



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN UV-C Y NANOPARTÍCULAS  
DE CAPSAICINA SOBRE LA CONSERVACIÓN DE PECHUGA  
DE POLLO ENVASADA A VACÍO REFRIGERADA

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**

**CARDONA SÁNCHEZ ALEJANDRA ISABEL THALÍA**

**ASESORES:**

**DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA  
I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

**DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

UN.A.M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN  
**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**



**ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO**  
**Jefa del Departamento de Titulación  
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 y examen profesional.**

**Efecto de la irradiación UV-C y nanopartículas de capsaicina sobre la conservación de pechuga de pollo envasada a vacío refrigerada.**

Que presenta la pasante: **Alejandra Isabel Thalía Cardona Sánchez**  
Con número de cuenta: **416120804** para obtener el título de: **Ingeniera 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 23 de marzo de 2022.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
<b>VOCAL</b>	Dra. María de la Luz Zambrano Zaragoza	
<b>SECRETARIO</b>	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M. en C. Guadalupe Aura Alvarado Camacho	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Dr. Ricardo Moisés González Reza	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

MCVB/mcvb\*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **El presente proyecto fue financiado por:**

- Al proyecto PAPIIT IN 222520 “Manufactura, evaluación, caracterización y uso de sistemas nanoestructurados en el incremento de vida útil de alimentos” DGAPA-UNAM.
- Al Programa interno de Cátedras de Investigación CI2233 “Extracción, caracterización y manufactura de sistemas nanoestructurados naturales como coadyuvantes en el proceso con tecnologías emergentes para la conservación de alimentos”.
- Alejandra Isabel Thalía Cardona Sánchez, agradece el apoyo técnico para la realización del acondicionamiento y envasado a la Dra. María de los Ángeles Cornejo Villegas del Laboratorio 16: Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes en Alimentos-UIM FES-Cuautitlán.

### **Lugar de realización de la tesis:**

- Laboratorio de Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes en Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM.

A mi madre MARTHA SÁNCHEZ VARELA, gracias por todo, se que las palabras no bastarán para agradecer lo fuerte que has sido, gracias por impulsarme a superarme y ser mejor cada día, espero hacerte sentir siempre orgullosa de mis logros porque eres parte de ellos.

A mis hermanas LESLI CARDONA y NANCY CARDONA, y a mi hermano MIGUEL CARDONA gracias por todos los momentos que hemos pasado, por sus consejos, risas y todas las veces que me acompañaron en mis desvelos durante este largo camino.

A quien fue como un padre para mi ALFONSO ALCIVIA, que siempre me apoyaste incondicionalmente, gracias por todos los consejos y regaños, espero me alcance la vida para regresarte un poco de lo mucho que me has dado.

A mis tíos OLGA SÁNCHEZ VARELA y GERARDO GARCÍA por todo el apoyo, motivación, consejos y experiencias que me han transmitido, han formado una gran parte de mi y siempre estaré agradecida de tenerlos en mi vida.

A RICARDO DÍAZ por acompañarme siempre en los momentos buenos y malos, por enseñarme a ser una mejor persona y siempre superarme, por todo el amor que me has brindado, agradezco a la vida por ponerte en mi camino y permanecer en mi vida.

A MARIANA ZAPIÉN, gracias por todos los momentos que compartimos, los desvelos, los consejos y las risas, espero tener la fortuna de tenerte siempre en mi vida.

A la Dra. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO, gracias por darme la oportunidad de realizar este gran proyecto, por todo lo que me ha enseñado, por sus consejos, por su tiempo, por su bondad, y por siempre orientarme cuando lo necesité.

A mis sinodales M. en C. TAIS NOPAL GUERRERO, Dra. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO, I.A. MIRIAM ALVAREZ VELASCO, M. en C. GUADALUPE AURA ALVARADO CAMACHO y al Dr. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA, por su apoyo, asesoría y consejos, gracias por ser parte de esta etapa tan importante para mí.

A mis profesores ALFREDO ALVAREZ CÁRDENAS, MARÍA GUADALUPE LOPEZ FRANCO, FRANCISCO JAVIER LÓPEZ MARTÍNEZ gracias por todas las enseñanzas, los consejos y experiencias que me compartieron durante mi formación profesional.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO y a la FES CUAUTITLÁN, por permitirme formar parte de esta gran familia, por todas las enseñanzas, la experiencia y la formación que obtuve para convertirme en un profesionista, siempre pondré en alto el nombre de nuestra máxima casa de estudios, orgullosamente UNAM.

# ÍNDICE

Página

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

1.1 Carne de pollo	1
1.1.1. Composición química del pollo	3
1.1.2. Parámetros de calidad del pollo fresco	4
1.1.3. Métodos de conservación aplicados en pollo fresco	6
1.1.3.1. Microorganismos presentes durante el almacenamiento	11
1.1.3.2. Bacterias alterantes presentes en pollo fresco responsables del deterioro	12
1.1.3.3. Bacterias patógenas presentes en pollo fresco	13
1.1.4. Almacenamiento por refrigeración en pechuga de pollo fresca	14
1.2. Tecnologías emergentes de conservación de alimentos	15
1.2.1. Irradiación con luz ultravioleta	16
1.2.2. Aplicaciones de luz UV-C en alimentos	18
1.2.3. Irradiación con luz ultravioleta en carne de pollo	20
1.3. Nanotecnología en alimentos	22
1.3.1. Nanoencapsulación	25
1.3.1.1. Capsaicina	26
1.4. Envasado a vacío	28

## **CAPITULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

2.1. Problema	30
2.2. Objetivos	32
2.2.1. Objetivo General	32
2.2.2. Objetivos Particulares	32
2.3. Cuadro metodológico	33
2.4 Actividades Preliminares	34
2.4.1. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta	34
2.4.2. Acondicionamiento de la cámara de refrigeración	35
2.4.3. Criterios de selección de la materia prima	35
2.4.4. Preparación de las muestras y tratamientos	36
2.5. Diseño Experimental	36
2.5.1. Variables	36
2.5.2. Justificación de variables	37

2.5.3. Análisis estadístico	37
2.6. Métodos y técnicas de control	38
2.6.1. Medición de temperatura en la cámara de refrigeración	38
2.6.2. Evaluación de color	38
2.6.3. Líquido drenado	39
2.6.4. Capacidad de Retención de Agua (CRA)	40
2.6.5. Resistencia al corte	41
2.6.6. Determinación de pH	42
2.6.7. Determinación de conductividad eléctrica	42
2.6.8. Determinación de ácido láctico	43
2.6.9. Pérdida de peso por cocción	43

### **CAPITULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

3.1 Medición y control de temperatura en la cámara de refrigeración	45
3.2. Resultados experimentales de parámetros de calidad físicos, fisicoquímicos y texturales	47
3.2.1. Evaluación del color	47
3.2.1.1. Luminosidad	48
3.2.1.2. Angulo de tono (°Hue)	51
3.2.1.3. Cromaticidad	54
3.2.2. Evaluación de pérdida de peso	56
3.2.2.1. Determinación de líquido drenado	56
3.2.2.2. Pérdida de peso por cocción	58
3.2.3. Resistencia al corte	60
3.2.4. Capacidad de Retención de Agua (CRA)	62
3.2.5. Determinación de conductividad eléctrica	65
3.2.6. Determinación de pH	67
3.2.7. Determinación de ácido Láctico	70

CONCLUSIONES	74
--------------	----

REFERENCIAS	76
-------------	----

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>1.</b>	Distribución de diversos tejidos en carne de pollo	2
<b>2.</b>	Composición nutrimental de carnes para el consumo humano	3
<b>3.</b>	Parámetros de calidad de la carne de pollo	5
<b>4.</b>	Nuevas tecnologías de conservación y grado de desarrollo	7
<b>5.</b>	Principales microorganismos patógenos y reacciones al consumidor asociados a la carne de pollo	13
<b>6.</b>	Control de temperatura en cámara de refrigeración	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1.	Pechuga de pollo	2
2.	Espectro de radiación electromagnética con una división del espectro de luz visible y UV-C en los tres diferentes tipos	17
3.	Nucleación, crecimiento y agregación durante la formación de nanopartículas	26
4.	Esquema de distribución de muestras en cámaras de luz ultravioleta	34
5.	Esquema de colocación de las muestras en la cámara de refrigeración	35
6.	Escala del ángulo de color (Konica Minolta Sensing Americas)	39
7.	Prueba de medición de líquido drenado	40
8.	Prueba de capacidad de retención de agua en fajitas de pollo	41
9.	Prueba de resistencia al corte en fajitas de pollo	42
10.	Prueba de pérdida de peso por cocción	44
11.	Cambios de luminosidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	50
12.	Escala de ángulo de color en fajitas de pollo refrigeradas	51
13.	Cambios del ángulo de tonalidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	53
14.	Cambios de cromaticidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	55
15.	Cambios de líquido drenado por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	57
16.	Cambios de pérdida de peso por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	59
17.	Cambios de resistencia al corte por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	61
18.	Cambios de capacidad de retención de agua por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	64
19.	Cambios de conductividad eléctrica por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	66
20.	Cambios de pH por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	68
21.	Cambios de ácido láctico por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C	72



## RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de tratamientos de nanopartículas (NPS) de capsaicina y/o luz ultravioleta (UV-C) con o sin envasado a vacío sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas y texturales de fajitas de pollo almacenadas a 0 °C por 21 días. Se evaluaron los cambios de color, capacidad de retención de agua, líquido drenado, resistencia al corte, porcentaje de ácido láctico, pH, conductividad eléctrica y pérdida de peso por cocción, con la finalidad conocer el comportamiento de diferentes variables se prepararon 8 lotes de fajitas: 1) NPS/UV-C/Vacío, 2) NPS/UV-C, 3) NPS/Vacío, 4) UV-C/Vacío, 5) NPS, 6) UV-C, 7) Vacío, 8) Control. Previo al tratamiento correspondiente se realizó una desinfección química empleando 3.5% de solución de plata coloidal para eliminar la carga microbiana superficial.

Los resultados obtenidos mostraron que los tratamientos que incluían nanopartículas de capsaicina tuvieron un menor pH entre 5.8 y 6.2, permaneciendo casi constantes durante su total almacenamiento, esto es atribuido al ácido tánico empleado como agente de entrecruzamiento, a su vez el empleo de nanopartículas mostró mayor liberación de líquido, debido al proceso de inmersión empleado. Sin embargo, los tratamientos estudiados no mostraron diferencia estadísticamente significativa en cuanto a los cambios de color. La firmeza fue mayor en los lotes donde se realizó la mínima manipulación en sus procesos, es decir, irradiación UV-C y vacío, implicando un menor desarrollo de terneza en la carne. La aplicación de nanopartículas de capsaicina en conjunto con vacío y luz ultravioleta alargaron la vida útil en las fajitas de pechuga de pollo refrigeradas considerablemente hasta 21 días, ayudando a aumentar la capacidad de retención de agua al igual que la resistencia al corte, manteniendo una alta conductividad eléctrica.

La combinación de tratamientos UV-C, nanopartículas y vacío lograron alargar el tiempo de vida útil del producto, sin evidencia aparente de descomposición microbiana. Las muestras control iniciaron el desarrollo de componentes indeseables a partir de los 9 días con desarrollo de olores indeseables detectables a los 11 días.

## INTRODUCCIÓN

La carne de pollo es susceptible fácilmente a cambios en sus propiedades físicas, fisicoquímicas, y organolépticas, disminuyendo su calidad al degradar y ablandar los tejidos, al proliferar bacterias patógenas, coloración verdosa y generación de malos olores reduciendo el tiempo de vida útil del producto en estado fresco, algunos de los microorganismos que influyen en la calidad de este producto como son *Pseudomonas spp.*, *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas putrefaciens* y *Candida zeylanoides* o microorganismos patógenos que disminuyen la inocuidad del mismo como son *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.*

La conservación de pollo fresco es un reto, la carga microbiana inicial, la agregada durante el proceso de matanza (plumas y materia fecal), el alto porcentaje de agua y proteínas que favorece los procesos de putrefacción, además de la ausencia de envolturas protectoras y la eficiencia del tipo de proceso que se le aplicó, generan afectaciones en su calidad y por lo tanto afectando directamente su conservación (Gómez, 2013).

Otro factor de gran impacto es la composición química de la carne de pollo fresca, que permite el desarrollo de microorganismos deteriorantes y patógenos, causando deterioro de la carne aún a temperaturas de refrigeración, disminuyendo su vida de anaquel, daños severos a la salud del consumidor debido a Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETAS), o alteraciones visuales debido a la oxidación de lípidos que desencadenan sabor y coloración anormal, además de malos olores (Catañeda, et. al., 2013)

Se han identificado serios problemas relacionados con las formas de conservación de los alimentos frescos (Aziz & Karboune, 2018). En este sentido y con la finalidad de disminuir a medida de lo posible el deterioro del producto se han desarrollado procedimientos de desinfección y tratamientos como agentes antimicrobianos y antioxidantes sintéticos, que junto con el uso de la refrigeración consigan aumentar la vida útil y garantizar la calidad sanitaria de la carne de pollo fresca (Grant & Parveen, 2017).

Los principales factores que influyen la vida útil de la carne almacenada bajo refrigeración son: la carga microbiana inicial, las condiciones de temperatura y humedad durante el almacenamiento, la presencia o ausencia de un envase primario, la especie animal y el tipo de producto que se almacene. Las medidas de conservación han de aplicarse justo tras la matanza del animal del cual proviene, con el objetivo de retrasar o prevenir los cambios que la hacen adecuada para el consumo o degradan alguna característica de calidad (Escalante et al., 2008).

La calidad de la carne de pollo depende de numerosos factores entre los que se incluyen el origen, alimentación, clima, temperatura, entre otros., lo que da lugar a un producto con un alto valor proteico que contiene ácidos grasos insaturados, vitaminas, colesterol y otros compuestos activos que tienen influencia en el color, aroma y sabor de la carne (Sokolowicz et al., 2016).

El manejo durante la matanza y los microorganismos presentes en la carcasa al momento del despiece hacen que exista una fácil contaminación del pollo durante las operaciones previas al almacenamiento refrigerado de productos frescos, como pueden ser plumas, heces fecales, tierra, entre otros contaminantes, por lo tanto, es necesario emplear métodos químicos y físicos para disminuir la carga microbiana superficial, entre los métodos físicos se encuentra la irradiación UV-C que muestra ventajas sobre otros métodos de sanitización, ya que, no requiere calentamiento y es de bajo costo la UV-C tiene longitudes de onda de entre 220-300 nm con 90 % de emisión a 254 nm y se encuentra aprobada por la FDA para ser empleada en el control de microorganismos en la superficie de alimentos (Chun et al., 2010).

En relación con el incremento de la vida útil de los alimentos se han buscado alternativas naturales que sustituyan a los conservadores sintéticos, la mayor parte de estos son extractos de plantas naturales o purificados que incluyen aceites esenciales o compuestos puros que han sido utilizados por nuestros antepasados, siendo de interés actual en el procesamiento de alimentos (Bouarab et al. 2019). Los aceites esenciales y extractos tienen características que limitan su uso debido a la presencia de compuestos volátiles y a su vez a las características de los compuestos fenólicos presentes (Valdivieso et al. 2019).

La capsaicina es responsable de la pungencia de diferentes variedades de chiles, está constituido por compuestos fenólicos derivados de la quercetina, luteína y capsaicinoides

(vanilamina ligada a cadenas de ácidos grasos). Hoy en día este compuesto es empleado como aditivo natural en alimentos debido a que se ha mostrado capacidad antimicrobiana contra bacterias Gram (+) y Gram (-) (Salehi et al. 2018) por lo que representa una buena alternativa para su uso en la conservación de pechuga de pollo, sin embargo, para que estos compuestos sean efectivos durante el periodo de almacenamiento, es necesario contar con un sistema de protección en micro o nanopartículas que además, permitan una liberación controlada.

Las nanopartículas son sistemas con tallas de entre 10 a 1000 nm, preferentemente menores a 500 nm con la única condición de que cuenten con propiedades distintas a aquellas de mayor tamaño y que debido a su área superficial puedan tener una mayor actividad y contacto con la superficie de los alimentos, distribución homogénea y mayor estabilidad (Zambrano-Zaragoza et al. 2018). Las nanopartículas poliméricas se forman empleando polímeros naturales y/o sintéticos biodegradables los que tienen diferente capacidad de liberación, respuesta al pH, concentración de iones, etc., que permiten que estos sean empleados en la conservación de alimentos refrigerados (King et al., 2018).

La nanotecnología ha generado gran impacto en la industria alimentaria, ha emergido como un avance tecnológico en el desarrollo y transformación del sector agroalimentario. Por medio de ésta, se ha logrado potencializar la producción de alimentos, aumentar su seguridad y prolongar el tiempo de conservación, además de tener grandes con propiedades funcionales y de gran valor nutricional, mejorando su calidad y permitiendo la manipulación de sustancias, como la encapsulación de compuestos de interés y el enmascaramiento de sabores (Rubenick et al., 2017)

La grenetina es una proteína que atrae al investigador para la preparación de nanopartículas (NP) debido a su naturaleza anfifílica y a la disponibilidad del grupo funcional de superficie, a mejorar su alta afinidad de unión hacia otras moléculas que permiten la unión de activos y medicamentos, tienen muchas ventajas como biocompatibilidad, biodegradabilidad en ambiente fisiológico, alta capacidad de carga, simplicidad de fabricación y entorno proteico circundante, sobre polímeros sintéticos. Además de que la FDA clasificó la gelatina en "Generalmente reconocida como segura" (GRAS). Los polipéptidos que contienen residuos de aminoácidos varían de cientos a pocos miles (300-4000). Tiene residuos cargados tanto

positivos como negativos, así como grupos hidrofóbicos que impulsan este polipéptido especialmente para aplicaciones biomédicas y alimenticias (Sharma, et. al., 2016).

Otra de las tecnologías recientemente emergentes para garantizar la seguridad microbiológica de los productos avícolas es la irradiación, esta tecnología fue aprobada por la FAO y la OMS en 1981. También se ha estudiado el efecto de la irradiación sobre la calidad de la carne, la cual es una técnica muy eficaz para la destrucción de parásitos y microorganismos, esto se debe al daño de componentes celulares como ADN, pigmentos, ácidos grasos y lípidos de membrana causados por los radicales libres, además de causar cambios en la calidad de la carne tales como el olor, color, oxidación de lípidos y también cambios en el valor nutricional de los alimentos como se conocen algunas vitaminas, como las del grupo B al ser sensible a este tratamiento (Silva et al., 2018).

El desarrollo de las películas flexibles y el envasado a vacío para conservar productos cárnicos, constituye uno de los mayores logros de la tecnología de los alimentos del siglo pasado. El envasado a vacío es la principal herramienta utilizada hoy para envasar productos de este tipo, tanto a nivel consumidor como para el distribuidor (Escalante et al., 2008).

La refrigeración se refiere al uso de temperaturas comprendidas entre 0 y 4 °C. La carne también se conserva mediante congelación con temperaturas menores a los 0 °C, otros métodos mayormente utilizados para su conservación además de los tratamientos térmicos, es la utilización de agentes químicos, irradiación, deshidratación, entre otros. El efecto conservador de cada uno de los métodos mencionados se debe a que retrasan o inhiben totalmente la actividad microbiana, así como las reacciones enzimáticas, químicas y físicas que, en otro caso, darían lugar a cambios deteriorativos, e incluso a la alteración total del producto (Escalante et al., 2008).

# **CAPITULO I.**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. Carne de Pollo**

El *Codex Alimentarius* define la carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin”.

La NMX-FF-128-SCFI-2016 Productos avícolas – carne de pollo de engorda en canal y en piezas – clasificación define a la carne de pollo como “El ave de género y especie *Gallus gallus*, seleccionada genéticamente y sometida a un régimen de manejo, sacrificado, desangrado y desplumado al cual se le ha quitado la cabeza, el pescuezo, el buche, las patas y las vísceras abdominales y torácicas, a excepción de los riñones, que permite obtener una conversión alimento/peso para su procesamiento”. El pollo fresco es el que ha sido procesado y mantenido a una temperatura entre 0°C y 4°C y una humedad relativa de 75 % durante 1 a 3 días posteriores a su sacrificio. La pechuga es la región de la canal formada por los músculos pectorales alojados sobre el esternón.

La carne de aves de corral, además de ser rica en proteínas, es una buena fuente de fósforo y otros minerales, así como de vitaminas del grupo B. Contiene menos grasa que la mayoría de los cortes de carne de bovino y cerdo. Tiene un bajo contenido de grasas trans nocivas, pero un alto contenido de grasas monoinsaturadas benéficas para la salud, que representan aproximadamente la mitad del total (FAO, 2014). La carne de aves está compuesta, en forma natural, de músculo, tejido conectivo, grasas y huesos. El músculo es aproximadamente un 75 % agua (aunque diferentes cortes podrían contener mayor o menor cantidad de agua) y un 20 % proteína, con un restante de 5 % de una combinación de grasa, carbohidratos y minerales.



*Figura 1. Pechuga de pollo (Montero, 2018)*

La pechuga de pollo (Figura 1) representa los músculos pectorales del ave, generalmente se describe un músculo pectoral superficial y un músculo pectoral profundo, también referidos como músculo pectoral torácico y supracoracoideo, respectivamente. El pectoral superficial se origina en la mayor parte de la superficie de la quilla esternal, clavícula y membrana esternocoraco clavicular y se inserta en el húmero, en su extremo proximal (cresta pectoral). Actúa como músculo depresor del ala durante el vuelo. El músculo pectoral profundo se origina en parte de la quilla esternal cubierto por el anterior; desarrolla un tendón que pasa a través del canal trióseo para insertarse en la superficie dorsal del extremo proximal del húmero (Gómez y Gómez, 2013).

Tabla 1. Distribución de diversos tejidos en carne de pollo (Rodríguez, 2011)

<i>TEJIDO Corte</i>	<i>Proporción respecto a la canal (%)</i>	<i>Proporción respecto a cada tejido (%)</i>
<i>MUSCULAR</i>	61.9	
<i>Pechuga</i>		22.7
<i>Muslo</i>		15.2
<i>Pierna</i>		10.6
<i>Miembro superior</i>		5.0
<i>Otros</i>		8.4
<i>ADIPOSO</i>	21.7	
<i>Abdominal (removible)</i>		6.20
<i>Piel y grasa subcutánea (removible)</i>		9.30
<i>Grasa Intermuscular</i>		6.20
<i>ÓSEO</i>	16.4	16.40
<i>TOTAL</i>	100.00	100.00

Como se puede observar en la Tabla 1 el tejido muscular que contiene el pollo corresponde a un 61.9%, que se compone principalmente de la pechuga con un porcentaje del 22.7% del total, que puede contener grasa, aunque en proporciones muy bajas, debido a que el tejido adiposo se encuentra principalmente en la piel del animal la cual puede ser removida del mismo, o la grasa intramuscular que contiene se encuentra en muy baja proporción.

La producción de carne de aves se ha incrementado considerablemente en el mundo, esto debido a que los países desarrollados y en vías de desarrollo están ahora enfocados a los aspectos nutrimentales de tal manera que la carne de aves es más saludable respecto a la carne de cerdo y res. Además, las aves no tienen restricciones religiosas de consumo, es relativamente fácil de cocinar y tiene un sabor agradable con lo que se justifica la expansión en su consumo. Las perspectivas para el año 2020 sugieren que la producción mundial de aves será de 122.5 millones de toneladas métricas, lo que hace necesario la búsqueda de nuevas y novedosas alternativas para su conservación (Petracci et al., 2014)

### 1.1.1. Composición química del pollo

La pechuga de pollo es considerada la parte de la carne de ave de más alta calidad en los aspectos nutricionales, tienen baja proporción de calorías a la dieta, bajo contenido de colesterol y alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Petracci et al. 2014).

En la Tabla 2, observamos que la carne se compone en gran porcentaje de agua, proteínas y grasas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de vitaminas, minerales y carbohidratos.

Tabla 2. Composición nutricional de carnes para el consumo humano (aporte por 100 g de porción comestible) (Rodríguez, 2011).

	<b>Energía (Kcal)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Grasa total (%)</b>	<b>Ác. grasos saturados (%)</b>	<b>Ác. grasos monoinsaturados (%)</b>	<b>Colesterol (mg)</b>	<b>Agua (%)</b>
<b>Pollo entero</b>	166.0	19.9	6.0	2.6	3.2	76.0	70.5
<b>Pechuga de pollo</b>	145.0	22.2	5.5	1.9	1.9	62.0	71.6



La carne de pollo contiene una alta cantidad de vitaminas del complejo B12 que es vital para la síntesis de ácidos nucleicos, la mayor parte de grasa es insaturada y no eleva los niveles sanguíneos de colesterol. La pechuga de pollo sin piel tiene aproximadamente 5% de grasa y es recomendada a personas en dietas que requieren bajas calorías y colesterol.

El porcentaje de agua que contiene en forma natural varía según el tipo de carne, músculo, época del año y pH. La grasa en las carnes se encuentra tanto entre los músculos, como también dentro de los músculos, en ambos lugares, la grasa contribuye al sabor completo y a su jugosidad (USDA, 2007).

### **1.1.2. Parámetros de calidad del pollo fresco**

Los consumidores demandan alimentos de alta calidad, que cumplan con estándares necesarios para asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos, al igual de que sean saludables. Es de gran importancia para las industrias avícolas la consideración de la conformación general de la canal, sin deformaciones, uniformidad en el color, libre de hematomas, sin manchas ni plumaje, los cuales dependen de diversos factores que pueden ser extrínsecos e intrínsecos ofreciendo una ventaja o desventaja en el mercado, puesto que estos parámetros no son del mismo valor para todos los consumidores, pero son necesarios para su evaluación y aceptación o rechazo.

La calidad de la carne de pollo es la suma de los parámetros del producto alimenticio y la aceptabilidad o preferencia por el consumidor, ya que se evalúa desde diferentes puntos, desde una perspectiva del consumidor y mercadeo, clasificación adecuada de la canal, parámetros nutricionales, fisicoquímicos y sensoriales. En este alimento se evalúan diversos aspectos que definen la calidad del mismo, normalmente es evaluado con base en el color, la terneza o firmeza y la jugosidad. Los cuales, además, están directamente relacionados con las propiedades fisicoquímicas de la carne de pollo, tales como el pH y la actividad de agua, dando como consecuencia el nivel de satisfacción del consumidor que lo asocia con la salud, inocuidad y frescura del alimento (Milicevic et al., 2015).

