

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

*Labor et Sapientia Libertas*

**EVALUACIÓN DE LA MEZCLA DE GARAMBULLO (*Myrtillocactus geometrizans*) Y TUNA ROJA (*Opuntia ficus-indica*) Y EL TIPO DE CARNE DE POLLO EN EL ESTATUS OXIDANTE Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DURANTE LA ELABORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SALCHICHAS**

**Tesis para obtener el grado de:**

Ingeniero en Alimentos

**Presenta:**

Ariadna Abigail Navarro Olivera

**Directora de tesis:**

Dra. Luz Hermila Villalobos Delgado

**Co-Director:**

Dr. Luis Humberto López Hernández

Huajuapán de León, Oaxaca, México. Marzo de 2022

Ariadna Abigail Navarro Olivera fue apoyada con la “Beca para iniciar la Titulación” que otorga la Secretaría de Educación Pública (SEP), a través de la Subsecretaría de Educación Superior (SES), en el Programa Nacional de Becas 2020.

## ACTIVIDADES ACADÉMICAS Y DE INVESTIGACIÓN

Asistencia al “IV Congreso de Ingeniería de Alimentos: Mtro. José Carlos Álvarez Rivero”. Modalidad virtual, con sede en la Universidad Iberoamericana en la Ciudad de México, realizado el 26 de noviembre del 2021.

Asistencia a la Reunión AMEPAL 2021, en modalidad virtual, llevado a cabo el 7 y 8 de junio del 2021.

Impartición del taller de capacitación intitulado “Nuevo etiquetado frontal de alimentos: retos y oportunidades para la industria alimentaria”, dirigido a los estudiantes de la materia Procesos Tecnológicos de Frutas y Hortalizas de la Carrera de Ingeniería en Alimentos en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, realizado el 2 de junio de 2021.

Asistencia al “1er. Congreso de Nutrición consciente: Alimentando el Bienestar Integral”. Modalidad virtual, con sede en la Universidad de Monterrey, San Pedro Garza García, Nuevo León., realizado el 08 de mayo del 2021.

Certificación del Programa de Recursos Humanos, General Electric. Modalidad virtual, realizado en el período de mayo-abril 2021.

Asistencia al “XXII Simposium Internacional de Ingeniería en Industrias Alimentarias”, con sede en el Tecnológico de Monterrey campus Querétaro, realizado del 15 al 17 de abril de 2021.

Asistencia a los talleres magistrales en el marco del “XX Aniversario del Programa de Posgrado en Ingeniería Química” de la Universidad de Guanajuato, realizado del 5-9 de octubre del 2020.

Participación como co-autora en el cartel científico “Extractos etanólicos de Hierba Santa (*Piper auritum*) como antioxidante natural en un producto cárnico cocido”. Trujillo-Santiago, E, Guzmán Pantoja, LE., Santiago-Castro, JT., Zafra-Ciprián, DI., Guzmán-Mendoza, D., **Navarro-Olivera, AA.**, Villalobos-Delgado LH., en el marco del 4º Congreso Internacional Digital en Alimentos Funcionales y Nutraceuticos: 2020 Rumbo al 2021, realizado del 10 al 12 de junio del 2020.

Estancia profesional en el Laboratorio de Calidad de Carnes del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Ajuchitlán Querétaro del 15 julio al 13 de septiembre del 2019, bajo la dirección del Doctor Luis Humberto López Hernández.

Participación como autora del cartel científico “Mixctli, tierra del sol”. Barragán Gracida L., Castro Sánchez R., **Navarro-Olivera AA.**, en el marco de la 2ª Jornada de Ingeniería en Alimentos, llevada a cabo en la Universidad de la Cañada, el 1º de junio del 2018.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca por la oportunidad de recibir una formación de calidad y darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Primeramente, quiero agradecer a la Dra. Luz H. Villalobos Delgado por confiar en mí y por permitirme trabajar en este proyecto de tesis, por su dirección, sus enseñanzas, su tiempo y paciencia, sus consejos y su apoyo incondicional brindado todo este tiempo. Gracias por no dejarme sola y siempre echarme porras. De igual manera al Dr. Luis Humberto López Hernández, codirector de este proyecto de investigación; gracias por darme todo el apoyo para la realización y culminación de este proyecto, así como de sus consejos y enseñanzas.

También quiero agradecer a los integrantes del comité revisor de esta tesis: Dr. Jorge Hernández Bautista, Dra. Paula C. Guadarrama Mendoza y Dra. Thalía I. Ramírez Reyes, por su tiempo, revisiones, comentarios, conocimiento y apoyo en la realización de este proyecto.

A los I.A. Tenoch Santiago Castro, Irma Gonzáles Cruz y Rocío Espinoza Rivera, por su orientación y apoyo en la realización de este proyecto.

Y sobre todo y los más importantes, a mi familia y abue Ana, mis padres Víctor Hugo e Isabel por creer en todo momento en mí, porque nunca dejaron que me rindiera aún en los momentos más difíciles, ayudarme siempre con sus palabras sabias y certeras, por su amor, paciencia, confianza, por sus regaños y por siempre guiarme. Gracias por ser mi ejemplo a seguir y por ayudarme a ser una mejor persona en todos los ámbitos. Gracias por todo el esfuerzo y el trabajo que han hecho para que yo pudiese terminar mi carrera, hacer la tesis y prepararme profesionalmente. Gracias por animarme a realizar nuevos proyectos e impulsarme a que me proponga nuevos retos, por nunca decirme que no ante una nueva oportunidad y siempre estar ahí. A mis hermanos, Neftalí y Karla gracias por sus regaños, por su comprensión y apoyo, por todo lo que vivimos y porque a pesar de la distancia siempre estuvieron cuando los necesité. Les agradezco infinitamente por ser mi familia y por darme siempre darme lo mejor de cada uno de ustedes, los amo infinitamente.

A Ana le agradezco con todo mi amor siempre haberme dado lo mejor de ella, siempre preguntarme acerca de mi universidad e interesarse por cada cosa que hacía en mi día a día, por si tenía tarea, exámenes o proyectos, por preguntarme a que me iba a dedicar estudiando esta carrera, por darme siempre dinero para que me comprara al menos una paleta. Te agradezco infinitamente cada una de las cosas que me diste, me hubiese gustado, tú sabes cuánto, que juntas llegáramos a este momento y que me vieras defender mi tesis y aunque eso no va a ser posible, sé que vas a estar orgullosa porque lo logré. Te amo con todo mi corazón.

Gracias a Pillo y Huacho por su amistad, por hacer de mi universidad un mejor lugar, por todas las cosas que vivimos, por confiar en mí y echarme porras cuando me quería rendir, por escuchar todas mis quejas y regañarme cuando no tenía razón, por aguantarme durante un largo tiempo y por ayudarme cuando lo necesite, les aprecio y los quiero mucho.

A Bibi y Marcos por su amistad, sus porras, sus buenos deseos y por hacer de mi estancia algo más ameno y agradable. Gracias por sus consejos, por las anécdotas, por lo vivido (sobre todo el último año), por escucharme y comprenderme. Les aprecio y les guardo un cariño muy especial.

Nalle, de todo corazón muchas gracias por apoyarme en todo momento, por regalarme de tú tiempo y quedarte conmigo siempre que lo necesité, gracias por siempre ir conmigo a todos lados y enseñarme lugares nuevos, por hacer café y chilaquiles, pero lo más importante, gracias por tú amistad, gracias por hacerme saber que en todo y para todo, siempre podía contar contigo.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Dra. Paula y al Profesor Isaac quienes además de la Dra. Luz me apoyaron siempre, me escucharon, confiaron en mí, me dieron consejos y me aportaron cosas positivas, me ayudaron a ser una mejor alumna y profesionista. A ustedes tres profesores, les aprecio, les admiro y les guardo cariño.

## DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a Ana porque a pesar de que ya no estés aquí nunca me soltaste y tampoco dejaste de preocuparte por mí, porque sé que desde el cielo estás orgullosa de todo lo que he logrado.

A mis padres, por confiar en mí, apoyarme a lo largo de mi carrera en todos los sentidos y por siempre hacerme saber lo orgullosos que están de mí.

A mis hermanos por todo su cariño, su apoyo y por ser de las personas de mi vida.

A mí, por no rendirme, por dar lo mejor de mí, por esforzarme, por confiar y nunca dejar de creer en mí, pero sobre todo “por ir en contra de la corriente y aun así lograrlo”.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo determinar el efecto de las mezclas provenientes de frutos deshidratados de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y tuna roja (*Opuntia ficus-indica*), en la estabilidad oxidativa y características fisicoquímicas durante la elaboración de salchichas (S) a base de pechuga de pollo sin o con defecto White striping (WS), almacenadas en refrigeración ( $4 \pm 1$  °C) durante catorce días. Primero se caracterizaron los frutos deshidratados de Garambullo (G) y Tuna (T), y las tres mezclas en polvo, que se incorporarían para la elaboración de las salchichas: GTA (25% garambullo y 75% de tuna roja), GTB (50% garambullo y 50% de tuna roja) y GTC (75% garambullo y 25% de tuna roja). La caracterización se realizó después de la solubilización en dos medios (agua y etanol) considerando el color, contenido de polifenoles y flavonoides, así como la actividad antioxidante (AA) mediante las técnicas DPPH, FRAP y ABTS<sup>•+</sup>. Previamente a la caracterización de las salchichas, se describieron las características de los dos tipos de pechuga de pollo, iniciando con la calificación subjetiva en términos del grado de defecto, pH, color, AA, composición proximal, textura y propiedades tecnológicas. Posteriormente, las tres mezclas se aplicaron en la elaboración de las salchichas, con dos tipos de carne, sin o con defecto WS, partiendo de sus respectivos batidos cárnicos (B) (masa cárnica sin cocimiento). Para ello, se elaboraron cinco tratamientos: un control negativo (BCTL y SCTL), sin la incorporación de frutos deshidratados y alguna otra fuente de antioxidantes, un control positivo (BNOS y SNOS), similar a BCTL y SCTL más la adición de 120 mg/kg de nitritos) y tres tratamientos (GTA, GTB y GTC) establecidos a partir de cambios en la proporción de la mezcla de frutos de garambullo y tuna deshidratados (25:75, 50:50 y 75:25). Posteriormente, en los batidos cárnicos y salchichas cocidas, se determinó el pH, color instrumental y la AA. Las salchichas fueron empacadas al vacío y almacenadas en una cámara de refrigeración a 2 °C, para evaluar los cambios a los días 1, 7 y 14 de almacenamiento. Adicionalmente, en los batidos y en las salchichas se realizó el análisis sobre la estabilidad lipídica mediante la cuantificación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), mientras que el recuento total de mesófilos aerobios y de bacterias ácido lácticas únicamente se realizó en las salchichas. Los resultados de la caracterización para los frutos de tuna y garambullo mostraron que el extracto acuoso de tuna tuvo mayor contenido de polifenoles (CPT, 1667.81 mg EAG/ g de muestra en base seca), mientras que, el mayor contenido de flavonoides fue en los extractos acuosos de tuna y garambullo (CFT, 618.54 y 628.31 mg de quercetina/ g de muestra en base seca, respectivamente). Así mismo, los extractos de tuna demostraron tener la mayor capacidad antioxidante para

