas eléctricas libres; la capacidad eléctrica disminuye, y, a la inversa, la resistividad eléctrica aumenta (Mountney & Parkhust, 2001).

El conjunto de estos fenómenos conduce a un descenso del pH muscular, más rápido en aves que en mamíferos, debido a su mayor temperatura corporal y a las intensas contracciones inmediatas al degüello. La disminución del pH va ligada a la progresiva modificación de la estructura y propiedades de las proteínas musculares, causando una rápida inducción del estado de *rigor mortis* (de 30-60 minutos, variando entre 10 minutos y 2 horas) que se resolverá, como promedio de 5-7 horas después. En otras especies la temperatura ambiental y de la canal (ambas relacionadas) ejercen un marcado efecto sobre la evolución del pH, cuyo descenso es más rápido a

temperaturas elevadas al acelerarse los procesos enzimáticos; pero en aves parece que hay escasa correlación entre pH y temperatura en condiciones normales de procesamiento. El valor de pH alcanzado y la velocidad de su descenso dependen de la cantidad inicial de glucógeno muscular, muy escaso en animales fatigados, en los que el pH baja poco y despacio; los que ha sufrido estrés, cuya temperatura corporal suele aumentar, estas reservas se consumen muy rápidamente, y la caída del pH es acelerada y mucho mayor.

A los 15-20 minutos después del sacrificio el pH de la pechuga oscila entre 6.20 y 6.80 y el de los músculos del contra muslo (siempre superior a los pectorales) entre 6.50 y 6.90. Por tanto, se produce un apreciable descenso de su valor en muy poco tiempo; la caída más rápida ocurre dentro de la primera hora *post mortem* y posteriormente el declive del pH ya es más paulatino. 3-4 horas después del sacrificio ya se ha producido la mayor parte de la caída, y el pH llega normalmente a cifras de 6.15 (pechuga) y 6.40 (contra músculo). A las 8 horas, cuando el rigor ya se ha completado, el pH de la pechuga oscila entre 5.70 y 5.90; cifras superiores a 6.3 a los 15 minutos, 6.1 a los 30 minutos, o de 5.9 a los 90 son consideradas como indicadoras de un estado de pre-rigor. Hasta las 24 horas *post mortem* el descenso es muy pequeño o inexistente, por lo que el pH a las 24 horas suele considerarse como el final. No obstante, si se prolonga la conservación, puede aumentar debido a la acción bacteriana; a los 7 días supera en 0.025 unidades a los valores medidos a las 24 horas (Mountney & Parkhurst, 2001).

Paralelamente al descenso de pH, la CRA disminuye progresivamente; es máxima a pH elevados, como son los previos al *rigor mortis*. Esto se debe a las modificaciones de la ultraestructura muscular asociadas al descenso del pH. Las proteínas de la contracción muscular, actina y miosina, se van uniendo y la estructura miofibrilar se cierra, y deja menos espacio disponible para el agua. Al acercarse el pH al punto isoeléctrico de las proteínas (5.0-5.1) éstas poseen cada vez menos cargas eléctricas, y la CRA se hace mínima. Más tarde la CRA incrementa poco a poco, en la carne normal, aunque sin llegar a los valores de *pre rigor*, debido a la proteólisis enzimática; al disociarse las cadenas peptídicas, quedan más grupos eléctricos libres para la

hidratación. Los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} también la modifican, por su relación con la permeabilidad de las membranas musculares (Mountney & Parkhurst, 2001).

También se producen cambios de color. El estado físico de las proteínas musculares influye en la cantidad de los que se refleja en la carne, y por tanto en la percepción de su color. Al descender el pH a valores próximos al punto isoeléctrico de las proteínas, disminuyen los grupos iónicos libres para ligar agua (perdiendo por tanto CRA) por lo que las cadenas de la proteína se unen (estructura cerrada) la luz no penetra tan fácilmente y es reflejada, con lo cual la carne presenta un color más claro. Por el contrario, si los valores de pH son elevados aumenta la CRA; las fibras musculares están más hinchadas y la estructura miofibrilar es más abierta, debido a la importante retención de agua entre las cadenas proteicas. La superficie de la carne refleja menor cantidad de luz, y su color aparece más oscuro. Por otra parte, también se reduce la capacidad de captación de oxígeno (pues aumenta la actividad de la enzima citocromo-oxidasa).

La tenderización asociada al proceso de maduración de la carne es también muy rápida en las aves. En general se consigue una terneza adecuada en las primeras 24 horas (incluso se ha considerado “suficiente” en solo 4 horas), y el proceso finaliza antes de 3 días. Pero se registra una gran variación individual, y además todos los músculos no siguen igual patrón de desarrollo de la terneza: se hace tierna antes (en 10-12 horas) que los músculos de muslo y contra muslo, en los que se produce una tenderización adicional 2-5 días más tarde a temperatura de refrigeración. La terneza está normalmente asociada a la CRA del músculo (en general, a menor CRA, carne más dura) y a la evolución de pH (las carnes poseen un pH inferior son más duras, especialmente cuando su valor se aproxima a 5.5 a las 24 horas) (Castello, *et al.*, 2002).

1.6. Procesamiento primario de la carne de pollo

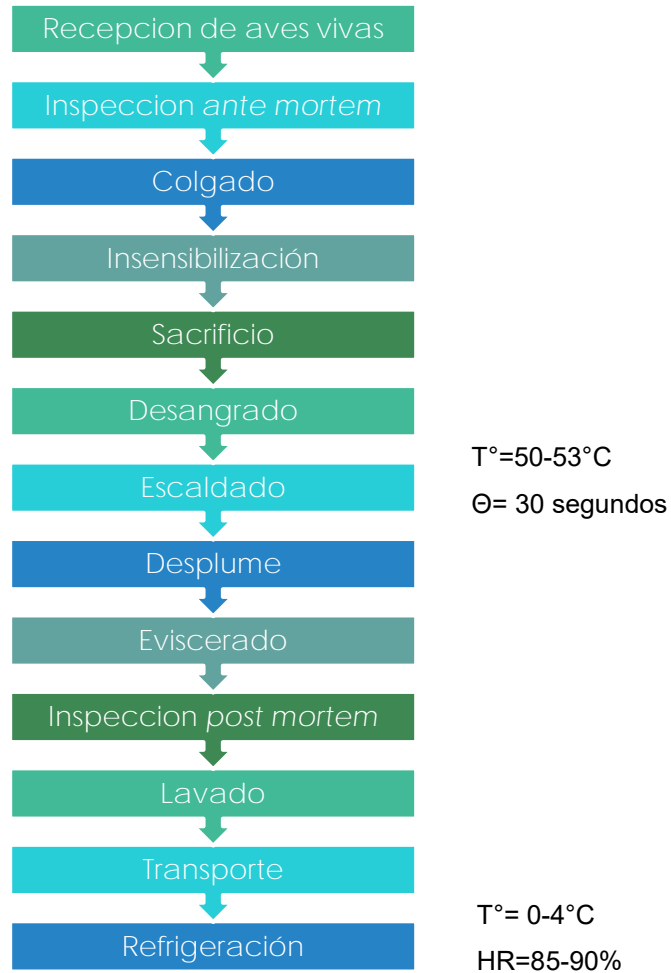


Figura 6. Fases del faenado de aves

Fuente: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/ManualesdeBuenasPracticas.aspx>

1.7. Factores que afectan la calidad

1.7.1. Efecto de las Buenas Prácticas de Producción Pecuaria (BPPP) sobre la calidad

La **fisiología ambiental** es uno de los campos donde se precisa disponer de mucha información. Temperaturas o humedades relativas anormalmente altas o bajas o bien

cambios bruscos de temperatura o humedad provocan estrés en las aves que las hacen menos resistentes a las enfermedades.

Estas temperaturas y humedades relativas extremas crean condiciones dentro del alojamiento tales como; al aumentar la humedad la hojarasca se humedecerá y cuando las aves se sienten en la cama húmeda, son propensas a desarrollar quemaduras en los corvejones (Parte de la pata entre la tibia y el fémur) y a generar ampollas en las pechugas de las aves en crecimiento.

El **aislamiento** de las naves avícolas evita la pérdida de aire caliente en el invierno y el aire frío en verano y ayuda a prevenir las temperaturas anormalmente altas o bajas y reducir las amplias fluctuaciones de temperatura. Se considera que la temperatura ambiente entre 15.5 y 21.1°C es la más deseable para las aves.

La **ventilación** del aire ayuda a controlar la temperatura y la humedad del alojamiento esta también ayuda a eliminar el polvo y los gases tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono y amoníaco.

La **hojarasca o yacija** absorbe humedad cuando las condiciones del alojamiento son húmedas y las desprende en periodos secos. Igualmente, la yacija absorbe algunos gases y los libera en condiciones húmedas y proporciona un buen medio para la protección y crecimiento de microorganismos patógenos. La hojarasca cuando está demasiado seca es una fuente de polvo y de irritación de las aves jóvenes; por el contrario, cuando está demasiado húmeda es fría y poco confortable produciendo estrés adicional.

Con respecto a la **alimentación**, se puede decir que es la principal causa de las enfermedades en los pollos y las gallinas, en pequeña o grande escala, es debida a la mala alimentación que se le suministra; pues es natural que un ave mal alimentada sea raquítica y por lo mismo no tenga las defensas necesarias para repeler las infecciones, resistir los cambios de temperatura que en algunas regiones son muy acentuados. Una ave robusta y bien alimentada resiste mejor las variaciones del tiempo y las amenazas de enfermedades, también otro gran problema es que se cuenta con comedores sucios, y sin comederos suficientes para el número de aves (Mountney & Parkhust, 2001).

El agua se debe de suministrar las 24 horas y esta no deberá contener niveles excesivos de minerales ni estar contaminada con bacterias. Aun cuando el agua que sea adecuada para el consumo humano también lo será para el pollo de engorde, la procedente de pozos perforados, reservorios abiertos o suministros públicos de baja calidad, puede causar problemas.

La **limpieza y desinfección** de la granja ayuda a eliminar la presencia de patógenos potenciales en la avicultura y en el hombre, y minimiza la existencia de bacterias, virus, parásitos e insectos entre lotes, disminuyendo cualquier efecto sobre la salud, bienestar y rendimiento del siguiente lote.

Es necesario el control **de roedores y de aves salvajes** para prevenir la entrada a los alojamientos de roedores y aves salvajes, ya que éstos pueden ser una fuente de infecciones enfermedades.

Insectos del tipo de **piojos, ácaros, garrapatas** y otros pueden causar, en determinadas condiciones, daños considerables con la formación de llagas y lesiones en las aves (Mountney & Parkhust, 2001).

Control de enfermedades

El control de los problemas respiratorios se constituye en el desafío más importante para la industria avícola, especialmente cuando se trata de pollos de engorde. Las principales enfermedades respiratorias de tipo viral incluyen Newcastle, Bronquitis infecciosa, Laringotraqueitis infecciosa, Metapneumovirus e Influenza aviar.

En la mayoría de países los pollos son vacunados rutinariamente contra Newcastle y bronquitis, virus vacunales que se multiplican principalmente en el tracto respiratorio superior originando una reacción respiratoria normal, sin embargo, bajo ciertas condiciones, esta reacción puede complicarse con otros organismos presentes en las aves (micoplasmas) o en el ambiente (*E. coli*), resultando en una enfermedad respiratoria severa que debe ser controlada utilizando antibióticos para eliminar los agentes causales que al final son los que producen la mayor mortalidad en las parvadas (Mountney & Parkhust, 2001).

1.7.2. Efecto de las Buenas Prácticas de Transporte (BPT) sobre la calidad de la carne

El transporte es probablemente la etapa que mayor estrés genera a las aves ya que implica una manipulación directa del animal, además de la pérdida del entorno en que se han desarrollado. Muchos factores intervienen en el grado de estrés de este manejo. Podemos mencionar por ejemplo el programa de ayuno, la captura, horario de captura, método de captura ya sea manual o mecánico, tiempo que tarde la captura, ruido generado por las aves, personal, tiempo de transporte, temperaturas extremas, humedad y movimientos.

Definitivamente, el principal factor de estrés es la acción de retirar al animal de su ambiente y forzarlo a entrar en otro (jaula), donde deberá lidiar con un espacio vital invadido. Este proceso puede causar desde pequeñas lesiones, hasta la muerte de los pollos, teniendo repercusiones sobre la calidad y su vida útil al modificar las condiciones de acidez muscular y la velocidad y duración del *rigor mortis* (Mountney & Parkhust, 2001).

La NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la movilización de animales, establece los sistemas de movilización de animales que disminuyan su sufrimiento, evitándoles tensiones o reduciéndolas durante todo el proceso de transporte. Efectos del estrés en la calidad de la carne

El estrés que sufren los animales antes del sacrificio provoca cambios en la composición de metabolitos principalmente en el gasto de glucógeno.

1.7.2.1. Carne pálida, suave y exudativa (PSE por sus siglas en inglés)

La glucólisis con disminución de pH a valores bajos coincide con una carne más clara, con escasa capacidad de retención de agua (condición PSE por sus siglas en inglés “*PALE, SOFT and EXUDATIVE*”) La carne se hace exudativa, y se aprecia más seca y dura al consumirla, a causa de su elevada pérdida de agua durante el proceso culinario. En aves este problema se manifiesta especialmente por una palidez anormal de la pechuga; la excesiva exudación de la carne se aprecia más en los despieces envasados. La condición PSE aparece más fácilmente en épocas calurosas y en

pollos de pesos muy elevados. La capacidad de retención de agua desciende de forma mucho más rápida y acusada, pues a la acelerada disminución de pH se une la desnaturalización proteica, debido al efecto combinado del bajo pH y una temperatura muscular todavía alta. Las proteínas sarcoplásmicas se enlazan con las miofibrilares, y al acortarse las fibras musculares, aumenta la dureza de la carne.

1.7.3. Efecto de las Buenas Prácticas de Sacrificio (BPS) sobre la calidad de la carne

El sacrificio incorrecto puede ocasionar un desangramiento incompleto con lo que se prolonga la respiración, pudiendo en estos casos inhalar agua del tanque de escaldado. A estas aves se les considera contaminadas y son objeto de decomiso.

La manipulación violenta de las aves produce un incremento de la excitación, temperatura y tensión nerviosa. En estas condiciones las aves no se desangran rápidamente ni tan completamente como debería, el escaldado no es tan eficaz y las plumas se quitan con mayor dificultad. Las consecuencias finales de la mala manipulación son un incremento de los costes de procesado y una reducción de calidad.

La inmersión prolongada de canales en agua caliente origina un cocido parcial y una mayor contaminación de las mismas. Los tejidos de estas canales no se pueden limpiar adecuadamente y son más susceptibles al crecimiento microbiano, descomposición y alteración. Una situación común es la contaminación de una canal por aceite o grasa procedente de los equipos del matadero y cuya afectación depende del tipo y extensión de la contaminación. Otros contaminantes comunes son la pintura, estiércol, solventes, etc.

1.8. Propiedades fisicoquímicas y físicas de la carne

1.8.1. Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua se denota con la abreviatura a_w (del inglés, *water activity*), Y se le denomina a la relación que existe entre la presión de vapor del agua de un alimento dado en relación con la presión de vapor del agua pura, ambas medidas a la misma

temperatura, la presión del vapor de agua de un alimento siempre es menor a la del agua pura, ya que una parte de su líquido está ligado y tiene muy poca movilidad, su escala va de 0 a 1. La actividad de agua es un parámetro estrechamente ligado a la humedad del alimento lo que permite determinar su capacidad de conservación, de proliferación microbiana, etc. (Badui, 2012).

La a_w de un alimento se puede reducir aumentando la concentración de solutos en la fase acuosa de los alimentos mediante la eliminación del agua o la adición de nuevos solutos. La a_w , la temperatura, el pH y el oxígeno son los factores que más influyen en la estabilidad de los productos alimenticios (Badui, 2012).

1.8.2. pH

El pH se define como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad o concentración de iones hidrógeno, es una medida de la cantidad de iones hidrógeno (H^+) en una solución (Warris, 2003)

La acidificación de los músculos en el *post mortem*, es uno de los cambios fundamentales en su proceso de conversión en carne. La acidificación influye en especial en el color de la carne y la capacidad de retención de agua. La acidificación se mide en función de los valores de pH del músculo. La medida de pH, por tanto, da una valiosa información sobre la calidad potencial de la carne.