Según la Norma Mexicana NMX-FF-128-SCFI-2016 Productos avícolas carne de pollo de engorda en canal y en piezas, la pechuga de pollo debe estar totalmente cubierta por la piel y

no presentará daño o lesión evidente a la inspección. La unión de la pechuga con la espalda debe ser ancha y las masas musculares deben cubrir totalmente el esternón, tanto en la parte superior, como en la inferior en los límites con el abdomen. Las zonas cartilagosas son visibles a través de la piel que recubre la pechuga, y estarán prácticamente cubiertas por los músculos pectorales, donde igualmente permite dos colores de pollo, el blanco y el amarillo (pintado o pigmentado).

La carne cruda de aves puede variar de blanco-azulado a amarillo. Todos estos colores son normales y están directamente relacionados a la especie, al ejercicio, edad y/o a la dieta. Las aves más jóvenes tienen menos grasa debajo de la piel, lo cual puede resultar en un azul, y una piel amarilla puede ser el resultado de la alimentación (USDA, 2007).

Tabla 3. Parámetros de calidad de la carne de pollo (Gómez, Gómez, & Martínez, 2016)

	<b>Aceptable</b>	<b>No aceptable</b>
<b>Apariencia</b>		
<b>Color de la carne</b>	Blanco-amarillo	Azul-grisáceo
<b>Grasa de la carne</b>	Amarillo	Verde-Gris
<b>Textura</b>	Firme	Suave, blanda y seca
<b>Goteo</b>	Ninguno	Cualquier exudado
<b>Palatabilidad</b>		
<b>Textura</b>	Suave	Blanda, dura
<b>Sabor</b>	Característico	Rancio
<b>Jugosidad</b>	Apreciable	Sabor ácido

En la Tabla 3 podemos observar los parámetros de calidad considerados en el mercado, donde es rechazado aquel que tenga condiciones de goteo, coloración verdosa o grisácea, con textura blanda o muy dura, además de un sabor rancio y ácido.

La pechuga de pollo debe ser un producto libre de residuos químicos, materia fecal, plumas o traumatismos tales como hematomas, manchas y úlceras; sin residuos de huesos ni

quemaduras por el frío, naturalmente de color rosa pálido o amarillo debido a la alimentación del animal, textura firme y olor característico a pollo fresco (Avícola El Madroño S.A., 2015).

El producto debe presentar un olor característico que no evidencie la presencia de productos químicos, medicamentos, detergentes, rancidez o descomposición; debe tener color uniforme libre de manchas y de consistencia firme al tacto. (Gómez et al., 2016).

La eficiencia en el transporte de aves de corral y productos avícolas es esencial, ya que un transporte deficiente, donde el animal fue sometido a demasiado estrés por falta de espacio o constantes golpeteos, puede provocar una pérdida significativa de calidad y producción y/o perjudicar gravemente la salud y el bienestar de las aves, generando carnes exudadas y blandas, lo que las hace poco resistentes al ataque de microorganismos

Los grandes o medianos productores avícolas generalmente están situados cerca de establecimientos de elaboración o de mercados y contratan a transportistas o poseen sus propios medios para el transporte de las aves vivas.

### **1.1.3. Métodos de conservación aplicados en pollo fresco**

Los requerimientos del consumidor han cambiado durante los últimos años, demandando productos que sean más saludables, más nutritivos, más fáciles de preparar, más frescos y con menos aditivos, pero que a su vez sean lo suficientemente seguros desde el punto de vista higiénico y sanitario. Estas demandas han llevado a la industria cárnica a desarrollar nuevas tecnologías de procesado y conservación que poco a poco están entrando en el mercado. El grado de desarrollo de estas nuevas tecnologías es variable, de forma que algunas de ellas están en período de experimentación, otras necesitan la aprobación legal, y algunas ya pueden ser implementadas por las industrias cárnicas (Moreno, 2005).

En los métodos de descontaminación para productos avícolas, debe evaluarse correctamente la descontaminación de aves de corral, teniendo en cuenta factores como la eficacia general, los niveles de contaminación microbiana, el potencial de introducir otros peligros para la seguridad alimentaria, la seguridad de los trabajadores, el impacto en el medio ambiente, los efectos sobre las propiedades sensoriales y la calidad del producto, la viabilidad y la

percepción del consumidor. La eficacia de un tratamiento particular debe demostrarse tanto en pruebas de laboratorio como en investigaciones en planta (Heinemann, 2009).

Tabla 4. Nuevas tecnologías de conservación y grado de desarrollo (Moreno, 2005)

Disponibilidad en la actualidad	Grado de desarrollo en industrias cárnicas		
	Bajo	Medio	Alto
Escala industrial (implementadas)	Ozono Luz Ultravioleta	Calentamiento óhmico Microondas	Altas presiones Irradiación Bioconservación
Escala de laboratorio (I+D)	Pulsos magnéticos Láser	Ultrasonidos Pulsos eléctricos	Enzimas

Las nuevas tecnologías de conservación pueden variar como observamos en la Tabla 4, donde depende el nivel de implementación y el requerimiento de descontaminación para el tiempo de vida útil que se tenga planeado, disminuyendo la carga microbiana desde la utilización de luz ultravioleta hasta bioconservación, irradiación y altas presiones. Los métodos de descontaminación para productos avícolas se pueden clasificar en dos grupos principales: métodos químicos y físicos (térmicos). La tecnología de barreras es conocida por la aplicación y combinación de dos o más de estos tratamientos de conservación, con la finalidad de producir un efecto sinérgico en las cargas microbianas y alargar el tiempo de vida útil sin el uso excesivo de tratamientos (Escobar A. et al, 2013).

- Método químico: Los métodos de tratamiento químico son efectivos para eliminar microorganismos patógenos en productos avícolas. Los ácidos y bases orgánicos / inorgánicos, y el cloro y compuestos relacionados son algunos agentes químicos populares utilizados en la descontaminación de aves de corral. El clorito de sodio acidificado (ASC), el fosfato trisódico (TSP), el cloro, el dióxido de cloruro, el ozono, los ácidos orgánicos y el agua oxidante electrolizada (EO) se encuentran entre varios métodos de tratamiento químico, que se han estudiado para la descontaminación de aves de corral. Los posibles problemas relacionados con los tratamientos químicos incluyen residuos tóxicos, alto costo o efectos nocivos sobre el producto.
- Método físico: Los métodos físicos para la descontaminación de la carne de aves puede ser térmico o no térmico. Las técnicas de descontaminación física tienen la ventaja de evitar los productos químicos y sus residuos.

- Métodos térmicos: Los métodos de descontaminación térmica pueden clasificarse como métodos basados en transferencia de calor desde o hacia el producto. Estos métodos incluyen enjuagar con agua caliente, vapor, enfriamiento y congelación, además de enfriamiento por aire y nitrógeno criogénico para eliminar los patógenos en las superficies de las aves de corral.
- Métodos no térmicos: Se han desarrollado diversas tecnologías no térmicas para la descontaminación de alimentos. El envasado al vacío / gas, la irradiación, el campo eléctrico pulsado de alta intensidad, el procesamiento a alta presión, la energía ultrasónica, la luz ultravioleta (UV) y la luz pulsada son algunas de las técnicas de descontaminación / preservación no térmicas (Heinemann, 2009).

Se recomienda que, al terminar la matanza, el desplume y el desangrado, se lleve a un lavado con agua fría (2°C) para retirar su calor y después almacenar a temperaturas de 4°C a 0°C en caso de refrigerarlo; adicionalmente el almacenamiento se complementa con otras técnicas de conservación, lográndose de esta manera aumentar la vida útil y garantizar la calidad sanitaria de la carne de pollo fresca, donde mediante congelación, que es un tratamiento térmico que genera un ambiente tan inhóspito que restringe o inhiben totalmente la actividad microbiana así como las reacciones enzimáticas, químicas y físicas que, en otro caso, darían lugar al deterioro, e incluso a la alteración total del aroma, coloración y sabor del alimento (Escalante et al., 2008).

El agua clorada es ampliamente utilizada para el lavado de canales, enfriado por inmersión o por aerosol, también se ha utilizado dióxido de cloro, cloruro de sodio, ozono, peróxido de hidrógeno, ácido láctico, clorito de sodio y menos frecuentemente: metasilicato de sodio, ácido cítrico mezclado con ácido clorhídrico y fosfato ácido fosfórico, monocloramias y soluciones de hipoclorito con pH controlado (Catañeda et al., 2013).

Si bien es eficaz en microorganismos la técnica de descontaminación, aunque puede llegar a tener un efecto negativo sobre la calidad de la comida. Los métodos para evaluar la calidad de la carne de aves de corral incluyen la medición de dureza (con un analizador de textura), parámetros sensoriales, pH, contenido de humedad y el grado de peroxidación lipídica (ácido tiobarbitúrico "TBA" valor y contenido de carbonilo). Sin embargo, la evaluación de

parámetros sensoriales como el sabor en la carne fresca de aves de corral es limitada debido a su crudeza (Heinemann, 2009).

Para prolongar la vida útil de la carne y para el almacenamiento de todos los productos cárnicos frescos y de la mayoría de los procesados, es imprescindible conservarlos adecuadamente. El método más común para prolongar la vida útil de la carne es la refrigeración aunque no el más eficiente (Escalante et al., 2008).

La congelación es un excelente método de conservación de la carne si este se aplica de manera correcta, evitando la formación de grandes cristales de hielo y por lo tanto el rompimiento de membranas; determinando muchos menos cambios perjudiciales en las propiedades cualitativas y organolépticas de la carne. Además, durante la congelación, así como durante el período de almacenamiento en estas condiciones, se conserva la mayor parte del valor nutritivo. Sólo puede haber pérdidas en el valor nutritivo si se realiza un método de descongelación inadecuado, que provoque una excesiva exudación. Cuando se emplean métodos de congelación y almacenamiento convenientes, son muy pocos los cambios que ocurren en el color, aroma, olor, o jugosidad de los productos cárnicos. Por lo tanto, las propiedades cualitativas de la carne de pollo congelada pueden ser muy similares a las de la carne fresca (Escalante et al., 2008).

El efecto de la irradiación sobre la calidad de la carne es una técnica muy eficaz para la destrucción de parásitos y microorganismos, aunque puede causar cambios en el sabor, aroma y color. La irradiación llevada a cabo en carne congelada, y envasada al vacío es esencialmente beneficioso para carnes de cerdo y cordero, que de otra manera pueden tener una vida útil demasiado corta cuando son transportadas (Farkas, 1998). Sin embargo, a pesar de la seguridad que parece generar el uso de las radiaciones ionizantes, en Europa aún existe un notable rechazo hacia su utilización en alimentos.

Cuando es utilizado el método de irradiación, pueden llegar haber cambios sensoriales en la carne, la aplicación en conjunto de otro método de conservación como es el uso de atmósferas modificadas con antioxidantes, ayudan a retrasar estas reacciones que generan malos sabores y olores (Erickson, 1998), aunque también podría potencializar el crecimiento de patógenos y sus toxinas (Lee et al., 1996).

El envasado es la principal herramienta comercial para alcanzar al consumidor desde la planta de producción. Un envasado protector y un buen sistema de transporte bajo las condiciones necesarias para un alimento perecedero como es la carne favorece el mantenimiento de la frescura del producto durante largos periodos de tiempo (Lundquist, 1994). El desarrollo de las películas flexibles y el envasado a vacío para conservar productos cárnicos constituye uno de los mayores logros de la tecnología de los alimentos del siglo pasado. El envasado a vacío es la principal herramienta utilizada hoy para envasar productos cárnicos, tanto a nivel consumidor como para el distribuidor.

El primer enfoque para el uso de antimicrobianos como iones metálicos, aceites esenciales y bactericidas, en la conservación de carne de aves de corral fue su adición directa al producto alimenticio, la adición directa de estos compuestos a las formulaciones de aves de corral, puede provocar una inactivación parcial del antimicrobiano por interacción con los componentes de la matriz alimentaria, limitando así sus efectos sobre la microbiota (Higueras et al., 2013). En estos sistemas de envasado, los agentes antimicrobianos pueden incorporarse directamente en el material de envasado, recubrirse sobre la superficie de la película de flexible o incorporarse directamente al interior del empaque o al alimento, especialmente refiriéndonos a la adición de aceites esenciales o incluso el uso de atmosferas modificadas (Silva et al., 2018).

La efectividad del tipo de envasado, materiales y los recubrimientos se basan en su capacidad de proporcionar una liberación controlada de sus agentes activos al producto alimenticio. La liberación del compuesto antimicrobiano es un paso crucial cuando se desarrolla un material o recubrimiento antimicrobiano para el envasado de alimentos, ya que la liberación de altas concentraciones del compuesto en el alimento podría causar alteraciones en las propiedades sensoriales de los alimentos o incluso problemas legales, como la concentración del compuesto puede exceder los límites definidos en algunos casos mientras que las bajas concentraciones no resultarían en la eficiencia antimicrobiana necesaria (Licciardello et al., 2013).

### 1.1.3.1. Microorganismos presentes durante el almacenamiento

La carne de pollo es una de las fuentes principales de bacterias patógenas: *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.*; así como deteriorantes: *Pseudomonas spp.*, *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas putrefaciens* y *Candida zeylanoides*, las cuales están presentes en la microflora intestinal del pollo. Esta microbiota en aves de corral dependen de la atmósfera de envasado, la temperatura de almacenamiento y también si el producto es cocido (por ejemplo, productos listos para el consumo) o crudo. En el caso de la carne de aves de corral envasada en condiciones aeróbicas, la microbiota de deterioro psicrotrófico incluye *Carnobacterium spp.* y otras bacterias psicrotróficas de ácido láctico, *Pseudomonas spp.*, *Aeromonas putrefaciens*, *Moraxella* y *Acinetobactergenus*, y *Brochothrix thermosphacta* (Silva et al., 2018)

Así mismo, este alimento se puede contaminar cuando se tiene un mal manejo y, una vez contaminado, aumenta el riesgo de causar alguna enfermedad al consumidor cuando no lo cocina a una temperatura y tiempo adecuados, la carne de pollo es muy propensa al desarrollo de microorganismos debido a su composición proteica, pH (entre 5.5 y 6.5) y actividad de agua (0.98–0.99), que, si llega a contaminarse, la disminución de su calidad y de su vida útil disminuye considerablemente (Chun et al., 2010), lo que conduce a una baja vida útil que oscila entre 4 y 10 días conservándose en refrigeración (Silva et al., 2018).

Debido a esta alta perecebilidad, la descontaminación microbiológica de los cadáveres de aves de corral y su impacto potencial en la salud pública. En un intento por controlar la contaminación microbiana de las aves de corral, las tecnologías de envasado han evolucionado más allá de los contenedores y envolturas convencionales para ser funcionalmente activas y ofrecer características adicionales que mejoran el producto empaquetado. Algunas de estas tecnologías incluyen el uso de envases de atmósfera modificada y películas de envases activos con propiedades antimicrobianas. Otras dos tecnologías emergentes son la alta presión hidrostática y la irradiación (Silva et al., 2018).

La vida útil comercial, o fecha de caducidad del producto, es una de las principales limitaciones que tienen los cárnicos de pollo, dado que es una consecuencia directa del crecimiento microbiano y/o la oxidación lipídica de las grasas.



Por tanto, la vida comercial o fecha de caducidad de un producto no será sino la combinación de:

- Las características del producto o matriz. Así como su pH final, actividad de agua (cantidad de agua disponible), composición cantidad y tipo de grasa y contenido proteico determinarán la velocidad del crecimiento microbiano y la oxidación lipídica.
- La carga microbiana inicial. Consecuencia de las Buenas Prácticas de Manufactura y procesado existentes en la industria.
- El sistema de conservación empleado: temperatura de almacenamiento, tipo de atmósfera utilizada en el embalaje aerobia o bien modificada y la utilización o no de conservadores (antioxidantes, antimicrobianos y antifúngicos) (Moreno, 2005).

#### **1.1.3.2. Bacterias alterantes presentes en pollo fresco responsables de deterioro**

Al ser organismos vivos, funcionan de manera similar a los organismos superiores, ya que digieren y asimilan los alimentos y excretan productos de desecho. Al igual que las formas de vida superiores, los microorganismos también deben luchar por la supervivencia. Algunos microorganismos son necesarios para realizar diversas funciones necesarias para mantener la vida (Bell & Weaver, 2002).

Las aves llegan al matadero con gran carga microbiana en su tracto digestivo, procedentes de las heces y del ambiente, en sus plumas, piel y patas. En las diferentes etapas del procesado, estos microorganismos se van a redistribuir, a la vez que se producirá una contaminación cruzada de un ave a otras, y a partir de las superficies, agua y personal. Ya en las explotaciones, las aves están muy contaminadas con distintos grupos microbianos, como consecuencia del acceso de roedores, aves silvestres e insectos, de la alimentación con piensos contaminados y, sobre todo, a la estrecha proximidad a que son sometidas en las modernas instalaciones de cría intensiva (Toro, 2011).

Entre los principales microorganismos deteriorantes del pollo fresco se encuentran *Pseudomonas spp.* (*P. fragi*, *P. lundensis* y *P. fluorescens*), *Shewanella putrefaciens*, *Brochothrix thermosphacta*, *Moraxella spp.*, *Acinetobacter genus*, *Aeromonas putrefaciens*, *Levaduras*, *Leuconostoc spp.*, *Lactobacilus spp.*, *Weissella spp.*, *Candida zeylanoides*, *Yarrowia lipolytica* (Silva et al., 2018).

El metabolismo bacteriano origina una mezcla compleja de ésteres volátiles, alcoholes, cetonas y compuestos sulfurados, que colectivamente producen los malos olores que se detectan. En las últimas fases de la alteración se observa un aumento del pH y son producidos amoníaco y varias aminos como putrescina y cadaverina conocida como putrefacción (Silva et al., 2018).

### 1.1.3.3. Bacterias patógenas presentes en pollo fresco

Existen bacterias patógenas que pueden generar ciertas reacciones que son, o pueden ser, perjudiciales para la salud del consumidor, y estas pueden encontrarse en el pollo (Bell & Weaver, 2002).

Las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos son una grave amenaza para la salud pública en todo el mundo, una de las principales causas es el consumo de alimentos contaminados con bacterias patógenas, como *Campylobacter spp.*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella spp.*, *Yersinia*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pullorum* y *Arcobacter spp.* (Silva et al., 2018).

Tabla 5. Principales microorganismos patógenos y reacciones al consumidor asociados a la carne de pollo (Moreno, 2005)

Agente	Periodo de incubación	Síntomas
<i>Salmonella</i>	6-72h (habitualmente 12-36)	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, vomito a veces, fiebre
<i>Campylobacter spp.</i>	1-10 días (habitualmente 3-5 días)	Dolor abdominal, diarrea profusa, malestar, dolor de cabeza, fiebre
<i>Staphylococcus aureus</i>	1-6 h	Vómitos, postración de corta duración
<i>Clostridium perfringens</i>	6-24 h (habitualmente 10-12h)	Cólicos y diarreas de corta duración)
<i>Listeria monocytogenes</i>	3-21 días	Síntomas gripales, meningitis, abortos, partos prematuros
<i>Yersinia enterocolitica</i>	3-7 días	Diarrea, dolor intenso, fiebre baja
<i>Bacillus cereus</i>	1-5 h	Vómitos intensos, dolor abdominal, diarrea

El método de conservación de carne de pollo, ya sea refrigeración o congelación, no elimina la microbiota, incluyendo bacterias patógenas; la bacteria *Campylobacter* se ha aislado en 55.2% de carne de pollo refrigerado y en 49.3% de pollo congelado (Padungtod et al., 2008).

La importancia de estos datos es reconocer el impacto del manejo del pollo en la incidencia de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA). Es decir, las enfermedades que se transmiten por consumo de alimentos contaminados y en este caso de la carne de pollo en específico. Un ámbito prioritario de la cadena de producción avícola es la mejora en la manera de procesar y manejar los alimentos para evitar que los consumidores enfermen por consumo de estos. Para lograr este objetivo es necesario desarrollar e implementar programas de reducción de contaminación como el sistema Tipo Inspección Federal (TIF) avalando que el alimento es higiénicamente aceptable y otro programa llamado Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (por sus siglas en inglés HACCP). Estos programas tienen como objetivo procesar los alimentos bajo las mejores condiciones (sanitarias) para evitar que representen un riesgo a la salud de los consumidores, en otras palabras tienen como meta el procesamiento de alimentos inocuos (Catañeda et al., 2013).

#### **1.1.4. Almacenamiento por refrigeración en pechuga de pollo fresca**

La refrigeración consiste en disminuir la temperatura de las canales por encima de su punto de congelación, retardando el crecimiento bacteriano y afectando de forma mínima sus características organolépticas y nutricionales. La refrigeración, a temperaturas entre 0 a 4°C, evita el crecimiento de los microorganismos termófilos y de algunos mesófilos. Los métodos más comunes para la refrigeración de canales de pollo son: inmersión en agua fría, agua fría con hielo y aire frío (Çaykara et al., 2005).

La determinación del tiempo de refrigeración depende del tiempo necesario para que las canales alcancen temperaturas por debajo de 4°C en su centro térmico, muchas plantas realizan un prechiller (pre-enfriado por inmersión) de 10 a 15 min, donde en general se observa una reducción bacteriana en piel. La carga microbiológica también depende de las condiciones del proceso: relación entre el volumen de agua y el número de canales, flujo del agua, concentración de desinfectantes, tiempo de contacto, temperatura, y pH del agua. La

reducción en el número de bacterias persistentes en las canales se debe a la acción mecánica de la inmersión y a las propiedades del desinfectante (Northcutt, 2008).

Se recomienda que, al terminar la matanza, desplume y desangrado, se lleve a un lavado con agua fría (2°C) para retirar su calor y después almacenar a temperaturas de 4°C a 0°C en caso de refrigerarlo.

La carne fresca de pollo puede tener un nivel de contaminación inicial de  $10^4$  a  $10^5$  microorganismos por centímetro cuadrado en los puntos de venta, y se pueden guardar en refrigeración (3 a 5°C) por 1 ó 2 días manteniendo su frescura. Sin embargo, después de este tiempo los microorganismos psicrófilos causan putrefacción de la carne aún a temperaturas de refrigeración, generando una vida de anaquel de aproximadamente 8 a 10 días, si se mantiene en condiciones óptimas de refrigeración y sin rompimiento de la cadena de frío en ningún momento (Catañeda et al., 2013).

## **1.2. Tecnologías emergentes de conservación de alimentos**

La eficacia de esta tecnología para conseguir la destrucción de los microorganismos que pueden alterar los alimentos durante su almacenamiento y de los patógenos, tiene como contrapartida que el calor aplicado produce alteraciones de la composición de los productos alimenticios. Estas alteraciones suponen en muchos casos pérdidas de calidad sensorial (los productos se reblandecen, cambia su sabor y su color) y de calidad nutritiva (pérdidas de vitaminas, principalmente). Aunque estas pérdidas son mínimas si el proceso térmico aplicado es correcto, los investigadores han continuado buscando alternativas de conservación de alimentos evitando el uso del calor, con el fin de conseguir alimentos más parecidos a los frescos en sus características nutritivas y sensoriales (Fernández, 2001).

La esterilización de alimentos sin aplicación de calor, o por métodos no térmicos, constituye una alternativa novedosa de conservación de los alimentos. Las tecnologías que aparecieron al comienzo del siglo XX como prometedoras en la pasteurización de alimentos líquidos, como la leche, vienen a ser ahora tecnologías avanzadas, que ofrecen grandes ventajas en el procesamiento de alimentos sin aplicación de calor. Los métodos eléctricos para pasteurizar y/o esterilizar alimentos están recibiendo gran atención en los últimos tiempos, debido al

interés de la industria alimentaria en identificar métodos rápidos y uniformes de calentamiento o métodos de procesamiento a bajas temperaturas (Escalante et al., 2008).

Existen varios métodos para procesar alimentos a bajas temperaturas, entre los que figuran los calentamientos óhmicos y las microondas, los campos eléctricos, los campos magnéticos oscilantes, los arcos de descarga y los campos eléctricos pulsantes de alta intensidad. La energía eléctrica puede ser aplicada al alimento en forma continua, generando calor en éste y promoviendo la inactivación de los microorganismos por efecto térmico. Por otra parte, si la energía es aplicada en forma de pulsos eléctricos cortos de alta intensidad, se generará muy poco calor en el alimento y la inactivación microbiana se logra con la destrucción de la membrana celular (Fernández, 2001).

La aplicación de envasado con atmósferas modificadas ha sido un gran avance debido a la inhibición de crecimiento de microorganismos y respiración en caso de frutos y hortalizas, ya que pueden utilizarse gases como CO<sub>2</sub>, ozono, retirar el O<sub>2</sub> hasta alcanzar únicamente el 1%, y por lo tanto, se pueden retardar reacciones enzimáticas en ciertos alimentos, la oxidación de lípidos y proliferación de bacterias, hongos, mohos y levaduras que afecten la calidad e inocuidad de los alimentos en almacenamiento (Moreno, 2005).

Existe también la aplicación de luz ultravioleta, esta tecnología desnaturaliza la pared celular de bacterias, generando su muerte, aunque existen ciertas dudas sobre la seguridad de aplicar este tipo de tratamientos a los alimentos, ya que en caso de no ser controlado correctamente podría generar reacciones indeseables, como ablandamiento de tejidos, oscurecimiento, oxidación de lípidos o radioactividad en el producto (Fernández, 2001).

### **1.2.1 Irradiación con luz ultravioleta**

Los rayos UVA y UVB inducen la síntesis de colecalciferol (vitamina D3) a partir del 7-deshidroxicolesterol en la piel, los rayos UVA y más UVB, pueden dañar el colágeno y fibras, destruyen la vitamina A en la piel, causando quemaduras solares e inician cambios moleculares que pueden provocar cáncer de piel; La UVC generada artificialmente se puede usar con fines de esterilización microbiana, pero una sobreexposición a la UVC causa daño ocular y quemaduras solares faciales graves (Lewis & Gous, 2009).

Hay una reacción pública negativa cada vez mayor sobre los conservantes químicos agregados a los alimentos para extender su vida útil y proteger contra los patógenos transmitidos por los alimentos y los microorganismos de descomposición. Como método de conservación física, la irradiación con luz ultravioleta (UV) es de interés para la industria alimentaria como un método no térmico de inactivación. Aunque el uso de la luz UV está bien establecido para el tratamiento del agua, la desinfección del aire y la descontaminación de la superficie, su uso aún es limitado en el tratamiento de alimentos. Los avances recientes en la ciencia y la ingeniería de la irradiación con luz ultravioleta han demostrado que el tratamiento con luz ultravioleta es muy prometedor en el procesamiento de alimentos como una alternativa al procesamiento térmico tradicional para alimentos líquidos como jugos frescos, refrescos y bebidas; para el tratamiento de carnes listas para comer; y para la extensión de la vida útil de frutas y verduras frescas (Koutchma et al., 2009).