DPPH y ABTS<sup>•+</sup> (80.40 y 1020.86 mg Eq. de Trolox/100 g de muestra, respectivamente) y el extracto etanólico de garambullo para FRAP (312.52 Eq. de Trolox/100 g de muestra). Respecto al color instrumental, el extracto acuoso de garambullo mostró mayor tendencia al color rojo con valores de 41.20 y 41.23 para  $a^*$  y tono, respectivamente. En lo que se refiere a los resultados de la caracterización de la materia prima cárnica, el análisis proximal indicó mayor contenido de grasa (6.13%) para la carne de pollo con defecto WS y un valor más alto de pH (6.02), así como una coloración más roja en este tipo de carne. Así mismo, la AA (DPPH ABTS<sup>•+</sup> y FRAP) para la carne con defecto WS fue mayor (62.27 mg eq. Trolox/ kg de carne, 751.21 mg eq. Trolox/ kg de carne y 764.58 mg eq. Trolox/ kg de carne, respectivamente) y en la carne sin defecto (29.96 mg eq. Trolox/ kg de carne, 468.98 mg eq. Trolox/ kg de carne y 52.30 mg eq. Trolox/ kg de carne, respectivamente). Los resultados de los parámetros del color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y tono) para los batidos cárnicos sin defecto WS no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con la inclusión de las mezclas de tuna y garambullo. Sin embargo, para los batidos con defecto WS se observó una mayor tonalidad roja ( $a^*$ ) con GTB y GTC (12.04 y 11.65, respectivamente) y en el tono (45.18 y 42.52, respectivamente). Así mismo, la mayor capacidad antioxidante se observó en los batidos cárnicos con defecto, siendo con GTC el valor más alto para DPPH y FRAP (79.83 mg eq. de Trolox/ kg de carne y 201.81 mg eq. Trolox/ kg de carne, respectivamente) y con GTA para ABTS (1180.43 mg eq. Trolox/ kg de carne). Los TBARS no presentaron diferencias entre tratamientos para los batidos cárnicos con defecto WS. Sin embargo, para los batidos cárnicos sin defecto WS, los tratamientos BNOS y BGTC, presentaron un efecto similar con valores bajos (1.14 y 1.22 mg MAD/kg carne, respectivamente). En el caso de las salchichas con defecto WS se obtuvieron los valores más bajos con los tratamientos SNOS, SGTB y SGTC. Así mismo, se observó un valor de pH más bajo, mayor AA y mayores tonalidades rojas con la inclusión de las mezclas GTB y GTC. En general, la carne de pollo con defecto WS se puede usar en la elaboración de salchichas con propiedades fisicoquímicas similares a las salchichas elaboradas con carne sin defecto. Particularmente, las mezclas GTB y GTC en polvo, en las salchichas con carne sin o con defecto WS, retardaron la oxidación lipídica y otorgaron tonalidades rojas-rosadas características de las salchichas, manteniéndose así durante 14 días de almacenamiento. Por lo que, las proporciones 50% tuna con 50% garambullo y 25% tuna con 75% garambullo podrían ser utilizados como posibles antioxidantes y colorantes naturales en productos cárnicos.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Carne de pollo</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. Carne de pollo con rayas blancas (White striping, WS)</b> .....	<b>3</b>
<b>2.3. Productos Cárnicos</b> .....	<b>4</b>
2.3.1. Embutidos cárnicos cocidos listos para consumo. ....	5
<b>2.4. Antioxidantes</b> .....	<b>5</b>
2.4.1. Antioxidantes sintéticos.....	7
2.4.2. Antioxidantes naturales.....	8
<b>2.5. Colorantes</b> .....	<b>10</b>
2.5.1. Colorantes sintéticos.....	11
2.5.2. Colorantes naturales.....	12
<b>2.6. Garambullo (<i>Myrtillocactus geometrizans</i>)</b> .....	<b>13</b>
<b>2.7. Tuna roja (<i>Opuntia ficus-indica</i>)</b> .....	<b>14</b>
<b>3. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>16</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>5. HIPÓTESIS</b> .....	<b>21</b>
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
<b>6.1. Objetivo general</b> .....	<b>22</b>
<b>6.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>7.1. Ensayos experimentales</b> .....	<b>23</b>
<b>7.2. Recolección del material vegetal</b> .....	<b>24</b>
<b>7.3. Acondicionamiento de fuentes vegetales</b> .....	<b>24</b>
7.3.1. Secado y rendimiento de los frutos .....	24
7.3.2. Molienda de los frutos secos.....	24
<b>7.4. Caracterización <i>in vitro</i> de los extractos y las mezclas de tuna y garambullo</b> .....	<b>24</b>
7.4.1. Contenido de polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu .....	25
7.4.2. Contenido de flavonoides totales .....	25
7.4.3. Actividad antioxidante de los extractos por el método de DPPH .....	25
7.4.4. Actividad antioxidante de los extractos por el método de FRAP.....	26
7.4.5. Actividad antioxidante por el método ABTS*+ .....	26
7.4.6. Determinación de color .....	26
<b>7.5. Animales</b> .....	<b>27</b>

<b>7.6. Caracterización de la materia prima cárnica .....</b>	<b>27</b>
7.6.1. Evaluación subjetiva para evaluar la carne con defecto de rayas blancas (White striping, WS) .....	27
7.6.2. Esfuerzo al corte .....	28
7.6.3. Análisis proximal .....	28
7.6.4. Determinación de pH .....	29
7.6.5. Determinación de color .....	30
7.6.6. Aptitud tecnológica de la carne .....	30
7.6.7. Actividad antioxidante de la materia prima cárnica.....	31
<b>7.7. Elaboración de salchichas.....</b>	<b>32</b>
<b>7.8. Determinaciones en los batidos cárnicos y en las salchichas .....</b>	<b>33</b>
7.8.1. Batidos cárnicos.....	33
7.8.2. Salchichas .....	33
<b>7.9. Análisis estadístico .....</b>	<b>34</b>
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>8.1. Caracterización <i>in vitro</i> de los extractos y las mezclas de tuna y garambullo</b>	<b>36</b>
8.1.1. Contenido de polifenoles totales (CPT) y contenido de flavonoides totales (CFT).....	36
8.1.2. Actividad antioxidante de los extractos y las mezclas. ....	40
8.1.3. Determinación de color .....	44
<b>8.2. Caracterización de la materia prima cárnica .....</b>	<b>48</b>
8.2.1. Evaluación subjetiva para evaluar la carne con defecto de rayas blancas (White striping, WS) .....	48
8.2.2. Análisis proximal y pH.....	48
8.2.3. Determinación de color y esfuerzo al corte .....	51
8.2.4. Aptitud tecnológica de la carne (CRA, CE).....	54
8.2.5. Actividad antioxidante de la materia prima cárnica.....	56
<b>8.3. Caracterización de los batidos cárnicos .....</b>	<b>57</b>
8.3.1. Determinación del color .....	57
8.3.2. Actividad antioxidante .....	61
<b>8.4. Caracterización de las salchichas.....</b>	<b>64</b>
8.4.1. Determinación del pH y el color .....	64
8.4.2. Actividad antioxidante .....	72
8.4.3. Determinación de las Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS). 75	
8.4.4. Recuento de mesófilos aerobios (Recuento total en placa) y bacterias ácido lácticas .....	80

<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fruto de garambullo ( <i>Myrtillocactus geometrizans</i> ).....	13
<b>Figura 2.</b> Fruto de tuna roja ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....	14
<b>Figura 3.</b> Escala de puntuación visual para el defecto WS en filetes de pechuga de pollo.....	28
<b>Figura 4.</b> Salchichas elaboradas con carne sin defecto WS.....	69
<b>Figura 5.</b> Salchichas elaboradas con carne con defecto WS.....	69
<b>Figura 6.</b> Efecto de la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo sobre las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mg MAD / kg de carne) en los batidos cárnicos elaborados con pechugas de pollo sin defecto (A) y con defecto White striping (B).....	75
<b>Figura 7.</b> Efecto de la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo sobre las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mg MAD / kg de carne) en las salchichas elaboradas con pechugas de pollo sin defecto (A) y con defecto White striping (B) empacadas al vacío y almacenadas durante 14 días.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Etapas, objetivos particulares y determinaciones a usar en cada etapa.....	23
<b>Tabla 2.</b> Contenido de polifenoles totales (CPT) y contenido de flavonoides totales (CFT) de los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo.....	36
<b>Tabla 3.</b> Contenido de polifenoles totales (CPT) y contenido de flavonoides totales (CFT) de los extractos acuosos de las mezclas. ....	39
<b>Tabla 4.</b> Actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ 100 g de muestra) de los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo.....	41
<b>Tabla 5.</b> Actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ 100 g de muestra) de los extractos acuosos y etanólicos de las mezclas en polvo .....	43
<b>Tabla 6.</b> Valores de color de los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo....	44
<b>Tabla 7.</b> Valores de color de los extractos etanólicos y acuosos de las mezclas en polvo...	47
<b>Tabla 8.</b> Valores de pH y análisis proximal (base seca) de la materia prima cárnica de pollo sin o con defecto WS.....	49
<b>Tabla 9.</b> Valores de color y esfuerzo al corte (Kg) en la pechuga de pollo proveniente de pollos sin o con defecto WS.....	52
<b>Tabla 10.</b> Actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ kg de carne) de la materia prima cárnica sin o con defecto WS.....	56
<b>Tabla 11.</b> Efecto de las mezclas de tuna y garambullo en el color del batido cárnico de pollo elaborado con carne sin o con defecto WS.....	60
<b>Tabla 12.</b> Efecto de las mezclas de tuna y garambullo sobre la actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ kg de carne) del batido cárnico de pollo sin o con defecto WS.....	63
<b>Tabla 13.</b> Efecto de las mezclas de tuna y garambullo en el pH y el color de las salchichas elaboradas a partir de carne pollo sin defecto White striping durante el almacenamiento.....	66
<b>Tabla 14.</b> Efecto de las mezclas de tuna y garambullo en el pH y el color de las salchichas elaboradas a partir de carne pollo con defecto WS durante el almacenamiento.....	70

<b>Tabla 15.</b> Efecto de las mezclas de tuna y garambullo sobre la actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ kg de carne) de las salchichas de pollo con o sin defecto WS durante el almacenamiento.....	74
--	----

## SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

µg	Microgramos
AA	Actividad Antioxidante
ABTS <sup>•+</sup>	2,2-Azinobis-3-etil- benzo- tiazolina-6-acido
BCTL	Batido cárnico de pollo sin la incorporación de extractos y antioxidantes
BGTA	Batido cárnico de pollo con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna.
BGTB	Batido cárnico de pollo con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna.
BGTC	Batido cárnico de pollo con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.
BHA	Hidroxibutilanisol
BHT	Butilhidroxianisol
BNOS	Batido cárnico de pollo con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos
BPF	Butilhidroxitolueno
CE	Capacidad emulsificante
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria
CFT	Contenido de Flavonoides Totales
CPT	Contenido de Polifenoles Totales
CRA	Capacidad de retención de agua
DPM	Miopatía del músculo pectoral profundo
DPPH	Radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo
EDTA	Ácido etilendiaminotetracético
ET	Equivalente de Trolox
FDA	Administración de Medicamentos y Alimentos
FSIS	Servicio de Seguridad e Inspección Alimentaria
G	Garambullo en polvo
GAE	Equivalente de ácido gálico
GTA	Mezcla de 25% garambullo con 75% tuna
GTB	Mezcla de 50% garambullo con 50% tuna
GTC	Mezcla de 75% garambullo con 25% tuna
MAD	Malonaldehído
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ORAC	Capacidad de absorción de radicales de oxígeno
PG	Galato de propilo
PSE	Pálidas, blandas y exudativas
SCTL	Salchichas de pollo sin la incorporación de extractos y antioxidantes
SGTA	Salchichas de pollo con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna
SGTB	Salchichas de pollo con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna
SGTC	Salchichas de pollo con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SM	Carne de spaghetti
SNOS	Salchichas de pollo con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos
STPP	Tripolifosfato de sodio
T	Tuna en polvo
TBA	Ácido tiobarbitúrico
TBARS	Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico
TBHQ	Butilhidroquinona terciaria
TEP	1,1,3,3-tetraetoxipropano
TPTZ	2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, la avicultura intensiva es considerada como una actividad dinámica, debido al crecimiento permanente de producción, consumo e integración en comparación con otros sectores pecuarios (Rebollar, Rebollar & Soria, 2019). Esta industria representa el 63.3% de la producción pecuaria, donde 6 de cada 10 kg de alimentos, son de origen avícola como el pollo, huevo y pavo. En México en el 2020, se produjeron 4,630,519 toneladas de carne de pollo, alcanzando un sexto lugar en producción mundial (SIAP, 2020; UNA, 2019a).