Los factores que afectan el pH de la carne se contemplan como sigue: *ante mortem* que pueden ser inherentes al animal, sexo, raza, susceptibilidad al estrés y genética. Los no inherentes al animal como la alimentación, el transporte de los animales de las unidades de producción a los mataderos, el estrés que se le genere a estos antes y durante el sacrificio. *Post mortem*, son el enfriamiento de las canales, la glucólisis y la temperatura entre otros (Sañudo & González , 2008).

1.8.3. Parámetros de perfil de color

Se puede definir al color en el sentido físico como la distribución de energía de una luz reflejada o transmitida por un alimento en particular, cuando un haz de luz incide sobre una superficie de color, físicamente puede sufrir tres fenómenos: absorción, reflexión y difracción o dispersión, en general pasa una combinación de estos

fenómenos. Estos fenómenos físicos son mutuamente excluyentes, es decir que cuando una serie de longitudes de onda (λ) son absorbidas, estas mismas λ no pueden ser reflejadas o dispersadas (Sensing, 2007). Las λ absorbidas no son perceptibles al ojo humano porque son retenidas por el objeto, mientras que la reflejadas si son captadas por el ojo. Para percibir el color de la carne, es necesario que la fuente de luz contenga las longitudes de onda que la superficie de la carne es capaz de reflejar, de lo contrario el color no podrá ser distinguido por el ojo o el detector (American Meat Science Association (AMSA), 2012).

1.8.3.1. Sistema de medición de color CIE L*a*b*

La *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE), una organización sin fines de lucro que es considerada como la autoridad en la ciencia de la luz y el color, ha definido espacios de color, incluyendo CIE XYZ, CIE L*C*h, y CIE L*a*b*, para comunicar y expresar el color objetivamente.

Los instrumentos de medición de color, incluyendo espectrofotómetros y colorímetros, pueden cuantificar estos atributos de color fácilmente. Ellos determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y los expresaran en valores para cada coordenada L*, a*, y b* (American Meat Science Association (AMSA), 2012).

- L*=luminosidad (describe el brillo u oscuridad del color y sus valores van del 0 al 100, donde 0 es negro y 100 es blanco)
- a*= coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)
- b* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

El espacio de color L*a*b* fue modelado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo. Como se muestra en la figura 7:

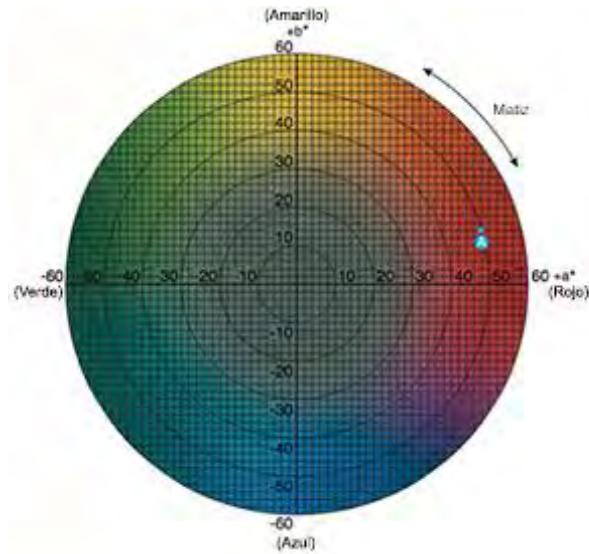


Figura 7. Diagrama de cromaticidad de espacio de color L*a*b*

Fuente: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

El espacio de color L*C*h*, similar al CIELAB, tiene el mismo diagrama que el espacio de color L*a*b* pero usa coordenadas cilíndricas en vez de usar coordenadas rectangulares.

En este espacio de color, Croma (C*) se define como el índice de saturación del color, el cual indica cuán intenso es determinado color C* se calcula a partir de los valores de a* y b* mediante la siguiente ecuación (AMSA, 2012):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

El ángulo Hue (h*) corresponde al tono en el que el color es comunicado (rojo, amarillo, verde, azul). La variable de tono se compone por las longitudes de onda específicamente reflejadas de la superficie de la carne y de regreso al detector y representa el espectro total de color que va de 0° a 360°, se calcula como (AMSA, 2012):

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

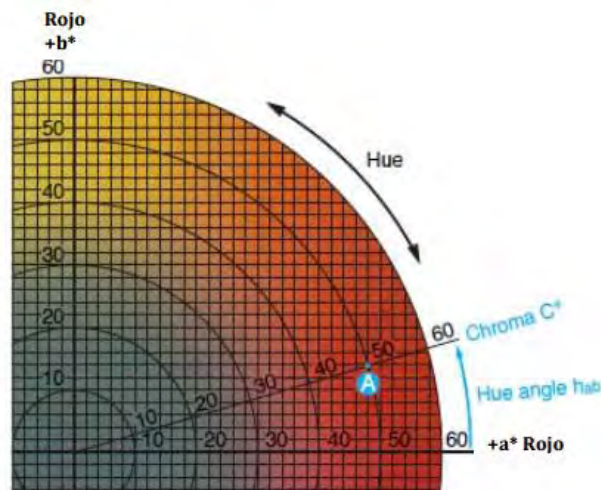


Figura 8. Ilustración del ángulo hue y croma C* (índice de saturación) dentro de una parte de un diagrama de cromaticidad

Fuente: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2015/08/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lch/>

Muchos factores pueden afectar el color de la carne. Los factores extrínsecos tales como genética animal, el sexo, la edad, la densidad energética de la dieta, el tiempo dedicado a la alimentación, la estacionalidad, el estrés *ante mortem*, peso de la canal; muchas condiciones *post mortem* (método de inmovilización, la velocidad de enfriamiento, escaldado, la estimulación eléctrica de la canal, y la aplicación de intervenciones antimicrobianas).

Después de la muerte métodos de procesamiento y envasado, tiempo y temperatura de almacenamiento, el grado de exposición a de oxígeno y especialmente después de la muerte la edad del producto influye en color de la carne. Los factores intrínsecos tales como el pH, tipo de músculo, las áreas dentro de un músculo, composición del músculo, la concentración de mioglobina, entre otros son los principales factores que afectan el color de la carne (AMSA, 2012).

1.8.3.2. Mioglobina superficial

La mioglobina es la principal proteína responsable del color de la carne, la mioglobina es una proteína globular monomérica y está hecha de una proteína, la globina incolora, con un grupo hemo que da color. El grupo hemo consiste en un anillo plano de porfirina que presenta un átomo central de hierro (Fe^{2+}). Este átomo de hierro tiene seis enlaces

de coordinación, llamados ligandos, y cuatro de esos seis ligandos están unidos a átomos de nitrógeno mientras que uno está unido a la globina. Y el sexto sitio está disponible para unirse de forma reversible a sustancias tales como oxígeno, monóxido de carbono, agua u óxido nítrico, el ligando presente en el sexto sitio de coordinación y el estado de valencia del hierro determinan el color de la carne a través de cuatro formas químicas de mioglobina, Desoximioglobina (DMb), Oximioglobina (OMb), Carboximioglobina (COMb) y Metamioglobina (MMb) (AMSA 2012).

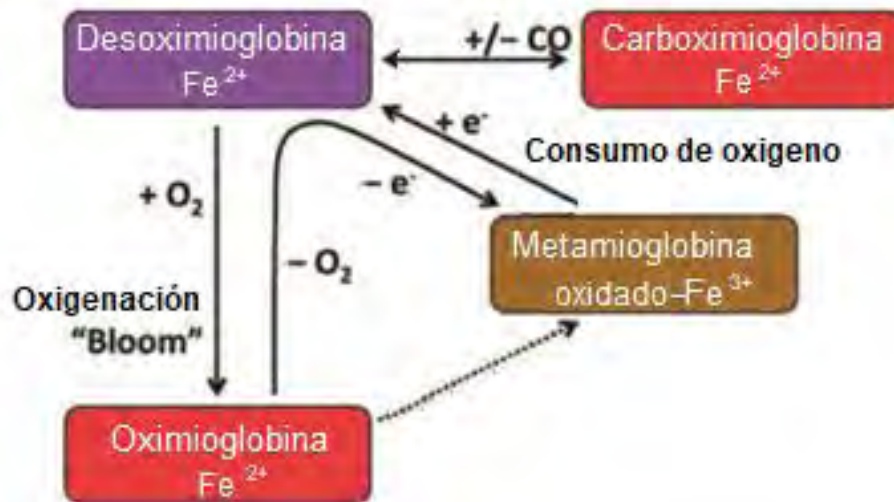


Figura 9. Esquema que representa el color de la carne en función de los estados de oxidación de la mioglobina

Fuente: (American Meat Science Association (AMSA), 2012)

La Desoximioglobina (DMb) contiene hierro ferroso (Fe²⁺) con un sexto sitio de coordinación sin ligando adherido esto da como resultado un color púrpura oscuro o rosado típico del color interior de la carne fresca y cuando esta se encuentra en paquetes a vacío. Para mantener la DMb, es necesaria una tensión de oxígeno muy baja (<1.4 mmHg). La oxigenación de DMb forma un color rojo brillante a través de la formación de OMb, que tiene oxígeno diatómico unido al sexto sitio de coordinación del hierro ferroso (Fe²⁺). El ligando de oxígeno también interactúa con la histidina distal-64, produciendo una estructura de proteína más compacta que la DMb, que no tiene ningún ligando presente para unir el hierro a la histidina distal.

La formación de carboximioglobina se produce cuando el monóxido de carbono se adhiere a la vacante sexta posición de DMb, produciendo un color rojo brillante estable cuando el medio ambiente está desprovisto de oxígeno. Las atmósferas que contienen oxígeno (aunque dependen de la concentración) darán como resultado la conversión de la carboximioglobina en OMb o MMb. La metamioglobina (MMb) es la forma de bronceado oxidado a color marrón de mioglobina y contiene hierro férrico (Fe^{3+}). Típicamente, el MMb se forma fácilmente a bajas concentraciones de oxígeno (AMSA 2012).

1.9. Microbiología de la carne

Los microorganismos llegan a las plantas de procesado en y sobre las aves; se difunden a otras canales, o porciones, durante la manipulación, procesado y operaciones de comercialización, hasta alcanzar a los pollos de consumo.

Aunque no es posible eliminar los microorganismos pueden reducirse significativamente mediante procedimientos de control de las cadenas de producción y comercialización. Los piensos, agua, heces, estiércol, aves salvajes y roedores son fuente primaria de contaminación frecuentemente propagada durante el procesado.

Han sido muchos investigadores que se han preocupado del estudio de la microbiota bacteriana de la carne fresca de ave, habiendo llegado a la conclusión de que los microorganismos que pueden aislarse en tales muestras pueden pertenecer a unos 25 géneros (Jay *et al.*, 2005). Estos investigadores han estudiado los cambios de la microbiota entérica durante las diferentes fases del enfriamiento de las canales de pollo, observando que el recuento de aerobios totales antes de iniciarse la refrigeración era de $3.17 \log_{10}/\text{cm}^2$ y el de *Enterobacteriaceae* de 2.27. Tras el enfriamiento, el número de estos últimos microorganismos se redujo en una porción mayor que la de los aerobios totales. En el día 0, *E. coli* constituía el 85% de los microorganismos entéricos, pero después de 10 días a 4°C . ese porcentaje se redujo hasta un 14% mientras que los porcentajes de *Enterobacter* spp. Aumentaron desde un 6 hasta un 88% en ese mismo tiempo.

Cuadro 2. Géneros de microorganismos detectados con más frecuencia en la carne de pollo

Géneros	Reacción Gram	Carne de pollo
<i>Acinetobacter</i>	-	XX
<i>Aeromonas</i>	-	X
<i>Alcaligenes</i>	-	X
<i>Bacillus</i>	+	X
<i>Brochothrix</i>	+	X
<i>Campylobacter</i>	-	XX
<i>Citrobacter</i>	-	X
<i>Clostridium</i>	+	X
<i>Corynebacterium</i>	+	XX
<i>Enterobacter</i>	-	X
<i>Enterococcus</i>	+	X
<i>Erysipelothrix</i>	+	X
<i>Flavobacterium</i>	-	X
<i>Kocuria</i>	+	X
<i>Listeria</i>	+	X
<i>Microbacterium</i>	+	X
<i>Micrococcus</i>	+	XX
<i>Moraxella</i>	-	X
<i>Paenibacillus</i>	+	X
<i>Pantonea</i>	-	X
<i>Proteus</i>	-	X
<i>Pseudomonas</i>	-	XX
<i>Psychrobacter</i>	-	X
<i>Salmonella</i>	-	X
<i>Serratia</i>	-	X
<i>Staphylococcus</i>	+	X
<i>Vagococcus</i>	+	XX

Nota: X= Se sabe que se detectan XX= Se detectan con más frecuencia

Fuente: (Jay *et al.*, 2005).

1.9.1. Microorganismos Gram positivos y Gram negativos

La tinción de Gram es uno de los métodos más empleados en los laboratorios de microbiología para visualizar bacterias al microscopio óptico. Esta técnica fue desarrollada por el doctor Christian Gram en 1884, y permite clasificar las bacterias en dos grupos dependiendo de la estructura de la pared bacteriana: Gram positivas (figura 10a) y Gram negativas (figura 10a) (Hernández, 2016).

Se les denomina bacterias Gram positivas a aquellas que se tiñen de azul oscuro o violeta por la tinción de Gram. Esta característica química está íntimamente ligada a la estructura de la envoltura celular que comprende la membrana citoplasmática y una pared celular compuesta por una gruesa capa de peptidoglucano, que rodea a la interior. La pared celular se une a la membrana citoplasmática mediante moléculas de ácido lipoteicoico, la capa de peptidoglucano confiere una gran resistencia a estas bacterias y una de las responsables de retener el tinte durante la tinción de Gram. Una de las diferencias entre las bacterias Gram positivas y las Gram negativas es que presentan una segunda membrana lipídica externa a la pared celular (Hernández, 2016).

Las bacterias Gram negativas son todas aquellas que se tiñen de rojo por la tinción de Gram, al fijar el colorante safranina, tras la decoloración del violeta cristal, Esta característica está íntimamente ligada a la estructura dada por la envoltura celular, ya que presenta doble membrana celular (una es externa y la otra citoplasmática) lo que refleja un tipo natural de organización bacteriana. Las que presentan dos membranas lipídicas son las bacterias Gram negativas, entre las que se le localiza una fina pared celular de peptidoglucano, mientras que las bacterias Gram positivas presentan sólo una membrana lipídica y la pared de peptidoglucano es mucho más gruesa (Hernández, 2016) (figuras 10a y 10 b).

Diferencias entre bacterias Gram positivas y Gram negativas (Hernández, 2016)

- Las bacterias Gram positivas poseen una pared celular interna y una pared de peptidoglucano en cambio las bacterias Gram negativas poseen una pared celular más completa.
- Las bacterias Gram positivas no cuentan con una membrana externa en cambio las Gram negativas tiene membrana externa que forma un saco rígido alrededor de la bacteria.
- Las bacterias Gram positivas no tienen espacio periplasmático, en cambio las Gram negativas tienen espacio periplasmático entre la superficie externa de la membrana citoplasmática y la interna de la membrana externa.
- Las bacterias Gram positivas no contiene LPS en cambio las Gram negativas contienen LPS.

- Las Gram positivas retienen el colorante violeta y tiñen de azul, en cambio las Gram negativas no retienen el violeta, se decoloran y fijan el segundo colorante, la safranina.