La luz es solo una parte del espectro de varias ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio. El espectro electromagnético cubre un amplio rango desde ondas de radio con una longitud de onda de un metro o más, hasta rayos X con una longitud de onda de menos de una billonésima parte de un metro (Koutchma et al., 2009).

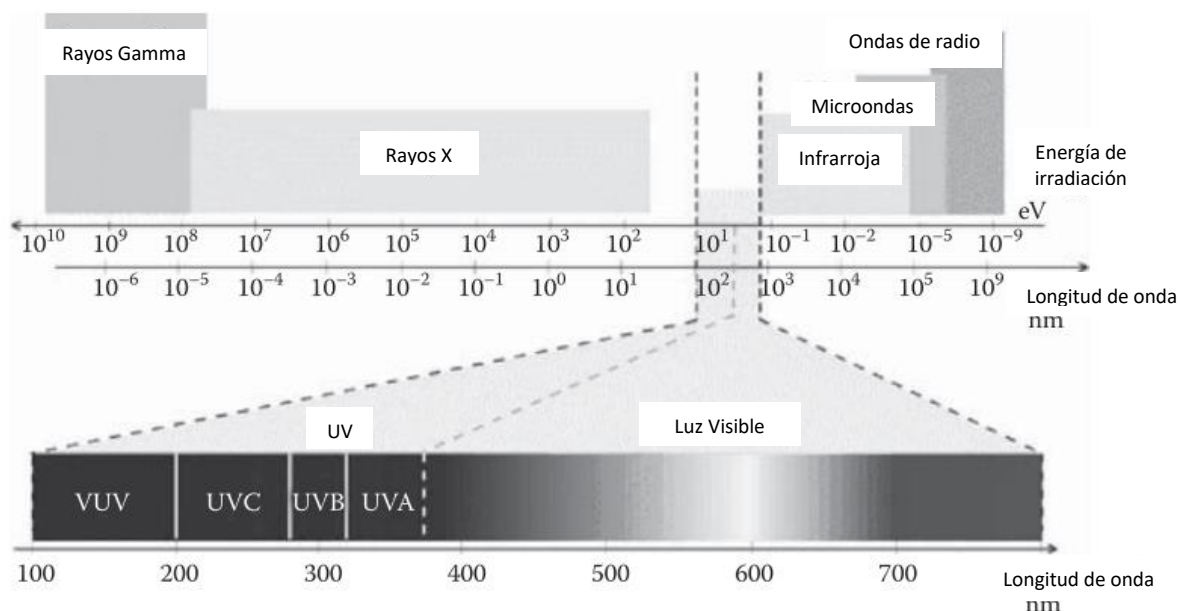


Figura 2. Espectro de radiación electromagnética con una división del espectro de luz visible y UV-C en los tres diferentes tipos (Koutchma et al., 2009)

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante con una longitud de onda de 100 a 400 nm; se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400 nm) responsable normalmente en los cambios de la piel humana llamados bronceado, UV-B (280–315 nm) que puede causar ardor en la piel y eventualmente cáncer en la piel y UV-C (200–280 nm), denominado rango germicida, ya que inactiva eficazmente las bacterias (Beltrán & Ramos, 2010).

La luz ultravioleta pulsada es una tecnología novedosa que es más eficiente y más rápida que el método convencional de luz UV continua. La luz ultravioleta pulsada es generada por una lámpara de gas de xenón utilizando una entrada de energía moderada que puede producir una alta disipación de potencia máxima. La lámpara de luz pulsada genera un espectro continuo de banda ancha desde los rayos UV profundos hasta los infrarrojos, que es rico y eficiente en el rango UV). Los destellos de luz pulsada se crean al comprimir la energía eléctrica en pulsos cortos, que energizan una lámpara de gas de xenón inerte. Varios estudios han demostrado que esta nueva tecnología puede eliminar microorganismos patógenos y de descomposición en alimentos crudos y mínimamente procesados (Bialka, 2004).

En 1999, la FDA aprobó el tratamiento de alimentos con luz pulsada. La luz ultravioleta pulsada es un método no químico y se considera que no es térmico para tiempos de tratamiento cortos. Además, esta nueva tecnología puede ser una alternativa a la irradiación, que puede causar la ionización de moléculas pequeñas en los componentes de los alimentos debido a la longitud de onda muy corta (Heinemann, 2009).

### **1.2.2. Aplicación de luz UV-C en alimentos**

Los consumidores modernos exigen alimentos sabrosos, seguros, saludables, orgánicos, naturales y frescos, alimentos "verdes", producidos de manera respetuosa con el medio ambiente. También se requieren métodos sostenibles con pequeñas huellas de carbono. La reacción pública negativa sobre los productos químicos añadidos a los alimentos está creciendo. Para abordar los desafíos y problemas que enfrenta la industria alimentaria, se están investigando oportunidades alternativas a las prácticas actuales de procesamiento de alimentos que son tanto más sofisticadas como diversas. Como método de preservación física, la irradiación con luz ultravioleta (UV) tiene una imagen positiva del consumidor para la industria alimentaria como método de procesamiento no térmico (Koutchma et al., 2009).

El código 21CFR179.41, emitido por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA de EE. UU. 2005), Departamento de Salud y Servicios Humanos, aprueba el uso de luz ultravioleta pulsada en la producción, procesamiento y manipulación de alimentos. Como se indica en el código; La luz pulsada se puede usar de forma segura para el tratamiento de alimentos en las siguientes condiciones:

1. Las fuentes de radiación consisten en lámparas de flash de xenón diseñadas para emitir radiación de banda ancha que consiste en longitudes de onda que cubren el rango de 200–1000 nanómetros (nm), y funcionan de manera que la duración del pulso no sea mayor de 2 milisegundos (ms)
2. El tratamiento se usa para el control de microorganismos superficiales
3. Los alimentos tratados con luz pulsada recibirán el tratamiento mínimo razonablemente necesario para lograr el efecto técnico deseado
4. El tratamiento total acumulado no debe exceder los 12.0 julios / centímetro cuadrado (J / cm<sup>2</sup>) (Koutchma et al., 2009).

La irradiación ultravioleta (UV-C) es una tecnología alternativa a la esterilización química, utilizada para reducir el crecimiento de microorganismos en alimentos. (Beltrán & Ramos, 2010). Un enfoque sistemático para evaluar la luz UV como método alternativo de pasteurización implica la consideración de las propiedades y la composición del producto alimenticio a tratar, las características de la fuente de radiación UV, los efectos microbianos, las consideraciones de modelado y los aspectos comerciales (Koutchma et al., 2009). La ionización de las moléculas puede introducir algunos cambios químicos en los alimentos. Dado que la luz UV no implica rangos de longitud de onda muy cortos, no se considera que cause ionización (Heinemann, 2009).

La efectividad del tratamiento de irradiación en la célula bacteriana depende de naturaleza y extensión del daño directo a las células, la capacidad de la célula para reparar el daño inducido, así como el entorno extracelular, como el pH, la temperatura y los productos químicos alimentarios composición (Lewis & Gous, 2009).

La irradiación UV-C tiene su máximo pico de emisión a 254 nm y se ha comprobado que en esta longitud de onda presenta su mayor acción germicida, por lo que ha sido ampliamente



estudiada en varios tejidos vegetales (Beltrán & Ramos, 2010). Se conoce que el mecanismo directo de acción de la radiación ionizante en la inactivación microbiana reside en el daño que causa al ADN y generan así mutaciones que bloquean la replicación celular, daño oxidativo a las membranas celulares, interfiriendo con el metabolismo normal para la generación de energía, inhibiendo el crecimiento celular y por lo tanto muerte celular. También actúa de manera indirecta al inducir mecanismo de resistencia por acumulación de compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliamidas (Dong, 2013).

La luz ultravioleta promete considerablemente reducir los niveles de contaminación microbiana para una amplia gama de alimentos y bebidas líquidos. Estos líquidos incluyen jugos, salmueras, azúcares líquidos, productos farmacéuticos, lubricantes de proceso y otros ingredientes o alimentos semitransparentes y opacos. Debido a la presencia de compuestos de color, sólidos orgánicos y materia suspendida, los alimentos líquidos generalmente transmiten relativamente poca luz UV, y esta baja transmisión disminuye la eficiencia de rendimiento de los procesos de pasteurización UV. Además, la capacidad de absorción y turbidez de los jugos frescos claros y los jugos con pulpa varían considerablemente (Koutchma et al., 2009).

La irradiación es el tratamiento más eficaz en la eliminación de microorganismos de la carne. Sin embargo, su uso es limitado debido a la preocupación de los consumidores acerca de los productos irradiados. El pH, temperatura y composición química del alimento tienen un impacto en la supervivencia de los microorganismos durante la irradiación. La presencia de oxígeno sensibiliza a las células a la radiación, es por eso que la destrucción de microorganismos puede reducirse en condiciones anaeróbicas o en muy baja actividad de agua. Debido a la menor tasa de reacciones oxidantes, se generan radicales libres de oxígeno que pueden ser tóxicos en los productos (Dong, 2013).

### **1.2.3 Irradiación con luz ultravioleta en carne de pollo**

La irradiación sobre la calidad de la carne es una técnica muy eficaz para la destrucción de parásitos y microorganismos. Este tratamiento es esencialmente beneficioso para carnes de cerdo y cordero envasadas al vacío, que de otra manera pueden tener una vida útil demasiado corta cuando son transportadas, se lleva a cabo cuando la carne se encuentra congelada, y

después de eliminar el oxígeno, siendo muy ventajoso debido al alargamiento de vida útil, aunque también perjudicial debido a que genera cambios en el sabor, aroma y color y es mucho más notorio cuando las condiciones no son rigurosamente controladas (Farkas, 1998). Al ser un proceso no químico, no ionizante y no térmico (por un corto tiempo de tratamiento), la luz ultravioleta pulsada puede ser una mejor alternativa para descontaminar alimentos crudos y / o mínimamente procesados (Heinemann, 2009).

En general, se prefiere una dosis de irradiación media (1–10 kGy) para reducir el deterioro y los microorganismos patógenos en carne de aves de corral cruda o congelada para extender la vida útil de estos productos (Lewis & Gous, 2009).

Los microorganismos tienen mayor sensibilidad a la irradiación a temperatura ambiente que a temperaturas bajo cero, ya que la baja  $A_w$  (actividad de agua) del alimento una vez congelado impide la migración de radicales libres dentro del producto, aunque comúnmente se aplica este método a temperaturas de congelación y una vez envasados para evitar repetir esta operación después de alguno de estos procesos donde igual se corre el riesgo de contaminación. La descontaminación de carne utilizando irradiación es más eficaz cuando la carne tiene baja carga microbiológica, la presencia de grandes poblaciones de microorganismos reduce la eficacia de la radiación, es por esto que se recomienda aplicar un método de descontaminación anterior a la irradiación como podría ser un lavado con soluciones antimicrobianas (Nam et al., 2002).

Las principales ventajas de la irradiación de la carne son:

- Conserva la integridad del producto.
- Destruye microorganismos patógenos.
- Reduce considerablemente microorganismos que provocan el deterioro aumentando la vida útil de los productos.
- No altera la calidad de los nutrientes.
- No deja residuos.
- Se puede aplicar posterior al envasado evitando la contaminación ulterior.

Las principales desventajas de la irradiación de carne son:

- Promueve cambios oxidativos de los lípidos afectando significativamente la aceptación del consumidor.
- Produce un aroma característico, altera sabor y color.
- El alto contenido de proteínas en la carne neutraliza a los radicales libres. (Dong, 2013).

En la carne de aves de corral, la irradiación ha demostrado su eficacia contra varios patógenos transmitidos por los alimentos y las bacterias de descomposición, como *Campylobacter spp.*, *E. Coli*, *Salmonellaspp.*, *L. monocytogenes*, *B. cereus* y *psicrotrofos* (Lewis & Gous, 2009).

De hecho, en este momento, la irradiación es el único tratamiento físico además del tratamiento térmico capaz de garantizar la seguridad de las aves de corral dado su potencial de descontaminación efectivo (Silva et al., 2018). Debido a su mecanismo de acción inherente, la irradiación se informa que causa cambios en la calidad de la carne como de olor, color, oxidación de lípidos, y también cambios en el valor nutricional de los alimentos (Lewis et al., 2002 ; Kudra et al., 2012 ) como se conocen algunas vitaminas, como las del grupo B ser sensible a este tratamiento (Silva et al., 2018).

### **1.3. Nanotecnología en alimentos**

Se encarga de la ingeniería, manipulación, diseño, caracterización, producción y aplicación de materiales en una escala molecular de 10 a 1000 nm. El pequeño tamaño de las nanopartículas significa que tienen diferentes propiedades fisicoquímicas y fisiológicas que las partículas más grandes, como la dispersión reducida de la luz, la estabilidad mejorada a la separación y agregación gravitacional, velocidades de difusión más rápidas, solubilidades más altas y tasas de penetración más altas a través de barreras biológicas. Las propiedades únicas de las nanopartículas los han llevado a ser utilizados en una amplia variedad de industrias, como la producción y el desarrollo de agroquímicos, sustancias colorantes, explosivos, productos farmacéuticos y tóners de impresión (Reverchon et al., 2007).

La producción de nanopartículas en la industria alimentaria ha ganado mucha atención debido a su capacidad para ajustar las características de liberación, biodisponibilidad, estabilidad y suministro de varios compuestos activos en los alimentos y dentro del cuerpo humano (Weiss et al., 2006). En general, las técnicas utilizadas para producir nanopartículas

pueden clasificarse como homogeneización, molienda, emulsificación espontánea o precipitación antidisolvente. Para una aplicación generalizada, estos métodos deben ser comercialmente viables y, por lo tanto, deben ser rentables, utilizar ingredientes de calidad alimentaria y utilizar procesos industriales fáciles de ampliar (Joye & McClements, 2013).

La implementación de nanomateriales desarrollados a partir de fuentes naturales y biodegradables ha sido importante como una opción viable para mejorar las condiciones y la calidad de los alimentos, los sistemas a nanoescala son una opción para la encapsulación de fertilizantes, nutrientes y compuestos bactericidas. Es conveniente utilizar nanopartículas debido a la mayor área de contacto (reacción) en comparación con las micropartículas. Los nanomateriales están siendo investigados por sus amplias aplicaciones en todo el mundo y ya tienen varias funciones en las áreas de seguridad alimentaria y saneamiento (Barreras et al., 2016).

Se han desarrollado actualmente nuevos dispositivos de administración (liposomas), y la creación de nuevos materiales de envasado, ampliar el almacenamiento de alimentos y mejorar la seguridad alimentaria, sabor y textura (Chau, 2015; Echiegu, 2017).

La nanotecnología comienza a cubrir diversos aspectos como la seguridad alimentaria, materiales de envasado, nanosensores, sistemas de administración de nutrientes, la biodisponibilidad y nuevos materiales para la detección de patógenos (Özer et al., 2014). Existen varias aplicaciones en diversas áreas como la farmacéutica; en el caso de la industria alimentaria son las siguientes:

a) Alimentos procesados: Su uso está destinado en la mejora de la textura y la innovación de nuevos sabores, también el uso de aditivos de tamaño nano ayudan a mejorar la capacidad de dispersión de los aditivos liposolubles, al igual que la absorción y biodisponibilidad de nutrientes y suplementos (Özer et al., 2014).

b) Envasado y almacenamiento: Tiene el potencial de cambiar la atmósfera que rodea el alimento dentro del empaque, retrasando la oxidación; además controla el crecimiento microbiano, las tasas de respiración y sabores o aromas volátiles, cambios en la densidad y transparencia. En aplicaciones más específicas tiene propósitos como mejora de propiedades mecánicas, propiedades de barrera de materiales de embalaje contra oxígeno, dióxido de

carbono, radiación ultravioleta, humedad y sustancias volátiles, lo que ayuda a controlar la migración de la humedad (Chau, 2015). La aplicación es válida en carnes procesadas, quesos, cereales, panadería, en la aplicación de recubrimientos extruidos para jugos de fruta o productos lácteos, o en el proceso de coextrusión en la fabricación de cerveza y bebidas carbonatadas (Nazzaro et al., 2012).

c) Inocuidad: El desarrollo de nanosensores permite en la detección de toxinas peligrosas, contaminantes químicos, pesticidas o microorganismos patógenos en el agua (Nazzaro et al., 2012). La forma en la que se identifican los patógenos es por medio del ácido nucleico, proteínas o cualquier otro metabolito indicador de microorganismo (Özer et al., 2014).

La nanotecnología se ha aplicado en varios campos de la industria alimentaria con resultados prometedores, incluso en las áreas de envasado de alimentos y seguridad alimentaria. Existen numerosas oportunidades para explotar los beneficios de las nanotecnologías dentro de la cadena de procesamiento de aves de corral, para mejorar la calidad microbiológica y la seguridad de los productos alimenticios. Se considera que la aplicación más importante de la nanotecnología en el área de alimentos para el futuro cercano es la incorporación de nanomateriales o dispositivos nanotecnológicos en los materiales de empaque o contenedores de almacenamiento para alargar la vida útil del producto mientras se mantiene la estabilidad del producto (King, Osmond-McLeod, & Duffy, 2018). De hecho, Ramachandriah et al. (2015) informan que el área más prometedora para la aplicación de nanotecnología es específicamente el envasado de carne. Sin embargo, la aplicación de nanotecnologías requiere una consideración detallada y cuidadosa, ya que faltan datos toxicológicos y el desarrollo de métodos analíticos capaces de garantizar la protección del consumidor, está en curso. Los rápidos desarrollos hacen que sea necesario continuar con la atención detallada dirigida al diseño de evaluaciones de riesgos y cómo lidiar con la incertidumbre en torno a los riesgos potenciales. Las preocupaciones relacionadas con el etiquetado, la seguridad del producto, la salud y las consecuencias ambientales de los alimentos podrían dificultar significativamente la aceptación de los consumidores de alimentos habilitados para nano (Rodríguez et al., 2017). Además, la educación del público será vital en la introducción y desarrollo de la nanotecnología en la cadena de producción de alimentos. Los nanomateriales

utilizados en alimentos y envases de alimentos también deberían ser idealmente reutilizables, reciclables y / o biodegradables cuando sea posible.

Las estructuras a nanoescala han demostrado funcionalidades únicas que improbar propiedades sensoriales, físicas, químicas, biológicas, antimicrobianas, nutricionales y saludables de los productos alimenticios. Como tal, las oportunidades para el uso de nanopartículas en la industria de producción de alimentos son de largo alcance y se justifica más investigación en este espacio. A medida que continúan los desarrollos en la investigación y el desarrollo de las nanotecnologías, también lo harán las oportunidades para que la industria avícola se beneficie de la nanociencia (King et al., 2018).

### **1.3.1. Nanoencapsulación**

Las nanopartículas poliméricas, definidas como cápsulas con un tamaño en el rango de 10–1000 nm, consisten en polímeros naturales o sintéticos. Las nanopartículas consisten en una capa polimérica no tóxica que encapsula una cavidad hueca que contienen sustancias activas en forma líquida, sólida o en dispersión molecular, además protegen ingredientes bioactivos encapsulados en condiciones ambientales. La liberación del ingrediente encapsulado se desarrolla por humedad, temperatura o pH. (Nazzaro et al., 2012).

Las nanopartículas se pueden preparar utilizando una variedad de métodos, como la evaporación del solvente, la inversión de 2 fases, el secado por pulverización, autoensamblaje y nanoprecipitación, debido a las diferentes propiedades físicas y químicas de los activos y materiales poliméricos, ya que pueden liberar eficazmente los activos a un objetivo específico al tiempo que protegen a las moléculas vulnerables de la degradación en un entorno determinado. Los materiales poliméricos naturales utilizados tienen ventajas únicas en la nanoencapsulación debido a su excelente seguridad, biocompatibilidad y biodegradación (Xing et al., 2005).

El método de nanoprecipitación obtiene partículas de entre 50 a 300nm, este tamaño depende de la materia prima, la concentración del polímero, capacidad de interacción del disolvente y metodología empleada. El desarrollo de nanopartículas por nanoprecipitación consta de tres principales pasos: nucleación, crecimiento y agregación. Cuando la concentración del

polímero alcanza el límite crítico de saturación y la ruptura de la interfaz entre el polímero sucede una liberación de energía, donde las partículas se agregan al núcleo mediante el crecimiento por condensación o coagulación. En la agregación también está presente la energía liberada, donde debe homogenizarse y controlar la temperatura, además de la concentración del polímero y la concentración del estabilizador.

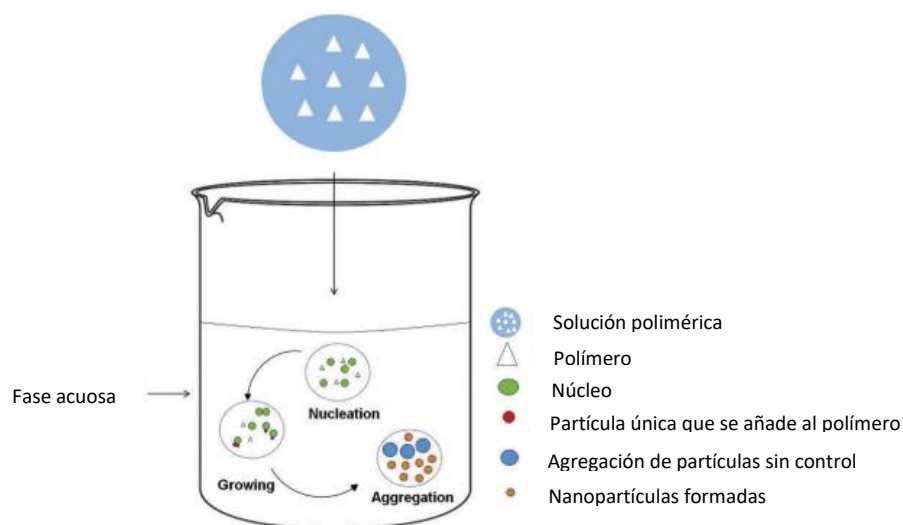


Figura 3. Nucleación, crecimiento y agregación durante la formación de nanopartículas (Barreras-Urbina et al., 2016).

La nanoprecipitación es un método que, en comparación con las técnicas de difusión en emulsión, la doble emulsión y otras, tiene varias ventajas. El proceso es fácil, presenta un buen resultado en términos de tamaño de partículas y encapsulación. Además, el uso de polímeros naturales como proteínas para desarrollar nanomateriales o micromateriales tiene aplicaciones potenciales para que las industrias agroalimentarias mejoren la calidad y el rendimiento de los productos. La implementación de nuevas tecnologías podría ser muy beneficiosa para mejorar los productos agrícolas durante la fertilización utilizando materiales en el rango nano y micro (Barreras et al., 2016).

### 1.3.1.1. Capsaicina

La capsaicina es un activo proveniente del chile, es un componente del matorral submontano del noreste de México, es una planta anual que también crece y se desarrolla de manera

continúa en zonas tropicales. Esta planta crece en forma silvestre en las regiones semiáridas del estado de Nuevo León, Laborde y Pozo (1982), mencionan que también se localiza en toda la zona costera de país, desde Sonora hasta Chiapas, por el Pacífico y desde Tamaulipas hasta la península de Yucatán, incluyendo Quintana Roo por el Golfo de México, donde es aprovechado por los habitantes de estos lugares y para los cuales reviste una gran importancia socioeconómica, el fruto es usado principalmente como alimento, en la elaboración de algunos platillos regionales (Almanza, 1993). Además de los usos culinarios se ha reportado su actividad en problemas cardiovasculares, enfermedades crónicas degenerativas, estimulante, digestiva y colerético, así como su capacidad de reducir los riesgos de contraer cáncer y como bactericida. Ante esta diversidad de aplicaciones y en busca de alternativas que contribuyan a mejorar la calidad de la producción agrícola (Moreno et al., 2012).

Otros atributos de los chiles incluyen algunas propiedades medicinales, cosmetológicas, antisépticas y como repelentes de algunas plagas agrícolas, por lo que existe en la actualidad un interés por probar algunos componentes de los chiles como sinergistas de los insecticidas órgano fosforados. Los poderes curativos del chile dependen de diferentes compuestos encontrados en las venas, las hojas y los tallos de las plantas (Dewitt et al., 2000).

Hasta ahora, los investigadores han descubierto que la capsaicina podría inhibir el crecimiento de algunas bacterias patógenas transmitidas por los alimentos, como *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* y *Bacillus cereus* (Xing et al., 2005).

La capsantina (el pigmento carotenoide proveniente del chile) demostró que inhibía completamente el crecimiento y la producción de aflatoxinas de *A. parasiticus* en concentraciones que iban de 0.2 a 1.0 mg/mL sin embargo este efecto se reducía al cabo de los 10 días debido a que es altamente susceptible a degradación frente a condiciones medioambientales, sin embargo, la capsaicina también presenta efectos inhibitorios de microorganismos aunque en menor eficiencia que el anterior mencionado, pero presenta una mayor estabilidad (Moreno et al., 2012). El pH tan bajo de este activo puede generar la desnaturalización de las proteínas que conforman a las bacterias, generando un medio tan ácido que existe un rompimiento de la pared celular, destrucción de la mitocondria y el núcleo



de su célula, generando un ambiente desfavorable para la reproducción o simplemente sobrevivencia de bacterias patógenas alterantes de la calidad e inocuidad del alimento.

#### **1.4. Envasado a vacío**

El envasado al vacío es el sistema más importante de envasado, constituye uno de los mayores logros de la tecnología de los alimentos del siglo pasado y mantenimiento de la calidad natural de los productos cárnicos tanto a nivel consumidor como para el distribuidor. Actualmente existe gran variedad de materiales de envasado para su uso en productos cárnicos frescos, procesados y congelados (Escalante et al., 2008).

El vacío consiste en la eliminación del aire (y por tanto del O<sub>2</sub>) del envase, inhibiendo consecuentemente el crecimiento de algunos microorganismos alterantes, y extendiendo la vida útil del producto. Sin embargo, por óptimas que sean las condiciones en las que se lleva a cabo el vacío, no es posible eliminarlo en su totalidad, y una pequeña proporción residual de aire (por debajo de 1%) queda en el interior del envase. Generalmente se utiliza en sistemas de envasado con bolsas plásticas, por lo que envasar al vacío significa eliminar el aire del envase, lo que produce una presión diferencial entre el interior y el exterior del envase en los envases con películas flexibles. Como resultado, la película entra en íntimo contacto y se adhiere al producto, y este contacto entre la película impermeable al O<sub>2</sub> y el producto, crea un ambiente anaerobio que favorece la conservación del producto. Las pruebas realizadas indican que es necesario un mínimo de 610 mm Hg de vacío en el envase para obtener la protección suficiente del producto (Lundquist, 1994).