El incremento en el consumo de pollo, principalmente de la pechuga se debe a razones económicas, nutricionales y culturales (OCDE, 2018); con gran incidencia de la industria avícola (Dalle *et al.*, 2020) al ejercer presión en la nutrición y selección intensiva de genotipos de mayores rendimientos. Sin embargo, esto ha traído como consecuencia afectaciones en el músculo pectoral mayor (*musculus pectoralis magnus*), como son las miopatías emergentes, tal es el caso de las rayas blancas (White striping, WS), el pecho de madera (Wooden breast, WB) y la carne de spaghetti (Spaghetti meat, SM), lo que ha provocado el rechazo del consumidor (Rocha *et al.*, 2020; Tasoniero *et al.*, 2016). Específicamente, el rayado blanco en pechugas se reconoce por la aparición de estrías blancas que siguen la misma dirección de las fibras musculares, apareciendo como una lesión focal aproximadamente a las 2 semanas de edad y posteriormente se desarrolla como una lesión fibrótica generalizada (Petracci *et al.*, 2019). Ante, la repentina aparición de estos defectos en la producción, la investigación al respecto es poca, y menor aún, de los posibles efectos en los productos procesados, como los embutidos.

La salchicha de pollo es uno de los productos cárnicos que ha crecido en popularidad. Sin embargo, por la composición de todo el producto, los atributos de calidad se deterioran debido a reacciones de oxidación (Sallam, Ishioroshi & Samejima, 2004). La oxidación de lípidos y el crecimiento microbiano en productos cárnicos pueden controlarse o minimizarse mediante el uso de aditivos alimentarios, naturales o sintéticos (Alarcón & Araujo-Burgos, 2021). No obstante, las instituciones de salud y los consumidores están preocupados por la seguridad de los aditivos de origen sintético, lo que ha llevado a muchos procesadores de carne a buscar nuevas alternativas provenientes de fuentes naturales (Jayawardana *et al.*, 2015).

Ante la búsqueda de alternativas naturales y la gran diversidad agroecológica en México, los frutos de cactáceas por su bajo costo de producción podrían ser una alternativa. El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) es un cactus endémico, recientemente agregado al grupo de las bayas, por su gran significado nutricional debido a su alto contenido en polifenoles, betalaínas y capacidad antioxidante (Correa-Betanazo *et al.*, 2011). Por otro lado, la tuna roja (*O. ficus-indica*) también ha demostrado tener una alta actividad antioxidante como consecuencia de su elevada concentración de betalaínas, polifenoles y vitamina C (Jorge & Troncoso, 2016). Ambos frutos son fuente de pigmentos naturales y antioxidantes que podrían ser empleados en la industria de cárnica, solos o en combinación.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Carne de pollo

La industria avícola constituye una parte fundamental de la producción nacional de alimentos, la cual representa un importante elemento en la dieta de la población del país (CEDRSSA, 2019). Debido al aumento en la eficiencia de producción, el precio, la comodidad, la frescura y el origen de la producción, el pollo se ha convertido en un producto cárnico popular, siendo una de las principales proteínas de origen animal para el consumo humano (Attia *et al.*, 2016; Mozdziak, 2019).

La producción de carne de pollo en México se concentra en cinco estados (Veracruz, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro y Durango), que representan el 53% de la producción total (SIAP, 2020; UNA, 2019a; USDA, 2011). La carne de pollo contiene un promedio del 71,66% de agua, con un rango de pH que se sitúa entre 5.7 y 6.1. La pechuga, contiene más proteínas, menos grasa, menos calorías que la carne roja, mientras que, su contenido en colesterol no difiere significativamente de otros tipos de carne (Kralik *et al.*, 2018; Lorenzo *et al.*, 2019). Además, presenta fibras musculares más finas, de menor diámetro, posee un menor contenido de tejido conectivo respecto a la carne roja y niveles bajos de colágeno, lo cual reduce la dureza y mejora la textura, facilitando así su digestión (Martínez & Mora, 2010).

### 2.2. Carne de pollo con rayas blancas (White striping, WS)

Los constantes aumentos de la demanda mundial de carne blanca han impulsado a la industria de los pollos de engorda hacia prácticas que aumenten su producción. La carne de pechuga como proporción de la carne total de pollo ha aumentado significativamente debido a las mejoras en la selección genética, pero también a los avances en salud, prácticas de manejo de granjas y nutrición (Cruz *et al.*, 2016). Sin embargo, varios estudios evidenciaron que la selección genética y los sistemas de producción animal intensivos en pollos de engorda han presentado anomalías que alteran sus características estructurales, funcionales y metabólicas (Baldi *et al.*, 2017). Algunas de las anomalías, como las condiciones pálidas, blandas y exudativas (PSE) generada en torno al sacrificio del animal y la miopatía del músculo pectoral profundo (DPM) se conocen desde hace décadas, mientras que las rayas blancas (White striping, WS), la pechuga de madera (Wooden breast, WB) y la carne de espagueti (Spaghetti meat, SM) son muy recientes (Petracci *et al.*, 2019). La gravedad de las rayas blancas ha aumentado en los últimos años y se caracteriza por mostrar estrías blancas paralelas a las fibras musculares en las que se

produce la degeneración de las fibras musculares con infiltración de grasa y tejido conectivo (Tijare *et al.*, 2016). La afección se observa principalmente en los filetes de pechuga crudos, pero también puede ocurrir en los músculos tiernos y en algunos músculos del muslo (Kuttappan *et al.*, 2013). Estudios asocian la rayadura blanca con una mayor tasa de crecimiento, mayor edad de sacrificio y peso, afectando la calidad general de la pechuga al deteriorar la capacidad de retención de agua y la terneza (Pekel *et al.*, 2020), con un pH final más alto, una mayor pérdida por goteo y una menor absorción de marinado (Sihvo *et al.*, 2016). Actualmente no se conocen problemas de salud o preocupaciones de seguridad asociadas al consumo de carne de pechuga con rayadura blanca, ni es específico de alguna cepa comercial de pollos de engorde (Cruz *et al.*, 2016). Además, la carne de pechuga que se ve afectada por anomalías musculares es de características visuales antiestéticas (Lorenzi *et al.*, 2014). Aunque los niveles de incidencia de las anomalías varían ampliamente, el porcentaje de pollos de engorda que exhiben Rayado blanco y Pecho de madera, es del 90%, provocando una pérdida económica que va desde los \$ 200 millones hasta \$ 1 mil millones de dólares por año a la industria avícola de EE. UU. (Huang & Ahn, 2018).

### **2.3. Productos Cárnicos**

El interés de los consumidores por comprar productos cárnicos que requieren menos tiempo de preparación (por ejemplo, las carnes frías) va en aumento (Pekel *et al.*, 2020). Jin-Choi *et al.* (2018) señalan que los cuatro atributos principales de los productos cárnicos que influyen en la decisión de compra de los consumidores son el color, la jugosidad, el sabor y la dureza/terneza. Sin embargo, la oxidación es un factor limitante en la calidad y aceptabilidad de productos cárnicos (Karre, Lopez, & Getty, 2013).

La carne y los productos cárnicos se consideran una excelente fuente de zinc, hierro hemo, vitaminas del complejo B y aminoácidos esenciales (Bohrer, 2017). En México el consumo per cápita de carnes frías es de aproximadamente 8 kg. Las salchichas representan el 50% de la producción total siendo aquellas elaboradas con carne de ave, las de mayor demanda y crecimiento (Suárez, 2020).

Los productos cárnicos se elaboran a base de carne procedente de una o varias especies animales, con o sin grasa; picadas, adicionadas o no con condimentos, especias y aditivos, sometidos o no a tratamientos de desecación, cocción y salazón; embutidos o no (Trillas,

2018). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2018), se clasifican en: 1) cocidos, 2) cocidos listos para el consumo, 3) crudos, 4) crudos listos para el consumo, 5) crudos no listos para el consumo, 6) curados, 7) desecados, secos o salados, 8) precocidos, 9) madurados y 10) procesados. La creciente demanda de los consumidores de productos cárnicos de calidad propicia el desarrollo con la incorporación de ingredientes que pueden mejorar la salud.

### **2.3.1. Embutidos cárnicos cocidos listos para consumo.**

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2018), los productos cárnicos cocidos listos para consumo son aquéllos sometidos a un tratamiento térmico hasta alcanzar una temperatura de 70 °C en su centro térmico, o una relación tiempo-temperatura equivalente, que garantice la destrucción de microorganismos patógenos y que no requieran un tratamiento térmico por parte del consumidor. En esta categoría se encuentran de manera enunciativa más no limitativa los siguientes productos: jamón cocido, salchichas cocidas o en salmuera, mortadelas y patés. Estos productos cárnicos incluyen salchichas tipo Frankfurt, mortadela, salchichas tipo Viena y algunos pasteles de carne. Las salchichas y la mortadela son los productos cárnicos más populares los cuales se utilizan en la industria del servicio de alimentos, especialmente en los establecimientos de comida rápida (Judge *et al.*, 1989).

### **2.4. Antioxidantes**

La oxidación de lípidos es un proceso complejo de reacción en cadena dependiente del oxígeno que promueve el deterioro oxidativo de los ácidos grasos, con la producción de radicales libres, ocurriendo en tres fases diferentes: inicio, propagación y terminación (Cunha *et al.*, 2018). Asimismo, factores como la presencia de oxígeno, humedad, iones de metales de transición, calor y luz también propician la oxidación de lípidos. Por lo tanto, para prevenir o ralentizar la velocidad de este fenómeno, se debe eliminar o secuestrar el oxígeno y los catalizadores metálicos para que no sean reactivos. De esta manera, los alimentos propensos a sufrir oxidación deben almacenarse a bajas temperaturas y/o protegerse de la luz (Embuscado, 2015).

Los antioxidantes presentes en los alimentos son sustancias que en concentraciones bajas en comparación con un sustrato oxidable retrasan o previenen significativamente la oxidación del sustrato. La actividad antioxidante de un compuesto en particular o de una mezcla, está relacionada con su capacidad para eliminar radicales libres, descomponerlos

o atrapar el oxígeno singlete o posiblemente actuar como quelantes de metales con otros componentes presentes (Shahidi, 2000).

Los compuestos antioxidantes tienen diversos criterios de clasificación. De acuerdo con su método de obtención se clasifican en: 1) sintéticos, obtenidos mediante síntesis química, o 2) naturales, mediante extracción a partir de fuentes naturales (Carocho *et al.*, 2014). Sin embargo, solo algunos pueden utilizarse en productos alimenticios ya que su regulación se encuentra regida por las leyes de un país o estándares internacionales (Karre, Lopez & Getty, 2013). Allen & Cornforth (2010), mencionan que los antioxidantes se clasifican generalmente en: Tipo I (inhibidores de radicales) y Tipo II (quelantes de metales). Los antioxidantes de Tipo I interfieren con el ciclo de oxidación en el paso de propagación, evitando así, la formación de radicales lipídicos adicionales; la vitamina E y el hidroxitolueno butilado (BHT) son algunos de ellos. Es importante mencionar que, el color de la carne se puede mantener con este tipo de antioxidantes debido a su capacidad para limitar la oxidación de los lípidos sin formar aldehídos reactivos posteriormente. En cambio, los antioxidantes de tipo II, como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y tripolifosfato de sodio (STPP), limitan la oxidación de lípidos, estabilizando la unión entre metales como el hierro y el cobre en forma inactiva o insoluble.

Por otro lado, la importancia de los antioxidantes para el ser humano radica en la reducción de los efectos nocivos provocados por el estrés oxidativo (daño celular), el cual deriva del aumento de la concentración de radicales libres, provocando un desbalance entre la velocidad de formación y su neutralización, por el sistema antioxidante endógeno en el organismo. Asimismo, el estrés oxidativo se encuentra asociado a una variedad de enfermedades que incluyen cáncer, neurodegeneración, diabetes y envejecimiento (*Ali et al.*, 2020; Delgado, Betanzos & Sumaya, 2010).