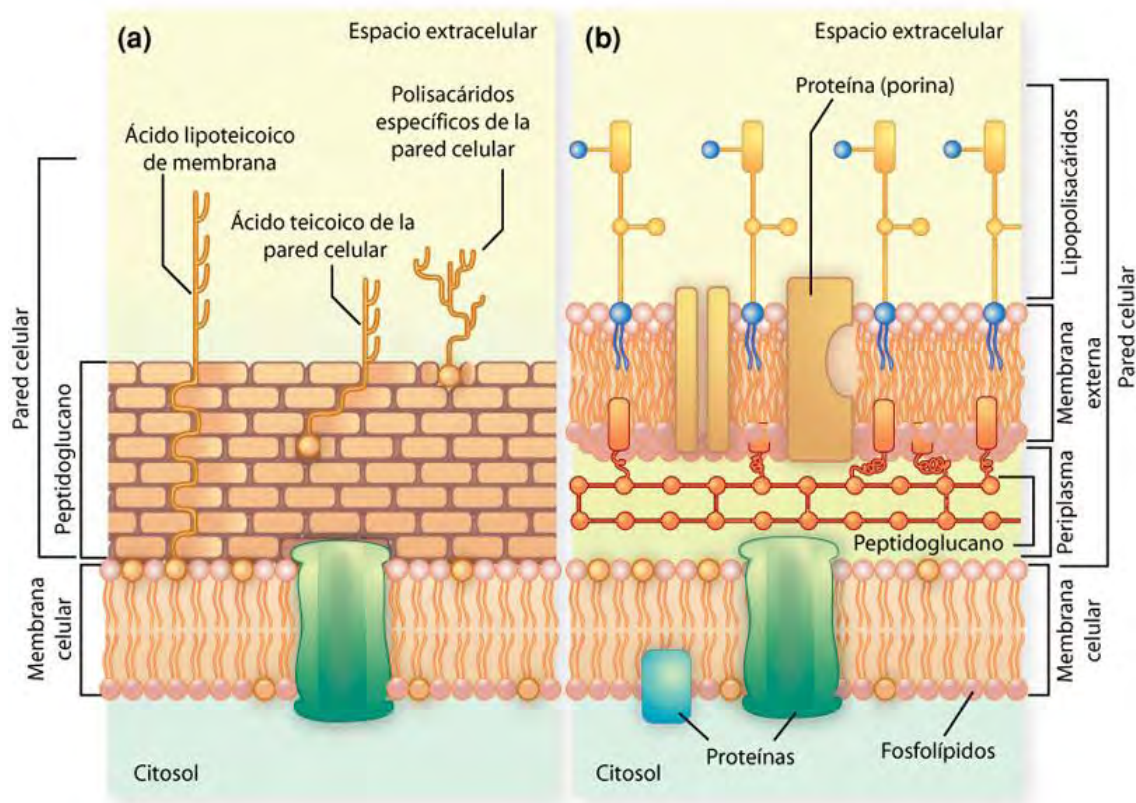


Figura 10. Diferencias en la estructura de la pared celular entre microorganismos Gram positivos y Gram negativos

Fuente: <https://biotechmind.wordpress.com/tag/gram-positivo/>

Función de los colorantes y solventes para la tinción:

- Cristal violeta: Es un colorante que penetra en todas las células bacterianas (tanto Gram positivas como Gram negativas) a través de la pared bacteriana.
- Lugol: Compuesto formado por I₂ (yodo) en equilibrio con KI (yoduro de potasio) los cuales están presentes para solubilizar el yodo, y actúan de mordiente (son sustancias que aumentan la afinidad de la célula por el colorante).
- Alcohol-acetona: Disolvente orgánico que permite la decoloración, del complejo I₂/cristal violeta. Los organismos Gram positivos no se decoloran, mientras que los Gram negativos sí lo hacen.
- Safranina: Colorante secundario que sirve para hacer una tinción de contraste que pone de manifiesto las bacterias Gram negativas. Al término del protocolo, las Gram positivas se verán azul-violáceas y las Gram negativas se verán rosas o rojas (figura 11).

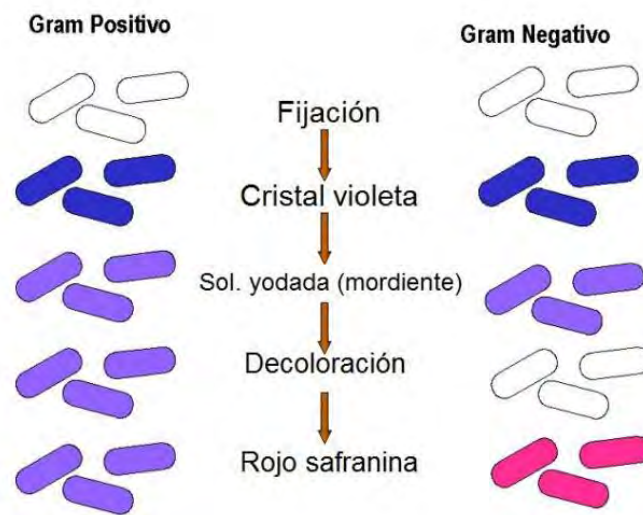


Figura 11. Función de los solventes y colorantes para la tinción de Gram

Fuente: <https://es.slideshare.com/morfologia-42335550>

1.10. Conservación de la carne

La carne es un medio rico en nutrientes lo que proporciona un entorno adecuado para la proliferación de microorganismos tanto patógenos como alterantes, por lo que se deben aplicar tecnologías de conservación adecuadas para preservar su seguridad y calidad.

La conservación de alimentos corresponde a un conjunto de técnicas encargadas de aumentar la vida útil de los alimentos para el consumo. Los procesos, técnicas y métodos de conservación de la carne y los productos son muy variados, estos se clasifican en la NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

- **Productos cárnicos cocidos**, a los elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no, que son sometidos a proceso térmico. Pueden presentarse enteros, en cortes, emulsionados o troceados.
- **Productos cárnicos crudos**, a los elaborados con carne, vísceras o sus mezclas, que pueden ser o no curados o madurados, y que no son sometidos a algún tratamiento térmico.
- **Productos cárnicos curados**, a los que se agregan por vía húmeda o seca, sal o azúcares, nitratos o nitritos, independientemente de que sean sometidos a algún tratamiento térmico, a maduración o se manejen crudos.
- **Productos cárnicos desecados, secos o salados**, a los sometidos a reducción de la humedad por medio de aire, calor o sal hasta llegar a un valor no mayor de 25%.
- **Productos cárnicos empanados o rebozados congelados**, a los elaborados con carne molida o picada o en piezas, con adición o no de tejido graso, subproductos y aditivos, que pueden recibir un tratamiento térmico durante su elaboración, pero que necesitan ser cocinados para consumirlos.
- **Productos cárnicos fritos**, a los elaborados a partir de carne o piel y que son sometidos a freído en aceite o grasa, con o sin sal, curados o no.
- **Productos cárnicos madurados**, a los que son sometidos a deshidratación parcial, pudiendo ser ahumados o no, sometidos durante cierto tiempo a la

acción de cultivos microbianos o enzimas o microorganismos propios de la carne y su acción sobre azúcares añadidos o no. Pueden ser en cortes enteros o troceados.

- **Productos cárnicos marinados o en salmuera**, a los adicionados de sal u otros aditivos por vía seca o húmeda, excepto nitratos o nitritos, pudiendo ser cocidos o no.
- **Productos cárnicos procesados**, a los elaborados a partir de carne, vísceras, estructuras anatómicas, sangre o sus mezclas, provenientes de mamíferos o aves, que pueden someterse a ahumado, cocción, curación, desecación, maduración, salado, entre otros.

1.11. Teoría de barreras

La teoría de barreras promueve una combinación deliberada de técnicas de conservación existentes y novedosas, con objeto de establecer una serie de factores conservadores (obstáculos) para mejorar la estabilidad microbiana y la calidad sensorial de los alimentos (figura 12). Así como sus propiedades nutricionales y económicas (Leistner & Gorris, 1996). Los obstáculos más importantes utilizados en la conservación de los alimentos son la temperatura (alta o baja), la actividad del agua (a_w), la acidez (pH), el potencial redox (Eh), los conservantes (nitrito, sorbato, sulfito) y microorganismos competitivos (Por ejemplo, bacterias ácido lácticas).

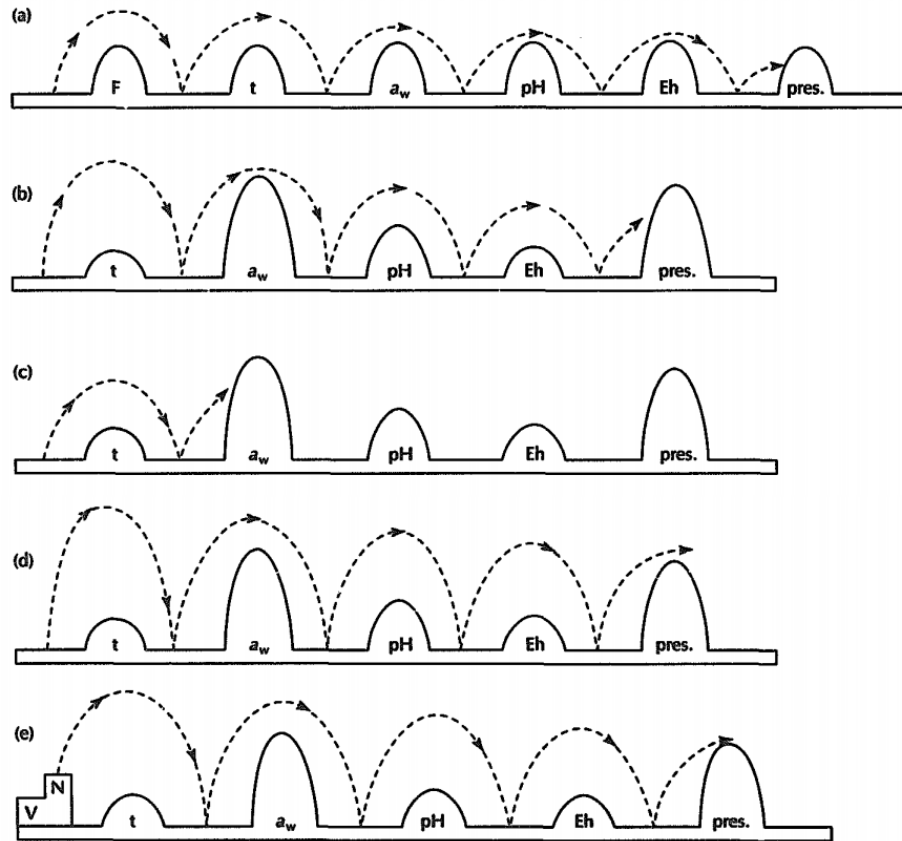


Figura 12. Ejemplos de la teoría de barreras

Los símbolos tienen el siguiente significado: *F*, Proceso térmico a alta temperatura; *t*, proceso térmico a baja temperatura; *a_w*, reducción de la actividad de agua; *pH*, acidificación; *Eh*, bajo potencial redox; *Pres.*, Adición de un conservador; *V*, vitaminas; *N*, Nutrientes.

Fuente: (Leistner & Gorris, 1996)

1.11.1. Homeostasis y tecnología de obstáculos

Un fenómeno importante que es crucial con respecto a la tecnología de obstáculos es la llamada homeostasis de los microorganismos. La homeostasis es la tendencia constante de los microorganismos para mantener la estabilidad y equilibrio de su entorno interno (Leistner & Gorris, 1996).

Por ejemplo, aunque los valores de pH en diferentes alimentos pueden ser bastante variables, los microorganismos que viven en ellos gastan un esfuerzo considerable

manteniendo sus valores de pH interno dentro de límites muy estrechos. En un alimento ácido, por ejemplo, expulsarán activamente protones contra la presión de un flujo pasivo de protones.

Otro mecanismo homeostático importante es regular la presión osmótica interna (Osmohomeostasis). La fuerza osmótica (que es inversamente relacionado con el a_w) de un alimento es una propiedad física crucial, que tiene un gran efecto sobre la capacidad de que los organismos puedan proliferar.

Los factores conservadores (obstáculos) pueden perturbar varios o sólo uno de los mecanismos homeostáticos de los mismos, y como resultado los microorganismos no se multiplicarán, sino que permanecerán inactivos o incluso morirán. De hecho, la conservación de los alimentos se basa en ir perturbando la homeostasis de los microorganismos en los alimentos, ya sea temporal o permanentemente, y la forma óptima de hacerlo es deliberadamente perturbando varios de los mecanismos homeostáticos simultáneamente. Esto significa que cualquier obstáculo incluido en un alimento debe afectar a los microorganismos indeseados de varias maneras diferentes, por ejemplo, afectando a la membrana celular, ADN, enzimas, pH, Eh y a_w (Leistner & Gorris, 1996).

1.11.2. Envasado

Las funciones de un empaque de alimentos se pueden considerar en cuatro epígrafes: contención, información, conveniencia y protección. La contención incluye sostener porciones múltiples de partes de pollo, como piernas, muslos, alas o senos, lo que permite que se vendan en varias cantidades o combinaciones. La información incluye el etiquetado nutricional, las prácticas de manejo adecuadas, la información del producto y los identificadores de la fuente, etc., que exige la ley. El paquete también contiene el precio del producto, los reclamos hechos por el producto, sugerencias de cocina e instrucciones de reciclaje del paquete. La comodidad permite cantidades de porción individual de carne en rodajas y paquetes para microondas para cocinar / recalentar y servir el producto en el paquete. La protección ya que en los entornos en los que se produce, procesa, empaqueta y almacena la carne existen microorganismos (Stephens, 2004). El solo hecho de cubrir los alimentos evita que los

microorganismos tengan acceso y, por lo tanto, actúa como una barrera física contra la contaminación cruzada. Con los sistemas de envasado destinados a extender la vida útil, uno de los objetivos es evitar que los patógenos crezcan a niveles peligrosos antes de que el deterioro del producto se vuelva obvio para el consumidor. Este objetivo puede alcanzarse si las condiciones del empaque inhiben el crecimiento de patógenos en un grado que es mayor que la inhibición de los organismos de descomposición. El deterioro de la carne de aves de corral depende de una combinación de crecimiento microbiano y actividades bioquímicas complejas, los cambios en las condiciones extrínsecas del producto (por ejemplo, refrigeración, envasado en atmósfera modificada) son la única forma de retrasar el deterioro. Por lo tanto, la vida útil del producto depende de muchos factores, de los cuales el empaque es uno (Stephens, 2004).

1.11.2.1. Envasado al vacío

El envasado al vacío se refiere a la carne que se ha colocado en una bolsa de baja permeabilidad al oxígeno y se aplicó un vacío antes del sellado (Kropf, 2004). A medida que se aplica el vacío, el envase se desploma asegurando un contacto estrecho entre la película y la carne. Alternativamente, el envasado al vacío puede ser usado en cortes de tamaño minorista. Cuando la carne se sella con poco espacio con los materiales impermeables al oxígeno, el oxígeno residual en la superficie de la carne / interfaz del envase se convertirá rápidamente en dióxido de carbono por la actividad respiratoria de la carne (Bell, 2001). En las atmósferas agotadas con oxígeno, se evita el crecimiento de bacterias de deterioro aeróbico, Estos procesos fomentan condiciones más favorables para los anaerobios con producción de ácido láctico (Borch *et al.*, 1996). Aunque la vida útil del alimento se extiende mediante el envasado al vacío, eventualmente se deterioran. Los indicadores de deterioro incluyen olores desagradables y decoloración (Bell, 2001). Por otro lado, la falta de O₂ en los envases generalmente hace que los pigmentos estén en estado de Desoximioglobina.

1.11.3. Refrigeración

Uno de los métodos ampliamente utilizados es la refrigeración la cual desde el punto de vista de la termodinámica es el intercambio de energía calórica entre dos o más cuerpos. La refrigeración es aquella operación unitaria en la que la temperatura del producto se mantiene entre -1 y 8°C . Se utiliza para reducir la velocidad de las transformaciones microbianas y bioquímicas que en el alimento tienen lugar, prolongado de esta forma la vida útil tanto de los alimentos frescos como elaborados. Dado que los alimentos refrigerados poseen prácticamente todo el valor nutritivo y las características organolépticas del alimento original, son considerados por el consumidor como alimentos “frescos” y “saludables” (Dossat, 1990).

1.12. Bioconservación

Bioconservación es el término general para los métodos de conservación de alimentos que usan actividades microbianas para inhibir el crecimiento de microorganismos alterantes y patógenos. El método más comúnmente utilizado de bioconservación de carnes es la adición de bacterias ácido lácticas (BAL) a las preparaciones de carne cruda. En los últimos años, las bacterias de ácido láctico y sus metabolitos se han utilizado para este y otros fines de conservación de la carne debido a que en algunos países estas se consideran generalmente reconocidas como organismos seguros (GRAS), lo que significa que pueden usarse sin más aprobación (Yost, 2014).

1.12.1. Ácidos orgánicos y sus sales

Los ácidos orgánicos dependiendo de su naturaleza química varían en sus propiedades antibacterianas, mientras que la aceptabilidad del producto también influye en la selección de los ácidos (Doores, 2005).

La aplicación de ácidos orgánicos en superficies de carne es un procedimiento común; Los tratamientos con ácido son baratos, sencillos y rápidos, y han mostrado una eficiencia clara (Hinton & Corry, 1999). Además, los ácidos orgánicos son designados por la FDA como (GRAS) por sus siglas en inglés “Generally Recognized As Safe” lo que indica que es un aditivo que está permitido por la FDA para el consumo humano.

La mayoría de ellos no están limitados en la ingesta diaria aceptable para los seres humanos. Estas características favorecen su uso en productos cárnicos. Varios estudios han probado la eficacia de los ácidos orgánicos, pero se pueden tener en cuenta los cambios sensoriales (color y sabor).