La calidad del material de embalaje utilizado para los alimentos es otro componente importante para la seguridad alimenticia. Dado que el material de empaque se usa como una capa protectora para los alimentos, cualquier defecto en la capa de empaque los expondrá a los contaminantes del entorno. Por lo tanto, es esencial asegurarse de que el material de embalaje no se vea afectado negativamente por el método de procesamiento de alimentos (Heinemann, 2009).

Las nuevas tendencias en el envasado de carne y productos avícolas incluyen el uso de materiales plásticos, como el policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliestireno

(PS), y variedades de polietileno (alta y baja densidad), en combinación con un sistema de atmósfera modificada o envase a vacío (Gertzou et al., 2017).

La selección del sistema de envasado específico estará dictada por:

- ✓ El volumen de producción requerido
- ✓ La naturaleza del producto
- ✓ La necesidad de un equipo versátil que sea capaz de envasar productos diferentes
- ✓ El tamaño y la forma del producto
- ✓ El costo
- ✓ Las necesidades específicas del mercado, establecidas de acuerdo a la conveniencia y a la vida útil (Escalante et al., 2008).

Otros beneficios del envasado al vacío considerados importantes son:

- Evita la pérdida de peso (merma 0%) por pérdida de líquidos o de grasas
- Evita que los productos se humedezcan o pierdan humedad
- Evita contaminaciones posteriores a la elaboración, conservando la higiene desde la elaboración hasta el consumidor final
- Evita el “quemado” (daño por frío) por congelación
- Permite un mejor manejo del stock de las materias primas y de los productos terminados
- Es ideal para el envasado y posterior control de porciones (Brody, 1996).

El oxígeno promueve la oxidación de lípidos en la carne de pollo, la dureza y textura se mantienen cuando estos se conservan en un envase a vacío, además de que se reducen las pérdidas de sabor y de peso (Guo et al., 2018).

Actualmente, los materiales de envases, como las bolsas de polietileno de baja y alta densidad, son comúnmente utilizados para la refrigeración en el mercado de productos avícolas. El uso de estos envases en combinación con el vacío y las bajas temperaturas asegura el mantenimiento de la calidad de los productos incrementando su vida útil en un 50%. Ya que la vida de anaquel de la carne de pollo (6 a 8 días) puede incrementarse hasta 15 o 17 días cuando se envasa a vacío debido a la inhibición de la mayoría de la microbiota aerobia (Guo et al., 2018).

## **CAPÍTULO II.**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

#### **2.1. Problema**

La carne de pollo es susceptible fácilmente a cambios en sus propiedades físicas, fisicoquímicas, y organolépticas, disminuyendo su calidad debido a una degradación y ablandamiento de tejidos, reduciendo el tiempo de vida útil del producto en estado fresco, generando proliferación de bacterias patógenas y deteriorativas causantes de coloración verdosa y generación de malos olores. Debido a estas razones la aplicación de tecnologías emergentes ha empezado a tener un gran auge, ya que ha mostrado buenos resultados en base a la conservación de las propiedades del alimento y el alargamiento de su vida útil.

Es por ello que se aplicarán tecnologías emergentes como Nanopartículas, Irradiación UV y atmósferas modificadas, con la finalidad de fomentar el uso en alimentos perecederos para inhibir cambios indeseables y sea apto para su consumo y aceptable por el consumidor.

La nanotecnología ha surgido como un avance tecnológico para desarrollar y transformar el sector agroalimentario, con el potencial de integrar una gran cantidad de recursos en la seguridad e inocuidad de los alimentos, la aplicación de nanopartículas cargadas con algún activo, ya sea antimicrobiano o antioxidante, permite ser liberado de manera controlada durante su almacenamiento, disminuyendo los cambios naturales que se encuentran en un almacenamiento convencional, donde únicamente se lleva a cabo un lavado con soluciones salinas y en algunos casos envasado a vacío o simplemente refrigeración.

La irradiación UV-C aplicada en alimentos se encuentra entre los métodos más novedosos y controvertidos. Sin embargo este método para conservar frutos y carnes puede verse muy popular, aunque por parte de algunos consumidores se encuentra la preocupación de que los alimentos puedan volverse radioactivos, cuando en realidad la radiación no ionizante no se

retiene en el alimento, además de que se aplican dosis bajas a moderadas únicamente para reducir la carga microbiana, maduración y deterioro natural, aunado a que las dosis no afectan el contenido de minerales y valor biológico de las proteínas, carbohidratos ni grasas y la pérdida de vitaminas es insignificante. La exposición de los alimentos a dosis mayores a las permitidas podría afectar el sabor del producto y reducirlo a papilla. En alimentos como carnes, aves y mariscos se utilizan dosis moderadas a altas con el objetivo de limitar el crecimiento de organismos patógenos.

La utilización de métodos de conservación habituales como el envasado a vacío no afecta negativamente el color de la carne de pollo, lo que permite utilizar atmósferas modificadas con ausencia de oxígeno, aunque también conlleva ciertas desventajas como a la concentración de olores generados por cierto tipo de bacterias anaerobias debido al material altamente impermeable a gases, el cual no permite la liberación de estos, generalmente provocados por bacterias ácido lácticas. Aunque se ha considerado uno de los métodos más seguros de conservación debido a que no son utilizadas sustancias o técnicas que puedan poner en duda la inocuidad del alimento y además de su bajo costo, este permite el alargamiento de la vida de anaquel de la carne de pollo de hasta 14 días en refrigeración.

Es por tal razón que se busca la aplicación de métodos combinados y el efecto que se tiene de cada una de ellas aplicando la teoría de barreras, para poder alargar el tiempo de vida útil del producto, de tal manera que sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y sensoriales sean lo más parecidas a la pechuga de pollo fresca sin tratamientos aplicados.

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo General**

Evaluar el efecto de tratamiento por irradiación UV-C, aplicación de nanopartículas de capsaicina y envasado a vacío en pechuga de pollo a 0°C, al evaluar los parámetros físicos y fisicoquímicos para determinar así su efecto sobre la vida útil.

### **2.2.2. Objetivos Particulares**

Objetivo Particular 1.

Analizar el comportamiento de la aplicación del tratamiento de irradiación UV-C, aplicación de nanopartículas de capsaicina y envasado a vacío en pechuga de pollo almacenada a 0 °C, sobre la cantidad de líquido drenado, pérdida de peso de la pechuga fresca y cocida, en relación con la pechuga sin tratamiento durante el almacenamiento refrigerado.

Objetivo Particular 2.

Determinar el efecto del tratamiento por UV-C, nanopartículas de capsaicina y envasado a vacío durante el almacenamiento refrigerado de pechuga de pollo determinando el cambio en el comportamiento del pH, acidez y conductividad eléctrica asociados con la calidad del producto e infiriendo sobre su vida útil.

Objetivo Particular 3.

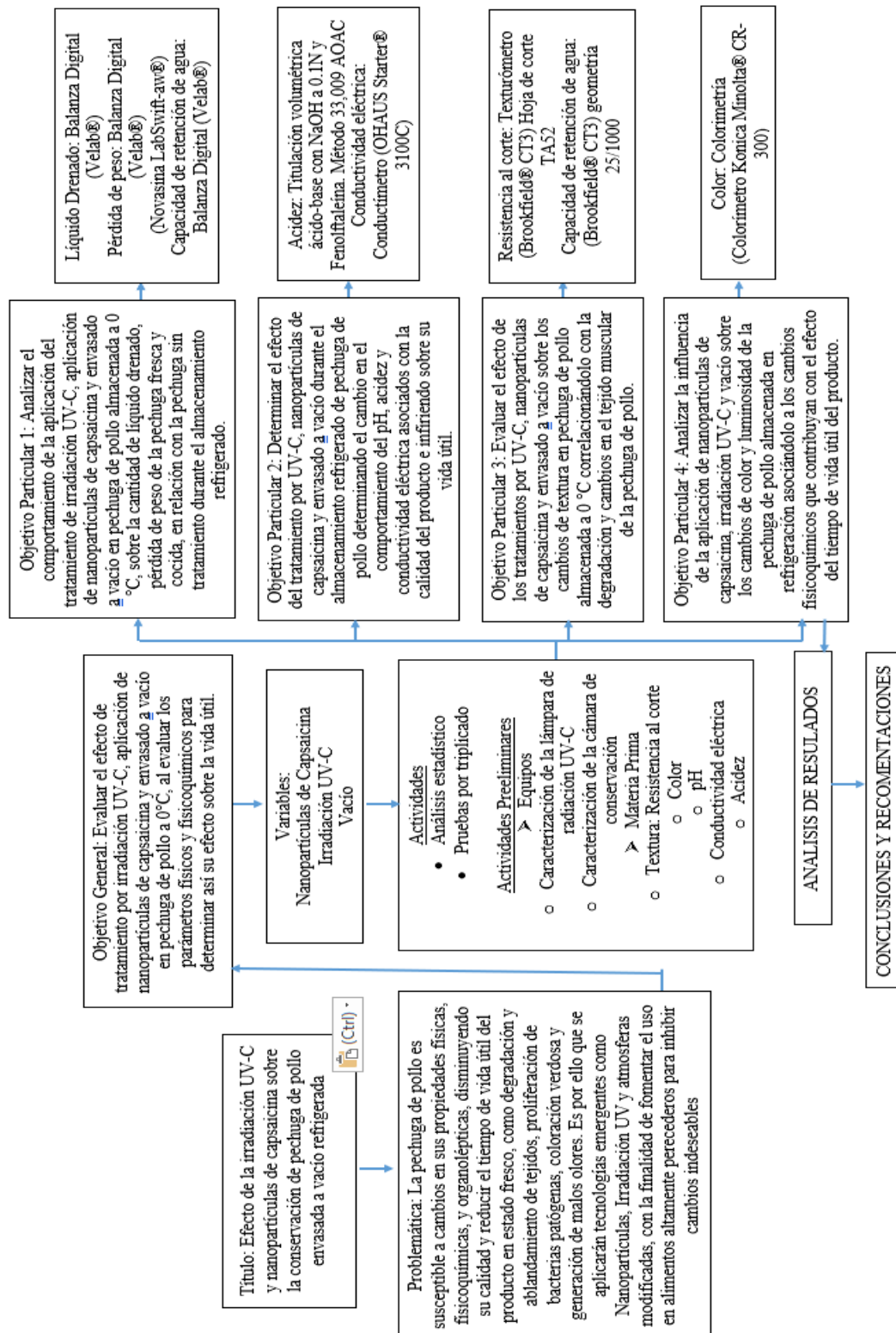
Evaluar el efecto de los tratamientos por UV-C, nanopartículas de capsaicina y envasado a vacío sobre los cambios de textura en pechuga de pollo almacenada a 0 °C correlacionándolo con la degradación y cambios en el tejido muscular de la pechuga de pollo.

Objetivo Particular 4.

Analizar la influencia de la aplicación de nanopartículas de capsaicina, irradiación UV-C y vacío sobre los cambios de color y luminosidad de la pechuga de pollo almacenada en refrigeración asociándolo a los cambios fisicoquímicos que contribuyan con el efecto del tiempo de vida útil del producto.

### 2.3. Cuadro metodológico

La metodología de investigación experimental y las actividades realizadas se resumen en el siguiente cuadro metodológico.



## 2.4. Actividades Preliminares

### 2.4.1. Acondicionamiento de la cámara de luz ultravioleta

La irradiación de las fajitas de pechuga de pollo se realizó en una cámara con lámparas de luz ultravioleta en la parte superior e inferior, de dimensiones externas de la cámara eran de 1.20 m de alto, 0.60 m de ancho y 0.635 m de largo. Y de dimensiones internas de 0.595 m de alto, 0.51 m de ancho y 0.60 m de largo. La lámpara de luz UV-C (254 nm) de 15 W (UVP modelo XX-15S) en la rejilla inferior de la cámara, a una distancia de 44 cm de la muestra, y la otra lámpara ubicada en la parte superior se encontraba a una distancia de 15cm de la muestra a irradiar.

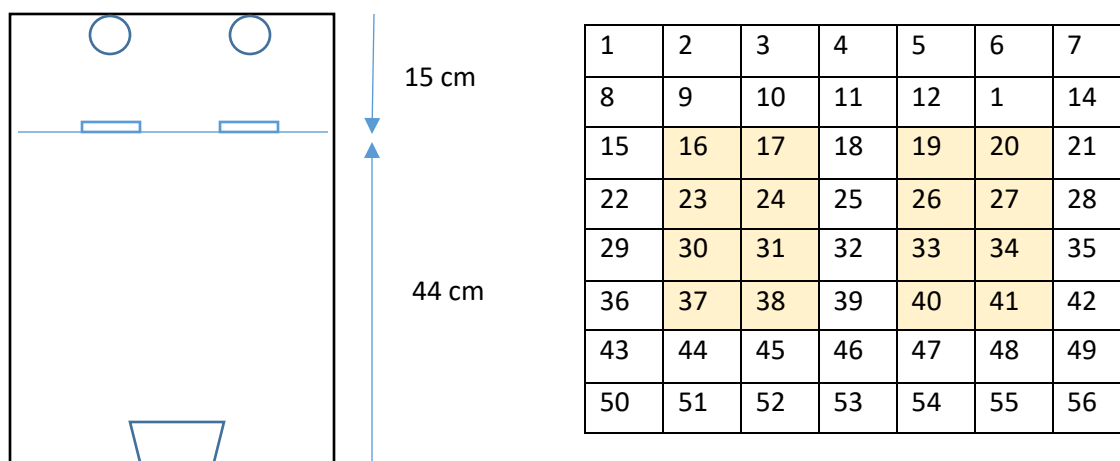


Figura 4. Esquema de distribución de muestras en cámara de luz ultravioleta

Las zonas donde se colocaron las muestras fueron la 16, 17, 19, 20, 23, 24, 26, 27, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 40 y 41, estas fueron seleccionadas ya que irradiaban a esa distancia y en ese lugar la misma cantidad de luz en la parte inferior y superior de la cámara, las mediciones se realizaron a través de un medidor de luz ultravioleta marca Digital Instruments modelo Lutron SP-82 UV. La lámpara superior irradiaba  $88\text{mW}/\text{cm}^2$  y la lámpara inferior irradiaba  $86\text{mW}/\text{cm}^2$ , generando una radiación total de  $174\text{mW}/\text{cm}^2$  y se estableció un tiempo de radiación de 2 minutos y medio.

### 2.4.2 Acondicionamiento de la cámara de refrigeración

La cámara de refrigeración (refrigerador comercial), ubicada en el laboratorio 16 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, fue acondicionada para el almacenamiento de las fajitas de pollo. Mediante el monitoreo de las temperaturas se decidió la colocación de las muestras en la cámara de refrigeración donde se almacenaron a una temperatura de 0°C durante 21 días.

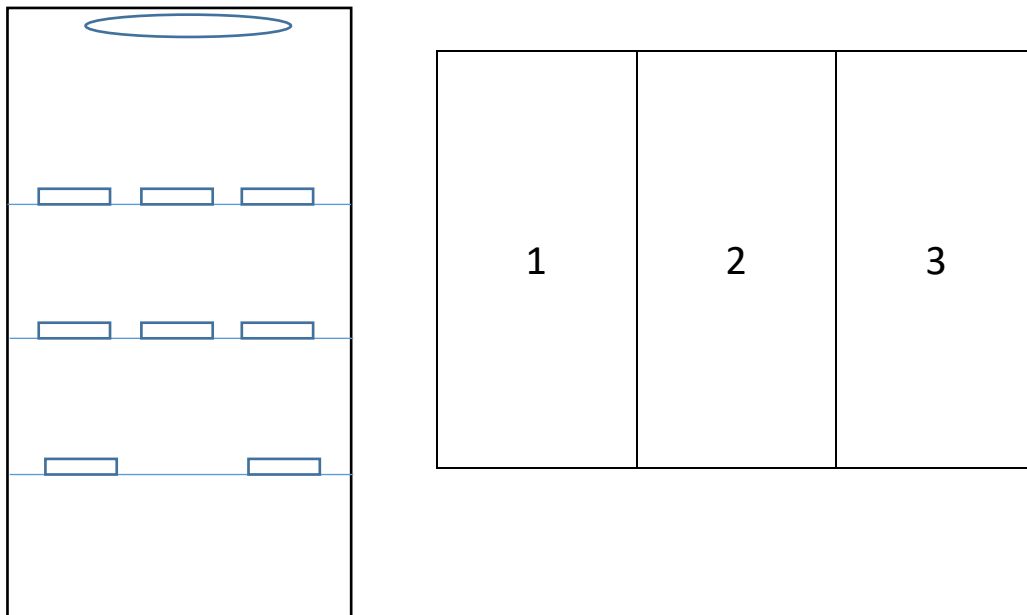


Figura 5. Esquema de colocación de las muestras en la cámara de refrigeración

Ya que el tamaño de las muestras era muy grande se decidió utilizar toda la cámara de refrigeración para almacenar las muestras de pollo con los tratamientos ya aplicados, teniendo temperaturas en promedio de 0.5°C en la parte superior a -1 °C en la parte inferior.

### 2.4.3. Criterios de selección de la materia prima

La materia prima (pechuga de pollo) se adquirió en una pollería de Cuautitlán Izcalli, Estado de México; fresca, sin piel, sin hueso, sin grasa y sin aplicación de compresión mecánica del tejido. La pechuga se cortó en fajitas de (6 x 2.5 x 0.8) cm.



#### 2.4.4. Preparación de las muestras y tratamientos

Se realizó el corte de las fajitas de pollo con dimensiones de (6 x 2.5 x 0.8) cm y una desinfección con plata ionizada durante 10 minutos con una relación de 1:0.0035, es decir, por cada litro de agua se agregaban 3.5 mL de solución antibactericida.

A continuación se retiró todo el exceso de agua y se le aplicó el tratamiento correspondiente, como se muestra en el apartado 2.5.1., donde muestra las corridas, en las cuales primero era necesario aplicar irradiación UV-C durante 2.5 min, y/o después la inmersión en las nanopartículas de capsaicina y/o envasar a vacío en la campana marca Multivac®, en bolsas de polietileno de alta densidad de 15 x 10 cm, aplicando un vacío de 50 mBar, donde cada bolsa contenía un aproximado de 40 g de muestra, con 3 fajitas de pollo, por último se dejaba refrigerar la muestra durante 21 días, en los cuales se realizaría un monitoreo cada tercer día y se le medirán sus propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas.

### 2.5. Diseño Experimental

#### 2.5.1. Variables

FACTOR DE VARIACIÓN VARIABLE INDEPENDIENTE	NIVEL DE VARIACIÓN	NÚMERO DE REPETICIÓN	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DE RESPUESTA	TÉCNICAS O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
MUESTRA CONTROL	-Sin irradiación UV-C, Sin nanocápsulas de capsaicina, Sin envasado al vacío	3	Color (L*, a*, b*)	Ángulo de Tonalidad (°Hue) Croma	Colorimetría (Colorímetro Konica Minolta® CR-300)
			Contenido de agua	%Humedad	Balanza Digital (Velab®)
IRRADIACIÓN UV-C	-Sin radiación UV-C -Con radiación UV-C	3	% Pérdida de peso por cocción Líquido drenado		Higrómetro (Novasina LabSwift-aw®)
NANOCÁPSULAS DE CAPSAICINA	-Sin nanocápsulas -Con nanocápsulas	3	Pruebas Texturales	Resistencia al corte Capacidad de retención de líquido	Texturómetro (Brookfield® CT3)
			Conductividad Eléctrica	Integridad de la membrana cárnica	Conductímetro (OHAUS Starter® 3100C)
ENVASADO AL VACÍO	-Sin vacío -Con vacío	3	pH	Cambio en la concentración de iones hidronio y oxidrilo	Potenciómetro (Hanna Instruments® HI 213) Método 33.006 del AOAC
			% acidez	%ácido láctico	Titulación volumétrica, Método 33.009 AOAC

La determinación de las variables de respuesta de la tabla anterior se realizó mediante muestreos cada tercer día de almacenamiento de las fajitas de pollo a  $0^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ , considerando que éstos se realizaron por triplicado para cada lote durante 21 días.

### **2.5.2. Justificación de variables**

La carne de pollo es susceptible fácilmente a cambios en sus propiedades físicas, fisicoquímicas, y organolépticas debido a su composición química y su alta exposición a contaminantes desde su crianza, matanza y procesamiento, los cuales disminuyen la calidad y reducen el tiempo de vida útil del producto en estado fresco, generando degradación y ablandamiento de tejidos, proliferación de bacterias patógenas y bacterias deteriorantes causantes de la coloración verdosa y malos olores. La aplicación de tecnologías emergentes ha mostrado buenos resultados en base a la conservación de las propiedades del alimento, inocuidad y por lo tanto el alargamiento de su vida útil.

Las nanopartículas permiten encapsular un activo que pueda inhibir las reacciones de deterioro de la pechuga, la irradiación UV-C permite destruir la pared celular y mitocondria de los organismos que puedan afectar su calidad e inocuidad, siempre y cuando se encuentre en los rangos aceptados por las normativas para evitar cambios indeseables en el alimento y el envasado a vacío permite que los microorganismos no tengan las condiciones necesarias para reproducirse, como es el oxígeno. Y por último la refrigeración las mantendrá inactivas mientras se le apliquen continuamente bajas temperaturas y nunca se rompa la cadena de frío.

### **2.5.3. Análisis estadístico**

La comparación de los tratamientos se llevará a cabo realizando un ANOVA empleando el software estadístico MINITAB ®18. El comportamiento de las variables y las diferencias entre los tratamientos se evaluaron mediante una prueba Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## **2.6. Métodos y técnicas de control**

### **2.6.1. Medición de temperatura en la cámara de refrigeración**

Las muestras envasadas con los métodos de conservación ya aplicados fueron almacenados en refrigeración, las mediciones se realizaron con tres Termómetros digitales marca Hanna Instruments®, los cuales fueron colocados en la cámara de refrigeración, es decir, uno en cada parrilla, esto con la finalidad de lograr regular la temperatura entre un máximo de 4°C y un mínimo de 0°C el mayor tiempo posible, estas mediciones fueron registradas en los tiempos que permanecí dentro del laboratorio en horario de prácticas, de Lunes a Viernes, de 8:00 am a 4:00 pm, y fueron controladas gracias al termostato mediante el aumento o disminución de temperatura.

### **2.6.2. Evaluación de color**

Para la medición del color se utilizó un colorímetro marca Konica Minolta® modelo CM-600d, empleando un iluminante D65 a 10 ° del observador. Calibrando con el blanco cada que se realizó la determinación. Los parámetros de color obtenidos por el equipo se expresan en la escala CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). La medición de color de la superficie de las fajitas de pollo se llevó a cabo por triplicado.

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 a continuación,  $L^*$  indica la luminosidad y  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas cromáticas.

$L^*$ =luminosidad

$a^*$ = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

$b^*$  = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

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 muestran los valores para cada coordenada  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ .

La luminosidad se refiere a la expresión del color relacionado con la capacidad de refracción de la luz de un cuerpo. Se establece en una escala de 0 a 100, donde el 0 representa el color

negro, mientras que la luminosidad de 100 es el color blanco. En la evaluación del color, se calculó el ángulo de tonalidad ( $^{\circ}$ Hue) y la cromaticidad de la siguiente manera:

$$^{\circ}\text{Hue} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Ec. 1})$$

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

El  $^{\circ}$ Hue, ecuación 1, representa la tonalidad del color del alimento (rojo, naranja, verde, azul, etc). Mientras que el croma, ecuación 2, define la saturación de un color, es decir si es más brillante, oscuro o grisáceo. La cromaticidad se define como la intensidad del color, indica el grado de saturación del tono en la superficie analizada. Estos parámetros podrán indicarnos la madurez de alimentos fresco y con la aplicación de los tratamientos.

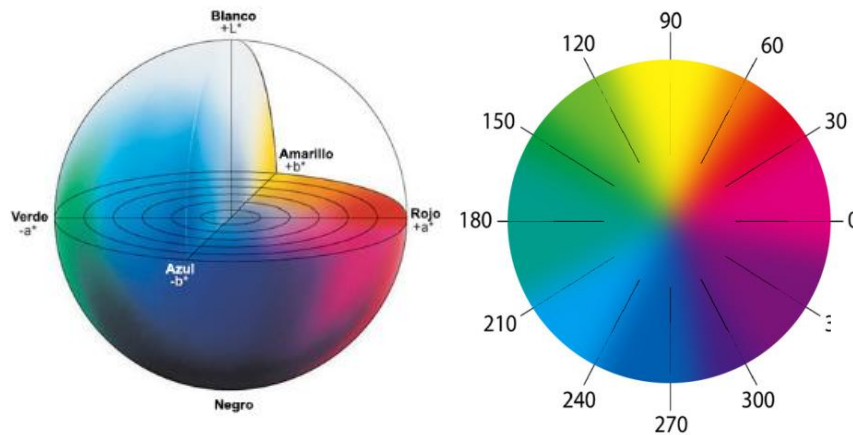


Figura 6. Escala del ángulo de color (Konica Minolta Sensing Americas)

### 2.6.3. Líquido drenado

El líquido drenado proveniente de las fajitas de pollo durante su almacenamiento en refrigeración a 0 °C, se determinó el día en que se realizó el monitoreo de la respectiva muestra, donde se pesaron las fajitas de pollo y con una jeringa se extrajo todo el líquido drenado proveniente de la pechuga de pollo que se encontraba dentro del envase y se pesó en una Balanza Digital (Velab®), de donde se obtuvo el porcentaje de líquido drenado en relación al peso total de la muestra.

$$\text{Líquido Drenado (\%)} = \frac{(\text{peso de la muestra} - \text{peso de líquido drenado})}{\text{peso de la muestra}} (-1) \times 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

El resultado tendrá un valor negativo, donde se puede representar que es el porcentaje de la pérdida de líquido en la muestra de pechuga de pollo.



Figura 7. Prueba de medición de Líquido Drenado

La figura 7 muestra del lado derecho la pechuga recién extraída del envase en el que se almacenó y la imagen del lado izquierdo muestra el líquido que drenó la pechuga durante el tiempo de almacenamiento, el cual fue succionado con una jeringa para evitar dejar residuos en la bolsa.