De esta manera, los antioxidantes se pueden clasificar en endógenos, fabricados por la propia célula, y exógenos, que ingresan en el organismo a través de la dieta o de suplementos con composición antioxidante (Criado & Moya, 2009). Estos compuestos pueden inhibir o retrasar la oxidación, ya sea mediante la eliminación de radicales libres (antioxidante primario), mediante un mecanismo que no implica la eliminación directa de los radicales libres (antioxidante secundario) o mediante la reparación del daño causado por

los radicales libres, eliminando moléculas que se han estropeado (antioxidante terciario) (Armenteros *et al.*, 2012; Estévez, 2016; Gordon, 2001).

#### **2.4.1. Antioxidantes sintéticos**

El uso de antioxidantes sintéticos en los alimentos se remonta a la década de 1940. Estos compuestos se sintetizan químicamente y no se encuentran en la naturaleza. Se agregan a los alimentos para prolongar su vida útil, previniendo la oxidación de sus componentes, especialmente la de los ácidos grasos (Carocho & Ferreira, 2013). Se han utilizado varios antioxidantes sintéticos, algunos de los más utilizados son los compuestos fenólicos, como el hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT) y *terc*-butilhidroquinona (TBHQ), a menudo, usados para estabilizar las grasas en productos horneados y fritos.

Por su parte, los ésteres de ácido gálico, como el galato de propilo (PG), forman complejos oscuros con iones metálicos como el hierro y son sensibles al calor. Todos ellos están sujetos a un límite de BPF (Buenas Prácticas de Fabricación) del 0.02% del contenido de grasa o aceite de los alimentos (Atta, Mohamed, & Abdelgawad, 2017; Shahidi, 2000; Yanishlieva, 2001). Entre las sustancias antioxidantes sintéticas, se distinguen los análogos a compuestos que se encuentran en la naturaleza como son el ácido cítrico, el ácido ascórbico, los tocoferoles o los carotenoides (Carocho *et al.*, 2014). Estos antioxidantes han sido ampliamente utilizados en los productos cárnicos para su conservación (Lourenço, Moldão-Martins, & Alves, 2019). Además, los antioxidantes se pueden incorporar en los materiales de empaque para permitir que estos migren a la superficie del alimento empacado y eviten la oxidación (Atta, Mohamed, & Abdelgawad, 2017).

No obstante, su uso ha sido cuestionado por los consumidores y la industria alimentaria, puesto que algunos de estos poseen un efecto potencial tóxico para la salud, aumentando la demanda y el interés por los ingredientes naturales. Diversos estudios indican que la ingesta a largo plazo de antioxidantes sintéticos se relaciona con algunos problemas de salud, como alergias cutáneas, problemas del tracto gastrointestinal y, en algunos casos, un aumento del riesgo de cáncer. Además, las dosis elevadas de antioxidantes sintéticos pueden dañar el ADN e inducir una senescencia prematura. Asimismo, se ha demostrado que el ácido ascórbico, el hidroxitolueno butilado (BHT), el hidroxianisol butilado (BHA), así como los nitritos y nitratos, están involucrados en la etiología de las alergias de estómago

e intestino (Cunha *et al.*, 2018; Lourenço, Moldão-Martins, & Alves, 2019; Ribeiro *et al.*, 2018; Valenzuela & Pérez, 2016).

#### **2.4.2. Antioxidantes naturales**

En las últimas décadas se han estudiado diversas fuentes naturales como frutas, té, hierbas, frutos secos, especias, microorganismos, hongos, tejidos animales, verduras, algas e incluso se han evaluado subproductos de la agroindustria debido a un alto contenido de antioxidantes (Cunha *et al.*, 2018; Zapata *et al.*, 2007). Generalmente los antioxidantes naturales se clasifican en dos grupos: no enzimáticos y enzimáticos. Los antioxidantes no enzimáticos incluyen antioxidantes de acción directa e indirecta; el primer grupo es importante para la defensa contra el estrés oxidativo y la mayoría de ellos, incluidos el ácido ascórbico y lipoico, los polifenoles y los carotenoides, derivan de fuentes dietéticas. El segundo grupo incluye agentes quelantes, los cuales se unen a metales con potencial redox para prevenir la generación de radicales libres. Por su parte, los antioxidantes enzimáticos actúan reduciendo la energía de los radicales libres o cediendo algunos de sus electrones para su uso, lo que permite estabilizarlos. Además, pueden interrumpir la reacción oxidante en cadena para minimizar el daño causado por los radicales libres (Atta, Mohamed, & Abdelgawad, 2017; Carranco, Calvo & Pérez-Gil, 2011).

Los antioxidantes naturales incluyen compuestos como los fenólicos, vitaminas, carotenoides y aceites esenciales (Cunha *et al.*, 2018; Lourenço, Moldão-Martins, & Alves, 2019). Algunos compuestos fenólicos, además de poseer actividad antioxidante, también presentan actividad antimicrobiana y antifúngica, con efectos importantes sobre los sabores y texturas de los productos alimenticios (Falowo, Fayemi & Muchenje, 2014). Asimismo, muestran gran diversidad de estructuras, desde moléculas simples como el ácido ferúlico, vainillina, ácido gálico y ácido cafeico hasta polifenoles como taninos y flavonoides (Lourenço, Moldão-Martins, & Alves, 2019). A menudo, los compuestos fenólicos actúan como agentes reductores, terminan la reacción en cadena de los radicales libres al eliminarlos, absorben la luz en la región ultravioleta (UV) y quelan los metales de transición. Además, inhiben las reacciones de oxidación por sí mismas al ser oxidadas y previenen la producción de malos olores y sabores (Shahidi 2000; Sindhi *et al.*, 2013). En cuanto a las vitaminas, las más importantes son las vitaminas E y C. La primera es una vitamina liposoluble que se compone, básicamente de tocoferoles y tocotrienoles, se puede encontrar principalmente en los aceites de soya, algodón y girasol, mantequilla, huevo,

cereales y legumbres (Febles *et al.*, 2002; Sies & Stahl, 1995). La vitamina C es soluble en agua y está presente de forma natural en acelgas, tomates, todos los cítricos (limón, naranja, mandarina), kiwi, fresa y guayaba (Coronado *et al.*, 2015). Por su parte, los carotenoides también se encuentran en frutas y verduras. El  $\beta$ -caroteno, el  $\alpha$ -caroteno, el licopeno y la luteína son los principales carotenoides con actividad antioxidante (Carranco, Calvo & Pérez-Gil, 2011).

Recientemente se ha investigado sobre la posibilidad de utilizar frutos provenientes del género *Opuntia* (cactáceas) como fuente de antioxidantes, pues se ha demostrado que suelen ser ricos en compuestos tales como el ácido ascórbico, polifenoles, flavonoides conjugados (quercetina, kaempferol e isorhamnetina), betaxantinas y betacianinas (Ammar, Ennouri & Attia, 2015; Stintzing *et al.*, 2005). La pulpa de nopal también ha sido estudiada debido a la presencia de fibra dietética, vitamina C y compuestos fenólicos con potencial benéfico para la salud intestinal, cardiovascular y hepática, actividad antioxidante y prevención del cáncer (Jiménez-Aguilar *et al.*, 2015).

#### **2.4.2.1. Uso de antioxidantes en productos cárnicos: sintéticos vs. naturales**

Uno de los desafíos más importantes que enfrentan los procesadores de carne, es la mitigación del fenómeno de oxidación, puesto que los productos cárnicos procesados, tienen un alto contenido de grasa, siendo más susceptibles a reacciones oxidativas en cadena, que pueden resultar en la producción de olores y sabores desagradables, así como la pérdida de nutrientes (Oswell, Thippareddi & Pegg, 2018). Los fenómenos oxidativos en la carne y/o productos cárnicos se deben principalmente a la exposición al oxígeno y la luz. Una forma de reducir la aparición de estos fenómenos oxidativos es el uso de antioxidantes, los cuales retardan la oxidación de lípidos y proteínas, mejorando así, su vida útil y preservando sus atributos sensoriales (Karre, Lopez, & Getty, 2013; Ribeiro *et al.*, 2018).

De esta manera, los antioxidantes sintéticos tales como butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), galato de propilo (GP), terbutilhidroquinona (TBHQ) y tocoferoles, están aprobados para su uso en productos que contienen cualquier cantidad de carne magra (Oswell, Thippareddi, & Pegg, 2018). Sin embargo, tienen límites estrictos en sus niveles de uso y son específicos para diferentes productos. En el caso de los productos de carne roja fresca y productos de ave de corral, los niveles de uso de estos antioxidantes son de 0.01 solo o 0.02% en combinación, basado en el contenido de grasa. Con respecto

a la mezcla de antioxidantes, el TBHQ solo se puede combinar con BHA o BHT (Aminzare *et al.*, 2019; USDA, 2011).

La población demanda a la industria de la carne incluir antioxidantes naturales en varios productos, como consecuencia de una mayor preferencia por los alimentos naturales y saludables. Por lo que, se han llevado a cabo investigaciones relacionadas sobre la composición y aplicación de extractos y concentrados de plantas, frutas y sub-productos agroindustriales (Atila *et al.*, 2018; Calderón-Oliver & López-Hernández, 2020; Sibhatu *et al.*, 2021; Trujillo *et al.*, 2021; Villalobos *et al.*, 2019; Vodnar *et al.*, 2017); observando efectos positivos sobre la calidad sensorial, la seguridad de las carnes procesadas y beneficios a la salud (Jiang & Xiong, 2016; Lorenzo *et al.*, 2018). De esta manera, diversos autores han reportado la eficacia de antioxidantes naturales para reducir la oxidación de lípidos y proteínas, la decoloración y el crecimiento microbiano en algunos tipos de carne y productos cárnicos (Falowo, Fayemi & Muchenje, 2014).

Los carotenoides, ácidos hidroxicinámicos, flavonoides, terpenos y vitaminas pueden contribuir a la protección antioxidante de los productos cárnicos. A la fecha, el antioxidante natural más utilizado en la industria cárnica es el extracto de romero, considerado por el Servicio de Seguridad e Inspección Alimentaria (por sus siglas en inglés FSIS) como un ingrediente seguro y adecuado para utilizarse en la producción de productos cárnicos, aves de corral y de huevo (Oswell, Thippareddi & Pegg, 2018). Además, el uso de antioxidantes naturales permite a los productores satisfacer las demandas de los consumidores de productos con etiquetas limpias a partir de ingredientes naturales exclusivos.

Es importante señalar que algunos antioxidantes naturales como los tocoferoles, ácido ascórbico, flavonoides, licopeno y otros, pueden ayudar a prevenir el desarrollo temprano de enfermedades donde el estrés oxidativo es un componente principal o derivado de la patología, como enfermedades cardiovasculares, algunos cánceres, enfermedades neurológicas, etc., ofreciéndole al consumidor una mejor salud y calidad de vida, principalmente durante la senescencia (Hasler, 1998; Valenzuela, Sanhueza & Nieto, 2003).

## **2.5. Colorantes**

El color de los alimentos es muy importante para el consumidor, al ser determinante para la aceptación o el rechazo de estos (Badui, 2006). La Administración de Medicamentos y

Alimentos (FDA, 2017) define a los colorantes como cualquier tinte, pigmento u otra sustancia que pueda impartir color a un alimento, medicamento, cosmético o al cuerpo humano. Este tipo de aditivos se agregan a las matrices alimentarias (Abbey *et al.*, 2014) para hacer a los alimentos más atractivos; al mejorar las características sensoriales del producto o compensar la pérdida de color que pueden verse afectadas por factores como la exposición a la luz, el aire, la temperatura, tipo de procesamiento y almacenamiento (Barrows, Lipman & Bailey, 2003).