Los ácidos orgánicos y sus sales se consideran ácidos débiles, lo que significa que no se disocian completamente en agua, pero lo hacen de una manera dependiente del pH. En consecuencia, la actividad antimicrobiana de ácidos orgánicos se incrementa a medida que el pH del alimento se reduce al de pK_a del ácido o por debajo de éste.

El pK_a se define como la constante de disociación del ácido. La reducción del pH da lugar a una mayor concentración del ácido protonado, disminuyendo la polaridad de la molécula y aumentando la difusión de ácido a través de la membrana y hacia el citoplasma. Sin embargo, la sustitución del protón donable con un catión monovalente (Na^+ , K^+) o multivalente (Ca^{2+}) aumenta significativamente la solubilidad del ácido orgánico en sistemas acuosos. De este modo, debe hacerse un equilibrio entre la necesidad de mantener la solubilidad ácida con la necesidad de conseguir la máxima actividad mediante la reducción del pH (Taylor, 2012).

Los ácidos orgánicos se considera que afectan a la actividad microbiana por dos mecanismos primarios: por acidificación citoplasmática con desacoplamiento posterior de la producción y regulación de energía y por acumulación del anión ácido disociado a niveles tóxicos (Taylor, 2012). La difusión de un ácido no disociado a través de una membrana microbiana en un alimento donde el pH del citoplasma celular es mayor que el del ambiente circundante favorece el establecimiento de un gradiente transmembrana (Gould, 1989) A medida que el ácido protonado se difunde a través de la membrana, se encuentra un entorno alcalino, que favorece la disociación del ácido en el anión ácido y el protón libre (Eklund, 1983).

La célula reacciona trabajando para expulsar el protón, intercambiando el protón por algún otro catión (por ejemplo, Na^+ , K^+), esta es la base de la teoría quimiosmótica (Mitchell & Moyle, 1969). Se propone que la membrana microbiana sea impermeable a los protones, requiriendo un transporte activo a los protones de eflujo y manteniendo la homeostasis del pH en el interior celular (Freese, 1978) reviso esta teoría,

sugiriendo un desacoplamiento del transporte de electrones de la respiración oxidativa.

Ninguna de las teorías explica completamente el modo de acción de los ácidos orgánicos, ya que en cualquier sistema donde se utilizan ácidos orgánicos hay siempre alguna concentración de anión disociado y la presencia de un efecto de desacoplamiento sugiere la posibilidad de que se produzcan otros efectos inhibidores tras la difusión del ácido no disociado a través de la membrana celular. Cherrington *et al.* (1990), identificó posibles modos de inhibición por ácidos orgánicos resultantes de la acumulación del anión ácido en el citoplasma microbiano. Además de desplazar el pH interno fuera de rango para una actividad enzimática óptima, la proteína y la síntesis de ADN / ARN se ven afectadas negativamente por la presencia de ácidos orgánicos a niveles elevados (Cherrington *et al.*, 1990).

1.12.2. Lactato de sodio

Lactato de sodio (LS), la sal de sodio del ácido láctico tiene un efecto bacteriostático (Shelef, 1994). Muchos informes científicos ponen de manifiesto los efectos antimicrobianos de esta sustancia en la comida y en particular sobre la carne procesada. Shelef (1994) informó que la adición de LS para salchicha de cerdo fresca extendió el retraso y la fase de microorganismos aerobios de registro, lo que aumenta la estabilidad de almacenamiento y la reducción de malos olores. (Papadopoulos *et al.*, 1991) reportaron que la carne de vaca cocida que contiene 3 o 4% LS, observaron una reducción unidades de 2-log de la población microbiana durante el almacenamiento refrigerado. Brewer *et al.* (1993) informaron de que para la salchicha de cerdo fresca-empaquetado de vacío que contiene 1% LS, una semana adicional se logró en comparación con el control. Wang (2000) también demostraron que la adición de 3% LS para salchichas de estilo chino mantiene el número de la población microbiana baja.

Justificación

El creciente interés de los consumidores en los aspectos nutricionales y la atención paralela que se presta a los problemas de calidad de los alimentos han contribuido al aumento del consumo de la carne de pollo. Por lo general, esta categoría de productos se considera de alto valor nutricional y costo accesible. Sin embargo, también se sabe que estos productos son susceptibles de deterioro debido a la degradación microbiológica y bioquímica.

En consecuencia, el desarrollo de tratamientos de procesamiento efectivos para extender la vida útil de la carne de pollo se ha convertido en una necesidad.

Existe una gran preocupación por las enfermedades originadas por alimentos contaminados con microorganismos, a las que se les conoce generalmente como enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), siendo un riesgo para la población, por lo que se han buscado alternativas para la preservación de los alimentos, como lo es la bioconservación la cual inhibe el crecimiento de los microorganismos alterantes y los patógenos en los alimentos, este enfoque biológico busca minimizar la adición de aditivos químicos a los alimentos, por lo que se emplean microorganismos naturales y / o sus compuestos antibacterianos inherentes de calidad definida y en determinadas cantidades. En este contexto, las bacterias ácido-lácticas (BAL) y sus metabolitos poseen un gran potencial para su uso en la bioconservación y en conjunto con otros métodos de conservación tales como el envasado al vacío y la refrigeración se puede garantizar mayor seguridad del alimento.

Objetivo General

Evaluar la estabilidad de la pechuga de pollo mediante la adición de lactato de sodio al 2% (m/v) envasada al vacío y refrigerada a 4°C, para identificar el efecto en algunas propiedades físicas, fisicoquímicas y microbiológicas.

Objetivos Particulares

1. Establecer las condiciones para la estabilidad de la pechuga de pollo adicionada con lactato de sodio, envasada al vacío y refrigerada a 4°C durante 14 días mediante el análisis de sus propiedades físicas (parámetros de perfil de color) y fisicoquímicas (pH y a_w) para establecer el efecto en su estabilidad con respecto a un lote sin adición.
2. Verificar la calidad sanitaria de la pechuga de pollo adicionada con lactato de sodio, envasada al vacío y refrigerada, mediante la evaluación de la calidad microbiológica, para establecer el efecto en su estabilidad con respecto a un lote sin adición.

Hipótesis

Si el uso de lactato de sodio aplicado a pechuga de pollo envasada al vacío y refrigerada tendrá un efecto directo en la calidad del producto y sanitaria del mismo, con una reducción de las cuentas totales de microorganismos (log UFC/g) así mismo se tendrá una mayor estabilidad en sus propiedades físicas y fisicoquímicas durante el almacenamiento.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

EXPERIMENTAL

Secuencia experimental

En la figura 13 se presenta el cuadro metodológico, el cual contiene la metodología experimental con la que se llevó a cabo este trabajo.

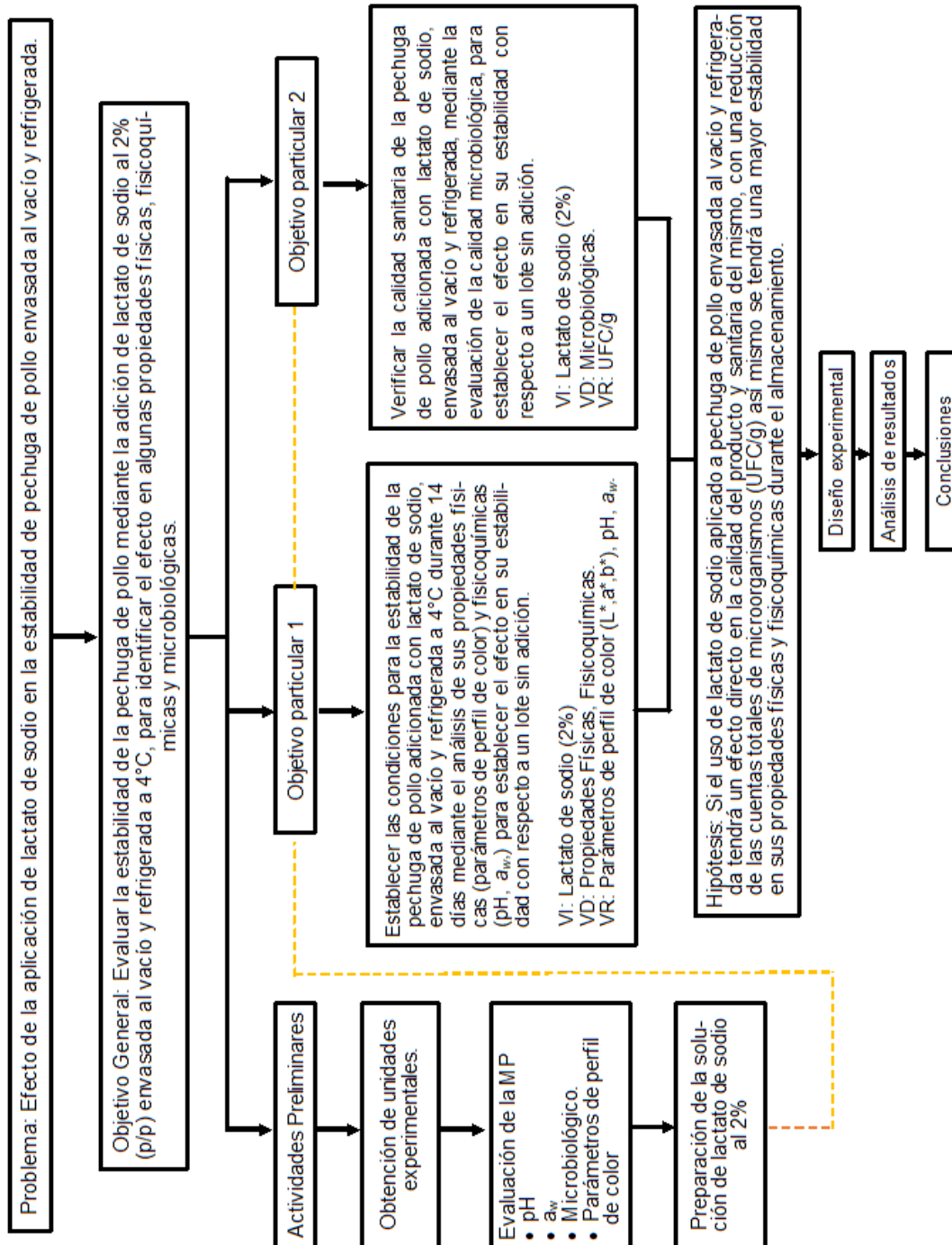


Figura 13. Metodología experimental

2.1. Metodología experimental

Se realizó el reconocimiento de los equipos y métodos a emplear en este proyecto, para esto se revisó cada uno de los manuales de los equipos para el correcto funcionamiento de estos, además de asegurar confiabilidad para los resultados obtenidos. Las siguientes pruebas se realizaron en todos los tratamientos, al lote con lactato de sodio, lote control (sin sal, solo envasada al vacío) y en la materia prima (carne sin tratamiento), se hicieron por triplicado a excepción de la evaluación microbiológica que se realizó por duplicado.

2.1.1. Preparación de las unidades experimentales

2.1.1.1. Corte de pollo

Se utilizó pechuga de Pollo (*Gallus gallus*) de un rastro ubicado en Tultepec, Estado de México, con aproximadamente 3 horas desde el sacrificio. Se retiraron la piel y los huesos de la pechuga y se obtuvieron las unidades experimentales de las siguientes dimensiones (figura 14):

- Largo: 5.5 cm
- Ancho: 3.5 cm
- Espesor: 2.5 cm
- Peso: 80 g



Figura 14. Corte de pollo

2.1.1.2. Preparación de solución antimicrobiana (Lactato de sodio)

Se preparó una solución de lactato de sodio al 2% (m/v) en base a lo señalado por el proveedor (Makymat); empleando agua estéril se mantuvo en agitación constante con un agitador magnético y se adicionó lactato de sodio en polvo (Makymat), durante 5 minutos y se almacenó en un tubo estéril y se mantuvo a temperatura ambiente.

2.1.1.3. Aspersión

Se colocó en el aspersor la cantidad equivalente para cada muestra (2% en base a su peso), y se asperjó a una distancia aproximada de 10 cm (figura 15) para lograr cubrir toda el área de la pechuga.



Figura 15. Asperjado

2.1.1.4. Envasado y refrigerado

Se colocaron las muestras en una bolsa tipo *pouché* con dimensiones de 10x15 cm y se sellaron herméticamente al vacío en una Envasadora Modelo: VC999 (figura 16), tras lo cual se mantuvieron en refrigeración a 4°C (Refrigerador Marca: Torrey).



Figura 16. Envasado y refrigerado

2.1.2. Determinación de pH

La determinación de pH se realizó siguiendo la metodología del AOAC 981.12, se utilizó un potenciómetro Orión 5-Star y el electrodo para la medición de pH superficial (Orión 8135BNUWP) ambos se muestran en la figura 17.

El electrodo fue calibrado con dos soluciones buffer, la primera con un pH de 4 y la segunda de 7, se enjuagó con agua destilada después de cada inmersión, se secó cuidadosamente y se colocó en la superficie de la muestra, aplicando una ligera presión y cubriendo todo el electrodo con la misma, una vez que el icono del pH se estabiliza ese será el valor registrado.



Figura 17. Potenciómetro Orión 5-Star

2.1.3. Determinación de a_w

La evaluación de la actividad de agua (a_w) se realizó siguiendo lo establecido por AOAC 978.18 con un higrómetro de punto de rocío marca Decagon Devices modelo Pa_wkit (figura 18). Se calibró el equipo, con soluciones estándar de calibración (Decagon) de NaCl 0.6M de $a_w=0.76$, LiCl 8.57M de $a_w=0.50$ y LiCl 14.57M de $a_w=0.25$. Ya calibrado se colocaron 10 a 15 gramos de cada muestra, en los recipientes del higrómetro, hasta la mitad de su capacidad y se procedió a realizar la medición y obtener el dato registrado, una vez que el equipo así lo indica.



Figura 18. Higrómetro Decagon Devices

2.1.4. Determinación de parámetros de perfil de color

Se realizó la calibración del espectro colorímetro Konica Minolta CM-600d (figura 19), con una tapa de calibración blanca del mismo equipo, posteriormente se hizo la calibración para eliminar el error de la luz ambiental tomando una lectura del ambiente y así el equipo pudiera obtener resultados con mayor confiabilidad, se seleccionaron los parámetros a evaluar a^* (cromaticidad), b^* (azul-amarillo), L^* (Luminosidad).

De acuerdo con el procedimiento dictado por AMSA, 2012 antes de realizar la medición, las muestras envasadas al vacío son abiertas y expuestas al oxígeno ambiental durante 30 minutos, para permitir la estabilización de la mioglobina (*blooming*) y así evitar datos erróneos.

Una vez calibrado el equipo, se colocaron las muestras sobre una superficie de vidrio y sobre ellas se colocó el cuarzo antirreflejante (esto para evitar el contacto de la muestra con el colorímetro), asegurándose que la muestra y el cuarzo tuvieran el mayor contacto posible y se realizó la medición utilizando el software (SpectraMagic NX) del equipo.



Figura 19. Colorímetro Konica Minolta CM-600d

2.1.5. Evaluación de la calidad microbiológica

Se evaluó la calidad microbiológica de la pechuga de pollo envasadas a vacío y almacenadas en refrigeración, siguiendo la metodología descrita por las normas oficiales mexicanas; NOM-110-SSA1-1994. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico y NOM-092-SSA1-1994. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Y NOM-210-SSA1-2014, Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos, se preparó el medio de cultivo.

2.1.5.1. Preparación de agua peptonada

La preparación del agua peptonada se hizo según lo planteado en la norma NOM-210-SSA1-2014, a una concentración de 0.1% de peptona de caseína marca BIOXON y de Cloruro de sodio (0.9%) en 300 mL de agua destilada, se disolvió hasta obtener una solución homogénea. Se midió el pH (Potenciómetro Thermo Orión 5-Star) y se neutralizó a un valor de 7 con NaOH 0.1N (J.T Baker). Para la preparación de la serie de diluciones decimales, se dispensaron 9 mL de agua peptonada en 10 tubos de ensaye de 16x150 mm con tapón de rosca. Para la preparación de la muestra se utilizaron dos frascos Schott Duran de 250 mL (figura 20) con 90 mL de la misma agua peptonada en cada uno de ellos. El material se esterilizó a 121 ± 1 °C/15 lb durante 15 min, se dejó enfriar. Se mantuvo en una campana de flujo laminar hasta su uso.