#### 2.6.4. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua de fajitas de pollo se determinó utilizando un método adaptado utilizando una modificación del método de prensa de papel filtro descrita por Qiao et al. (2001), según lo indicaron Wierbicki y Deatherage en 1958, donde será utilizado el texturómetro Brookfield® CT3, mediante la colocación de una fajita de pollo entre dos papeles filtro de 5 cm de diámetro, con la ayuda de un cilindro de acrílico (TA25/1000) de 50.8 mm de diámetro y 20 mm de largo., dimensiones iguales a la sonda utilizada, los cuales fueron llevados previamente a peso constante. La muestra se pesó antes de la compresión y

se aplicó una fuerza de 7 N, y realizó una compresión de 1.8 mm durante 10 s, y se pesó el papel filtro sin la muestra.

Este método nos permitirá determinar el porcentaje de la capacidad de retención de líquido por peso de la muestra.

$$CRA \left( \frac{g \text{ de } H_2O}{100g \text{ } H_2O} \right) = \frac{(m_1 * H) - (m_2 - m_3)}{(m_1 * H)} * 100 \quad (\text{Ec.4})$$

Dónde: m1 es la masa inicial del papel filtro, antes de ponerlo a peso constante y antes de la prueba; H es la humedad teórica de la carne de pollo, m2 es la masa del papel filtro después de la prueba y m3 es la masa del papel filtro llevado a peso constante después de la prueba.



Figura 8. Prueba de Capacidad de Retención de Agua en fajitas de pechuga de pollo en texturometro CT3 de Brookfield®.

La figura 8 muestra el texturometro CT3 de Brookfield® aplicando una fuerza de 7 N sobre la pechuga, la cual se encontraba entre dos papeles que habían sido llevados a peso constante, para después de haber llevado a cabo la compresión este pudiera ser pesado y mediante la aplicación de la ecuación anteriormente mencionada, determinar la capacidad de retención de agua.

### 2.6.5. Resistencia al corte

Se empleó el texturómetro CT3 de Brookfield®. Para la evaluación de la resistencia al corte, se empleó una celda Warner-Braztler, se consideró una distancia de 27 mm y una carga de activación de 0.07 N. Como se puede observar en la figura 9, la prueba se llevó a cabo a una velocidad de 3 mm/s, y los resultados obtenidos se expresaron como la firmeza en N,

considerada la carga necesaria para provocar el corte de las fajitas de pollo en relación con el espesor de estas, además del Ciclo de dureza (N), deformación de dureza (mm), número de fracturas, fracturabilidad (N), trabajo total (mJ) y el porcentaje de deformación. Todas las pruebas se realizaron por triplicado cada tercer día durante los 21 días de almacenamiento de las muestras a 0°C.



Figura 9. Prueba de resistencia al corte en fajitas de pechuga de pollo realizada en el texturómetro CT3 de Brookfield®.

#### **2.6.6. Determinación de pH**

La determinación de pH se realizó con el potenciómetro digital Hanna Instruments® modelo HI 223. Para llevar a cabo las mediciones, previamente se calibró el equipo con soluciones buffer de 4 y 7 en la escala de pH. Se tomaron 5g de muestra la cual fue triturada y diluida en 50 mL de agua destilada, para llevar a cabo la medición, la cual se realizó de acuerdo con la metodología 33.006 del AOAC (1975).

#### **2.6.7. Determinación de conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica se evaluó utilizando el conductímetro marca Ohaus® modelo ST3100C, se calibró previamente con el buffer estándar de cloruro de potasio 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Se tomó la misma muestra utilizada para la determinación de pH (5 gramos de la muestra triturados con 50 mL de agua destilada).

La conductividad eléctrica es una propiedad característica de la carne, es una medida de la concentración y movilidad de los iones, el cual es indicador de la integridad de la membrana

de la carne, si se obtiene un alto valor quiere decir que los microorganismos presentes en el producto no han degradado el tejido y por tal razón existe una mayor concentración de iones en la pechuga de pollo. La unidad en el Sistema Internacional para conductividad es el siemen (S).

#### **2.6.8. Determinación del porcentaje de ácido láctico**

La acidez total por volumetría se determinó mediante una titulación ácido-base con una solución de NaOH a 0.1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. Para la obtención del porcentaje de acidez, se midió el volumen gastado necesario para neutralizar el ácido. Se calculó el porcentaje de acidez, ecuación 5, de acuerdo a la técnica 33.009, AOAC (1975).

$$\text{Ácido láctico (\%)} = \frac{(\text{meq} \cdot V \cdot N \cdot V_{\text{dilución}})}{W} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde,  $m_{\text{eq}}$  son los miliequivalentes para el ácido a cuantificar (ácido láctico),  $V$  es el volumen gastado de NaOH,  $N$  es la normalidad de la solución de NaOH,  $V_{\text{dilución}}$  es el volumen de agua utilizado en la dilución y  $W$  es el peso o volumen de muestra.

#### **2.6.9. Pérdida de peso por cocción**

La determinación de la pérdida de peso de las fajitas de pollo almacenadas a 0 °C se realizó por diferencia de pesos medida con la balanza analítica Velab® (+/- 0.01). Se pesó la muestra con su respectivo tratamiento. Una vez obtenido el resultado, la pérdida de peso se expresó en porcentaje (%), para la evaluación de la pérdida de peso por cocción se registró el peso de las fajitas al inicio del muestreo y se cocinaron a una temperatura de 80 °C. Se dejaron enfriar y se pesaron, para la obtención del porcentaje de peso perdido debido a la evaporación de la mayor parte del agua libre que se encontraba en el tejido de la carne de pollo.

$$\%PPC = \frac{(\text{peso inicial de la muestra} - \text{peso final de la muestra})}{(\text{peso inicial de la muestra})} * 100 \quad (\text{Ec. 6})$$



La evaluación del peso de la pechuga de pollo es de gran importancia debido a que es un parámetro de calidad físico importante para el consumidor, ya que, si pierde gran contenido de líquido drenado en el envase y además en la cocción, generará un bajo contenido de humedad final, de tal forma que sea desagradable para el comprador consumir un alimento tan seco y con poco contenido de nutrientes.



Figura 10. Prueba de pérdida de peso por cocción

## CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1 Mediciones y control de temperatura en la cámara de refrigeración

Las mediciones y control de temperatura se observan en la Tabla 6, donde se encuentran las mediciones obtenidas de la cámara de refrigeración utilizada para conservar las muestras utilizadas en las pruebas realizadas en los 21 días de almacenamiento y monitoreo para la obtención de datos, donde fueron utilizados 3 termómetros digitales, colocados uno en cada parrilla, con la finalidad de regular la temperatura y controlarla mediante el termostato entre un máximo de 4°C y un mínimo de 0°C.

Tabla 6. Control de temperatura en cámara de refrigeración

<b>Día/Hora</b>	<b>8:00 am</b>	<b>12:00 pm</b>	<b>4:00 pm</b>
<b>Día 0</b>	2.3	1.2	2.2
	1.9	0.8	1.4
	1.5	0.3	1.8
<b>Día 1</b>	1.9	1.8	2.1
	1.6	1.6	1.9
	1.4	1.3	1.1
<b>Día 2</b>	1.6	1.6	1.9
	1.4	1.3	1.5
	1.2	0.9	1.1
<b>Día 3</b>	1.9	1.4	2.0
	1.5	1.2	1.7
	1.3	1.0	1.5
<b>Día 4</b>	1.9	1.9	2.1
	1.6	1.5	1.6
	1.3	1.2	1.4
<b>Día 7</b>	2.0	1.2	1.4
	1.6	1.0	1.2
	1.4	0.8	0.9
<b>Día 8</b>	2.1	0.8	0.2
	1.9	0.6	0
	1.7	0.0	-0.1

<b>Día 9</b>	0.7	1.3	1.0
	0.5	1.0	0.7
	0.3	0.8	0.5
<b>Día 10</b>	1.3	3.2	2.8
	1.0	2.9	2.4
	0.8	2.5	2.0
<b>Día 11</b>	2.4	3.6	2.5
	2.0	3.2	2.3
	1.8	3.0	2.0
<b>Día 14</b>	1.0	2.6	2.0
	0.6	2.3	1.7
	0.2	2.0	1.4
<b>Día 15</b>	0.9	4.2	2.0
	0.6	3.9	1.7
	0.4	3.7	1.4
<b>Día 16</b>	0.6	3.4	1.9
	0.3	3.2	1.6
	0.1	3.0	1.3
<b>Día 17</b>	1.0	4.0	3.3
	0.8	3.7	3.0
	0.6	3.4	2.7
<b>Día 18</b>	1.3	3.2	2.0
	1.0	2.9	1.8
	0.8	2.6	1.5
<b>Día 21</b>	0.3	2.9	1.9
	0.1	2.7	1.7
	-0.3	2.3	1.4

Como podemos observar en los resultados obtenidos, la parrilla número 3 era la que recibía menor energía térmica, que variaba entre  $0.2^{\circ}\text{C}$  y  $0.4^{\circ}\text{C}$  de diferencia de carga térmica en cada una de las parrillas, es por esto, que se tomó la decisión de rolar las parrillas con las muestras al final de cada día, es decir, el día 0 la parrilla estaba acomodada en orden 1, 2 y 3, al día 1, las parrillas estaban acomodadas 3, 1 y 2, al día 2, las parrillas estaban acomodadas en el orden de 2, 3 y 1, así sucesivamente hasta terminar el monitoreo de las muestras, esto se realizó con la finalidad de que todas las muestras recibieran la misma cantidad de energía térmica, para que no se convirtiera en una variable que pudiera perjudicar o beneficiar a cierta muestra en ciertas condiciones.

Los resultados muestran que la temperatura variaba en base al tiempo en que se monitoreo, podemos observar en la tabla que en el horario de las 12:00 pm aumentaba considerablemente

la temperatura a partir del día 10, que era el horario y aproximadamente el día en que más equipos fueron utilizados en el laboratorio, además de que la temperatura ambiente aumentaba, esto generaba un aumento en la cámara de refrigeración, aunque se trató de mantener siempre dentro del rango de temperatura ya mencionado anteriormente para mantener una temperatura de refrigeración, para conservar las muestras de pechuga de pollo a analizar.

### **3.2. Resultados experimentales de parámetros de calidad físicos, fisicoquímicos y texturales**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el almacenamiento de fajitas de pollo almacenadas a 0°C en relación con los diferentes tratamientos a los que estas fueron expuestas, cabe mencionar que de acuerdo con la descomposición del producto no fue posible monitorear todas las muestras durante los 21 días de almacenamiento considerados.

#### **3.2.1. Evaluación del color**

El colorímetro evalúa los parámetros de color así: L\*= claro (Luminosidad), a\*=rojizo (coordenada rojo-verde), y b\*=amarillento (coordenada amarillo-azul). La determinación se realiza en la parte superior de cada pechuga (músculo *Pectoralis major*) y tras eliminar la piel.

Según la Norma Mexicana NMX-FF-080-SCFI-2006 Productos avícolas carne de pollo de engorda en canal y en piezas, la pechuga de pollo permite dos colores de pollo, el blanco y el amarillo, ya sea pintado o pigmentado.

Para la USDA, (2008), la carne cruda de aves puede variar de blanco azulado a amarillo, todos estos colores son normales y están directamente relacionados con la especie, el ejercicio, edad y/o a la dieta. Las aves más jóvenes tienen menos grasa debajo de la piel, lo cual puede resultar en un color azul, y una piel amarilla puede ser el resultado de pigmentos en la alimentación.

### 3.2.1.1. Luminosidad

Generalmente durante el almacenamiento se genera un drenado del líquido contenido dentro de los tejidos musculares de la carne de pollo, donde se produce una capa superficial de líquidos sobre la pechuga provocando una mayor luminosidad a medida que pasa el tiempo en almacén, aunque existen otros factores que influyen en este parámetro, ya que dependiendo el tratamiento que se llevó a cabo puede existir un oscurecimiento en el tejido, y por lo tanto una menor captación de luminosidad.

La figura 11 muestra los cambios de luminosidad de las fajitas de pollo en función al tiempo y tratamiento al que se sometieron las muestras, observándose que este valor oscilo entre los 42 y 53, mostrando un incremento de este parámetro en función al tiempo de almacenamiento, existiendo diferencia estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ), resultando que las muestras con nanopartículas de capsaicina mostraron la mayor estabilidad con un incremento en la luminosidad atribuido al tratamiento de inmersión y a la presencia de nanopartículas de grenetina con capsaicina, no mostrando diferencia estadísticamente significativa por la combinación de los tratamientos (nanopartículas, UV-C, envasado a vacío) con valores que oscilaron entre 47 y 52, mientras que el resto de los tratamientos mostraron modificaciones durante todo el almacenamiento sin evidencia de estabilidad en este parámetro.

La aplicación de vacío en productos cárnicos de origen avícola presenta el oscurecimiento del tejido, provocando una menor captación de luz, es por ello que el tratamiento vacío (V) se encuentra entre los procesos que generan altos índices de oscurecimiento como se observa en la muestra control (C), al no ser aplicado ningún método para evitar el desarrollo de reacciones enzimáticas, y las propiedades físicas del alimento no permanecen constantes.

El desarrollo de microorganismos puede generar una carne pálida además de blanda, la muestra control (C) representa ser una de las pruebas con menor luminosidad en todo el tiempo de almacenamiento, sin embargo las pruebas que más luminosidad fueron las que contenían nanopartículas (NUV, NU, NV), una de las razones pudo haber sido debido al proceso de aplicación el cual generaba un desplazamiento del líquido contenido en las membranas de la carne, generando un drenado del líquido contenido y restante de la aplicación de nanopartículas, por precaución a una contaminación externa del medio

ambiente, únicamente se drenó rápidamente el exceso de nanopartículas y fue envasado, es decir, que los envases contenían una pequeña cantidad de nanocápsulas de capsaicina que podría generar un aumento en la luminosidad al momento de ser muestreado el producto.

Aunque otra de las razones por las cuales las muestras tratadas con nanopartículas permanecieran con mayor luminosidad podría atribuirse a la disminución en el porcentaje del obscurecimiento del tejido, debido al agente antioxidante en el tratamiento, y en consecuencia la depreciación del proceso oxidativo de la grasa del pollo, inhibiendo el obscurecimiento enzimático de la carne de pollo, lo cual brinda una gran ventaja en base a la calidad del producto.

En el caso de (NPS, UV-C) existe un aumento de la luminosidad considerable desde el momento de ser aplicadas, ya que la aplicación de las nanopartículas generalmente ablanda los tejidos debido a la acidez del activo utilizado, donde la parte que no se encuentra encapsulada puede afectar, liberando considerablemente gran cantidad de líquido y proteínas presente en el mismo, este parámetro también se encuentra correlacionado con una de sus propiedades importantes, la cual es el pH y la conductividad eléctrica.

Dentro de este contexto un alto nivel de luminosidad puede ser generado por la presencia de bacterias, las cuales degradan los tejidos musculares y liberan el líquido contenido dentro de las membranas, generando una capa superficial de agua, proteínas, sales y minerales, y por lo tanto un ablandamiento notable del tejido, aunque, con la revisión de sus demás propiedades como pH, conductividad eléctrica, CRA, resistencia al corte y líquido drenado, podremos determinar si existía la presencia de bacterias, las cuales serían las responsables de generar este comportamiento en las fajitas de pollo.

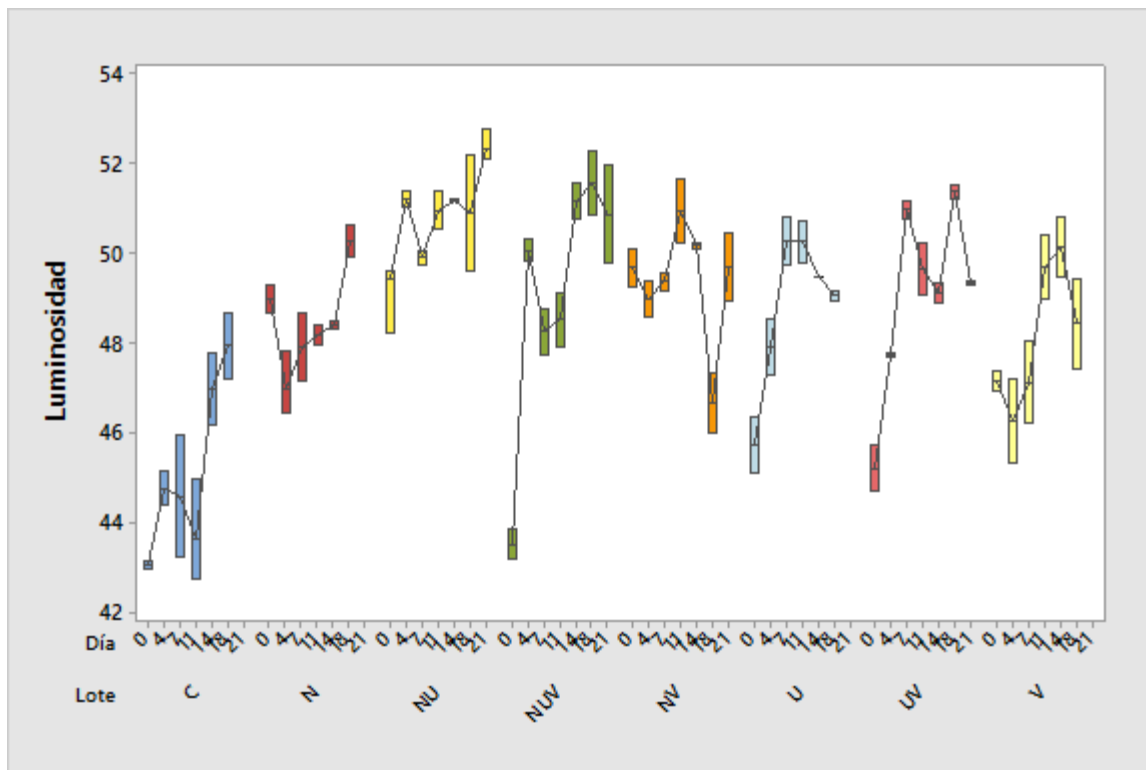


Figura 11. Cambios de luminosidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

Wideman et al., (2016) recabó y relacionó los resultados de diferentes autores, en los cuales compara con otras variables como el cambio en la alimentación, la edad y raza de los pollos, etc. En una de estas comparaciones se mencionan los resultados obtenidos por Millar et al., (2001) donde realizó una experimentación aplicando irradiación a la pechuga de pollo, obteniendo un resultado en promedio de luminosidad de 62.24, con un tiempo de almacenamiento de 7 días, la cual es superior a cualquiera de las variables aplicadas a nuestra experimentación, sin embargo las otras variables presentadas en el artículo, donde no se aplicaron ningún tipo de proceso o tratamiento a la carne muestran valores que oscilan entre 42.5 y 51.1, lo cual determina que los resultados obtenidos de luminosidad en el presente proyecto no se encuentran fuera del rango en base a la experimentación de otros autores.

Berri et. al., (2007) en su experimentación realizada en pechuga de pollo, determinó una luminosidad de 55.5 a 54.3, lo cual demuestra que en un principio la luminosidad de la pechuga control se encontraba baja, debido a un obscurecimiento del tejido y oxidación de las grasas presentes en el pollo por composición, esto es debido a la presencia de oxígeno y

a la deficiencia de sustancias antioxidantes como es la capsaicina, es por ello que los demás tratamientos presentaron una mayor luminosidad, especialmente los que contenían nanopartículas.

### 3.2.1.2. Ángulo de Tono ( $^{\circ}$ Hue)

Cuando se clasifican los colores, se los puede expresar en términos de matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez). Al crear escalas para estos atributos, podemos expresar en forma precisa el color.

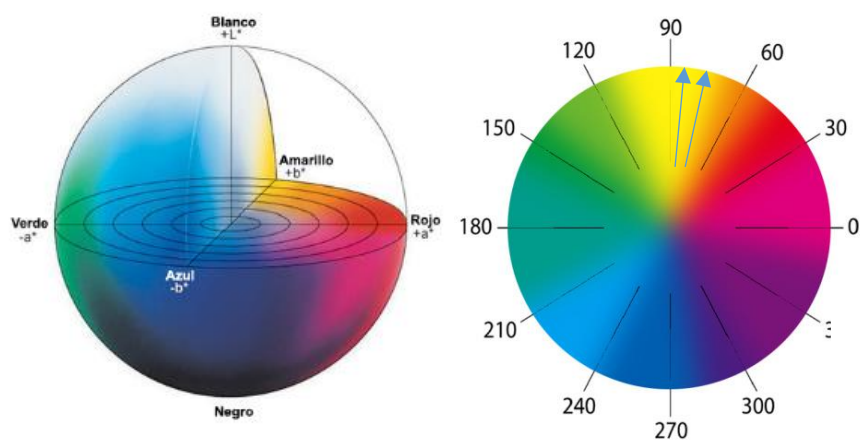


Figura 12. Escala del ángulo de color en fajitas de pollo refrigeradas.

En ángulo de tono o  $^{\circ}$ Hue representa el matiz o escala de la tonalidad de color. Se le llama ángulo de color debido a que las mediciones se realizan en grados. El círculo de color representa  $360^{\circ}$ , donde el  $0^{\circ}$  es el color rojo,  $90^{\circ}$  es amarillo,  $180^{\circ}$  es verde y  $270^{\circ}$  es el color azul. El color corresponde a una percepción e interpretación subjetiva.

Esta propiedad es muy importante para el consumidor al momento de realizar la compra del producto, ya que es preferible que tenga un color amarillo brillante, debido a que por lo general es rechazado si es amarillo pálido o blanco, ese parámetro varía dependiendo la alimentación del animal, si el animal se estresó antes de su muerte y el tratamiento de conservación al que fue sometido post mortem y/o si se le aplicó algún pigmento o colorante.



El color de la carne es influenciado por muchos factores, como los procesos por los que ha pasado para su limpieza y desinfección para su conservación, hasta por factores como la edad del animal, las especies de animales, el sexo, la dieta y aún el tipo de ejercicio que realiza el animal. La carne de un animal más viejo será más oscura en color, porque el nivel de mioglobina aumenta con la edad.

En la figura 13 se muestra los cambios de tonalidad promedio en las fajitas de pollo en función al tiempo y tratamiento al que se sometieron las muestras, observándose que en promedio las fajitas de pollo refrigeradas a 0°C presentan un color amarillo, cercano al naranja donde se encontró un valor de entre 78 a 89°, mostrando una disminución en función al tiempo de almacenamiento, existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ), resaltando que las muestras de la prueba control (C) se presenta un color amarillo con alto ángulo de tono, el cual disminuyó de 87° hasta 80° del día 7 al 18 donde desde el día 11 presentaba primeras señales de descomposición, está comprobado que a medida que aumenta el pH de la carne esta generará un color más oscuro y si el pH es bajo tenderá a colores más claros o pálidos en la carne.

La aplicación de nanopartículas (N) demuestra que la cantidad aplicada en relación con el peso del producto a tratar fue la adecuada, ya que no presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en relación a la muestra control y la aplicación de otras variables como es la irradiación UV-C y también en conjunto con el vacío, es decir que puede mantener esta propiedad estable sin modificar el parámetro a pesar de que la capsaicina proporciona un color anaranjado al producto en caso de estar en contacto con este activo. Sin embargo, al ser utilizado el activo en conjunto con otro tratamiento de conservación (NUV, NU, NV) este aumenta el ángulo de tonalidad del alimento, oscureciéndolo debido a que el tamaño de las partículas son tan pequeñas que permite pasar a través de los tejidos, generando un cambio de coloración uniforme en el alimento, aunque este oscurecimiento se encuentra aún en rangos aceptables para el consumidor.

Este comportamiento tiene una relación con los resultados obtenidos de luminosidad, donde se presentó un comportamiento notable en la muestra control (C), donde la luminosidad se encontraba muy baja, debido al aumento del ángulo de tonalidad, es decir que la muestra

había llegado a un gran oscurecimiento del tejido tal que no permitía el paso de luz como en el caso de los demás tratamientos.

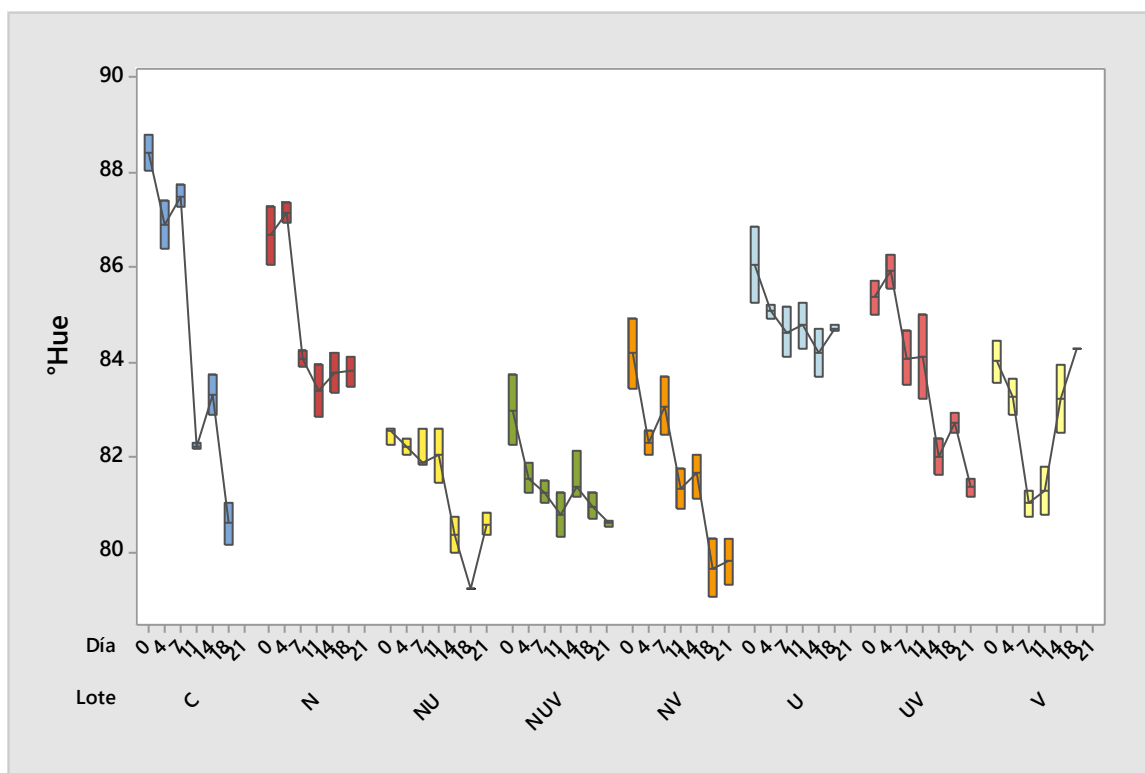


Figura 13. Cambios del ángulo de tonalidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

Como mencionamos anteriormente el envasado a vacío genera un aumento de coloración en el producto, generando un oscurecimiento conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, al igual que los tratamientos donde aplicamos nanopartículas se observó esta disminución en los °Hue.