Los colorantes alimentarios se pueden clasificar según Amchova, Kotolova & Ruda-Kucerova (2015) de acuerdo a: 1) origen (natural, idéntico a natural o sintético; orgánico e inorgánico), 2) solubilidad (soluble e insoluble) y 3) capacidad de cobertura (transparente y opaco).

### **2.5.1. Colorantes sintéticos**

El término sintético o artificial se aplica a los agentes colorantes que no son idénticos a los naturales y que se obtienen por síntesis química (Corradini, 2018). Los colorantes sintéticos se usan en diversos productos alimenticios (Mathiyalagan, Mandal & Ling, 2018) y se dividen en cinco clases principales (Minioti, Sakellariou & Thomaidis, 2007, Corrandi, 2018): a) compuestos azoicos, obtenidos por la diazotación de una amina primaria aromática seguido del acoplamiento de la sal de diazonio con un fenol o una amina aromática (Tartrazina, Amarillo ocaso, Amaranto, Ponceau 4R, Rojo 2G, Rojo allura AC), b) el grupo triarilmetano (Azul Pantene V, Azul Brillante FCF y Verde S), c) derivados de quinofalona como el amarillo de quinoleína, d) xantenos como eritrosina y e) los colorantes índigos (Carmín índigo) (Minioti, Sakellariou & Thomaidis, 2007). Estos colorantes se utilizan en una amplia gama de productos alimenticios como jugos, dulces, caramelos, productos cárnicos, productos de panadería, entre otros (Mathiyalagan, Mandal & Ling, 2018).

Los colorantes después de un uso prolongado se pueden volver tóxicos, provocando problemas a la salud como indigestión, anemia y reacciones alérgicas como asma y urticaria, lesiones patológicas en el cerebro, riñón, bazo e hígado, tumores y cáncer, parálisis, retraso mental, anomalías en niños pequeños, retraso del crecimiento y defectos oculares que provocan ceguera (El-Wahab & Moram, 2012; Feketea & Tsabouri, 2017; Martins *et al.*, 2016).

### **2.5.2. Colorantes naturales**

Los colorantes naturales utilizados por la industria alimentaria representan una cantidad importante de aditivos permitidos y legislados (Carocho *et al.*, 2014; Socaciu, 2008). Los pigmentos vegetales están incluidos y se pueden clasificar en liposolubles e hidrosolubles. En los liposolubles se encuentran las clorofilas y los carotenoides, y en los hidrosolubles las antocianinas, las betalaínas y los flavonoides (Martínez *et al.*, 2016). Las antocianinas son los colorantes alimentarios naturales más estudiados, y se obtienen de flores, frutos, hojas e incluso de plantas enteras. Al igual que la riboflavina, las antocianinas, aportan al alimento propiedades funcionales deseables, como la actividad antioxidante y bacteriostática. Por otro lado, es importante destacar que los factores del entorno y propias del alimento, como el pH, la temperatura, la humedad, la salinidad, y otras condiciones de almacenamiento pueden variar la coloración de rojo a púrpura y azul, presentes en las distintas variedades de tuna (Corradini, 2018; Martins *et al.*, 2016). Sin embargo, también presentan algunas desventajas como la inestabilidad a las altas temperaturas, la luz o el pH, una menor resistencia a la acidez y una producción inadecuada para satisfacer la demanda industrial (Francis & Markakis, 1989; Liao, Li & Luo, 2012; Abbey *et al.*, 2014).

Los colorantes alimentarios naturales han recibido una atención particular, más allá de su capacidad para colorear los alimentos, por su funcionalidad, fiabilidad, potencial biológico y efectos a la salud. Por su parte, los frutos de cactáceas han sido considerados como fuente de pigmentos naturales por su contenido de betacianinas y betalaínas; pigmentos rojo-púrpuras solubles en agua, de interés para industria alimentaria (Fernández-López *et al.*, 2010).

#### **2.5.2.1. Uso de colorantes en productos cárnicos**

En productos cárnicos se utilizan colorantes como el carmín, el dióxido de titanio, el achiote y extracto o concentrado de licopeno de tomate.

El carmín en salchichas cocidas y salami, aporta un color rojo intenso similar al de la carne curada. Además, este colorante se utiliza en productos de ave de corral completamente cocidos, sin exceder el 0.0075 % de la formulación total del producto. Asimismo, se utiliza para reemplazar el uso de nitritos (Bolognesi & García, 2018; Pöhnl, 2016; USDA, 2011). Para el uso de achiote en carne curada o mezclas de ave de corral, se dosifica a <1 ppm/1000 libras de mezcla de carne. Por otro lado, el dióxido de titanio a menos del 0.25% se puede utilizar en productos avícolas estandarizados y no estandarizados. Mientras que el extracto y concentrado de licopeno de tomate puede utilizarse en productos cárnicos

listos para consumo, en niveles menores a 100 mg/kg, dependiendo de la presentación (USDA, 2011).

## 2.6. Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*)

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) es un cactus endémico de México, fácilmente propagado por semillas que crecen en zonas áridas y semiáridas (Correa-Betanazo *et al.*, 2011). Se encuentra principalmente en los estados de Hidalgo, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas, Tamaulipas, Nuevo León, Estado de México, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca (Félix, Pérez & Guerra, 2020). Una de sus principales limitaciones es la corta vida postcosecha de este fruto, de aproximadamente 2 días a temperatura ambiente y 5 días en refrigeración. Sin embargo, estas plantas tienen un alto valor nutricional y se pueden producir bien sin un manejo agronómico formal, también son adecuadas para nichos de mercado de frutas (Barrera, Reynoso & González de Mejía, 1998; Hernández *et al.*, 2008; Santiago *et al.*, 2017).



**Figura 1. Fruto de garambullo**

La floración del garambullo se lleva a cabo en la primavera (es susceptible al frío). En cada punto de fructificación, se forman de 6 a 7 frutos y una planta puede alcanzar a producir de 25,000 a 30,000 frutos por temporada (Ugalde, Silva & López, 2016). Aunque los informes sobre la caracterización y cuantificación de compuestos bioactivos en garambullo son escasos, se ha informado que es una fuente potencialmente interesante de pigmentos naturales, como las betaxantinas (isómero C11 de indicaxantina e indicaxantina) y las betacianinas (betanidina 5-O-B glucósido, isobetanina, filocactina e isofilocactina). En la actualidad se tiene un gran interés por estos compuestos ya que se ha demostrado su actividad antioxidante, la cual, se debe a compuestos tales como las betacianinas (filocactina, betanina e isobetanina), betaxantinas (portulacaxantina I, vulgaxantina I, Bx-dopamina e indicaxantina) y flavonoides como los glucósidos de isorhamnetina y kaempferol-7-O-neohesperidosido (Colomas, Barthe & Bulard, 1978; Guerrero-Chávez *et al.*, 2010; Mancera *et al.*, 2019; Montiel-Sánchez *et al.*, 2020).

Por otro lado, se ha demostrado que tiene propiedades fisicoquímicas y nutraceuticas similares a las de otras cactáceas como la tuna y la pitahaya. Su contenido en minerales como hierro, calcio y azufre podrían servir para desarrollar productos alimenticios altamente nutricionales y funcionales, con características iguales o incluso superiores a los que se encuentran en la actualidad en el mercado (Ozuna *et al.*, 2016). Además, Topete-Viniegra (2006) en ensayos con ratas diabéticas, encontró que el jugo del fruto de garambullo disminuye los niveles de glucosa, triglicéridos, colesterol total, lipoproteínas de baja densidad y mantiene los niveles de lipoproteínas de alta densidad.

El garambullo a menudo se subutiliza o se consume solo a nivel local. Sin embargo, recientemente el interés industrial ha crecido como un nuevo alimento en el sector agroalimentario, razón por la cual es relevante evaluar el potencial de este fruto (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010). Por lo general, este fruto se consume en fresco, pero también se conoce de su aplicación a productos procesados, principalmente helados, refrescos, frutos deshidratados y mermeladas (Capetillo *et al.*, 2020).

### **2.7. Tuna roja (*Opuntia ficus-indica*)**

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es una fruta perteneciente a la familia de las cactáceas, probablemente proviene de México y de las Islas del Caribe. Este fruto se presenta en tres variedades roja, verde y amarilla (Jorge & Troncoso, 2016). *Opuntia ficus indica* tiene una alta capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y, por lo tanto, se puede plantar en varios



**Figura 2. Fruto de tuna roja**

sistemas ecológicos (Abdel-Hameed, Nagaty, Salman & Bazaid, 2014). Hasta ahora, este fruto ha sido la cactácea más explotada y comercializada en México, esto debido a su sabor característico y los múltiples atributos que posee, como su actividad antioxidante debida a compuestos como, ácido ascórbico, ácido piscídico, compuestos fenólicos (taninos, ácidos gálico, ácido protocatéuico, benzoico e hidroxibenzoico), flavonoides (quercetina,

glucósidos de isorhamnetina y kaempferol), betacianinas (betanina e isobetanina), pigmentos betalaínicos (portulacaxantina) y betaxantinas (vulgaxantina I y II e indicaxantina) (Betancourt *et al.*, 2017; Gómez-Maqueo *et al.*, 2020; Kuti, 2004; Ochoa & Guerrero, 2012). Las betalaínas, se encuentran en la pulpa y en la cáscara del fruto. En su mayoría, las betacianinas son responsables del color rojo-púrpura y las betaxantinas son responsables del color amarillo-anaranjado. Estos pigmentos muestran una importante actividad antioxidante y un uso potencial como pigmentos naturales (Ramírez-Ramos *et al.*, 2015).

Además, la tuna es un alimento de gran valor nutritivo, aporta vitaminas, lípidos, proteínas, prolina, taurina y minerales; es muy jugosa, con excelentes propiedades para la digestión, pues contiene fibra en sus semillas y posee un índice glucémico bajo; características que hacen de este fruto un alimento funcional (Sumaya *et al.*, 2010; Tomás *et al.*, 2012). La importancia de este fruto desde el punto de vista socioeconómico y agroecológico se debe al uso integral que se le puede dar en la industria alimentaria (humana y animal), la medicina, la cosmetología, manejo biotecnológico, conservación de suelos, entre otros (Terán *et al.*, 2015). A partir de la tuna se elaboran jugos, mieles, jaleas y vino de buena calidad. Asimismo, se pueden elaborar colorantes y es usada como planta ornamental y hospedera de la grana cochinilla (Jorge & Troncoso, 2016).

### 3. ESTADO DEL ARTE

Se realizó una búsqueda de investigaciones relacionadas con los frutos de garambullo y tuna, las cuales están relacionadas con su caracterización química, su uso como fuentes de antioxidantes y color, así como la identificación de sus diferentes compuestos, a los que se les atribuye su actividad antioxidante. Por otro lado, son pocas las investigaciones realizadas hasta el momento sobre la implementación de dichos frutos en forma de extracto o polvo en carne y productos cárnicos.

Con respecto al garambullo, se encontraron las siguientes investigaciones:

Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) evaluaron las variaciones fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de garambullo rojo (*Myrtillocactus geometrizans*) y garambullo blanco (*Myrtillocactus schenckii*). También, se identificaron compuestos tales como, el ácido gálico, cafeico y vainillina mediante cromatografía líquida de alta resolución. Las variaciones de acidez titulable y sólidos solubles totales variaron en 7.7% y 11%, respectivamente. En general, la composición nutricional mostró que el garambullo tuvo menor contenido de proteína (18.5%) y fibra (5.2%) con respecto a la tuna. Sin embargo, su contenido de hierro (16%) y cobre (20%) prometen ser una buena fuente de minerales. Los autores refieren que este fruto podría ser potencialmente implementado en la producción de productos industrializados de alta calidad, mientras se mantengan en condiciones de almacenamiento adecuadas y las variaciones de composición sean similar entre un lote y otro.