Figura 20. Frasco *schott*

2.1.5.2. Preparación de Agar Nutritivo

De acuerdo con lo establecido en la norma NOM-092-SSA1-1994, se preparó agar nutritivo (BD) en un frasco marca *Schott* Duran con tapa roscada con capacidad de 500 mL y 200 mL de volumen de trabajo, según las recomendaciones del proveedor y se esterilizó en autoclave a 121 ± 1 °C/15 lb durante 15min, tras lo cual se dejó enfriar en la campana de flujo laminar y se sirvió en cajas de Petri (20 mL aproximadamente), se dejó solidificar a temperatura ambiente y de manera invertida se dejaron a prueba de esterilidad durante 24 h a 35 ± 2 °C.

2.1.5.3. Esterilización del material

Se esterilizaron también puntas para micropipetas de 1 mL, de 20 μ L y cajas Petri de vidrio con tapa.

2.1.5.4. Preparación de la dilución primaria

La preparación de las muestras se realizó en licuadora y junto con las tablas de picar y cuchillería se dejaron en la campana de flujo laminar durante 15 min, con la lámpara de LUV encendida para asegurar su esterilidad.

Conforme a lo establecido en la norma NOM-110-SSA1-1994 se pesaron 10 g de cada muestra y de ambos lotes en la balanza granataria y se adicionaron al vaso de

la licuadora, en el que se vertieron 90 mL de agua peptonada estéril y se licuó hasta obtener una muestra homogénea, se dejó reposar por unos segundos para tomar 1 mL.

2.1.5.5. Preparación de diluciones decimales

Una vez obtenida la dilución primaria, se tomó 1 mL de esta y se adicionó al tubo de ensaye que contenía 9 mL de agua peptonada estéril y se agitó la muestra manualmente con 25 movimientos de arriba a abajo en un ángulo de 30° efectuados en un tiempo de 7 segundos, una vez conseguida la homogenización de la primera dilución, se tomó 1 mL de esta y se mezcló con 9 mL del diluyente para conseguir la segunda dilución, evitando el contacto entre la pipeta y el diluyente, estos pasos se repitieron hasta obtener la sexta dilución (figura 21).

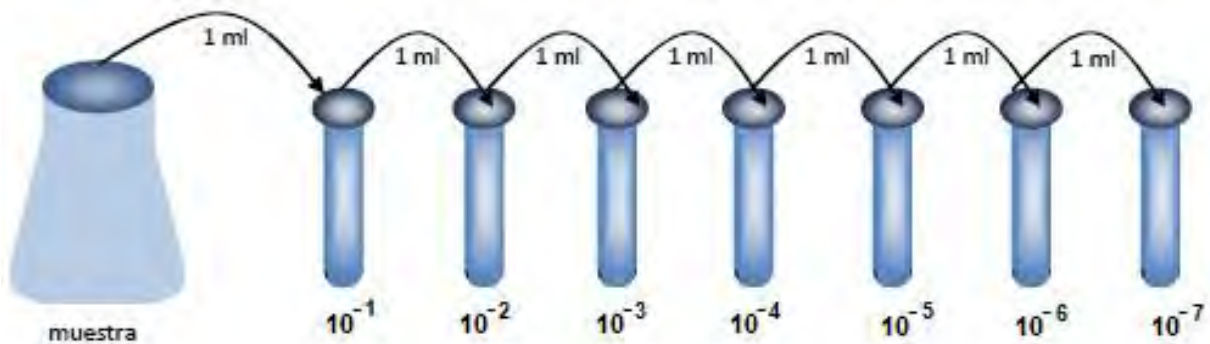


Figura 21. Serie de diluciones

2.1.5.6. Sembrado en superficie

Se utilizaron cajas Petri con agar nutritivo estéril, estas cajas se dividieron en cuadrantes y se colocaron 20 μ L de cada dilución en cada uno, ya secas se incubaron durante 24h a 35 ± 2 °C. Todo lo anterior se realizó por duplicado para cada muestra (figura 22).

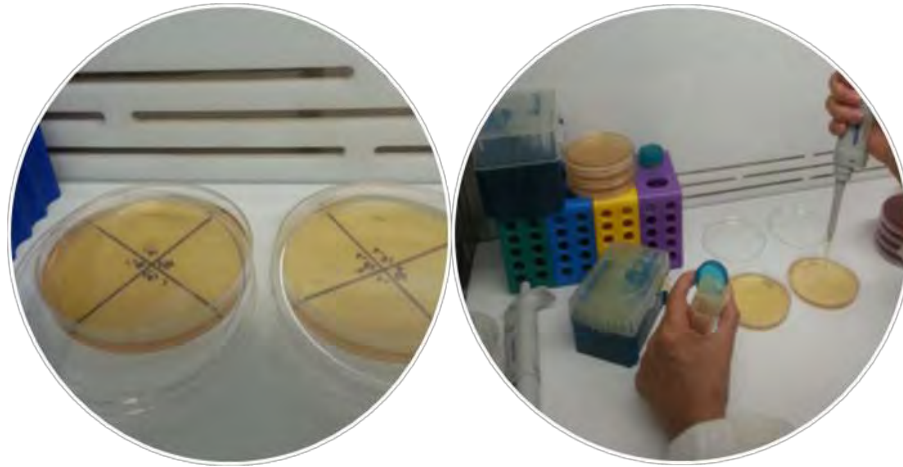


Figura 22. Sembrado en superficie

2.1.5.7. Cuantificación de microorganismos

El conteo se realizó según lo establecido en la NOM-092-SSA1-1994, con un contador de colonias de campo oscuro marca Felisa. Se utilizaron solo las placas que contenían entre 25 y 50 colonias, se calculó el número de log UFC/g de muestra.

Cálculo de las UFC/g:

$$FD = \frac{g \text{ muestra}}{(g \text{ muestra} + g \text{ agua peptonada})}$$

$$FDD = \frac{1}{FD}$$

$$UFC/g = \frac{(\# \text{ de colonias})(FDD)}{\text{Volumen se siembra}}$$

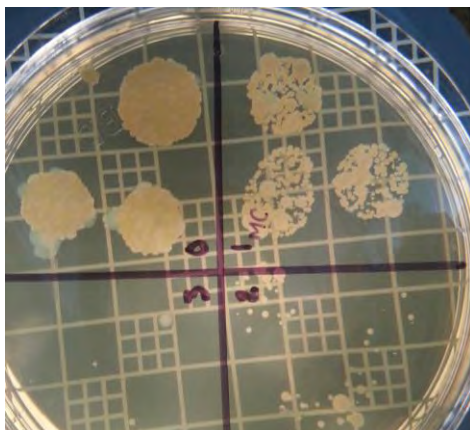


Figura 23. Cuantificación de microorganismos

2.1.5.8. Tinción de Gram

De las cajas Petri con crecimiento se tomaron las colonias diferentes y se tiñeron con un Kit de tinción de Gram marca BD (figura 24). Las muestras teñidas se observaron al microscopio (Olympus CX31) con el objetivo de inmersión (100x) para identificar la morfología microscópica y diferenciar entre Gram positivos y Gram negativos.



Figura 24. Tinción de Gram

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos experimentalmente para cada una de las variables de respuesta.

Los resultados fueron procesados con el software Minitab 17, donde se realizó un análisis de varianza ANOVA de dos vías, donde se consideró un nivel de significancia del 5% y se utilizaron las gráficas de caja para observar el efecto de los tratamientos.

3.1. pH

En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos de pH para cada uno de los tratamientos, durante la experimentación los días 0 y 7.

Cuadro 3. Valores promedios de pH correspondiente a cada uno de los tratamientos

Día	Muestra	Concentración de lactato de sodio	Promedio	σ	CV
0	Control	-	5.223	0.025	0.0048
	Lactato Na	2%	5.200	0.010	0.0019
7	Control	-	5.210	0.026	0.0051
	Lactato Na	2%	5.173	0.006	0.0011

El efecto de la combinación de barreras que ofrece la aplicación de la solución de lactato de sodio al 2%, con la refrigeración y el envasado al vacío, como estrategia de conservación, permite observar que la aplicación de lactato de sodio disminuyó apreciablemente el pH del producto a 5.173, en comparación con 5.210 del control sin adición de lactato de sodio, ambos con siete días de almacenamiento (cuadro 3).

Como se observa en la figura 25 se tienen cambios estadísticamente significativos ($P < 0.05$), los cuales demuestran el efecto de la solución de lactato de sodio en el sistema cárnico desde el primer día de su aplicación. La inhibición del crecimiento microbiano está fundamentada mediante dos mecanismos esenciales; la acidificación del citoplasma, la que obliga a la célula a incrementar sus gastos

energéticos a fin de mantener su equilibrio osmótico; y a través de la acumulación de aniones lo que perjudica la síntesis de ADN, evitando la replicación de microorganismos (Cherrington *et al.*, 1990).

Por otro lado, los ácidos orgánicos y sus sales se consideran ácidos débiles, lo que significa que no se disocian completamente en agua, pero lo hacen de una manera dependiente del pH. En consecuencia, la actividad antimicrobiana de ácidos orgánicos se incrementa a medida que el pH del alimento se reduce al de pK_a del ácido o por debajo de éste.

El pK_a se define como la constante de disociación del ácido. La reducción del pH da lugar a una mayor concentración del ácido protonado, disminuyendo la polaridad de la molécula y aumentando la difusión de ácido a través de la membrana y hacia el citoplasma. Sin embargo, la sustitución del protón donable con un catión monovalente (Na^+ , K^+) o multivalente (Ca^{2+}) aumenta significativamente la solubilidad del ácido orgánico en sistemas acuosos. De este modo, debe hacerse un equilibrio entre la necesidad de mantener la solubilidad ácida con la necesidad de conseguir la máxima actividad mediante la reducción del pH (Taylor, 2012).

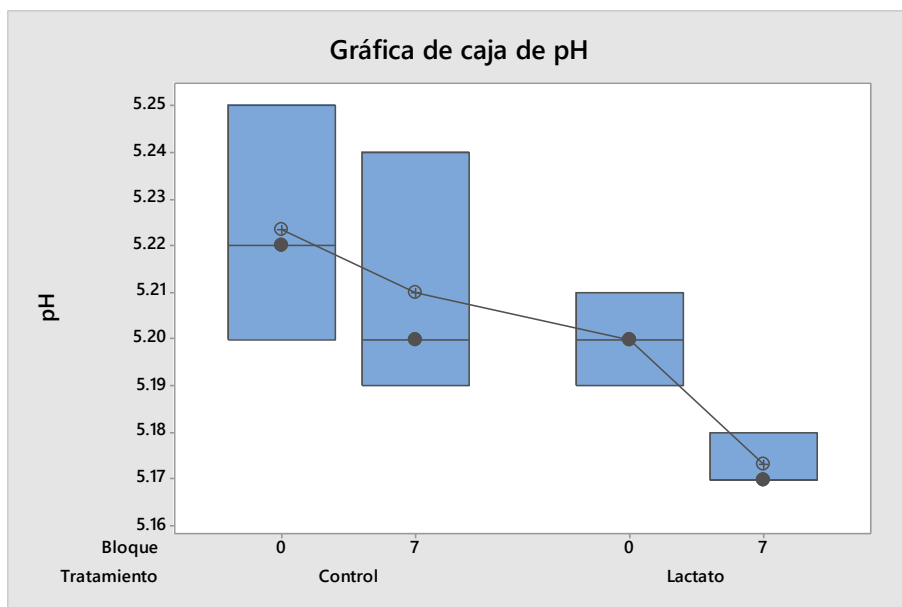


Figura 25. Efecto combinado de la adición de lactato-refrigeración-vacío en el pH de la pechuga de pollo (0=día 1, 7=día 7)

De acuerdo con lo anterior y mediante al análisis estadístico realizado se confirma que hubo una tendencia positiva en el efecto de la adición de lactato de sodio en los valores de pH obtenidos, con una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos y con respecto al tiempo de almacenamiento (7 días) el envasado y la refrigeración evaluado en las muestras control y las muestras tratadas con lactato de sodio (cuadro 3).

3.2. Actividad de agua (a_w)

Los resultados de a_w (cuadro 4) obtenidos de las muestras de pechuga de pollo sometida a la combinación de barreras que ofrece la aplicación de la solución de lactato de sodio al 2%, con la refrigeración y el envasado al vacío, como estrategia de conservación indican que las tratadas con lactato de sodio al (2%) presentan resultados iniciales de 0.87, mientras que las muestras control de 0.90 lo cual demuestra que tiene un efecto directo sobre la a_w ya que tiene una reducción de a_w como se observa en la figura 26.

Cuadro 4. Valores promedios de a_w correspondiente a cada uno de los tratamientos

Día	Muestra	Concentración de lactato de sodio	Promedio	σ	CV
0	M.P	-	0.952	0.010	1.0926
	Control	-	0.908	0.003	0.0032
	Lactato Na	2%	0.873	0.017	0.0196
7	M.P	-	0.952	0.010	0.0109
	Control	-	0.908	0.008	0.0083
	Lactato Na	2%	0.871	0.019	0.0219

La a_w de la carne de pollo es una propiedad muy importante ya que tiene incidencia sobre las características de calidad tales como: textura, sabor, color, gusto, valor nutricional y el tiempo de conservación.

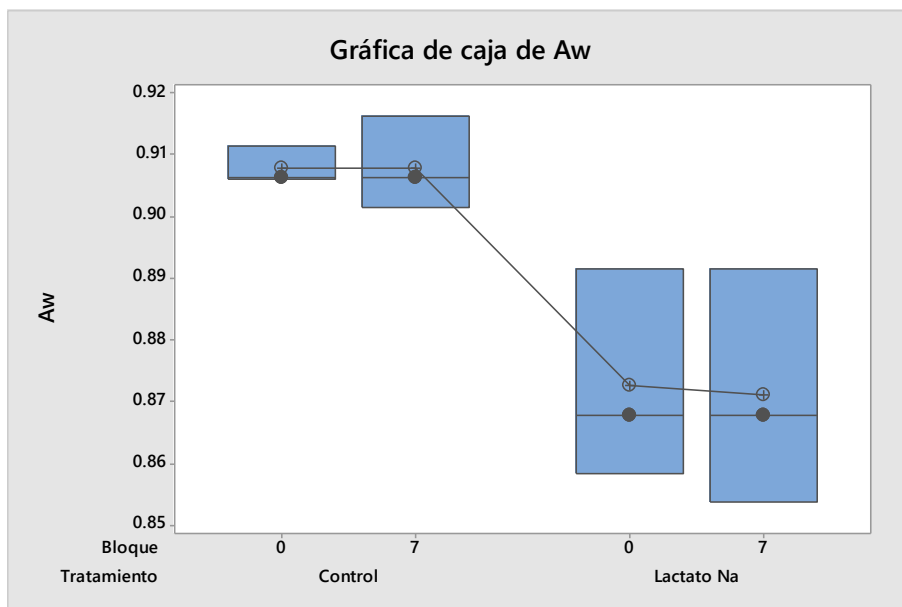


Figura 26. Efecto combinado de la adición de lactato-refrigeración-vacío en a_w de pechuga de pollo (0=día 1, 7=día 7)

La actividad de agua es uno de los factores intrínsecos que posibilitan o dificultan el crecimiento microbiano en los alimentos; Las carnes frescas y las aves de corral típicamente exhiben valores $a_w > 0.95$ (Jay *et al.*, 2005). En general todos los microorganismos requieren niveles elevados de a_w para su desarrollo, con algunas excepciones, normalmente las bacterias alterantes no se multiplican por debajo de una $a_w=0.91$, mientras que las bacterias patógenas se desarrollan en un $a_w=0.86$ aunque diversos microorganismos ya no se multiplican en un valor de a_w por debajo de 0.94. Por lo que al disminuir el valor de a_w , los microorganismos pueden exhibir una fase de latencia extendida, y la disminución de la tasa específica de crecimiento y del tamaño de la población final (Jay *et al.*, 2005).

Al aplicar los diferentes métodos de conservación y mantenerlos en un ambiente con baja humedad relativa (envasado y refrigerado) tiende a generarse un déficit de agua disponible que inhibe la función metabólica adecuada y la división celular de los patógenos, la putrefacción y fermentación de microorganismos (Leistner & Gorris, 1996), Además, al adicionar el lactato de sodio se le atribuye la capacidad de reducir la actividad de agua por la adición de solutos (Shelef, 1994).

Por lo tanto al observar los valores finales obtenidos (figura 26) para las muestras, 0.90 para la muestra control y 0.87 para la adicionada con lactato de sodio, existe una diferencia significativa ($P < 0.05$), lo cual al contrastarse con la bibliografía se observa con una diferencia de 0.03 en el a_w tendrá un efecto directo en la disminución de la tasa específica de crecimiento y tamaño de población final de microorganismos (Shelef, 1994).