La utilización de luz ultravioleta (U) no tuvo impacto en el color de la fajita de pollo, es decir que no tiene efectos significativos en los valores de L\*, a\* y b\* en la escala CIELAB, es decir que se utilizaron concentraciones de luz adecuadas de tal manera que no afectó las propiedades sensoriales del alimento, ya que en caso de utilizar altas dosis de UV-C, esta podría generar una decoloración favoreciendo la formación de metamioglobina.

Wideman et. al., (2016) presenta el resultado obtenido de la experimentación de Millar et. al., (2011), donde realizando los cálculos para determinar el ángulo de tonalidad se obtiene

un valor de 68.59, el cual es mucho más bajo en comparación con la experimentación realizada, presentando un color naranja intenso, aunque los factores que afectan la coloración de la carne de pollo son diversos, la alimentación y el manejo *postmortem* al que se sometió la carne son de los de mayor importancia.

Gómez et al., (2016) presenta en su investigación en base a la evaluación de propiedades físicas de la carne de pollo como es el color, el cual es medida en base a escalas, donde los resultados presentan un color entre rosa y amarillo pálido.

### **3.2.1.3. Cromaticidad**

Este parámetro determina la calidad del color de la luz determinada por su longitud de onda dominante y su pureza, es el grado de diferencia existente entre un color y un gris de su misma luminosidad y claridad, que corresponde con la saturación del color permitido.

En la Figura 14 muestra el comportamiento en base a la cromaticidad de las muestras de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C en función al tiempo de almacenamiento, donde podemos observar que los comportamientos en algunos casos tienden a aumentar su valor de croma como es el caso de la muestra control (C), donde se observa un aumento hasta el día 7, que ocurre una disminución en la intensidad del color y después tiende a aumentar de nuevo la cromaticidad.

En el caso de la aplicación de nanopartículas (N) no existen diferencias significativas en base al tiempo de almacenamiento ( $p < 0.05$ ), debido a que existe un aumento de la cromaticidad al cabo de los 18 días de monitoreo, obteniendo desde el día 0 el valor más bajo en comparación a los demás tratamientos hasta el día 18. La aplicación en conjunto de nanopartículas y vacío (NV) generó un aumento del croma desde el día 0 de monitoreo al igual que la aplicación de UV-C y vacío (UV) que mostraron un aumento en las propiedades de la intensidad del color del alimento.

La aplicación de UV-C y vacío (U, V) muestran que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en comparación con las muestras control (C), ya que no salen de los rangos de cromaticidad, aunque por el contrario estas tienden a disminuir su valor, demostrando que estos tratamientos no afectan considerablemente las características sensoriales del producto.

Sin embargo, la aplicación de nanopartículas, UV-C y vacío (NUV) generan una disminución en su valor de cromaticidad, al igual que la aplicación de nanopartículas y luz ultravioleta (NU), donde el comportamiento de ambas curvas es muy parecido.

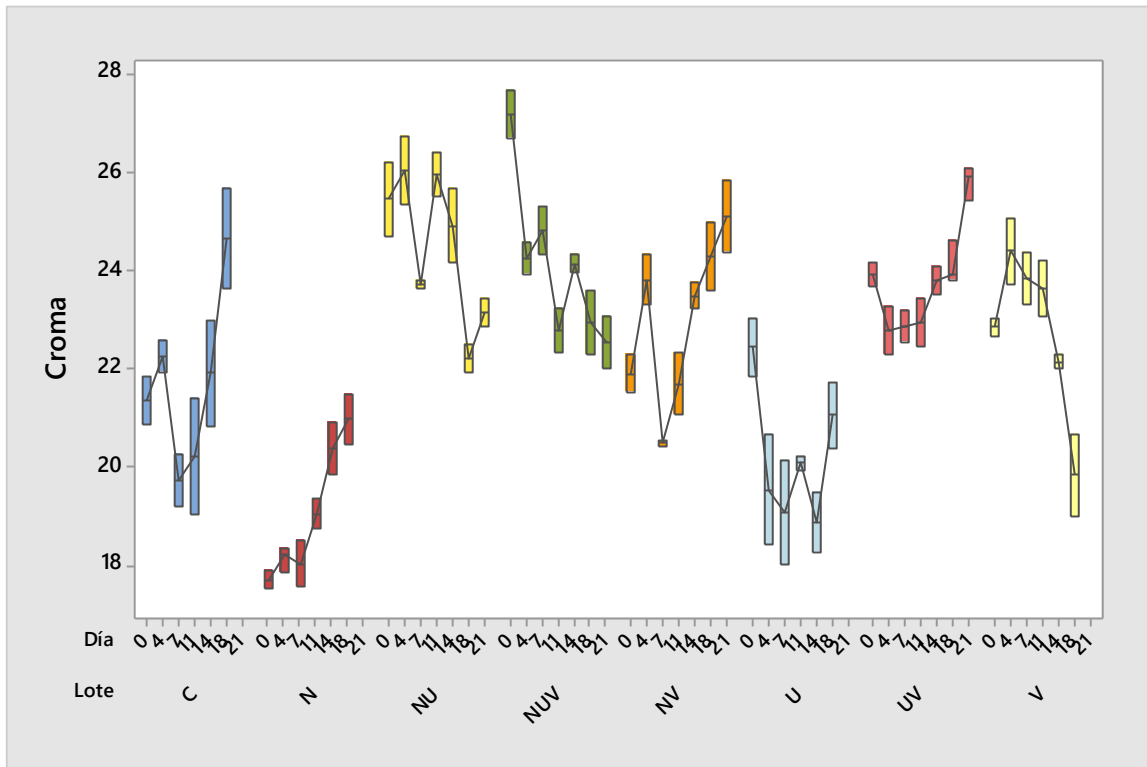


Figura 14. Cambios de cromaticidad por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo a refrigeradas 0°C.

Según el artículo de Wideman et al., (2016), el cual cita el trabajo experimental de Millar et al., (2001) en base a la aplicación de radiación a la pechuga de pollo, muestra valores de croma de aproximadamente de 9.89, representando una saturación del color muy por debajo de los resultados obtenidos en nuestra experimentación, los cuales se encuentran entre 26 y 17 en las diferentes variables en base a los tratamientos.

### **3.2.2. Evaluación de la pérdida de peso**

La pérdida de peso en alimentos almacenados a temperaturas de refrigeración es común debido a la humedad relativa y las altas velocidades de circulación de aire, lo cual genera una evaporación del agua presente y la desecación del producto. Sin embargo, los lotes de fajitas de pollo fueron envasados en bolsas de polietileno de alta densidad, un material que es considerado de alta barrera al vapor de agua, olores, sabores y reduce la liberación o absorción de compuestos del ambiente al producto y viceversa.

#### **3.2.2.1. Determinación de Líquido Drenado**

Esta prueba determina la cantidad de líquido contenido en la pechuga que fue expulsado o drenado debido a la acción de los tratamientos, a reacciones enzimáticas o crecimiento de bacterias patógenas. Esta prueba determina un parámetro de calidad muy importante, ya que, a medida que transcurra el tiempo en almacén, este perderá proteínas solubles en agua al igual que humedad, provocando un ambiente favorable para el crecimiento de bacterias debido a la cantidad de agua y nutrientes disponibles en la capa superficial de la pechuga. Sin embargo, es necesario mencionar que gran cantidad del líquido drenado fue expulsado al ambiente o quedará en el envase, que al momento de ser cocinado el alimento perdería gran cantidad de su peso y por lo tanto tendría un porcentaje de humedad final muy bajo, el cual presentaría una característica inaceptable por parte del consumidor, además de la gran cantidad de nutrientes perdidos y disminución considerable de tamaño final del producto, genera un menor rendimiento debido a la gran pérdida de peso que tiene el alimento y en caso de que este sea procesado y vendido para el consumo directo, es decir el producto ya cocinado, este contraería un gran problema debido al peso final.

Como podemos observar en la figura 15 muestra los cambios de líquido drenado en fajitas de pollo en función al tiempo y por efecto de los tratamientos existiendo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), resultando que el tratamiento que generó mayor pérdida de líquido drenado fue la de nanopartículas con vacío (NV), ya que la aplicación de nanopartículas fueron realizadas en un medio líquido, las cuales penetraron el tejido y pudo existir una

liberación del líquido que se encontraba dentro de las membranas, además de la presión que ejerce el envasado a vacío, pudo acelerar el proceso de drenado y exudación de líquidos.

Los tratamientos donde se aplicaron nanopartículas en conjunto a otro proceso de conservación (NU, NUV y NV) tuvieron una gran cantidad de líquido drenado. En el caso del lote donde se aplicaron nanopartículas y luz ultravioleta, la irradiación es conocida porque en caso de aplicar concentraciones muy altas, además de generar malos sabores podría generar una degradación del tejido tan grave que podría ser reducido a papilla, sin mencionar los daños a la salud por consumir un alimento con alto nivel de radiación, en caso de aplicar una concentración inapropiada los tejidos se ablandarían considerablemente rompiendo estructuras y liberando gran cantidad de agua. Los lotes con menor pérdida de agua son las muestras con menor manipulación (N, U, V) donde se liberó de 25 a 27% menos de la cantidad de líquidos en comparación a la muestra control.

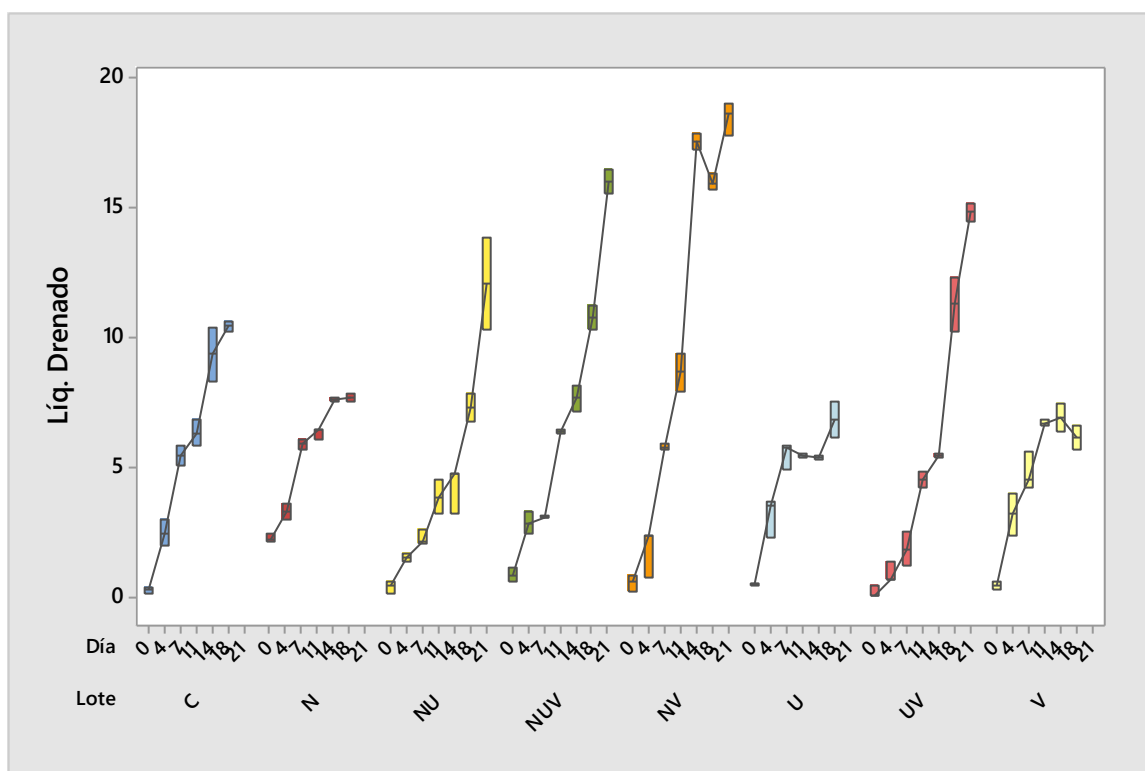


Figura 15. Cambios de líquido drenado por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

En el supermercado los productos cárnicos están refrigerados a temperaturas no mayores a 4°C. A esta temperatura, las células del producto se “sueltan”, la producción de este jugo visible se conoce como goteo, esto ocurre mientras los cortes son presentados para venta, durante el envío de cortes para ventas al por mayor y durante el almacenaje de los cortes antes del envío.

Luego del sacrificio el pollo se refrigera, este puede realizarse por dos métodos: corrientes de aire frío o inmersión en agua helada. El primer método tiene una duración de 1 a 6 horas, en el cual hay una merma de 0,5 a 1,5% en el peso. Si se utiliza agua-hielo provocará la hidratación que variará según el tiempo de inmersión, esto es favorable para el productor, pero en algunos países está normalizado y no debe superar el 10% de agua de hidratación (Gómez & Gómez, 2013).

#### **3.2.2.2. Pérdida de Peso por Cocción**

Las aves están compuestas, en forma natural, de agua, músculo, tejido conectivo, grasas y huesos. El músculo es aproximadamente un 75% agua y un 20% proteína, con un restante de 5% de una combinación de grasa, carbohidratos y minerales. El porcentaje de agua varía con el tipo de músculo, tipo de carne y el pH. El contenido de agua o humedad en pollos enteros contiene un 66% de agua antes de la cocción y un 60% después (Gómez & Gómez, 2013).

La cocción de las fajitas de pollo se realizó a una temperatura de 75 a 80°C durante 4 minutos. Como se puede observar en la figura 16 muestra los cambios de luminosidad de las fajitas de pollo en función del tiempo y tratamientos a los cuales fueron sometidas las muestras, los mayores porcentajes de pérdida por cocción fueron aquellos en los que se aplicaron nanopartículas, mostrando diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los distintos tratamientos, ya que la capsaicina tiene muchas propiedades, entre ellas es administrada vía oral y dérmica, para perder peso, además es utilizado para calentamiento de músculos, debido a que la capsaicina mejora la oxidación de ácidos grasos en tejidos, por lo tanto, la liberación de energía y aumento de temperatura. En el caso de ser utilizada en pechuga de pollo, oxida la poca cantidad de lípidos, además de aumentar considerablemente su temperatura a tal grado que evapora mayor cantidad de agua contenido en el alimento.

Los lotes a los cuales fueron aplicadas nanopartículas, el porcentaje de pérdida de peso por cocción inicial es aún más alta que la muestra control al día 18, es decir, pierde aproximadamente el 106% más de pérdida de peso el tratamiento de nanopartículas en el día 1 de almacén, esta situación podría ser de cierta forma una ventaja, debido a que los tiempos y temperaturas empleadas para su cocción fueron estandarizados y en caso de aplicar nanopartículas en los procesos de cocción podrían reducirse los tiempos y por lo tanto ahorrar consumo de energía.

Entre los tratamientos de UV-C (U), vacío (V) y UV-C con Vacío (UV) no existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en comparación con la muestra control (C), ya que el comportamiento de su pérdida de peso es muy similar a la pechuga que no le fue aplicado ningún tratamiento para alargar el tiempo de vida útil, sin embargo, si existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en base a los tratamientos donde fueron aplicados nanopartículas.

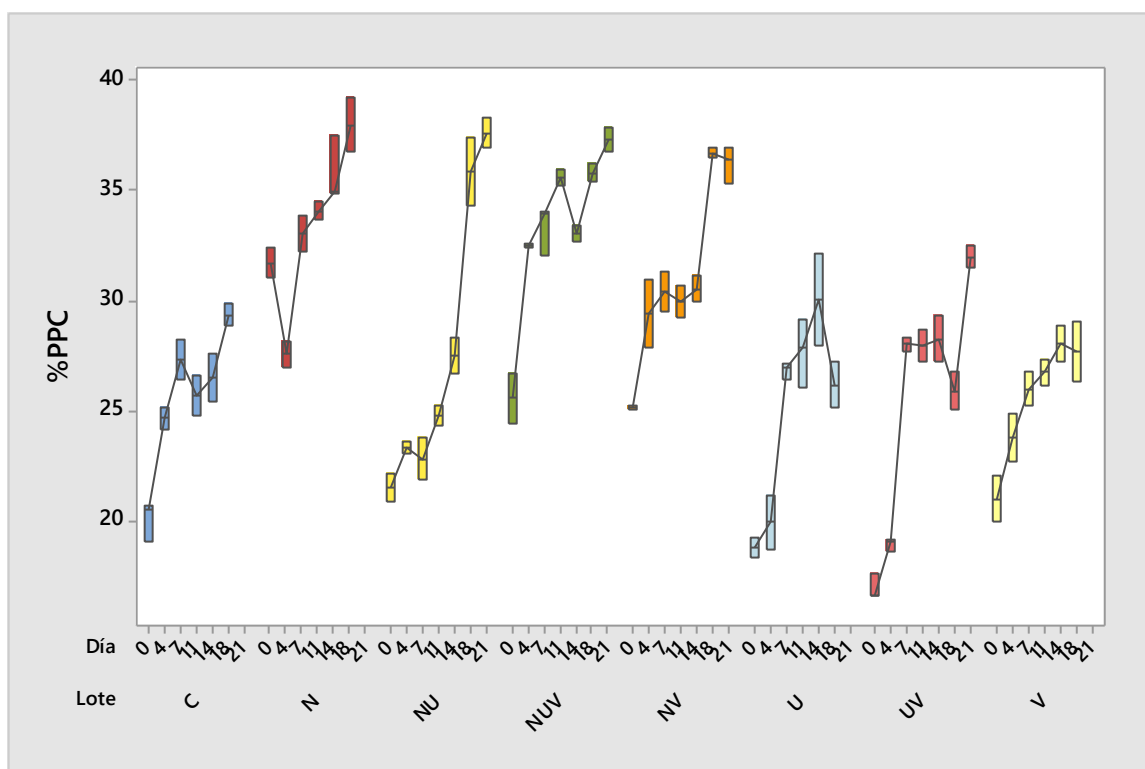


Figura 16. Cambios de pérdida de peso por cocción por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.



### 3.2.3. Resistencia al corte

La textura está relacionada con el espesor de las fibras musculares y del tejido conectivo o perimysio que rodea a cada una de ellas. Ambas están influenciadas por muchos factores, entre los cuales es importante destacar las propiedades internas musculares, tales como: resolución del rigor, capacidad de retención de agua, contenido intramuscular de grasa y de tejido conectivo. Las evaluaciones objetivas de textura son complejas debido a que deben reflejar la acción de la boca, lengua, mandíbulas y dientes durante la masticación, corte, rasgado, molido y compresión del alimento. Las características de textura en estos incluyen las propiedades mecánicas de dureza, cohesividad, adhesividad, fracturabilidad y viscosidad entre otras, así como también parámetros geométricos, contenido de grasa y humedad (Teira, G. 2004).

Al momento de realizar esta prueba existen situaciones críticas como fue mencionado anteriormente, debido a que la pechuga de pollo está compuesta por un músculo pectoral superficial y uno profundo, donde el músculo pectoral superficial tiene mayor firmeza y uniformidad del tejido en comparación con el músculo pectoral profundo; Además el tejido conectivo requiere de gran fuerza para ser cortado o perforado, en caso de encontrarse alguno en la muestra de pollo para la prueba de resistencia de corte, este afectaría considerablemente los resultados.

En la Figura 17 muestra los cambios de la resistencia al corte en fajitas de pollo en función al tiempo y tratamiento al que fue sometida la muestra, observándose que en los tratamientos donde se aplicaron nanopartículas existe una disminución constante de su firmeza a medida que pasa el tiempo en almacén. Es necesario mencionar que a medida que el tiempo transcurría en refrigeración las pruebas que se les había aplicado un solo tratamiento, es decir, vacío, UV-C y Nanopartículas, al cumplir los 18 días de almacén presentaban mal olor, la muestra control a partir del día 11 mostraba los mismos resultados, sin embargo, las pruebas con tratamientos combinados (NPS/UV-C/V, NPS/UV-C y UV-C/V) empezaron a presentar la misma característica hasta el día 21. Demostrando de esta forma el grado de descomposición del alimento debido al ataque de bacterias y reacciones enzimáticas, de esta forma podemos declarar el tiempo de vida útil de un producto.

Al aplicar los tratamientos a las muestras de pollo, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), ya que la firmeza del tejido disminuye muy poco en cualquiera de los casos en comparación de la muestra control, las nanopartículas a pesar de tener un medio ácido no afectan el tejido al momento de ser aplicados; Cuando son aplicados los tratamientos de NPS/V, a partir del día 11 disminuye su dureza en un 50%, y después permanece constante.

El tratamiento de UV-C/V permaneció constante la dureza hasta el día 18 donde disminuye en un 32% su dureza inicial, demostrando que la aplicación conjunta de estos dos tratamientos inhibe en gran medida la carga microbiana y crea ambientes inapropiados para su proliferación. En la muestra control disminuye en un 53%, representando que ya existía una gran cantidad de bacterias patógenas encargadas de la degradación de las fibras musculares del alimento, afectando directamente la cantidad de líquido drenado, porcentaje de pérdida de peso por cocción y pH.

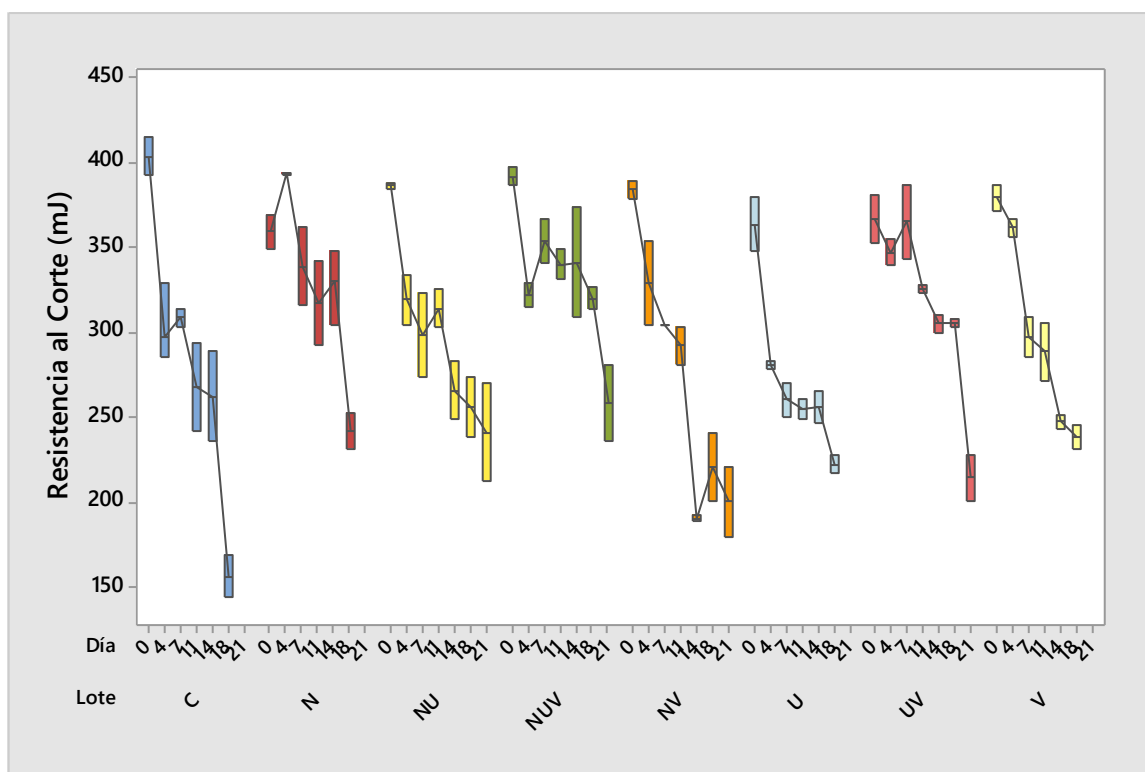


Figura 17. Cambios de resistencia al corte por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

### **3.2.4. Capacidad de Retención de Agua (CRA)**

Es la cantidad de agua que la carne es capaz de retener durante la aplicación de fuerzas externas. Este es un parámetro de gran importancia pues está relacionado con la sensación de jugosidad que el consumidor percibe en el momento de la masticación. También determina el comportamiento de la carne durante su manejo y preparación y puede estar relacionada con el tipo de alimentación recibido por el animal. Su medida se efectúa mecánicamente, comprimiendo una muestra de referencia durante un tiempo determinado.

El agua es el componente más abundante de la carne (65-80%); sin embargo, la cantidad de agua en el tejido muscular puede ser muy variable debido a la pérdida después de ser sacrificado el animal y durante el almacenamiento, afectando la calidad de la carne. La pérdida de agua en la carne es un problema, ya que esta es vendida por peso y la cantidad de agua que pierde durante el almacenamiento afecta el aspecto de la carne fresca, su rendimiento y valor económico, además de su rendimiento en la fabricación de productos elaborados.

Durante el procesamiento, la carne es sometida a diferentes temperaturas (refrigeración, congelación y tratamiento térmico), lo cual genera la pérdida de agua afectando el rendimiento del producto. Una carne que tiene poca capacidad de retención de agua es considerada de baja calidad. Otros factores que afectan a la CRA son la cantidad de grasa, el pH y el tiempo que ha transcurrido desde el deshuesado hasta su almacenamiento. Se considera que un máximo de 5% del agua total del músculo está ligada a través de grupos hidrofílicos de las proteínas

Muchas de las propiedades físicas de la carne como el color, la textura y la firmeza de la carne cruda, así como la jugosidad y la suavidad de la carne procesada, dependen en parte de la capacidad de retención de agua. La CRA es particularmente importante en productos picados o molidos, en los cuales se ha perdido la integridad de la fibra muscular y, por lo tanto, no existe una retención física del agua libre. Las pérdidas de peso son también un efecto de disminución de la CRA. En los productos procesados es importante tener una proporción adecuada de proteína/agua, tanto para fines de aceptación organoléptica como para obtener un rendimiento suficiente en el peso del producto terminado, y ya que nuestro producto pasó por diferentes tratamientos, influyen las condiciones en las que estuvo

presente, como la humedad relativa del ambiente, la temperatura, el tipo de tratamiento aplicado como en estado líquido (aplicación de nanopartículas) o en seco (aplicación de irradiación UV-C y envasado a vacío).

Uno de los factores que altera la CRA es el pH, a medida que el pH se aleja del punto isoelectrico de las proteínas (5–5,5), la CRA aumenta y mejora la habilidad de la carne para retener más jugo en su interior, lo cual la hace más jugosa después de la cocción (Gómez et al., 2016).