Por otro lado, Herrera-Hernández *et al.* (2011) evaluaron el color instrumental, fenoles totales, betalainas y vitamina C del garambullo en diferentes etapas de madurez, antes y después del almacenamiento. Asimismo, se determinó la capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) y la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC). El perfil de fenoles simples se determinó mediante cromatografía líquida de alta resolución con detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD), siendo el ácido gálico y la quercetina los principales compuestos fenólicos simples presentes en el fruto. Los valores de fenoles totales y vitamina C (82.4% y 68.5%) se redujeron a medida que la fruta maduraba. El valor de capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) para betalainas fue del 51.8% y la capacidad de absorción de radicales de oxígeno fue de 43.4. Es por ello que, los autores refieren que los compuestos del garambullo podrían ser una alternativa para el control de enfermedades crónicas resultantes del estrés oxidativo, así como proporcionar beneficios nutricionales para la salud.

Asimismo, Montiel-Sánchez *et al.* (2020) analizaron del garambullo, el contenido de betalaínas, el perfil fenólico, su actividad biológica *in vitro*, la estabilidad digestiva y su bioaccesibilidad digestiva gastrointestinal. A través de la cromatografía de masas se identificaron 43 metabolitos (8 betaxantinas, 8 betacianinas, 13 flavonoides, 6 ácidos fenólicos). La filocactina y la isorhamnetina ramnosil-rutinósido (IG2) fueron los metabolitos más abundantes (5876 y 396  $\mu\text{g} / \text{g}$  de peso seco) y bioaccesibles (16 y 21%, respectivamente). Además, los extractos de cáscara y pulpa presentaron actividad antihiper glucémica debido a su moderada actividad inhibidora de  $\alpha$ -amilasa y mayor  $\alpha$ -glucosidasa (8% y 85%, respectivamente). Finalmente, el garambullo puede contribuir potencialmente, al manejo dietético de algunas enfermedades crónicas degenerativas. Sin embargo, los autores recomiendan realizar más estudios *in vitro* e *in vivo* para confirmar el potencial de compuestos bioactivos y mejorar su bioaccesibilidad.

Finalmente, Capetillo *et al.* (2020) caracterizaron el garambullo mediante parámetros químicos (análisis proximal, color instrumental, pH, acidez titulable, sólidos solubles, actividad antioxidante, contenido de betalaínas y polifenoles totales) y elaboraron una bebida carbonatada sometida a ozono y sonicación como una alternativa a la pasteurización. Además, las bebidas se evaluaron microbiológica y sensorialmente; comparando así, las que se sometieron a pasteurización (85 °C por 5 min) con las que se trataron con ozono (3.6 y 9 min) y sonicación (15, 25 y 35 min). Los autores reportaron que el garambullo presentó una capacidad antioxidante del 42.43% y un contenido de vitamina C del 35.65%. Por otro lado, la bebida tratada con sonicación (25 min), gasificada y endulzada con 40% azúcar fue la que presentó una menor carga microbiológica, con un descenso de la actividad antioxidante al 25.55% pero de mayor aceptación sensorial. Es por ello, que los autores sugieren que el fruto de garambullo puede tener un potencial tecnológico importante para su aprovechamiento.

En lo que se refiere a la tuna, se encontraron las siguientes investigaciones:

En un estudio realizado por Kuti (2004) se aislaron compuestos antioxidantes en extractos de cuatro variedades de tunas, de las cuales se identificaron compuestos flavonoides conjugados (quercetina, kaempferol e isorhamnetina), ácido ascórbico y carotenoides. La quercetina fue la más abundante en todas las variedades, el kaempferol solo se encontró en variedades de cáscara verde, morada y roja, la isorhamnetina en variedades de cáscara verde y morada y el ácido ascórbico se presentó a una concentración de 815 mg/g de peso fresco-congelado en la tuna roja. De esta manera los autores mencionan que las tunas en

sus diversas variedades pueden ser una rica fuente de antioxidantes naturales para los alimentos.

Otros autores como Palmeri *et al.* (2018), evaluaron extractos acuosos de la tuna roja *in vitro*, determinando el contenido total de polifenoles, la actividad antioxidante, el comportamiento antimicrobiano contra el deterioro de alimentos y bacterias patógenas, así como el contenido de betacianinas y betaxantinas. Se usó carne de res que se sumergió durante 1 min en los extractos con diferente dilución en agua destilada esterilizada (1:2 y 1:5). La carne fue empacada y se evaluó durante el almacenamiento los cambios en color y textura, así como el crecimiento microbiano. Se encontró la reducción del recuento total en placa para *Enterobacteriaceae* y *Pseudomonas* spp., con valores por debajo del límite establecido por el reglamento (CE) nº 2073/2005 de la Comisión de  $5 \times 10^6$  log UFC/g de carne de vacuno hasta 8 días. Además, se cuantificaron los pigmentos de betalaína, encontrando para la betacianina y betaxantina:  $0.9 \pm 0.06$  mg/100g y  $0.5 \pm 0.02$  mg/100 g, respectivamente; con un alto contenido de polifenoles ( $30.5 \pm 1.48$  mg GAE/g). Teniendo un efecto sobre la conservación del color y la textura de la carne de bovino, durante el período de almacenamiento. Por lo que el extracto se podría utilizar durante 8 días para mejorar la calidad de la carne de bovino.

Por otro lado, Kharrat *et al.* (2018) reportaron que el extracto de tuna (PPE) tiene un alto contenido de polifenoles  $152.2 \pm 0.26$  µg QE/mg PPE y flavonoides de  $370.6 \pm 0.12$  µg GAE/mg de PPE. También se encontró actividad antimicrobiana, frente a *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus*, con concentraciones mínimas inhibitorias entre 15.62 y 62.5 µg/ml, comparable con el nitrito de sodio (E250) que se utiliza habitualmente en la industria alimentaria. La adición de 2.5% de PPE, como colorante natural y agente antimicrobiano en la formulación de salami, provocó una disminución en la dureza y masticabilidad. Por lo que, los autores sugieren que los pigmentos y los compuestos fenólicos presentes en el extracto de tuna, podrían usarse como colorante natural, antioxidante y agente antimicrobiano, sin cambiar las características sensoriales del salami.

Asimismo, Gómez-Maqueo *et al.* (2020) caracterizaron las betalaínas y el perfil fenólico de cuatro variedades de tuna de las Islas Canarias (España) y determinaron su estabilidad digestiva y biodisponibilidad mediante digestión gastrointestinal *in vitro*. Para los estudios digestivos se consideró la importancia de la fracción comestible (pulpas) y el potencial de las cáscaras de frutas como subproductos para obtener ingredientes saludables. Se utilizó cromatografía líquida de alta resolución, encontrando 31 moléculas antioxidantes,

agrupadas en 3 ácidos fenólicos, 14 flavonoides, 9 betaxantinas y 5 betacianinas. Se identificó, por primera vez, una nueva isorhamnetina-hexosil-ramnosido y un perfil flavonoide distinto en la variedad Blanco Buenavista. Además, se encontró que las pulpas de las variedades de tuna Colorado y Fresa eran más abundantes en betalaínas (betanina e indicaxantina) y presentaban una alta bioaccesibilidad. En la cáscara de tuna se encontró un contenido significativo de compuestos fenólicos como el ácido piscídico y diferentes glucósidos de isorhamnetina, que tenían una alta estabilidad digestiva y bioaccesibilidad. Las betalaínas probadas en la fase gástrica con pH bajo, se mantuvieron estables para llegar a la fase intestinal. Mientras que la indicaxantina presentó una mayor bioaccesibilidad. Estos hallazgos sugieren que las pulpas de tuna son una opción saludable en la dieta y sus cáscaras podrían proponerse como posibles subproductos para obtener ingredientes saludables sostenibles.

Finalmente, Palmeri *et al.* (2020) caracterizaron betalaínas, fenoles totales, flavonoides, carotenoides, capacidad antioxidante por DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) y el potencial antimicrobiano contra bacterias patógenas transmitidas por los alimentos en tres variedades de jugos congelados de tuna (PPJ): blanca, roja y amarilla, obtenidos a diferentes tiempos de cosecha (“Agostani” y “Bastardoni”). La actividad antibacteriana *in vitro* se evaluó utilizando el método de difusión en agar probando cultivos bacterianos de *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *Pseudomonas fluorescens* (Gram negativos) y *Listeria innocua*, *Listeria grayi*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y cepas de *Bacillus cereus* (Gram positivas). Todas las variedades de jugos de tuna presentaron los valores más altos para retardar el crecimiento microbiano sobre la *Salmonella entérica*. Por otro lado, se encontraron altos contenidos de polifenoles totales, flavonoides y betalaínas y una marcada capacidad antioxidante. Sin embargo, la cosecha “Agostani” mostró un contenido mayor de polifenoles en la variedad blanca y de betacianina y betaxantina en la variedad amarilla y roja. Estos resultados favorecen la comercialización del fruto otorgándole un valor de mercado como fruta fresca con características nutricionales, para ser procesados como un producto semiprocado o para su implementación como conservador natural reduciendo el riesgo de contaminación por *Salmonella*.

A la fecha no existen investigaciones relacionadas con la elaboración de salchichas a partir de carne de pollo con o sin defecto (rayas blancas; White striping, WS) ni con la incorporación de polvo de garambullo y polvo de pulpa de tuna roja, en su función como colorantes e inhibidores de la oxidación lipídica.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Los criterios de selección de pollos de engorda se han ido adaptando a lo largo de las décadas de acuerdo con la creciente población que demanda el consumo de carne de pollo, lo que ha generado la aparición de nuevas anomalías en el músculo pectoral mayor, trayendo con ello el rechazo del consumidor y la decisión de compra (Rocha *et al.*, 2020).

De acuerdo con información de la Unión Nacional de Avicultores (UNA, 2019b), en el año 2019 en México, se registró un consumo de 28.59 kg per cápita, superando el consumo de otros tipos de carne, por lo que el procesamiento de productos listos para comer basados en carne de pollo afectada por alguna miopatía puede representar una interesante alternativa de aprovechamiento y valor agregado a este tipo de carne.

Por otro lado, la calidad de los productos cárnicos se ve afectada por reacciones de oxidación, provocando cambios organolépticos y visuales. En el caso de los productos cárnicos los colores que predominan son los rojos y rosados y es por lo que la industria alimentaria hace uso de los aditivos, sobre todo de los sintéticos. Sin embargo, la ingesta excesiva de aditivos y colorantes sintéticos en alimentos se ha relacionado con problemas a la salud. Por lo que, la generación de alternativas provenientes de fuentes naturales ha sido ampliamente estudiadas y de gran interés debido a posibles mejoras a la salud del consumidor.

Se sabe que la tuna y el garambullo son generalmente consumidos como frutos frescos, también considerados como fuentes de color y de antioxidantes debido a que poseen compuestos fenólicos, flavonoides, pigmentos betalaínicos y betaxantinas.

A la fecha no existen investigaciones sobre la utilización de la carne de pollo con defecto (White striping) para producir embutidos o productos cárnicos, ni la incorporación de polvo de garambullo y tuna como inhibidor de la oxidación y su uso como colorante natural en este tipo de productos.

## 5. HIPÓTESIS

Las mezclas de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) por su composición polifenólica y posible sinergia en actividad antioxidante, podrían modificar la estabilidad oxidativa y el color en salchichas de pollo elaboradas con carne de diferente calidad.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1. Objetivo general

Evaluar la incorporación de frutos secos de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) en la formulación de salchichas a base de carne de pollo con diferente calidad (carne sin o con defecto White striping), para reducir la oxidación lipídica y mantener el color durante el almacenamiento.