3.3. Parámetros de perfil de color

Además de la efectividad de los tratamientos antimicrobianos, otra preocupación es el impacto de estos tratamientos en los atributos de calidad de la carne, como el color. Dado que cualquier decoloración ocasionada por los tratamientos antimicrobianos podrían provocar el rechazo de los consumidores, por lo que se determinaron los efectos del lactato de sodio, el envase al vacío y la refrigeración, sobre los parámetros de perfil de color.

En el cuadro 5 se muestran los valores promedio de L^* , a^* , b^* , C^* y h^* obtenidos de la evaluación de las muestras de pechuga de pollo control y con lactato de sodio al 2%, envasados al vacío y en refrigeración como estrategia de conservación. Para realizar esta medición se obtuvieron los valores triestímulo del sistema CIE y fue necesario retirar el envase y exponer la carne al ambiente, se produjo una oxigenación de la mioglobina (*blooming*) lo que dio como resultado la formación de oximioglobina.

Cuadro 5. Valores promedios de L^* , a^* , b^* , C^* y h^* correspondiente a cada uno de los tratamientos

Día	Muestra	Concentración de lactato de Sodio	Color				
			L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
0	M.P	-	47.43	7.18	20.60	21.81	70.79
	Control	-	50.63	7.08	25.41	26.38	74.41
	Lactato Na	2%	51.04	6.41	25.56	26.94	71.84
7	M.P	-	47.43	7.18	20.60	21.81	70.79
	Control	-	49.92	6.42	23.29	24.16	74.66
	Lactato Na	2%	51.63	5.77	20.97	21.74	74.63

3.3.1. Parámetro L*

La figura 27 presenta los valores del parámetro L* que describe el brillo u oscuridad del color y sus valores van del 0 al 100, donde 0 es negro y 100 es blanco, es un parámetro importante debido a que indicara que tan clara u oscura es la muestra, En general, los valores de L* no cambiaron con el tiempo de almacenamiento, pero se tiene una diferencia significativa con respecto al tratamiento adicionado con lactato de sodio al día siete ya que fueron más claras (L *) en color en comparación con el control. Esto se le puede atribuir a que diversos componentes son los que determinaran el desarrollo del color, entre los que se encuentran esta la concentración de mioglobina, estado oxidativo del hierro dentro de la mioglobina, así como el pH (Lawrie, 1977).

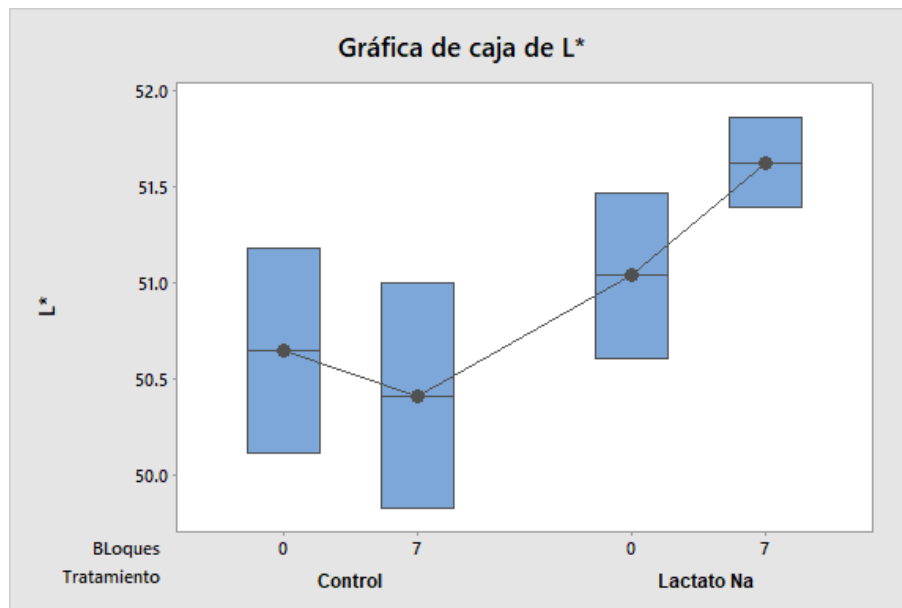


Figura 27. Gráfica de caja de luminosidad (L*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración

Entre estos el último se considera el más importante, debido a que un bajo pH en la carne causa una reducción en el tamaño de las miofibrillas provocando un incremento en la dispersión de la luz en la superficie miofibrilar, este efecto aumenta debido a que la desnaturalización de proteínas causa también dispersión de la luz. Además, la capacidad de ligar agua está relacionada con el color de la carne y con el pH de la carne, debido a que, con un pH bajo, existe menor habilidad de ligar

agua y por lo tanto se tiene más agua en el espacio extracelular resultando en reflexión de la luz más que absorción (Lawrie, 1977).

3.3.2. Parámetro a^*

Para el parámetro del perfil de color a^* , los colores que describe van desde el verde en su extremo negativo (-a) al rojo en su extremo positivo (+a).

Se observa que la muestra adicionada con lactato de sodio, envasada al vacío y refrigerada tiene una mayor tendencia hacia las tonalidades rojas esto se debe a la presencia del lactato de sodio el cual determina el efecto de la fuerza iónica sobre la interacción entre mioglobina y proteína miofibrilar (Lawrie, 1977).

Por otro lado, los valores de a^* muestran estadísticamente que hay una diferencia significativa ($P < 0.05$) como se muestra en la figura 28, este parámetro indica que la muestra adicionada con lactato de sodio tiende a las tonalidades rojizas con ellos se puede decir que las proteínas sarcoplásmicas no son afectadas por la adición de lactato de sodio, y por otro lado las muestras control y la adicionada con lactato de sodio al inicio se mantiene intacta, no sufren daños aparentes en esta coordenada y la carne sigue manteniendo sus pigmentaciones sin importar el método de conservación que se le aplique.

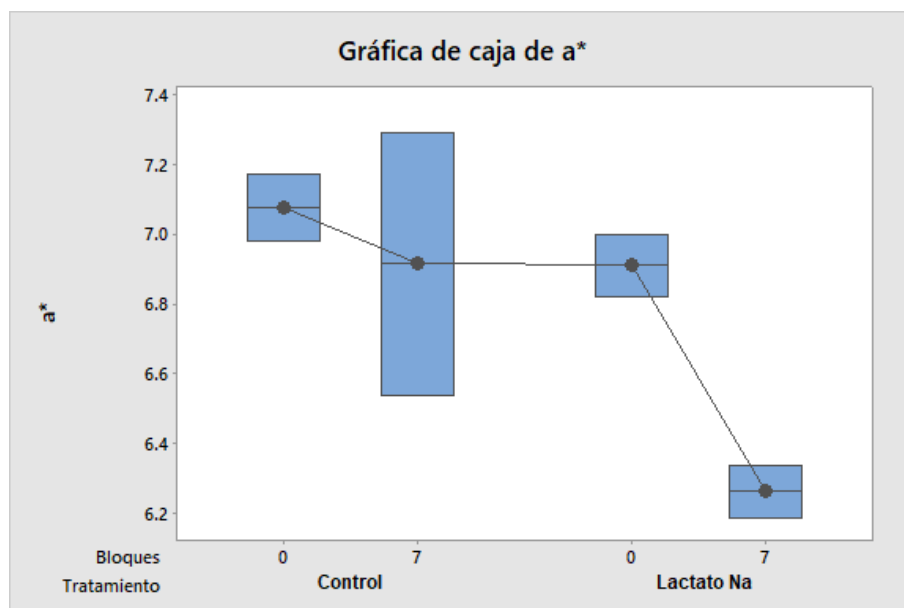


Figura 28. Gráfica de caja de luminosidad (a^*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración

3.3.3. Parámetro b*

Para el caso del parámetro de perfil de color b* describe colores que van desde el azul, en su extremo negativo (-b), hasta el amarillo en su extremo positivo (+b) se realizó el mismo análisis estadístico donde los valores de b* muestran estadísticamente que no hay una diferencia significativa ($P > 0.05$).

Observando en la figura 29 que para la materia prima y para la muestra adicionada con lactato de sodio, envasada a vacío y refrigerada por 7 días no se tienen diferencias significativas debido a que tiene un valor de oxigenación similar esto observado en los resultados del estado de oxidación de la mioglobina mostrados más adelante.

En cuando a las otras muestras no se tiene diferencias significativas esto indica que los valores de esta coordenada del color poseen un valor positivo el cual indica que las muestras tienen, mayor tendencia a los amarillos.

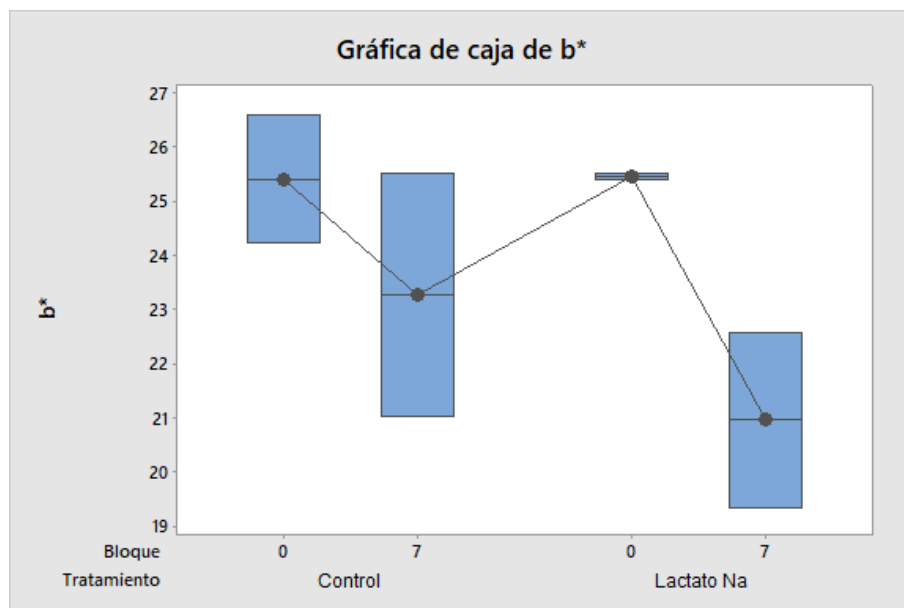


Figura 29. Gráfica de caja de luminosidad (b*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración

3.3.4. Croma (C*)

Para los valores del croma (C*), se realizó el mismo análisis estadístico en donde se obtuvo que Los valores de C* muestran estadísticamente que no hay una diferencia significativa ($P > 0.05$). El croma al estar relacionado con los valores de a^* y b^* . En la figura 30 se observa que tiene el mismo comportamiento con una disminución en los tratamientos y aunque poseen un valor de saturación menor estadísticamente son iguales entre si lo que indica que la percepción visual de la carne que está sometida a diferentes métodos de conservación tiene el mismo grado de estímulo a pesar de que la estructura de la carne ocasione la reflexión de la luz de diferente manera.

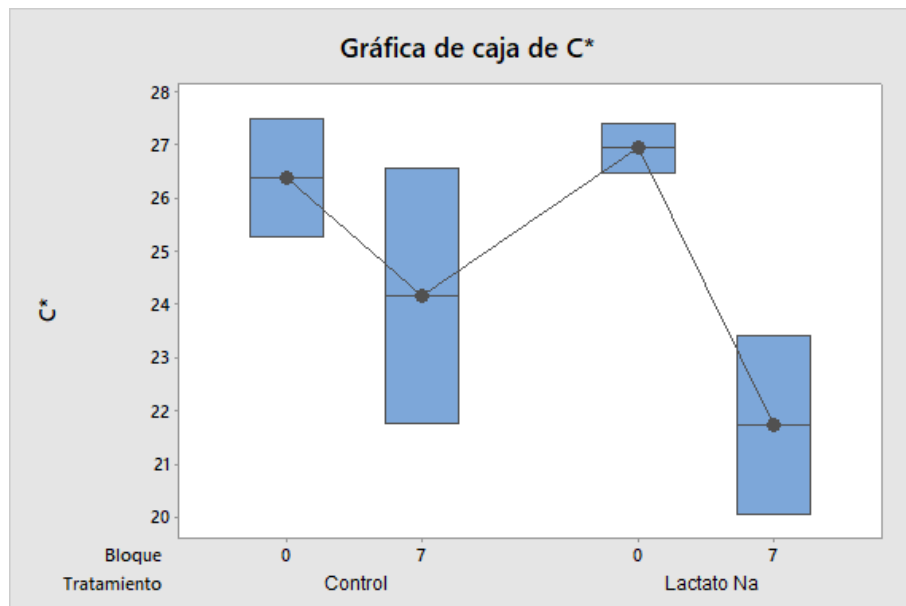


Figura 30. Gráfica de caja de luminosidad (C*) de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración

3.3.5. Reflectancia

Dentro de los parámetros de perfil de color se obtuvieron las curvas espectrales de las muestras, en donde no se tienen un cambio significativo entre ellas, todas siguen la misma tendencia, observando en la figura 31.

La luz es de gran importancia para la percepción del color. Sin luz, no hay color ni visión. La luz visible es una parte del espectro electromagnético, que se define por la longitud de onda de la energía e incluye radiodifusión, radar, infrarrojo,

ultravioleta, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos. Sin embargo, los humanos solo pueden detectar luz en el espectro visual, que oscila entre 390 y 750 nm. En este estrecho rango del espectro electromagnético, el ojo tiene la capacidad y el cerebro de separar las longitudes de onda en grupos de colores. Por ejemplo, el color rojo está asociado con la luz de longitudes de onda de aproximadamente 650 a 700 nm. El color verde se asocia con aproximadamente 490 a 575 nm, el azul se asocia con longitudes de onda entre 455 y 490 nm y el amarillo entre los 570 a 590 nm. Entonces, para discernir el color de la carne, la fuente de luz debe contener las longitudes de onda capaces de reflejarse en superficies de carne, o el color no será perceptible para el ojo o el detector instrumental (American Meat Science Association (AMSA), 2012).

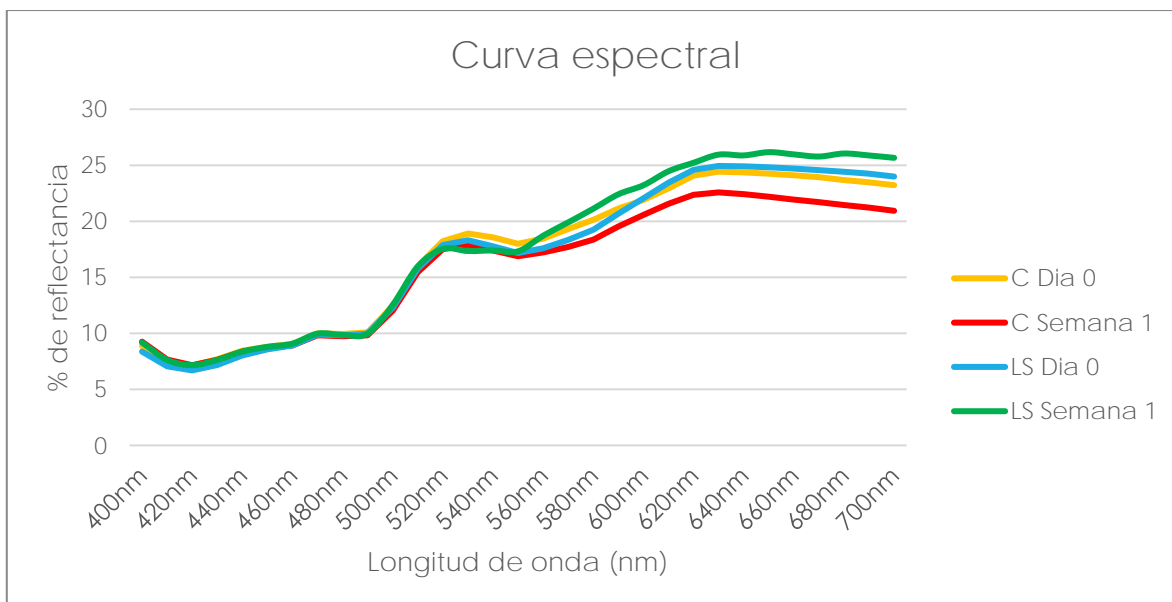


Figura 31. Porcentaje de reflectancia de lotes control y con lactato de sodio, envasadas y almacenadas en refrigeración (C= Muestra control, LS= Muestra adicionada con lactato de sodio).

En la figura 31, se muestran las curvas promedio para cada uno de los tratamientos, en donde se observa que los tratamientos tienen el mismo perfil en cuanto al espectro de reflectancia, lo que indica que las muestras aparentemente no presentan diferencias entre sí.