El pH en el cual la CRA está en su mínimo valor (pH=5,5) corresponde al punto isoelectrico de la actomiosina, que constituye el mayor porcentaje de las proteínas estructurales del músculo. Según avanza la rigidez cadavérica, se induce una degradación de adenosintrifosfato (ATP) en el músculo y se produce un mayor entrecruzamiento entre la actina y la miosina, lo que da como resultado una reducción considerable de la CRA durante las primeras horas *post-mortem*. Este fenómeno hace que la CRA del músculo pre-rigor sea mucho mayor que en el músculo post rigor (Medina, 2009).

La figura 18 muestra los cambios ocurridos en base a la capacidad de resistencia de agua en las fajitas de pollo refrigeradas en función del tiempo y tratamiento al que fueron sometidas las muestras, en los tratamientos donde se utilizó UV-C (U), presentan una mayor CRA y permanecen casi constantes hasta el día 11 de almacenamiento, al igual que la muestra tratada con envase a vacío (V); En el caso de la aplicación de vacío existe una alta CRA, ya que no es aplicado ningún tratamiento químico donde pueda ser dañado el producto, únicamente se le aplica un poco de presión, ya que se le retira el O<sub>2</sub> hasta alcanzar 1% en su concentración; Es decir que las condiciones utilizadas para irradiar y envasar de manera separada no afectan de manera significativa esta propiedad en el alimento, es decir que la intensidad y vacío aplicado fueron adecuadas.

El tratamiento donde se aplicaron nanopartículas (NU, NV y NUV) fueron muy poco afectadas hasta el día 11, este comportamiento puede ser atribuido a que cuando pasan las nanopartículas a través del tejido, estas ocupan espacio donde el agua libre está contenida, es decir, en los tejidos intramusculares del pollo, debido principalmente la gnetina, la cual compone la pared de la nanopartícula que es una proteína aniónica, y como se puede observar en la figura, estos tratamientos contienen CRA aún mayores a las de la muestra control (C),

aunque al llegar a día 14 presentan una gran disminución del agua contenida, aun mayor a los tratamientos de irradiación y vacío (U y V).

Sin embargo, la muestra control (C) fue la que menor CRA obtuvo, ya que, al no tener ningún tratamiento para alargar su vida útil, pudo haber sido atacado por la presencia de microorganismos, generando una pérdida de agua en los tejidos musculares, ablandamiento y aumento de pH, el cual se hizo presente a partir del día 11 de almacenamiento, donde empezó a presentar signos de descomposición.

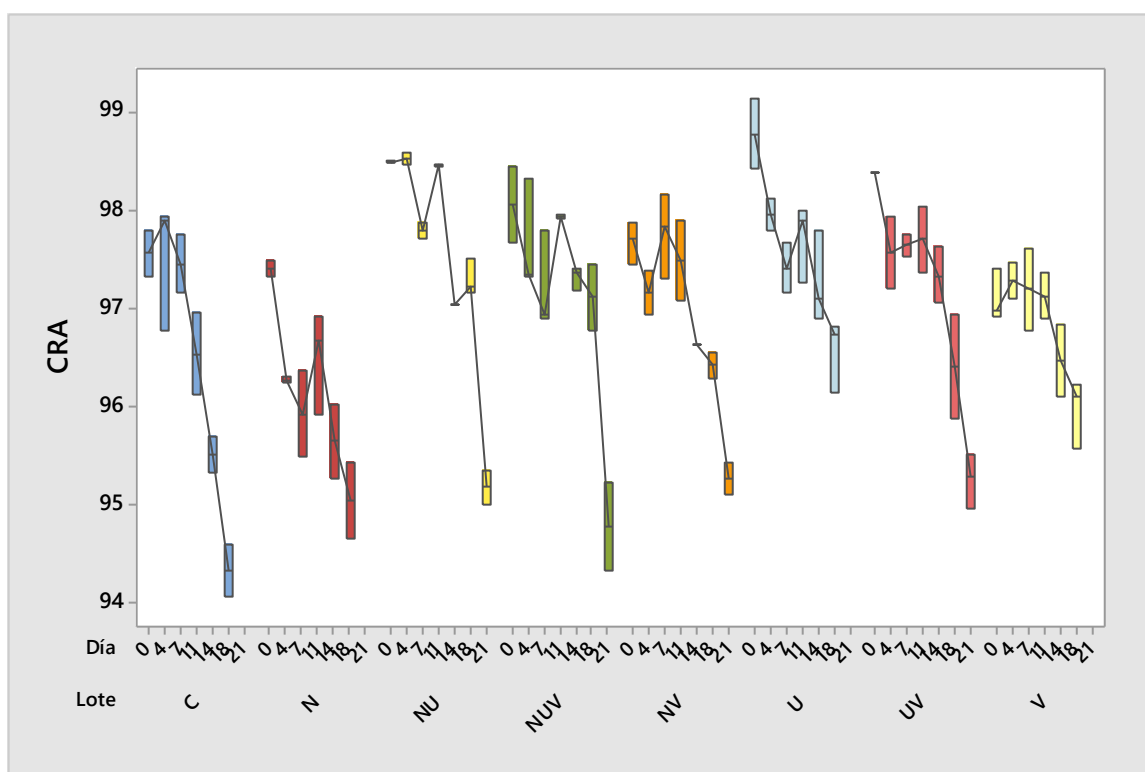


Figura 18. Cambios de capacidad de retención de agua por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

El investigador Gómez P. (2016), realizó una experimentación donde determinó la CRA de la pechuga de pollo, la cual presenta valores de 10 a 22.6% en el 69.6% de sus muestras. Uno de los factores que altera la CRA es el pH, a medida que el pH se aleja del punto isoeléctrico de las proteínas (5-5,5), la CRA aumenta y mejora la habilidad de la carne para retener más jugo en su interior, lo cual la hace más jugosa después de la cocción.

La principal consecuencia de la desnaturalización de las proteínas es un descenso de su capacidad de retención de agua, que, durante la descongelación, produce un fuerte exudado que contiene vitaminas, sales minerales y aminoácidos, y por lo tanto un descenso en la calidad de la carne.

### **3.2.5. Determinación de Conductividad Eléctrica**

La prueba realizada determina la calidad de la carne, ya que este es un indicador de la integridad de la membrana cárnica, es decir, mientras mayor sea la conductividad eléctrica, existirá mayor contenido y distribución de agua y nutrientes dentro del alimento, esta propiedad está en relación directa con la CRA, líquido drenado, pH, entre otros. Es decir que mientras mayor conductividad eléctrica exista en el tejido muscular, representará una mayor integridad de este, es decir, que no fue afectado liberando o drenando líquido, el cual contiene sales minerales y iones que aumentan esta propiedad, que va en relación directa con las demás propiedades antes mencionadas.

La Figura 19 muestra la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) de las fajitas de pollo refrigeradas, donde se puede observar que la aplicación de nanopartículas (N) es el tratamiento que más afecta esta propiedad al momento de ser aplicadas, así como también se encontró relación en comparación a la disminución de la CRA y el aumento del líquido drenado, aunque tiene mayor conductividad eléctrica en comparación con la muestra control (C) al día 18.

La muestra control (C), perdió gran cantidad de nutrientes y iones presentes en los líquidos drenados de la carne, además fue la prueba que mayor conductividad eléctrica perdió, ya que presenta diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en comparación a los otros tratamientos aplicados, donde un factor importante también es la presencia microorganismos, que se encargan de romper y degradar las fibras musculares, generando malos olores, ablandamiento del tejido muscular, mayor cantidad de líquido drenado y aumento de pH.

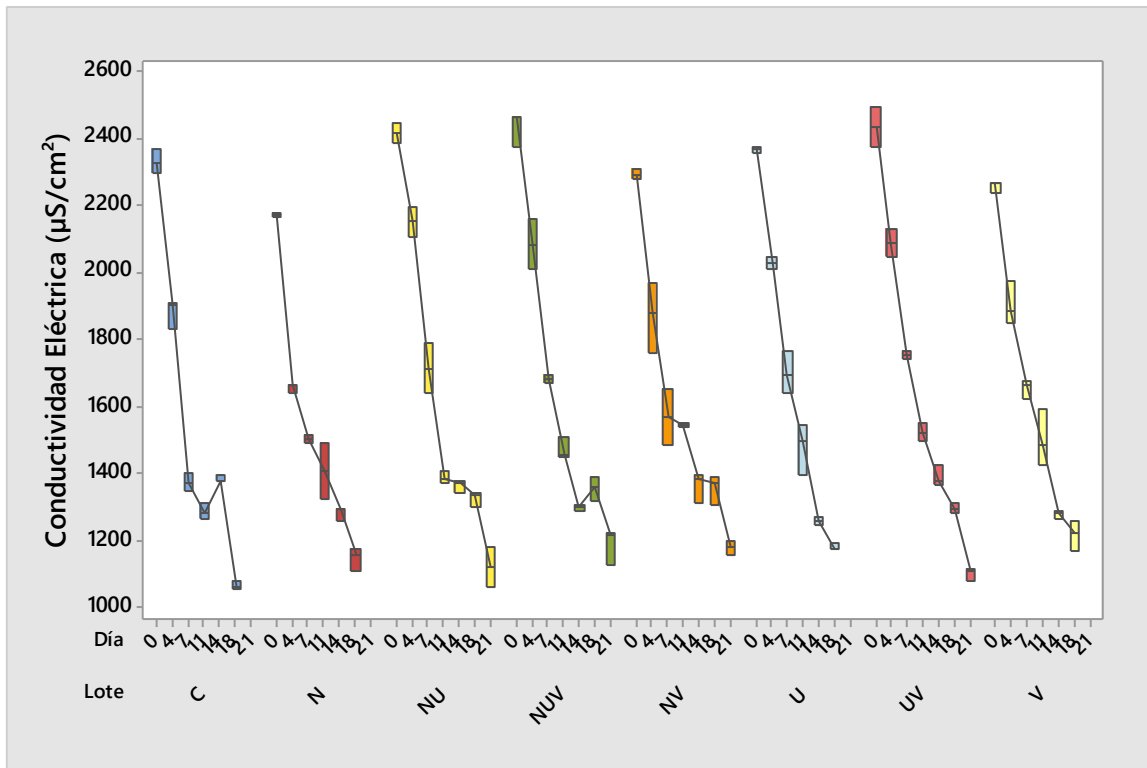


Figura 19. Cambios de conductividad eléctrica por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

Sin embargo, todas las muestras en general presentaron un comportamiento similar donde a partir del día 0 al 7 disminuía su conductividad eléctrica aproximadamente un 50%. Los tratamientos que presentaron menor pérdida de integridad del tejido fueron los tratamientos combinados donde existía una conductividad de 150 a 250  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$  más que los tratamientos que se llevaron a cabo por separado y la muestra control al día 18 de almacenamiento.

La conductividad eléctrica no es medida cotidianamente, debido a que es una prueba tardada y destructiva, aunque en caso de presentar un valor de CE bajo, la carne de pollo tiene a presentarse blanda, con baja capacidad de retención de agua y gran cantidad de líquido drenado, con un pH elevado, debido al ataque por microorganismos y generación de sustancias nitrogenadas, disminución de su acidez y un porcentaje de pérdida de peso por cocción muy elevado, debido al daño generado en las membranas musculares y gran pérdida de agua libre del tejido, por esto es que esta propiedad es un parámetro que también determina la calidad del producto.

### 3.2.6. Determinación de pH

Es una medida de la concentración de protones o iones hidrógeno. En numerosos alimentos el pH constituye un factor importante para su estabilidad, ya que determina el crecimiento de grupos de microorganismos específicos. En la carne, el pH del músculo vivo está entre 5.5 y 5.6; cuando se produce la muerte del animal, el aporte de oxígeno a los tejidos cesa, y predominan los procesos anaeróbicos (glucólisis anaeróbico) que generan la formación de ácido láctico a partir de glucógeno muscular (Gómez & Gómez, 2013).

En este caso se pueden encontrar dos situaciones: Si el pH disminuye rápidamente tras la muerte del animal debido a un glucólisis acelerada el pH final queda por debajo de 5.4, y da lugar a carnes PSE (pálida, blanda y exudativa). Este tipo de carne tiene una menor capacidad de retención de agua y exuda agua al exterior que favorece la proliferación microbiana.

Si por el contrario el animal llega cansado al sacrificio tras realizar un ejercicio intenso en el que se ha agotado el glucógeno muscular, la glucólisis anaerobia finaliza antes de alcanzar el pH final debido a que no hay sustrato, quedando el pH muscular por encima de 5.6. En este caso se producen carnes DFD (oscura, firme y dura) que se caracterizan por tener una alta capacidad de retención de agua y un pH elevado que favorece la proliferación microbiana.

Durante el almacenamiento de la carne se produce un incremento del pH en las etapas finales cuando el crecimiento de microorganismos proteolíticos que producen una degradación de las proteínas y la consecuente liberación de compuestos nitrogenados (Periago, 2013).

El valor de pH puede variar entre 5.96 y 6.18 en el músculo fresco de pollo de engorde, además de que a pH altos la carne es de color más oscuro, caso contrario cuando el pH es bajo (Qiao et al. 2002).

La figura 20 muestra los cambios de pH de las fajitas de pollo en función al tiempo de almacenamiento y tratamiento al que fueron sometidas las muestras, observándose en el caso de la muestra control (C), tiene un aumento considerable del pH debido a la carga bacteriana observada a partir del día 14, donde aumentó de 6.0 hasta alcanzar un pH de 6.5 hasta el día 18. Al igual que al tratamiento donde se aplicó UV-C (U), alcanzando un pH de 6.4. Por otra parte, la aplicación de UV-C y vacío (UV) aumentaron su pH conforme transcurrió el tiempo



de refrigeración, demostrando que los métodos que menos modificaron su pH fueron aquellos tratamientos combinados con nanopartículas (NUV, NU, NV) ya que la liberación modificada de las nanopartículas de capsaicina a través del tiempo de almacenamiento genera una disminución o control del pH debido a la acidez del mismo.

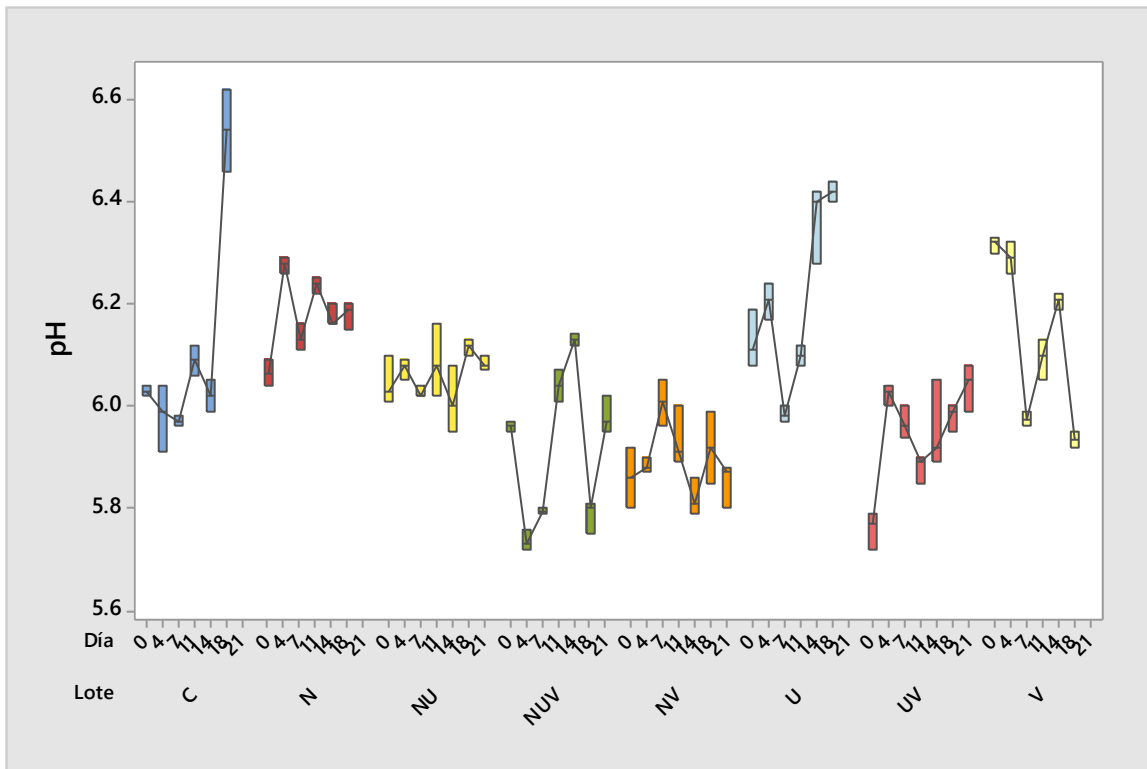


Figura 20. Cambios de pH por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

El bajo nivel de pH genera colores pálidos, carne blanda, pálida y de baja calidad, como se puede observar en la figura 20 se presentan los cambios ocurridos en el pH debido al efecto obtenido de la aplicación de los tratamientos de conservación a las fajitas de pollo refrigeradas, todas las muestras presentaron un pH > a 5.8 conforme transcurrió el tiempo total de almacenamiento, en el caso de los tratamientos combinados, permanece casi constante su valor, variando únicamente entre 5.8 y 6.2; Además de cambiar estas propiedades físicas, de acuerdo con Fletcher et al. (2000), se tiene una fuerte correlación

negativa entre la luminosidad. A medida que el pH disminuye, la luminosidad aumenta, debido al ablandamiento del tejido y liberación de líquidos, los cuales son alojados en la capa superficial entre el producto y el envase.

De esta forma podemos comprobar que las teorías sobre las propiedades antimicrobianas que se pensaban sobre la capsaicina son ciertas y además es un activo muy eficiente como método de conservación de alimentos si se utiliza en las concentraciones necesarias para alargar su tiempo de vida útil sin generar grandes daños a los tejidos, pH, sabor y color que fueran desagradables para el consumidor.

La investigación de Berri (2007), determinó el valor de pH de la carne de pollo en machos y hembras, donde no se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre los sexos, aunque en las variables, el valor de pH fue determinado 15 minutos y 24 horas *post-mortem*, donde se refleja significativamente una gran diferencia en base a la disminución de este valor a medida que pasa el tiempo y se genera el ácido láctico en el tejido muscular del animal, yendo de valores entre 6.45 a 5.64.

Gómez et al., (2016) presenta una investigación donde cuantifica las características de la carne de pollo, entre ellas presenta el valor de pH, donde aproximadamente el 86.96% presenta un rango de pH entre 5.5 y 6.2 sin tiempo transcurrido en almacenamiento, es decir que, en comparación con los datos experimentales, no se afecta en la aplicación de los tratamientos a esta característica de calidad del producto al momento de aplicar los tratamientos de conservación.

Aunque nuestros datos concuerdan con Castellini & Karaoğlu et al. (2005), que afirman que el valor de pH puede variar entre 5.96 y 6.18 en el músculo de pollo fresco. Qiao et al. (2002), citado por el mismo autor, determinó que el valor promedio de pH de la carne de pechuga de pollo de engorde es de  $5,96 \pm 0,03$ . Según lo reportado por Cori et al. (2014) en su estudio, obtuvo un  $5,93 \pm 0,17$  para este parámetro, indicando un pH mucho menor en comparación con el presente trabajo.

Varios autores han descubierto, según sus investigaciones que el pH de la carne también parece tener una fuerte influencia en el color de la carne, con valores de pH más altos dan como resultado un color de carne más oscuro (Fletcher, 1999). Wattanachant et al., (2004)

estudiaron los valores de pH y Hunter L \* del muslo de engorde y la pechuga, y descubrieron que el muslo tenía un pH de 6.62 y un valor de L \* de 32.53, mientras que la pechuga tenía un pH de 5.93 y un valor de L \* de 38.79, apoyando la afirmación de que valores de pH más altos dan como resultado un color de carne cruda más oscuro. Bihan et al., (1999) descubrieron que la pechuga de engorde con un pH promedio de 5,77 tenía un valor promedio de L \* de 50,7. Lonergan et al., (2003) encontraron que el músculo de pechuga de engorde con un pH promedio de 5.82 tenía un valor promedio de L \* de 43.34. El pH alto de la carne oscura también puede conducir al desarrollo más rápido de olores desagradables y a una vida útil reducida.

### **3.2.7. Determinación de Ácido Láctico**

Cuando se produce la muerte del animal, el aporte de oxígeno a los tejidos cesa, y predominan los procesos anaeróbicos (glucólisis anaeróbica) que generan la formación de ácido láctico a partir de glucógeno muscular.

La formación de ácido láctico provoca el descenso del pH en el músculo, de modo que dicho valor es índice del desarrollo de las modificaciones bioquímicas post mortem. Cuando se ha completado el proceso de maduración de la carne, la misma debe tener un pH comprendido entre 5.4 y 5.6, que inhibe el crecimiento de microorganismos, y le proporciona las características fisicoquímicas adecuadas. Sin embargo, ante determinadas situaciones el pH de la carne se ve alterado debido a que los procesos de glucólisis anaerobia no se desarrollan adecuadamente (Gómez & Gómez, 2013).

El glucógeno, después del rigor mortis, pasa a ácido láctico y se ve afectado por el estrés y las actividades que haya tenido el animal antes del sacrificio. Esta característica también afecta el color de la carne, para quien la velocidad y el grado de acidificación de los músculos después del sacrificio tienen un profundo efecto sobre la palidez, la consistencia y el grado de pérdidas de fluidos por exudación (carnes PSE). Esto está determinado por una mayor desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas solubles (Gómez et al., 2016).

Si las aves son sometidas a estrés durante su manejo antes de la matanza, o no son enfriadas adecuadamente luego de ésta, la calidad de la carne se verá afectada. Un ejemplo típico es la carne pálida, suave y exudativa (PSE), que se caracteriza por ser de un color pálido, incluso grisáceo, de consistencia muy suave antes de ser cocinada, y que pierde una cantidad considerable de agua (Castañeda et al., 2013).

Por otra parte, el L-lactato de sodio y el L-lactato de potasio ofrecen al procesador una herramienta para extender la vida útil de los productos cárnicos frescos. Sin embargo, esta práctica no está permitida y una manera natural de ampliar la vida útil de las carnes frescas es utilizar ácido láctico como un tratamiento superficial que aumenta la seguridad de estas carnes. Aplicar una solución de ácido láctico al 2% en agua con un atomizador o sumergir el producto en esta solución podría reducir un 90-99.9% la contaminación por *Salmonella*, *E. coli* y *Listeria monocytogenes* así como también la cuenta total en placa (Mundo Lácteo y Cárnico 2005).

Las bacterias ácido-lácticas (BAL) tienen un efecto inhibitor frente otros microorganismos como resultado de competencia por los nutrientes, producción de bacteriocinas u otros compuestos antagonistas tales como ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno y enzimas. Las BAL son eficaces contra *L. monocytogenes* y *C. jejuni.*, aunque las bacterias gram negativas tienen una resistencia inherente debido a su membrana exterior, que actúa como una barrera eficaz contra microbicidas (Melero, 2013).

El porcentaje de acidez también afecta el color de la carne, como lo afirma Oliver et al. (1989), puesto que la velocidad y el grado de acidificación de los músculos después del sacrificio tienen un profundo efecto sobre la palidez y la consistencia. Esto está determinado por una mayor desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas solubles.

La velocidad y el grado de acidificación de los músculos después del sacrificio tienen un profundo efecto sobre la palidez, la consistencia y el grado de pérdidas de fluidos por exudación (Gómez et al., 2016).

La figura 21 muestra los cambios de la concentración de ácido láctico generado durante el almacenamiento de fajitas de pollo refrigeradas, como sabemos esta prueba determina la cantidad de glucógeno presente en los músculos del animal antes de morir y si este presentó

un estado de estrés donde pudiese afectar la firmeza y color de la carne del ave al momento de ser sacrificada, si este contenía una mayor concentración de glucógeno se produce mayor cantidad de ácido láctico y obtenemos una carne más firme, como es el caso de los tratamientos combinados donde fueron aplicadas nanopartículas, UV-C y vacío (NUV), nanopartículas y vacío (NV), nanopartículas con UV-C (NU) y UV-C y vacío (UV), donde presentaron alto contenido de ácido láctico, cabe resaltar que las muestras obtenidas de estas pruebas fueron de pollos sacrificados el mismo día, si es comparado contra la prueba de resistencia al corte podemos darnos cuenta que de igual manera estas muestras se encontraron firmes desde el primer día de muestreo, además de tener un ángulo de tonalidad bajo representante de un color amarillo obscuro.

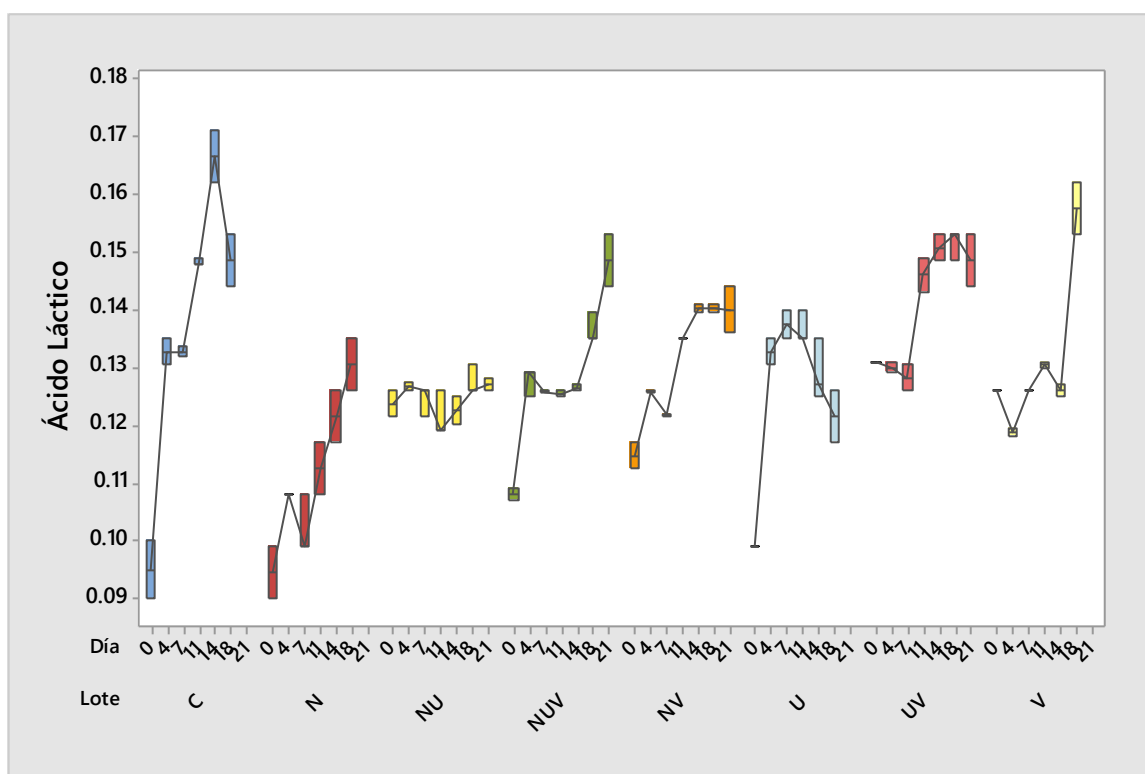


Figura 21. Cambios de ácido láctico por efecto de los tratamientos aplicados en la conservación de fajitas de pollo refrigeradas a 0°C.