### 6.2. Objetivos específicos

- 1) Caracterizar los frutos deshidratados (garambullo y tuna roja) y sus mezclas considerando su capacidad antioxidante y color *in vitro*.
- 2) Caracterizar la materia prima cárnica mediante la evaluación subjetiva del grado de defecto, el pH, color, actividad antioxidante, esfuerzo al corte, análisis proximal y aptitudes tecnológicas (capacidad de emulsificación y capacidad de retención de agua).
- 3) Determinar en batidos cárnicos y salchichas cocidas la actividad antioxidante mediante los métodos FRAP, DPPH y ABTS<sup>•+</sup>; así como el color instrumental, por la incorporación de la mezcla de tuna y garambullo.
- 4) Determinar la estabilidad lipídica y el color en salchichas cocidas durante 14 días de almacenamiento.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Ensayos experimentales

El desarrollo del proyecto constó de tres etapas experimentales. En la primera etapa se realizó la caracterización de la materia prima vegetal; en la segunda etapa se caracterizó la materia prima cárnica y en la última etapa se evaluó el efecto de las mezclas de tuna y garambullo sobre los batidos cárnicos y salchichas cocidas elaboradas con carne de pollo sin o con defecto White stripping. También se evaluó la estabilidad de las salchichas en el almacenamiento.

Tabla 1. Etapas, objetivos particulares y determinaciones a realizar en cada etapa.

Primera etapa experimental	Segunda etapa experimental	Tercera etapa experimental
Caracterización <i>in vitro</i> de los extractos y las mezclas de tuna y garambullo	Caracterización de la materia prima cárnica	Caracterización de las salchichas
Color instrumental <sup>a,b,c,d,e</sup> . Determinación de la actividad antioxidante mediante el método FRAP, DPPH, ABTS <sup>a,b,c,d,e</sup> . Determinación de polifenoles totales mediante el método Folin-Ciocalteu <sup>a,b,c,d,e</sup> . Determinación de flavonoides mediante el método <sup>a,b,c,d,e</sup> .	Análisis proximal <sup>1,2</sup> . pH <sup>1,2</sup> . Color instrumental <sup>1,2</sup> . Esfuerzo al corte <sup>1,2</sup> . Determinación de la actividad antioxidante mediante el método FRAP, DPPH, ABTS <sup>1,2</sup> . Aptitud tecnológica de la carne <sup>1,2</sup> .	Determinación de humedad <sup>3</sup> . pH <sup>3,4</sup> . Color instrumental <sup>3,4</sup> . Determinación de la actividad antioxidante mediante el método FRAP, DPPH, ABTS <sup>3,4</sup> . Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) <sup>3,4</sup> . Análisis microbiológico (recuento total en placa y bacterias ácido lácticas) <sup>4</sup> .

<sup>a</sup> Determinaciones en el extracto acuoso de garambullo.

<sup>b</sup> Determinaciones en el extracto etanólico de garambullo.

<sup>c</sup> Determinaciones en el extracto acuoso de tuna roja.

<sup>d</sup> Determinaciones en el extracto etanólico de tuna roja.

<sup>e</sup> Determinaciones en la mezcla de ambos frutos en sus diferentes proporciones.

<sup>1</sup> Determinaciones en carne de pollo sin defecto White stripping

<sup>2</sup> Determinaciones en carne de pollo con defecto White stripping

<sup>3</sup> Determinaciones en el batido cárnico.

<sup>4</sup> Determinaciones en salchichas.

## **PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL**

### **7.2. Recolección del material vegetal**

Se adquirieron los frutos de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) en la localidad de Ajuchitlán, Colón, Santiago de Querétaro. Para su acondicionamiento y secado, los frutos se transportaron al Laboratorio de Carnes, del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Ajuchitlán, Santiago de Querétaro.

### **7.3. Acondicionamiento de fuentes vegetales**

Los frutos fueron seleccionados para descartar aquéllos que presentaban daños o se encontraban en mal estado. Posteriormente, para retirar el exceso de suciedad, se procedió a lavar con agua y una solución de plata coloidal (Mycrodin®). En seguida, se colocaron sobre papel absorbente para retirar el exceso de agua. En el caso del garambullo se utilizó el fruto en su totalidad (tallo, pulpa y cáscara), mientras que, para la tuna, esta fue descascarada y macerada de forma manual, retirando las semillas por decantación para luego deshidratarla, utilizando únicamente la pulpa.

#### **7.3.1. Secado y rendimiento de los frutos**

Los frutos se secaron en estufa de convección (ARSA AR-130D, México) durante 3 días, partiendo de 72 °C por 24 h, disminuyendo la temperatura 10 °C por día.

#### **7.3.2. Molienda de los frutos secos**

Los frutos secos se molieron de manera independiente en un procesador de alimentos (Osterizer Blend, USA). La molienda se pasó por un tamiz para obtener un producto de tamaño de partícula (420 µm). Finalmente, fue empacado al vacío, manteniéndolo en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente (22 ± 2 °C) hasta su uso.

### **7.4. Caracterización *in vitro* de los extractos y las mezclas de tuna y garambullo**

A partir del polvo de los frutos secos, se generaron extractos etanólicos y acuosos del garambullo y la tuna roja, así mismo, se generaron tres mezclas en polvo de ambos frutos en diferentes proporciones, GTA (25% garambullo / 75% tuna), GTB (50% garambullo / 50% tuna) y GTC (75% garambullo / 25% tuna). Para generar cada extracto, individualmente, se tomaron 10 g del producto seco y pulverizado de la tuna y el garambullo, así como de las mezclas. Dependiendo del tipo de extracto, a cada uno se le adicionaron 50 mL de etanol

o de agua (0.2 g/mL). Posteriormente, los extractos se filtraron por gravedad con un filtro Whatman® del N° 1.

#### **7.4.1. Contenido de polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu**

El contenido fenólico total fue determinado mediante el método Folin-Ciocalteu, descrito por Trujillo-Santiago *et al.* (2021). Se tomó una alícuota de 50 µL de los extractos etanólicos y acuosos, a los que se añadieron 1.5 mL de agua destilada y 125 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu 1 N. Después de 5 minutos, se agregaron 375 µL de una solución al 20% de carbonato de sodio y 475 µL de agua destilada. La mezcla se agitó con vórtex y después de la incubación durante 40 minutos a 37 °C, la absorbancia se determinó con un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, USA) a 765 nm. La cuantificación de fenoles se basó en la curva estándar generada con el uso de ácido gálico y expresada como equivalente de ácido gálico.

#### **7.4.2. Contenido de flavonoides totales**

El contenido de flavonoides totales se determinó mediante la metodología descrita por Villalobos-Delgado *et al.* (2017). Se utilizaron 500 µL de extracto y 2 mL de agua destilada, 150 µL de NaNO<sub>2</sub> al 5% y 150 µL de AlCl<sub>3</sub> al 5%. Transcurrido 1 min de reposo, se adicionó 1 mL de NaOH 1.0 M y 1.2 mL de agua destilada para posteriormente homogeneizar. Luego, la absorbancia se determinó a 330 nm. El contenido de flavonoides totales se expresó como mg equivalentes de quercetina (mg EQ)/g de extracto etanólico en base seca.

#### **7.4.3. Actividad antioxidante de los extractos por el método de DPPH**

Debido a que los frutos contienen diversos compuestos que muestran funcionalidad antioxidante, medir la capacidad antioxidante de cada compuesto individualmente es una tarea compleja y difícil. Por ende, se debe usar más de un método para obtener un análisis más completo. Los ensayos ABTS•+, DPPH y FRAP son métodos que miden la capacidad de los antioxidantes para eliminar radicales específicos, inhibir la peroxidación de lípidos o quelar iones metálicos (Martínez *et al.*, 2012).

La capacidad antioxidante por el método 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Sharma (2009) con algunas modificaciones López-Hernández (2018). Se tomó una alícuota de 100 µL del extracto y a la que se le adicionaron 900 µL de la solución de DPPH. La absorbancia se determinó a 517 nm mediante un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, USA) después de 15 minutos de incubación a 25 °C. Los resultados se expresaron en µmol equivalente de

Trolox (ET)/g de muestra y el porcentaje de inhibición de radicales DPPH se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de inhibición del radical} \\ & = [1 - (\text{absorbancia de la muestra} - \text{absorbancia del control})] \times 100 \end{aligned}$$

#### 7.4.4. Actividad antioxidante de los extractos por el método de FRAP

La capacidad antioxidante mediante el método de la habilidad de reducción del hierro (FRAP) se determinó de acuerdo con la metodología de Benzi & Stain (1996) y Mahecha *et al.* (2011). Se mezclaron 8.3 mL de 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) con 8.3 mL de FeCl<sub>3</sub> para obtener el reactivo FRAP. Posteriormente, se tomaron 1000 µL del reactivo FRAP los cuales se añadieron a 33.2 µL del extracto. La absorbancia se determinó a 593 nm mediante un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, USA). La capacidad antioxidante de FRAP se expresó como µmol de Fe/kg de muestra o equivalentes de Trolox/kg muestra.

#### 7.4.5. Actividad antioxidante por el método ABTS<sup>•+</sup>

La capacidad antioxidante por el método ABTS<sup>•+</sup> se realizó de acuerdo con la metodología reportada por Re *et al.* (1999) y Serpen, Gökmen & Fogliano (2012). Se tomaron 10 µL de extracto a los cuales se le añadieron 990 µL de solución ABTS<sup>•+</sup> (7 mM). La absorbancia se determinó a 734 nm. Los resultados se reportaron como el porcentaje de inhibición del radical, empleando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de inhibición del radical} \\ & = \left[ \frac{\text{Absorbancia del control} - \text{Absorbancia de la muestra}}{\text{Absorbancia del control}} \right] \times 100 \end{aligned}$$

#### 7.4.6. Determinación de color

La determinación de color se realizó de acuerdo con la metodología de Nowacka (2019). El color de los extractos fue medido en el sistema de color CIE  $L^* a^* b^*$ , utilizando un espectrofotocolorímetro (KONICA MINOLTA CR-410, Japón). Las mediciones se realizaron considerando cinco lecturas.

## **SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL**

### **7.5. Animales**

Si bien el defecto WS, sigue siendo un hallazgo en los lotes de producción (cuando se busca medirlo), el encontrarlo y separar las canales en un turno de rastro, entorpecería los tiempos y procesos. Por lo que, se exploró un modelo de engorda, que maximizará el peso del ave, siendo las aves de mayor peso las de mayor tendencia a generar el defecto. En este estudio se utilizaron dieciocho pollos de engorda de la raza Cobb, con 7 semanas de edad y un peso corporal estimado de 3 kg. Los animales (en las primeras 7 semanas) fueron alimentados con un programa de alimentación comercial de 4 dietas, primera: 21.9% de proteína cruda; 3.10% de grasa y 3.3% de fibra; segunda: 20.10% de proteína, 3.5% de grasa y 3.30% de fibra; tercera: 18.10% de proteínas, 3.30% de grasa y 2.80% de fibra; cuarta: 14.5% de proteína, 3.5% de grasa y 5% de fibra. Como estrategia, las últimas tres semanas se usó nuevamente la primera dieta. En todo momento, se les proporcionó agua potable fresca *ad libitum*. Todas las prácticas de manipulación siguieron las recomendaciones de la Guía de manejo para pollo de engorda (Cobb-Vantress, 2019). Cuando el animal alcanzó el máximo peso corporal (5 kg en promedio), se les retiró el alimento y el agua, y después de 12 h se pesaron, y sacrificaron por degollamiento. Finalmente, a partir de la canal, se obtuvieron las pechugas, las cuales se enfriaron a 2 °C, hasta su análisis.

### **7.6. Caracterización de la materia prima cárnica**

Las determinaciones señaladas en esta sección se llevaron a cabo en carne con y sin defecto White striping.

#### **7.6.1. Evaluación subjetiva para evaluar la carne con defecto de rayas blancas (White striping, WS)**

La evaluación subjetiva para calificar la carne con defecto White striping se realizó siguiendo la metodología de Kuttapan *et al.* (2013), considerando cuatro parámetros como se puede apreciar en la Figura 3 con algunas modificaciones de acuerdo con Kuttappan *et al.* (2012c).



**Fig. 3.** Escala de puntuación visual para el defecto White striping (WS) en filetes de pechuga de pollo. Donde: 0, normal (NOM); 1, moderado (MOD); 2, severo (SEV); 3, extremo (EXT).