3.3.6. Mioglobina superficial

Para las determinaciones de las fracciones de mioglobina se siguió el tratamiento descrito por Ponce y Taylor, 2000; Tang *et al.* 2004, donde se involucran las ecuaciones que se han empleado ampliamente para determinar las concentraciones relativas de derivados de mioglobina, el conjunto de ecuaciones es en base a la selección de longitudes de onda que representan el máximo de absorción para cada una de las tres derivadas, como se muestra en cada ecuación. La estimación de DMb, OMb y MMb es esencial para los estudios básicos de la estabilidad del pigmento de la carne. Los resultados se muestran en el cuadro 6 para cada muestra.

$$\text{Desoximioglobina} = -0.543 R_1 + 1.59R_2 + 0.552 R_3 - 1.329$$

$$\text{Oximioglobina} = 0.722 R_1 + 1.432R_2 + 1.659 R_3 + 2.599$$

$$\text{Metamioglobina} = -0.159 R_1 - 0.085R_2 + 1.262R_3 - 0.520$$

$$R_1 = \frac{A_{582}}{A_{525}} \quad R_2 = \frac{A_{557}}{A_{525}} \quad R_3 = \frac{A_{503}}{A_{525}}$$

Se puede observar en el cuadro 6 que se tiene la mayor parte de la mioglobina en estado de oximioglobina para todos los tratamientos, debido a que las condiciones que retrasan la aparición del MMb subsuperficial incluyen baja temperatura, alto pH, capacidad antioxidante y una mayor actividad reductora. La reducción de MMb influye en la estabilidad del color de la carne al regenerar la mioglobina ferrosa. Sin embargo, esta reacción depende de la eliminación de oxígeno, enzimas reductoras y el conjunto de NADH, todos los cuales están limitados y agotados continuamente en el músculo *post mortem* (American Meat Science Association (AMSA), 2012).

Por otro lado, el proceso de enfriamiento de la carne la cual se encuentra envasada hace que la conversión de OMb a DMb pueda ser lenta, especialmente a temperaturas de -1 a 4 ° C. Normalmente, MMb se forma primero de OMb debido a la baja presión parcial de oxígeno y con el tiempo MMb se convierte en DMb (American Meat Science Association (AMSA), 2012).

Cuadro 6. Fracción de mioglobina superficial en pechuga de pollo

Día	Muestra	Concentración de lactato de sodio	Fracción de mioglobina superficial		
			DMb	OMb	MMb
0	M.P	-	0.037	0.728	0.201
	Control	-	0.051	0.769	0.141
	Lactato Na	2%	0.038	0.764	0.158
7	M.P	-	0.037	0.728	0.201
	Control	-	0.048	0.750	0.161
	Lactato Na	2%	0.019	0.751	0.195

DMb: Desoximioglobina; OMb: Oximioglobina; MMb: Metamioglobina

3.4. Microbiología

La actividad de la microbiota de la pechuga de pollo se ve afectada por factores tales como pH, actividad de agua (a_w), temperatura de almacenamiento en refrigeración y la composición de la atmósfera del producto envasado, con la reducción de O₂ al aplicar vacío, bajo la premisa de aplicar esta combinación de barreras en este proyecto. En trabajos previos Shelef, 1994 también ha demostrado que la aplicación de soluciones de ácidos orgánicos reduce el número de bacterias en las canales de carne, mejor que cualquier otro método de conservación por sí solo, por lo que al aplicar estos métodos de conservación los microorganismos pueden exhibir una fase de latencia extendida, y crecer poco a poco, en el cuadro 7 se muestran los resultados de la evaluación microbiológica de los tratamientos. El tiempo de almacenamiento en refrigeración influyó significativamente ($P>0.05$) en las cargas microbianas. Los recuentos bacterianos evidencian un incremento de menos de 1 log UFC/g en la muestra control, tras una semana de almacenamiento en refrigeración, sin embargo, en el lote adicionado con lactato de sodio se disminuyeron 2 log UFC/g.

Sin embargo, el límite microbiológico es de 30 000 UFC/g según la NOM-092-SSA1-1994 lo cual no se alcanzó en ningún grupo de muestras antes del final del almacenamiento. La solución de lactato de sodio fue efectiva para inhibir significativamente el crecimiento de las poblaciones microbianas en comparación con muestras control, lo que demuestra su efecto bacteriostático.

Cuadro 7. Promedio de cuenta de bacterias aerobias totales (UFC/g)

Día	Muestra	Concentración de lactato de sodio	UFC/g
0	M.P	-	2.98x10 ⁴
	Control	-	1.93 x10 ⁴
	Lactato Na	2%	1.90 x10 ³
7	Control	-	1.10 x10 ⁴
	Lactato Na	2%	1.50 x10 ²

Autores registraron una disminución inicial sustancial de hasta 2.5 log UFC/g debido a la acción del lactato de sodio en la carne. La diferencia en la acción antimicrobiana del lactato de sodio es observada en diferentes estudios (Lamkey *et al.* 1991; Papadopoulos *et al.* 1991; Brewer *et al.* 1993) y este podría deberse a varios factores, como diferencias en el tipo de muestras, procedimientos de muestreo, concentración de ácido, temperatura de la solución, método y tiempo de aplicación, método de almacenamiento, o niveles y tipos de contaminación inicial (Eklund, 1983). Por lo tanto, debe destacarse que no se pueden esperar efectos idénticos de una solución antimicrobiana sobre la microbiota de carne cruda a partir de diferentes estudios (Shelef, 1994).

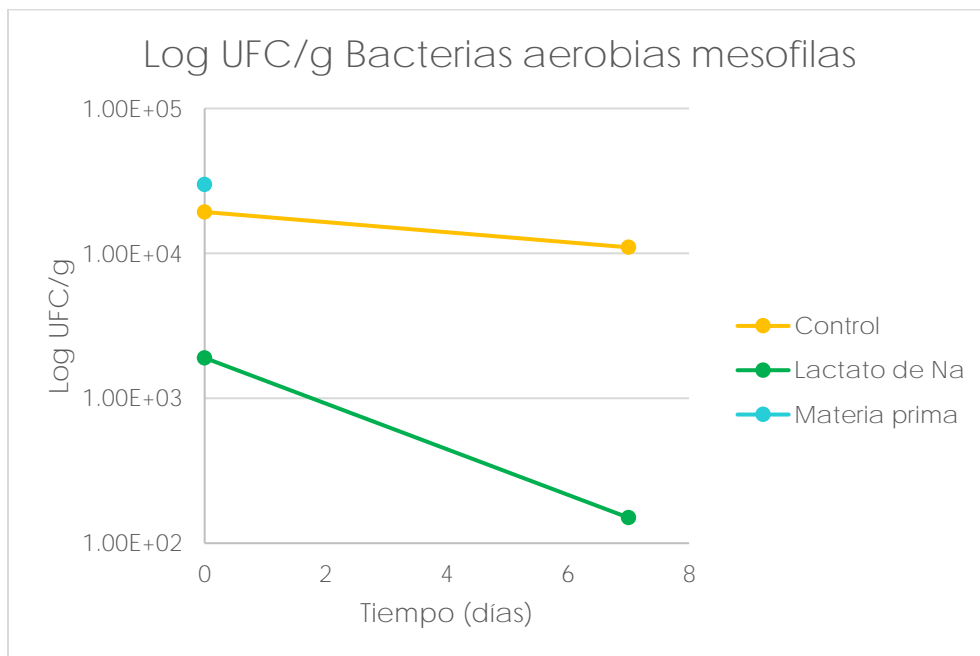


Figura 32. Log UFC/g de Bacterias Aerobias Totales

3.4.1. Tinción de Gram

Se realizó una tinción diferencial de aquellas colonias más representativas presentes en los diferentes lotes, para la identificación de las bacterias presentes.

En la figura 33 se observa las colonias que a la tinción de Gram resultaron gran positivas y Gram negativas en la pechuga de pollo (materia prima). *Campylobacter*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Listeria*, *Micrococcus*, *Staphylococcus* y *Salmonella* son los posibles géneros bacterianos que pueden estar presentes. Por regla general, la microbiota presente en una carne es un reflejo de los procesos de sacrificio, faenado y del entorno en donde se ha producido ya que las partes internas de los tejidos sanos del animal vivo son estériles o contienen una carga microbiana muy baja (Jay *et al.*, 2005).

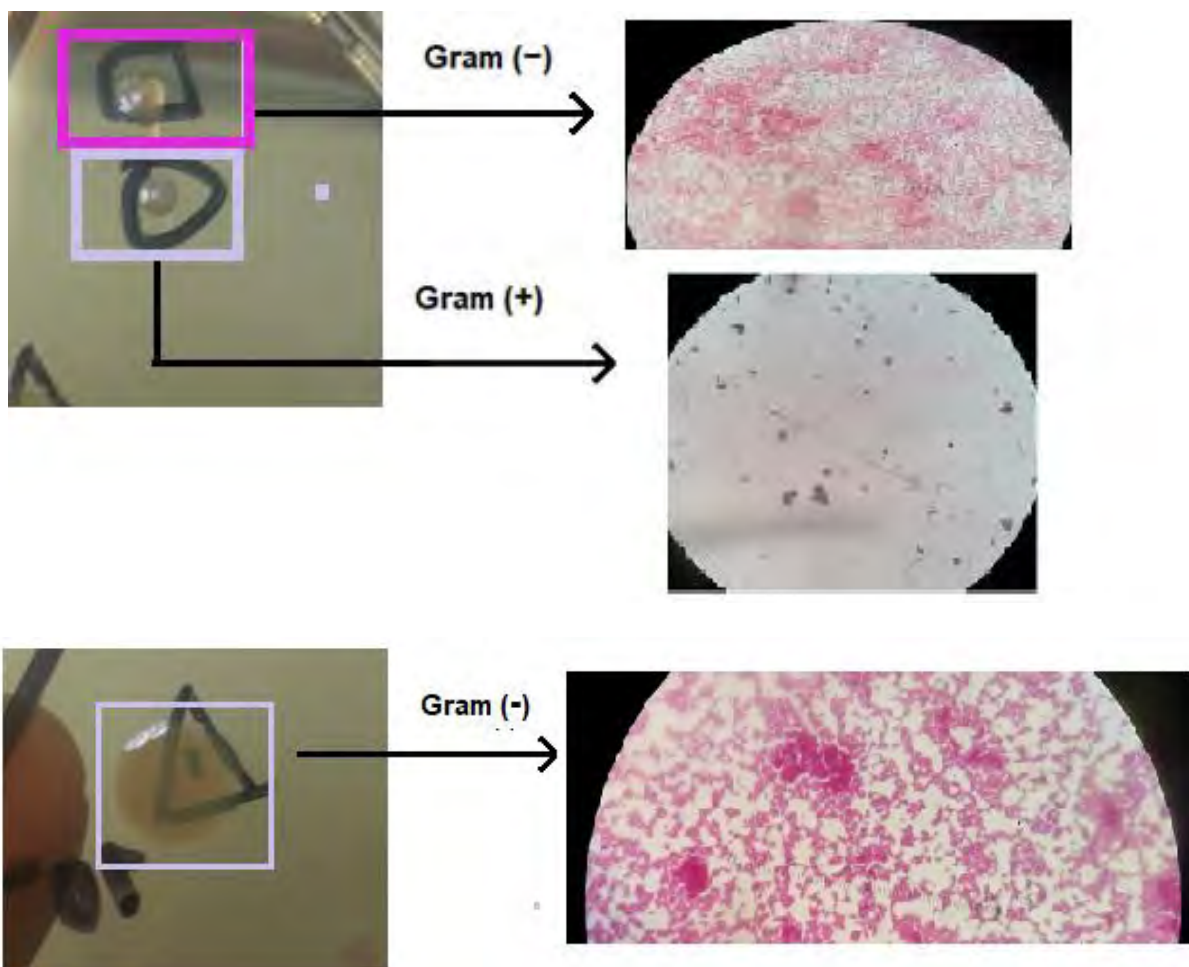


Figura 33. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en la materia prima

En la figura 34 se muestra el crecimiento de bacterias aerobias totales presentes en la muestra control al día 0, así como la morfología de la colonia seleccionada para realizar la tinción de Gram; cocos Gram negativos y cocos Gram positivos fueron los que predominaron en la muestra.

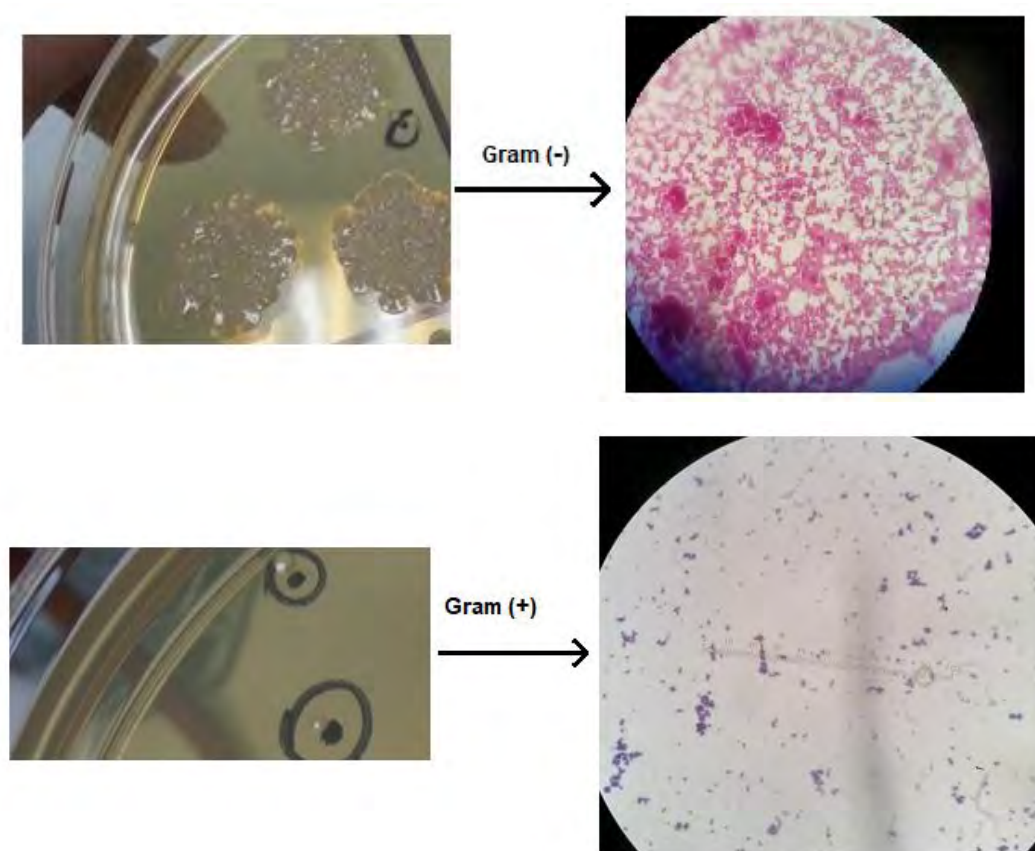


Figura 34. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en el control al día 0

La figura 35 muestra el crecimiento de colonias transparentes mucoides y blanca mucoide, presentes en la muestra adicionada con lactato de sodio al día 0, así como la morfología de la colonia seleccionada para la tinción de Gram, en donde se observa la presencia de bacilos y cocos Gram positivos (Jay *et al.*, 2005).