La aplicación de nanopartículas inhibe en gran medida la cantidad de ácido láctico, aunque es similar al de la muestra control al día 0 de muestreo y este valor aumenta a medida que transcurren los días de almacenamiento y al cabo del día 18 de monitoreo este sigue siendo

bajo en comparación de los demás tratamientos. La luz UV-C muestra un comportamiento ascendente hasta el día 7, donde tiende a disminuir hasta casi alcanzar su valor inicial de concentración de ácido láctico.

El envasado a vacío (V) desde el día 0 de monitoreo mostró un alto contenido de ácido láctico, aun así, al día 14 presentó un aumento considerable hasta el día 18, alcanzando resultados similares a los de la muestra control (C). La aplicación de nanopartículas y UV-C (NU) no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el aumento de la concentración de ácido láctico en el alimento, aunque este se mantuvo alto desde un principio, además de presentar gran firmeza a las pruebas de resistencia de corte, es decir que la concentración de capsaicina administrada al alimento, al igual que el tiempo de inmersión en las nanopartículas y el tiempo y concentración de luz UV administrada a las fajitas de pollo fueron adecuados, debido a que no dañó los tejidos del alimento.

Según Gómez et al., (2016) determinó que el 78.26% de la carne de pollo resultó con un porcentaje de acidez de entre 0.34 y 0.58, aunque es necesario resaltar que está referido al total de acidez. La velocidad y el grado de acidificación de los músculos después del sacrificio tienen un profundo efecto sobre la palidez, la consistencia y el grado de pérdidas de fluidos por exudación (carnes PSE). Esto está determinado por una mayor desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas solubles.

## CONCLUSIONES

La aplicación de nanopartículas de capsaicina en conjunto con vacío y luz ultravioleta alargaron la vida útil en las fajitas de pechuga de pollo refrigeradas considerablemente, ayudando a aumentar la capacidad de retención de agua al igual que la resistencia al corte, de tal forma que lograron una alta conductividad eléctrica, manteniendo un mayor contenido de nutrientes en sus tejidos musculares.

El pH es un indicativo de la carga microbiana presente en el alimento, donde la menor cantidad fue en los tratamientos combinados con nanopartículas y otros tratamientos de conservación (NUV, NV, NU), donde además se mantuvo estable este valor, es decir, que no se generó una cantidad significativa de compuestos nitrogenados provenientes de microorganismos proteolíticos, donde se observaron grandes diferencias en comparación a la muestra control. Los cambios en la coloración del pollo no fueron representativos, ya que únicamente estos tratamientos generaron un pequeño aumento de coloración tendiendo hacia un amarillo oscuro además de un aumento en su luminosidad, haciéndolo aceptable para el consumidor.

Los tratamientos donde se utilizaron nanopartículas de capsaicina generaron un aumento en el porcentaje de pérdida de peso por cocción, debido a las propiedades del activo que generan mayor calor al ser cocinadas, por lo tanto, requieren de menor energía calórica para su preparación, por tal razón se recomienda disminuir el tiempo de cocción del alimento.

Los tratamientos que utilizaron métodos de conservación en conjunto lograron alargar el tiempo de vida útil del producto, en los cuales no se presentó ninguna característica de ataque por microorganismos a lo largo de 21 días de almacenamiento en refrigeración a 0°C, sin embargo, los métodos utilizados por separado presentaron signos de descomposición entre el día 14 y 18, y por otro lado, la muestra control presentó mal olor entre los días 11 y 14 de almacenamiento. Es decir que la aplicación de nanopartículas de capsaicina en conjunto con

otros métodos de conservación duplican el tiempo de vida útil del pollo fresco a temperaturas de refrigeración.

La aplicación de nanopartículas de capsaicina presentó buenos resultados, logrando mantener sus propiedades en óptimas condiciones para su venta, manteniendo un pH bajo y estable, aunque por arriba de lo permitido para obtener una carne firme, con bajo nivel de líquido drenado en su almacenamiento, alta resistencia al corte y capacidad de retención de agua, sin generar cambios significativos en la coloración de la carne en comparación de la muestra control, aunque si un ligero aumento en su luminosidad.

La aplicación de nanotecnología, irradiación UV-C y envases con vacío alargan el tiempo de vida útil, beneficiando a las industrias alimenticias, debido a que es un producto de alta demanda en el país y de los principales productos cárnicos consumidos, donde su mercado ha crecido exponencialmente y es necesario aplicar nuevos métodos de conservación que mantengan la calidad e inocuidad del alimento, al igual que es importante mantener informados a los consumidores para evitar un rechazo hacia el producto debido a la mala información que pueden tener sobre alimentos que son irradiados.



## REFERENCIAS

- AOAC. (2014). Official Methods of Analysis. 15th edition. Washington D. C.
- Avícola el Madroño S.A. (2015). Pechuga de pollo con piel.
- Barreras-Urbina, C. G., Ramírez-Wong, B., López-Ahumada, G. A., Burruel-Ibarra, S. E., Martínez-Cruz, O., Tapia-Hernández, J. A., & Rodríguez Félix, F. (2016). Nano- and Micro-Particles by Nanoprecipitation: Possible Application in the Food and Agricultural Industries. *International Journal of Food Properties*, 19(9), 1912–1923. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1089279>
- Bell, D., & Weaver, W. (2002). Commercial chicken meat and egg production (5 vol. 2). *Springer Science+Business Media*, LCC.
- Beltrán, A., & Ramos, M. (2010). Estudio de la Vida Útil de Fresas (*Fragaria vesca*) Mediante Tratamiento con Radiación Ultravioleta de Onda Corta (UV-C). *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 23(2), 17–24.
- Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Baéza, E., Gigaud, V., ... Duclos, M. J. (2007). Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of Pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens. *Journal of Animal Science*, 85(8), 2005–2011. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-398>
- Bialka, K.L., A. Demirci, S.J. Knabel, P.H. Patterson, and V.M. Puri. 2004. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for the microbial safety and quality of eggs. *Poultry Science*. 83: 2071-2078.
- Brody, A.L. 1996. Envasado de Alimentos en Atmósferas Controladas, Modificadas y en Vacío. Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A.
- Brown, M.H. 1982. Meat Microbiology. London: Applied Science Publishers LTD.
- Catañeda, P., Braña, D., Rosario, C., Martínez, W. (2013). Calidad Microbiológica de la Carne de Pollo, 9(2), 1-90.
- Chau, C. F. (2015). An introduction to food nanotechnology. En Cheung, P., Mehta, B., *Handbook of Food Chemistry* (pp. 1087–1101). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Chun, H., Kim, J., Lee, B., Yu, D., Song, K. (2010). Effect of UV-C irradiation on the inactivation of inoculated pathogens and quality of chicken breasts during storage. *Food Control*, 21(3), 276–280.
- Dewitt, D., Stock M.T., Hunter K., (2000). Los Poderes Curativos de los Chiles, Remedios y Recetas para mejorar vida y salud. Editorial Diana. México.
- Dong U. Ahn, Il Suk Kim, and Eun Joo Lee. (2013). Irradiation and additive combinations

- on the pathogen reduction and quality of poultry meat. *Poult. Sci.* 92:534–545.
- Echiegu, E. A. (2017). Nanotechnology applications in the food industry. En Prasad, R., Kumar, V., Kumar, M, Nanotechnology (pp. 153–171). Singapore: Springer.
- Erickson, M.C. (1998). Lipid oxidation in muscle foods. En: Food lipids, C.C. Akoh and D.B. Min (eds). New York: Marcel Dekker. pp. 297-332.
- Escalante, A. S., Urrutia, G. R. T., Pedro, J., Arriola, C., González Méndez, N. F., & Watanabe, G. H. (2008). Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil. *Nacameh*, 2(2), 124–159. Retrieved from <http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/>
- FAO, 2001. Directrices para el Manejo, Transporte y Sacrificio Humanitario del Ganado. Capítulo 2: Efectos del estrés y de las lesiones en la calidad de la carne y de los subproductos. Sitio Web: <http://www.fao.org/docrep/005/x6909s/x6909s04.htm#TopOfPage>
- FAO/OMS. (2005) Comisión del Codex Alimentarius: Código de prácticas de higiene para la carne. Roma. Recuperado de:<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/es/>
- Farkas, J. 1998. Irradiation as a method for decontaminating food: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 44(3):189-204.
- Fernández-Molina, J. J., Barbosa-Cánovas, G. V., & Swanson, B. G. (2001). Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor. *Arbor*, 168(661), 155–170. <https://doi.org/10.3989/arbor.2001.i661.827>
- Fletcher, D. (1999) Broiler breast meat colour variation, pH, and texture. *Poultry Science* 78: 1323-1327
- Fletcher, D., Qiao, M., Smith, D. (2000). The relationship of raw broiler breast meat color and pH to cooked meat color and pH. *Poultry Science*, 79, 784-788.
- Forrest, C., Aberle, E., Hedrich, H., Judge, M., Merkel, R. (1979). Fundamentos de ciencia de la carne. España: Acribia.
- Gertzou, J., Karabagias, I., Drosos, P., Riganakos, K. (2017). Effect of combination of ozonation and vacuum packaging on shelf life extension of fresh chicken legs during storage under refrigeration. *Journal of Food Engineering*, 213, 18-26.
- Gil, F. (2013). Anatomía específica de aves: Aspectos funcionales y clínicos. Unidad Docente de Anatomía y Embriología Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Sitio Web: <http://www.um.es/anatvet/interactividad/aaves/anatomia-aves-10.pdf>
- Gill, C.O. (1982). Microbial Interaction with meats. En. Meat Microbiology, Brown, M.H. (ed.). London: Applied Science Publishers LTD, pp. 225-264.
- Gómez, P., Gómez, N., Martínez, B. (2016). Evaluación de las características organolépticas, físicas y químicas de pechuga de pollo, en San Juan de Pasto (Nariño). *Veterinaria y Zootecnia*, 10(2), 62–71. <https://doi.org/10.17151/vetzo.2016.10.2.6>
- Gómez, P., Gómez, O., (2013). Evaluacion De La Calidad De Carne De Pollo ( Pectoralis

Major Y Pectoralis Minor) Que Se Expende En La Ciudad De San Juan De Pasto. *Universidad De Nariño*, X, 234.

- Guo, Y., Huang, J., Sun, X., Lu, Q., Huang, M., Zhou, G. (2018). Effect of normal and modified atmosphere packaging on shelf life of roast chicken meat. *Journal of Food Safety*, 1–8.
- Hamoen, J., Vollebregt, H., Van Der Sman, R. (2013). Prediction of the time evolution of pH in meat. *Food Chemistry*, 144, 2363-2372.
- Haughtony, P., Lyng, J., Cronin, D., Morgan, D., Fanning, S., Whyte, P. (2011). Efficacy of UV light treatment for the microbiological decontamination of chicken, associated packaging, and contact surfaces. *Journal of Food Protection*, 74 (4), 565-572.
- Hautkappe, M., Roizen, M.F., Toledano, A., Roth, S., Jeffries, J.A., Ostermeier, A.M., 1998. Review of the effectiveness of capsaicin for painful cutaneous disorders and neural dysfunction. *Clin. J. Pain* 14, 97–106
- Hernández, B. (2012) Análisis de Cárnicos. Determinación de pH y acidez. Sitio Web: <http://analisisproductoscarnicos.blogspot.com/2012/05/determinacion-de-ph-y-acidez.html>
- Higuera, L., Lopez-Carballo, G., Hernandez-Munoz, P., Gavara, R., and Rollini, M. (2013). Development of a novel antimicrobial film based on chitosan with LAE (ethyl-N(alpha)-dodecanoyl-L-arginate) and its application to fresh chicken. *International Journal Food Microbiology*. 165:339–345.
- Honikel, K. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447-457.
- Honikel, D., Mortimer, S. (2014). Effect of genotype, gender and age on sheep meat quality and a case study illustrating integration of knowledge. *Meat Science*, 98, 544-555.
- Ibsen, L., Gonzales, R., & Gómez, S. O. (2010). Efecto de la temperatura en la capacidad de retención de agua y pH en carne de res, cerdo, pollo, ovino, conejo y pescado paco. 7(2), 77–85.
- ICMSF. 2001. Microorganismos de los Alimentos 6. Ecología microbiana de los productos alimentarios. Editorial Acribia. Zaragoza
- James, C., Vincent, C., Andrade, T., James, S. (2006). The primary chilling of poultry carcasses: A review. *International Journal of Refrigeration*, 29, 847-862.
- Joye, I. J., & McClements, D. J. (2013). Production of nanoparticles by anti-solvent precipitation for use in food systems. *Trends in Food Science and Technology*, 34(2), 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.10.002>
- Kanarat, S., S. Sriharach, and P. Vecharangsan. 2004. Surveillance of Campylobacter jejuni and Campylo-bacter coli contamination in chicken rearing industry. In The 19th Livestock Conference. Chalermprakiat Museum, Prathumthani, Thailand.
- Keklik, N. (2009). Decontamination of poultry products by pulsed UV-light. ProQuest Dissertations and Theses, 227.

- King, T., Osmond-McLeod, M., Duffy, L. (2018). Nanotechnology in the food sector and potential applications for the poultry industry. A review: *Trends in Food Science & Technology*, 72, 62-73.
- Koutchma, T., Forney, L., Moraru, C. (2009). Ultraviolet light in food technology. USA: CRC Press.
- Lawrie, A. (1967). *Ciencia de la carne*. España: Acribia.
- Lazaro, C., Conte-Júnior, C., Monteiro, M., Canto, A., Costa-Lima, B., Mano, S., Franco, R. (2014). Effects of ultraviolet light on biogenic amines and other quality indicators of chicken meat during refrigerated storage. *Poultry Science*, 93(9), 2304–2313.
- Le Bihan-Duval, E., Millet, N., Remignon, H. (1999) Broiler meat quality: effect of selection for increased carcass quality and estimates of genetic parameters. *Poultry Science* 78: 822-826.
- Lee, S.K., Mei, L., Decker, E.A. 1996. Lipid oxidation in cooked turkey enzymes as affected by added antioxidant enzymes. *Journal of Food Science*, 61(4):726-728, 795.
- Letchford, K., Burt, H. (2006). A review of the formation and classification of amphiphilic block copolymer nanoparticulate structures: micelles, nanospheres, nanocapsules and polymersomes. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 65, 259-269.
- Lewis, P. D., & Gous, R. M. (2009). Responses of poultry to ultraviolet radiation. *World's Poultry Science Journal*, 65(3), 499–510.  
<https://doi.org/10.1017/S0043933909000361>
- Licciardello, F., Muratore, G., Mercea, P., Tosa, V., and Nerin, C. (2013). Diffusional behaviour of essential oil components in active packaging polypropylene films by multiple headspace solid phase microextraction-gas chromatography. *Packaging Technology Science*. 26:173– 185.
- Liu, Y., Lyon, B., Windham, W., Savage, E. (2004). Principal component analysis of physical, color, and sensory characteristics of chicken breast deboned at two, four, six and twenty-four hours post-mortem. *Poultry Science*, 83, 101-108.
- Lonergan, S., Deeb, N., Fedler, C., Lamont, S. (2003) Breast meat quality and composition in unique chicken populations. *Poultry Science* 82: 1990-1994
- Lundquist, B.R. 1994. El envasado de la carne y los productos cárnicos. En *Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos*, Price, J.F. y Schweigert, B.S. (eds). Zaragoza, España: Editorial Acribia, S.A. pp. 441-455.
- Lyon, E., Buhr, J. (1999). Bases bioquímicas de la textura de la carne. *Ciencia de la carne de ave*. España: Acribia.
- MacRitchie, L. A., Hunter, C. J., and Strachan, N. J. C. (2014). Consumer acceptability of interventions to reduce *Campylobacter* in the poultry food chain. *Food Control* 35:260–266.
- Meltem, N. (2009). Decontamination of poultry products by pulsed UV-light. Department

of Agricultural and Biological Engineering. USA.

- Medina, L. (2009). Evaluación de la capacidad de retención de agua y emulsificación en carne fresca de tres especies. *Tecnología e industrias cárnicas e hidrobiológicas. Ingeniería alimentaria*. Sitio Web: <http://ingenieria.alimentaria.blogspot.com/2009/12/carnicos-practica-02.html>
- Melero B., R. Vinuesa , A. M. Diez , I. Jaime , and J. Rovira. 2013. Application of protective cultures against *Listeria monocytogenes* and *Campylobacter jejuni* in chicken products packaged under modified atmosphere. *Poultry Science*. 92:1108–1116
- Milicevic, D., Trbovic, D., Petrovic, Z., Jakovac-Strajnb, B., Nastasijevic, I., Koricanac, V. (2015). Physicochemical and functional properties of chicken meat: A review. *Procedia Food Science*, 5, 191-194.
- Millar, S.J., Moss, B.W.,Stevenson, M.H. (2001)The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat. *Meat Science* 55: 361-370.
- Montero, I. (2019). Recetas de Pechuga de Pollo finas con salsa ácida, Pollo Piccata. Recuperado el día 25/11/2019. Sitio Web: <https://okdiario.com/recetas/pollo-piccata-2525573>
- Moreno-limón, S.M. Salcedo-Martínez, M.L.Cárdenas-Ávila, J. L. H.-P. y M. A. N.-G. (2012). Antifungal effects of capsaicin and chile piquin extracts (*Capsicum annum* l. var. *aviculare*) in vitro on *Aspergillus Flavus* Growth,. *Polibotanica*, (34), 191–204.
- Moreno, R. (2005). Calidad de la carne de pollo. *Selecciones Avícolas*, 47(6), 347-355. Retrieved from <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2005/7/1644-calidad-de-la-carne-de-pollo-y-ii.pdf>
- Morón, O., Zamorano., L. (2012). Pérdida por goteo en carne cruda de diferentes tipos de animales. *Revista Científica, FCV-LUZ. Universidad del Zulia; Ciudad Universitaria, Núcleo*
- Mundo Lácteo y Cárnico, (2005). Empleo de ácido láctico en productos cárnicos. Sitio Web:[http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MLC005\\_alactencarneWSF.pdf](http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MLC005_alactencarneWSF.pdf)
- Nam, K. C., and D. U. Ahn. 2002c. Mechanisms of pink color formation in irradiated precooked turkey breast. *J. Food Sci.* 67:600– 607.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microtechnology and nanotechnology in food science. En Boye, J., Arcand, Y., *Green Technologies*
- Norma Mexicana NMX-FF-080-2006. Productos avícolas carne de pollo de engorda en canal y en piezas. México: Dirección General de Normas.
- Oliver, et al. (1989). Capacidad de retención de agua. [s.n].
- Olivera, D., Cárdenas, F. C. (2013). Luz UV-C , aceite esencial de oregano (*origanum vulgare*) y ácido láctico sobre la carne de pollo. *La Industria Cárnica Latinoamericana*, 195, 52–55.

- Özer, E. A., Özcan, M., & Didin, M. (2014). Nanotechnology in food and agriculture industry. En Malik, A., Erginkaya, Z., Ahmad, S., Erten H., Food Processing: Strategies for Quality Assessment (pp. 477–497). Nueva York, E.U.A.: Springer.
- Padungtod, P., M. Kodahira, and G. Hill. 2008. Livestock production and foodborne diseases from food animals in Thailand. *J. Vet. Med. Sci.* 70:873– 879.
- Park, S., Ha, S. (2015). Ultraviolet-C radiation on the fresh chicken breast: inactivation of major foodborne viruses and changes in physicochemical and sensory qualities of product. *Food and Bioprocess Technology*, 8(4), 895–906.
- Periago, M. (2013) Técnicas analíticas en carne y productos cárnicos. Higiene, Inspección y Control Alimentario. Universidad de Murcia. Sitio Web: <http://ocw.um.es/cc.-de-la-salud/higieneinspeccion-y-control-alimentario-1/practicas-1/protocolos-control-de-calidad-carnicos.pdf>
- Qiao, M., Fletcher, D. L., Smith, D. P., & Northcutt, J. K. (2001). The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. *Poultry Science*, 80(5), 676–680. <https://doi.org/10.1093/ps/80.5.676>
- Ramachandraiah, K., Han, S. G., & Chin, K. B. (2015). Nanotechnology in meat processing and Packaging: Potential applications — a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(2), 290–302. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.14.0607>.
- Rodrigues, S. M., Demokritou, P., Dokoozlian, N., Hendren, C., Karn, B., Mauter, M. S., et al. (2017). Nanotechnology for sustainable food Production: Promising opportunities and scientific challenges. *Environmental Science: Nano*, 4(4), 767–781. <http://dx.doi.org/10.1039/C6EN00573J>.
- Rodríguez, D. (2011) La carne de pollo (procesamiento). Capítulo XV del libro AVITECNIA Manejo de las aves domésticas más comunes. México: Editorial Trillas.
- Rosset, R. 1982. Chilling, freezing and thawing. En *Meat Microbiology*, Brown, M.H. London: Applied Science Publishers LTD, pp. 265-318.
- Rubenick, J., Rubim, A., Bellé, F., Nogueira-Librelotto, D., Bueno, C. (2017). Preparation of mupirocin-loaded polymeric nanocapsules using essential oil of rosemary: A review. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 53(1), 1–11.
- Sarantópoulos, C., Vercelino, R., Contreras, C., Galvao, M., Gomes, T. (1998). Use of a modified atmosphere masterpack for extending the shelf life of chicken cuts. *Packaging Technology and Science*, 11(5), 217–229.
- Seabra, L., Zapata, J., Fuentes, M., Aguiar, C., Freitas, E., Rodrigues, M. (2001). Effect of deboning time, muscle tensioning, and calcium chloride marination on texture characteristics of chicken breast meat. *Journal of Poultry Science*, 80, 109-112.
- Sharma, P. ., Sharma, A., & Solanki, P. R. (2016). Recent Trends of Gelatin Nanoparticles in Bomedical Applications. *10*, 1–23. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2668-0>
- Sharma, S. K., Vij, A. S., & Sharma, M. (2013). Mechanisms and clinical uses of capsaicin. *European Journal of Pharmacology*, 720(1–3), 55–62.

<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2013.10.053>

- Silva, F., Domingues, F. C., & Nerín, C. (2018). Trends in microbial control techniques for poultry products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(4), 591–609. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1206845>
- Smaoui, S., Hlima, B., Ghorbel, R. (2012). The effect of sodium lactate and lactic acid combinations on the microbial, sensory, and chemical attributes of marinated chicken thigh. *Poultry Science*, 91, 1473-1481.
- Stefanova, R., Vasilev, N. V., and Spassov, S. L. (2010). Irradiation of food, current legislation framework, and detection of irradiated foods. *Food Anal. Methods* 3:225–252.
- Taylor, A.A. 1985. Packaging fresh meat. En *Developments in meat science* 3. Chapter 4. Lawrie, R. (ed.). London: Elsevier Applied Science Publishers. pp. 89-113.
- Temprado, R. M. (2005). Calidad de la carne de pollo. *Selecciones avícolas* (Vol. 47).
- Teira, G. (2004). Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas: la terneza. *Ciencia, docencia y tecnología*. Universidad Nacional de Entre Ríos. 15, 028. Sitio web: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/145/14502809.pdf>
- Toro, C. (2011). Estandarización del proceso de producción del pollo y la carne con verduras usados para los productos de hojaldre que se elaboran y comercializan en la panadería novapan. Corporación Universitaria Lasallista.
- Tuncer B. and U. T. Sireli. 2008. Microbial Growth on Broiler Carcasses Stored at Different Temperatures After Air- or Water-Chilling. *Poult. Sci.* 87:793–799
- USDA. (2007). Servicio de inocuidad e inspección de los alimentos. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. Contenido de agua en carnes y aves. Recuperado el 09/11/2019. Disponible en: [https://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/0d924688-b15d-490e-87ba-fad5b9d87727/Water\\_in\\_Meat\\_\\_\\_Poultry\\_SP.pdf?MOD=AJPERES](https://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/0d924688-b15d-490e-87ba-fad5b9d87727/Water_in_Meat___Poultry_SP.pdf?MOD=AJPERES)
- USDA. (2008). Servicio de inocuidad e inspección de los alimentos. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. El color de las carnes y de las aves. Recuperado el 09/11/2019. Disponible en: <http://www.fsis.usda.gov>
- USDA. (2015). Servicio de inocuidad e inspección de los alimentos. Departamento de agricultura de los Estados Unidos. La refrigeración y la inocuidad de los alimentos. Disponible en: [https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/informational/enespanol/hojas\\_informativas/manejo-adeecuado-de-alimentos/la-refrigeracion](https://www.fsis.usda.gov/wps/portal/informational/enespanol/hojas_informativas/manejo-adeecuado-de-alimentos/la-refrigeracion)
- USDA. (2018). Departamento de agricultura de los Estados Unidos. National Nutrient Database for Standard Reference. Recuperado el 24/01/2019. Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/885?fgcd>
- Vásquez, S., Suárez, H., Zapata, B. (2009). Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Genetics*, 36(3), 64–71. Barreras-Urbina, C. G., Ramírez-Wong, B., López-Ahumada, G. A., Burruel-Ibarra, S. E., Martínez-Cruz, O., Tapia-Hernández, J. A., & Rodríguez Félix, F.

- (2016). Nano- and Micro-Particles by Nanoprecipitation: Possible Application in the Food and Agricultural Industries. *International Journal of Food Properties*, 19(9), 1912–1923. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1089279>
- Wattanachant, S., Benjakul, S., Ledward, D.A. (2004) Composition, colour, and texture of Thai indigenous and broiler chicken muscles. *Poultry Science* 83:123-128
- Wideman, N., O'Bryan, C. A., & Crandall, P. G. (2016). Factors affecting poultry meat colour and consumer preferences - A review. *World's Poultry Science Journal*, 72(2), 353–366. <https://doi.org/10.1017/S0043933916000015>
- Xing, F., Cheng, G., Yi, K., & Ma, L. (2005). Nanoencapsulation of capsaicin by complex coacervation of gelatin, acacia, and tannins. *Journal of Applied Polymer Science*, 96(6), 2225–2229. <https://doi.org/10.1002/app.21698>