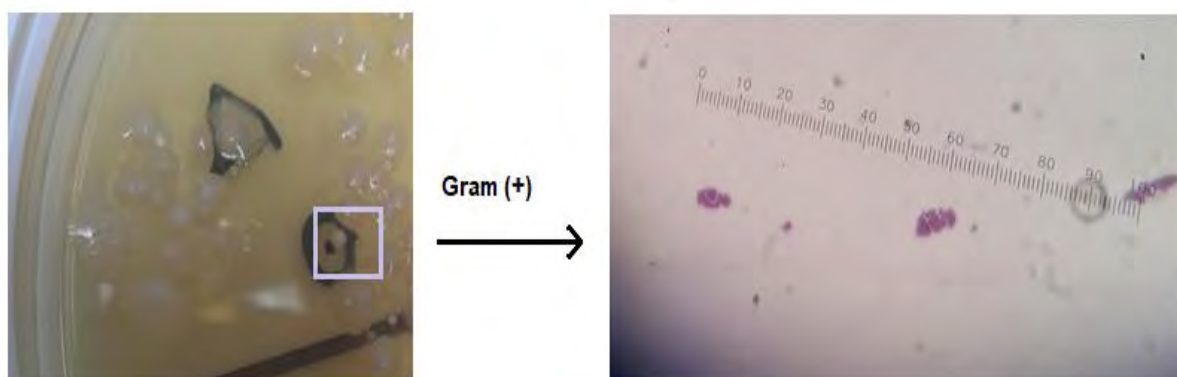
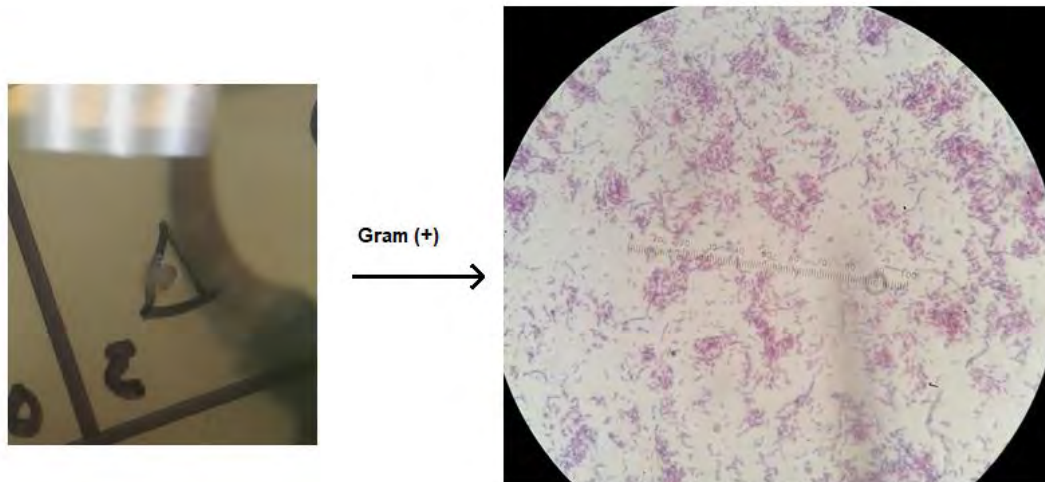


Figura 35. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en muestras adicionadas con lactato de sodio día 0

En la figura 36 se muestra el crecimiento de bacterias aerobias mesófilas presentes en la muestra control al día 7, así como la morfología de la colonia seleccionada para realizar la tinción de Gram; cocos Gram negativos y cocos Gram positivos fueron los que predominaron en la muestra, que pudiesen ser colonias presentes desde el inicio.

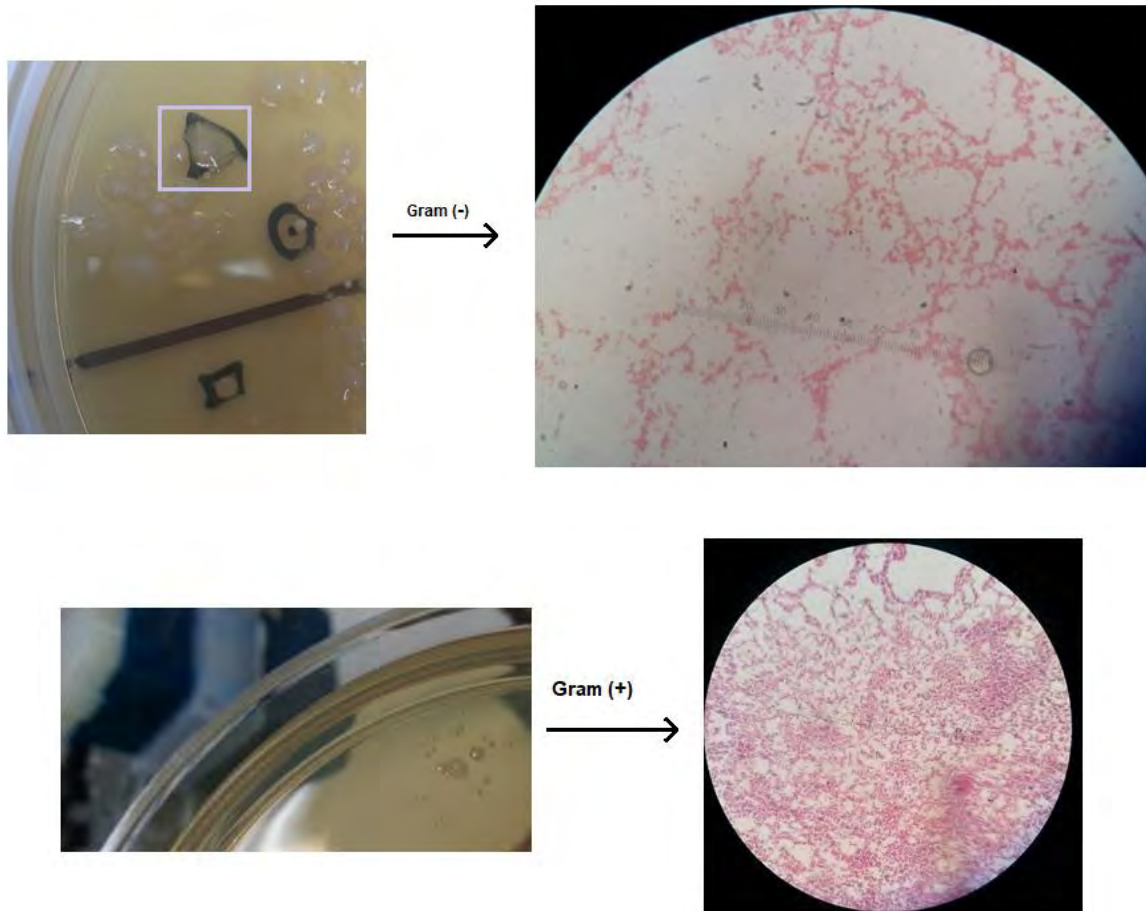


Figura 36. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en el control al día 7

En la figura 37, se muestra la placa de agar nutritivo con la muestra que fue adicionada con lactato de sodio y permaneció almacenada por 7 días. Donde se observa presencia de cocos Gram positivas, por lo que la adición del lactato de sodio inhibió las bacterias Gram negativas esto está de acuerdo con lo encontrado en la literatura, donde se ha documentado que el lactato de sodio es eficaz en la inhibición de microorganismos Gram negativos en productos cárnicos (Shelef, 1994).

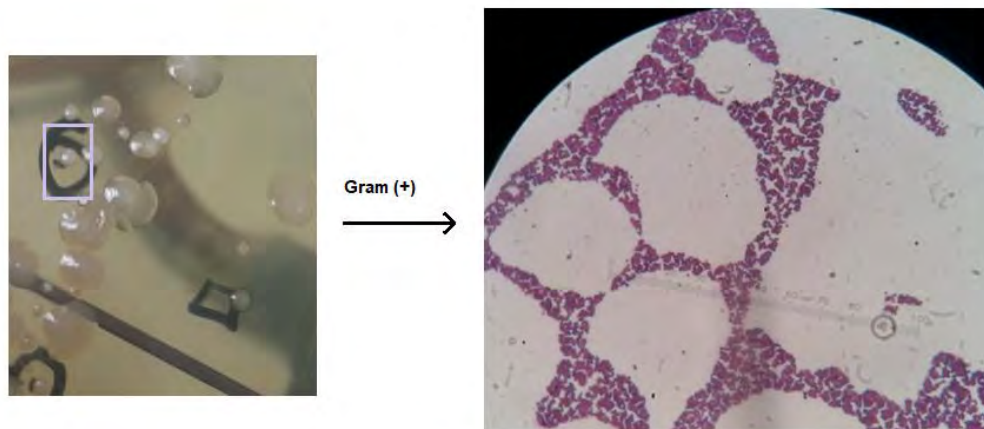


Figura 37. Colonia y morfología de bacterias aerobias mesófilas presentes en muestras adicionadas con lactato de sodio día 7

La ausencia o reducción de oxígeno en los alimentos puede permitir condiciones adecuadas para el desarrollo y la producción de toxinas por patógenos anaeróbicos como *Clostridium botulinum*. Además, la supresión de los organismos de descomposición aeróbicos puede crear condiciones favorables para el crecimiento de bacterias anaeróbicas facultativas tales como *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas* y *Escherichia coli*

Mientras que la presencia de CO₂ en los productos inhibe el crecimiento de algunos organismos de deterioro Gram negativas, las bacterias de deterioro del ácido láctico se ven menos afectadas por los niveles elevados de CO₂ y crecen bien. Con base en esta información, la atmósfera que se crea alrededor de los alimentos musculares puede favorecer selectivamente el crecimiento de anaerobios (Jay *et al.*, 2005).

Conclusiones

El valor de pH en la carne de pollo presentó cambios significativos ($P < 0.05$) al adicionar el lactato de sodio al 2%.

La aplicación de lactato de sodio sobre la actividad de agua (a_w) en la pechuga de pollo, presentó cambios significativos ($P < 0.05$) con respecto a las muestras control.

Los resultados de este estudio muestran que la adición de lactato de sodio al 2% en pechuga de pollo envasada al vacío y refrigerada mejoró la calidad microbiológica, en comparación con la pechuga que no fue adicionada con lactato de sodio y solo fue envasada y refrigerada (4°C). Este efecto se acentúa conforme transcurre mayor tiempo en refrigeración, ya que al aplicar la combinación de las tres barreras lactato de sodio al 2%, envasado al vacío y refrigeración (4°C) se inhibieron completamente los microorganismos Gram negativos presentes en la materia prima cárnica.

Aunque se detectaron diferencias de color entre las muestras tratadas con lactato de sodio al 2%, las cuales mostraron mayor luminosidad y menos amarillez que las muestras control, las observaciones en general no presentaron cambios significativos ($P > 0.05$), sin afectar desfavorablemente el color de la carne.

En consecuencia, el presente estudio demuestra que la adición de lactato de sodio al 2% a pechuga de pollo envasada al vacío y refrigerada es una estrategia de intervención viable para la industria cárnica, como una medida para mejorar su seguridad, sin impacto negativo sobre las propiedades sensoriales de la carne fresca.

Referencias

- American Meat Science Association (AMSA). (2012, Diciembre). *Meat color measurement*. Retrieved from Meat science : http://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/Hot-Topics/2012_12_meat_clr_guide.pdf?sfvrsn=d818b8b3_0
- AOAC. (1981). *Official Methods of Analysis*. Obtenido de EOMA: <http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=18372>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.
- Badui, S. (2012). *Química de los alimentos*. México: Pearson educación.
- Bell, R. G. (2001). Meat packaging: Protection, preservation and presentation . *Meat science and applications*, 463-490.
- Borch, E., Kant-Muermans, M.-L., & Blixt, Y. (1996). Bacterial spoilage of meat and cured meat products. *International Journal of Food Microbiology*, 33, 103-120.
- Brewer, M., Mickleth, F., & Sprouls, G. (1993). Sodium lactate effects on microbial, sensory, and physical characteristics of vacuum-package pork sausage. *Muscle foods*, 4, 179-192.
- Castello, J., Cedó, R., Cepero, R., García, E., Pontes, M., & Vasquerizo, J. (2002). *Producción de Carne de Pollo*. España: Real Escuela de Avicultura.
- Cherrington, A., Hinton, M., & Chopra, I. (1990). Effect of short-chain organic acids on macromolecular synthesis in *Escherichia coli*. *The Journal of Applied Microbiology*, 68, 69–74.
- Chouliara, I., & Kontominas, M. (2006). Combined effect of thyme essential oil and modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh chicken meat. *Progress in medicinal plants*, 423-442.
- Doores, S. (2005). Organic acids. *Antimicrobials in food*, 91-142.

- Dossat, R. (1990). *Principios de refrigeración* (9a edición ed.). Mexico: Editorial Continental.
- Eklund, T. (1983). The antimicrobial effect of dissociated and undissociated sorbic acid at different pH levels. *The Journal of Applied Bacteriology*, 54, 383–389.
- FAO. (2007). *Meat processing technology for small- to medium-scale producers*. Retrieved from FAO: <http://www.fao.org/3/a-ai407e.pdf>
- Freese, E. (1978). Mechanism of growth inhibition by lipophilic acid. *The pharmacological effect of lipids*, 123-131.
- Gould, G. (1989). *Mechanisms of action of food preservation procedures*. London: United Kingdom.
- Guo, W. (2017). *New aspects of meat quality*. EUA: Woodhead Publishing.
- Hernández, M. (2016). *Microbiología de los alimentos*. México: Panamericana.
- Hinton, M., & Corry, J. (1999). The decontamination of carcass meat. *Poultry meat science*, 285-296.
- Jay, J., Loessner, M., & Golden, D. (2005). *Microbiología moderna de los alimentos* (Quinta ed.). España: Acribia.
- Keeton, J., Ellerbeck, M., & Núñez de González, M. (2014). Chemical and physical characteristics of meat. In *Encyclopedia of science* (pp. 235-243). USA: Elsevier.
- Kropf, D. H. (2004). Vacuum. *Encyclopedia of meat sciences*, 955-962.
- Lamkey, J., Leak, F., Tuley, W., Johnson, D., & West, R. (1991). Assessment of Sodium Lactate Addition to Fresh Pork Sausage. *Journal Food science*, 56, 200-223.
- Lawrie, R. (1977). *Ciencia de la carne*. Zaragoza, España.: Editorial Acribia.
- Leistner, L., & Gorris, L. (1996). Food preservation by hurdle technology. *Trends in food science & Technology*, 41-46.

Manuales de Buenas Prácticas. (2014). Retrieved from Sagarpa: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/ManualesdeBuenasPracticas.aspx>

Mitchell, P., & Moyle, J. (1969). Estimation of membrane potential and pH difference across the cristae membrane of rat liver mitochondria. *European Journal of Biochemistry*, 7, 471–484.

Mountney, G., & Parkhurst, C. (2001). *Tecnología de productos avícolas*. Zaragoza (España): Acribia.

NMX-FF-080-SCFI-2006, Productos avícolas- Carne de pollo de engorda en canal y en piezas- Clasificación (Comecarne.org).

NOM-092-SSA1-1994 , Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM-110-SSA1-1994, Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.

NOM-194-SSA1-2004, Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos..

NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios. Métodos de pruebas microbiológicas. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos.

NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

OCDE-FAO. (2016). *Perspectivas Agrícolas* . Retrieved from Avicultura carne 2016: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200631/Panorama_Agroalimentario_Avicultura_Carne_2016.pdf

- Papadopoulos, L., Miller, R., Acuff, G., Lucia, L., Vanderzant, C., & Cross, H. (1991). Consumer and trained sensory comparisons of cooked beef top rounds treated with sodium lactate. *Journal of Food Science*, 56, 1141–1146.
- Ponce, A., & Taylor, A. (2000). Extraction and ESI-CID-MS/MS analysis of myoglobins from different meat species. *Food Chemistry*, 56, 521-548.
- Primo, E. (1998). *Química de los alimentos*. Madrid: Síntesis, S.A.
- Sagarpa. (2018, Marzo 07). *Produccion pecuaria*. Retrieved from Sagarpa: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp
- Sañudo, A., & González, C. (2008). *Aspectos estratégicos para obtener carne ovina de calidad en el Cono Sur americano*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Sensing, K. (2007). Precise color communication. *Color control from perception to instrumentation*.
- Sentandreu, M., Coulis, G., & Ouali, A. (2002). Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in food science and technology*, 13(12), 400-421.
- Shelef, L. (1994). Antimicrobial effects of lactates. *Journal of food protection*, 57, 445-450.
- Sofos, J. (2014). Safety of food and beverages: Meat and meat products. In *Encyclopedia of food safety* (pp. 268-279). USA: Elsevier.
- Stephens, C. (2004). Poultry packaging. *Poultry Meat Processing and Quality*, 135-163.
- Tang, J., Faustman, C., & Hoagland, T. (2004). Equations for Spectrophotometric Determination of Myoglobin Redox Forms in Aqueous Meat Extracts. *Journal of Food Science*, C717–C720.
- Taylor, M. (2012). Alternatives to traditional antimicrobials for organically processed meat and poultry. *Organic meat production and processing*, 211-237.

Tolandrá, F. (2015). Handbook of Fermented Meat and Poultry. *John Wiley & Sons*, 49-53.

Union nacional de avicultores. (2018). *Indicadores economicos*. Retrieved from Union nacional de avicultores: <http://www.una.org.mx/>

Wang, F. (2000). Effects of three preservatives on the shelf life of vacuum packaged Chinese-style sausage stored at 20C. *Meat science*, 56, 67-71.

Warris, P. (2003). *Ciencia de la carne*. Zaragoza (España): Ed Acribia S.A.

Yost, C. (2014). Biopreservation. *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*, 76-82.