### **7.6.2. Esfuerzo al corte**

Para la determinación del esfuerzo al corte se siguió la metodología propuesta por Zhuang, & Savage (2008) con modificaciones de López-Hernández (2021). Las muestras se cocinaron en una plancha (Milan Toast, Italia) a 110 °C para alcanzar una temperatura interna de 72 °C. La temperatura interna se verificó en la parte más gruesa de cada filete con un termómetro digital portátil equipado con una sonda y cronómetro para cocinar carne (Oakton, USA). Luego, los filetes se cortaron en cilindros de 5 cm de largo por 1 cm de espesor, partiendo del centro de cada músculo (paralelo a las fibras musculares). Cada cilindro se cortó con un dispositivo de corte Warner-Bratzler. El valor de las fuerzas (kg) requeridas para cortar los cilindros se registraron como el valor de corte para la muestra. La determinación se llevó a cabo por triplicado.

### **7.6.3. Análisis proximal**

La composición química se determinó siguiendo los métodos estándar de la AOAC (1997): Humedad (950.46); proteína bruta (928.08), grasa bruta (991.36) y cenizas (920.153).

#### **7.6.3.1. Determinación de humedad**

Se colocaron 10 g de muestra en una cápsula de porcelana. Posteriormente, cada cápsula se secó entre 16-18 h a  $100 \pm 2$  °C en un horno de convección. Luego, se enfriaron en desecador y se pesaron. La pérdida de peso se reportó como humedad.

### 7.6.3.2. Determinación de proteína

Se pesaron 0.15 g de muestra seca en el matraz de digestión y se añadieron 0.04 g de sulfato de cobre pentahidratado, 1.3 g de sulfato de potasio y 2.5 mL de ácido sulfúrico. Se llevó a ebullición hasta que la solución aclaró y se dejó 30 minutos más. Posteriormente, se enfrió (<25 °C) y se agregaron 5 mL de H<sub>2</sub>O. En la cámara de ebullición se añadieron 10 mL NaOH (50%). Luego, bajo la salida de destilación se colocó un matraz Erlenmeyer con 10 mL de ácido bórico (4%) y 2 gotas de indicador. Enseguida, se calentó hasta que se destiló todo el NH<sub>3</sub>. Se recolectaron 20 mL del destilado (4-5 min). Finalmente, el destilado se tituló con solución 0.1 N de ácido clorhídrico. El porcentaje de proteína se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\%N = N_{HCl} \frac{\text{Volumen de ácido corregido}}{\text{g de muestra}} \times 14 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 100$$

### 7.6.3.3. Determinación de grasa

Se secaron 2 g de muestra y el residuo seco se transfirió a un cartucho de extracción. Luego, se colocó el cartucho en el extractor del aparato Soxhlet y se conectó al matraz previamente pesado, el cual contenía 150 mL de éter de petróleo. El extracto de éter de petróleo se evaporó a sequedad y se dejó en un desecador para luego pesarlo. El porcentaje de grasa extraíble se calculó con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \text{Grasa extraíble (\%)} \\ & = \left[ \frac{(\text{Peso (g) del matraz con grasa} - \text{Peso (g) del matraz sin grasa})}{\text{Peso (g) de la muestra antes de la desecación}} \right] \times 100 \end{aligned}$$

### 7.6.3.4. Cenizas

En un crisol de porcelana, se pesaron 3 g de muestra, la cual se incineró sobre una tela de amianto hasta su carbonización. Luego, la muestra se calcinó en una mufla a 550 °C, hasta peso constante y se dejó enfriar en desecador. El resultado se expresó en % de sustancia seca. El resultado se expresó en % de sustancia seca.

### 7.6.4. Determinación de pH

El pH se determinó utilizando la metodología de Villalobos-Delgado *et al.* (2020) con algunas modificaciones. Se utilizó un potenciómetro (Hanna Instruments HI2211, Europa) en una suspensión resultante de mezclar 10 g de muestra con 100 mL de agua destilada

durante 2 min. El medidor de pH se calibró antes de las lecturas usando soluciones tampón de pH 7 y pH 4.

#### **7.6.5. Determinación de color**

La determinación de color se realizó de acuerdo con la metodología de Allen, Russell, & Fletcher (1997). Las evaluaciones se llevaron a cabo de manera directa sobre las muestras a 3 °C usando un espectrofotocolorímetro portátil (KONICA MINOLTA CR-410, Japón), previamente calibrado ( $Y=93.9$ ,  $x=0.3133$ ,  $y=0.3195$ ). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

#### **7.6.6. Aptitud tecnológica de la carne**

##### **7.6.6.1. Capacidad de retención de agua (CRA)**

La capacidad de retención de agua se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Honikel y Hamm (1994). Inicialmente se pesaron 10 g de carne, los cuales se homogenizaron durante 1 minuto en el Ultraturrax (IKA T18 digital, Alemania). Luego, se tomaron 5 g de muestra y se colocaron en tubos para centrífuga con 8 mL de solución de NaCl 0.6 M., agitando con una varilla de vidrio, durante 1 minuto. Posteriormente, se colocaron los tubos en un baño de hielo durante 30 minutos y se agitaron nuevamente con la varilla de vidrio durante 1 min. Finalmente, la muestra se centrifugó (Eppendorf 5804R, Alemania) durante 15 min a 10,000 rpm y se recogió el sobrenadante por decantación, al cual se le midió el volumen final y se le restó el volumen inicial. Los resultados se expresaron como la cantidad de mililitros en solución de NaCl 0.6 M retenidos por 100 g de carne. Esta determinación se realizó por triplicado.

##### **7.6.6.2. Capacidad de emulsificación (CE)**

La capacidad de emulsificación se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Karakaya *et al.* (2004). Se preparó una solución (SPS) de NaCl (2,5%) y  $K_2HPO_4$  (0,25%) en agua. En un procesador de alimentos, se homogenizaron 25 g de muestra y 100 mL de solución salina de fosfatos (SPS) fría (2 °C) durante 2 min a 13 000 rpm. Posteriormente, se tomaron 12.5 g del homogenizado y se le añadieron 37.5 mL de SPS, para luego homogenizar en un procesador de alimentos durante 10 s a baja velocidad (5 000 rpm). Después se le agregaron 50 mL de aceite de maíz (11 °C) y se mezcló a 13 000 rpm. Paralelo a ello, se adicionó aceite mediante una bureta hasta el punto de ruptura de la emulsión, la cual fue detectada cuando el voltímetro mostró un aumento repentino de la resistencia. La cantidad total de aceite emulsionado se expresó como mililitros de aceite emulsificado.

### **7.6.7. Actividad antioxidante de la materia prima cárnica**

Para la determinación de la actividad antioxidante se obtuvieron los extractos de la carne de pollo siguiendo la metodología descrita por Jung *et al.* (2012) con algunas modificaciones. En el Ultraturrax (IKA T18 digital, Alemania), se homogeneizaron 2.5 g de muestra con 7.5 mL de etanol, durante 1 minuto. Finalmente, la mezcla se centrifugó (Eppendorf 5804R, Alemania) a 5000 rpm x 15 minutos para obtener el sobrenadante.

#### **7.6.7.1. Actividad antioxidante por el método de DPPH de la materia prima cárnica**

La capacidad antioxidante por el método 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Póltorak *et al.* (2018) con algunas modificaciones López-Hernández (2018). Se tomó una alícuota de 100 µL del extracto a la que se le adicionaron 900 µL de la solución de DPPH. La absorbancia se determinó a 517 nm mediante un espectrofotómetro (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, USA) después de 15 minutos de incubación a 25°C. Los resultados se expresaron en µmol equivalente de Trolox (ET)/g de muestra y el porcentaje de inhibición de radicales DPPH se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \% \text{ de inhibición del radical} \\ & = [1 - (\text{absorbancia de la muestra} - \text{absorbancia del control})] \times 100 \end{aligned}$$

#### **7.6.7.2. Actividad antioxidante por el método de FRAP de la materia prima cárnica**

La actividad antioxidante mediante el método de FRAP se determinó utilizando la metodología de Benzi & Stain, (1996) y Mahecha *et al.* (2011) descrita previamente en el apartado 7.5.4.

#### **7.6.7.3. Actividad antioxidante por el método de ABTS<sup>•+</sup> de la materia prima cárnica**

La capacidad antioxidante por el método ABTS<sup>•+</sup> se realizó de acuerdo con la metodología reportada por Re *et al.* (1999) y Serpen, Gökmen & Fogliano (2012) previamente descrita en el apartado 7.5.5.

## **TERCERA ETAPA EXPERIMENTAL**

### **7.7. Elaboración de salchichas**

Las salchichas se elaboraron mediante la técnica reportada por Barbut & Maragoni (2016) con algunas modificaciones Villalobos-Delgado (2018).

Para evaluar el efecto de los tratamientos (dos controles y las mezclas de garambullo y tuna) en la elaboración de las salchichas, se consideró la incorporación al 5 % del extracto de la formulación de acuerdo con Parafati *et al.* (2019). Las tres mezclas se aplicaron en la elaboración de las salchichas, con dos tipos de carne, sin o con defecto WS, partiendo de sus respectivos batidos cárnicos (B) (masa cárnica sin cocimiento). Para ello, se formularon 5 tratamientos: i) control negativo (BCTL y SCTL), sin la incorporación de frutos deshidratados y alguna otra fuente de antioxidante, ii) control positivo (BNOS y SNOS) similar a BCTL y SCTL más la adición de 120 mg/kg de nitritos, iii) BGTA y SGTA, batidos y salchichas con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna, iv) BGTB y SGTB, batidos y salchichas con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna, v) BGTC y SGTC, batidos y salchichas con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.

Los cinco tratamientos se aplicaron a una formulación mínima para un total de 500 g de producto, un 50% carne magra sin o con defecto WS, 30% grasa (lardo), 20% hielo, 10 gramos de sal, 1.5 gramos de fosfato de sodio y 1.5 gramos de carragenina. A partir de la selección al azar de las pechugas de seis pollos se prepararon tres lotes de carne. Las pechugas fueron cubicadas a 2 x 2 x 2 cm, para luego mezclarse en un recipiente de forma manual. Enseguida, la carne de ave se cortó usando una cutter (Foss Homogenizer 2094 CPL R35, Suecia) a baja velocidad durante 3 min. La grasa junto con el hielo se agregó y se picó durante 3 min a baja velocidad, seguido de la adición de fosfato de sodio (FABPSA S.A de C.V., México) y sal (FABPSA S.A de C.V., México) emulsionando durante 3 minutos. Al final, se incorporó la carragenina (FABPSA S.A de C.V., México) y las mezclas de garambullo y tuna en polvo para cada tratamiento, emulsionando durante 3 minutos más. Cada formulación se embutió (INTSUPERMATI, USA) en tripas de celulosa de 20 mm de diámetro (Viscofan, México) para luego manualmente atarse en eslabones de 10 cm. Posteriormente, las salchichas se sometieron a cocción a 72 °C, hasta obtener una temperatura interna mínima de 70 °C. Inmediatamente se enfriaron en un baño de hielo, para después desenfundar, empacar al vacío (1.3 bars) y llevarlas a refrigeración (1.5 ± 0.3 °C) hasta su uso al día siguiente.

## **7.8. Determinaciones en los batidos cárnicos y en las salchichas**

### **7.8.1. Batidos cárnicos**

Las determinaciones señaladas en esta sección se llevaron a cabo en batidos cárnicos de carne de pollo con y sin defecto White striping.

#### **7.8.1.1. Determinación del color**

La determinación de color se realizó de acuerdo con la metodología de Allen, Russell, & Fletcher (1997). Las muestras fueron evaluadas por triplicado entre 2 a 4 °C usando un espectrofotocolorímetro (KONICA MINOLTA CR-410, Japón). Se tomaron 20 g del batido crudo, los cuales se colocaron dentro de una bolsa de polietileno, buscando un espesor de 2 cm para efectuar la determinación. La placa de referencia blanca ( $Y=93.9$ ,  $x=0.3133$ ,  $y=0.3195$ ), estuvo dentro de una bolsa de polietileno para llevar a cabo la calibración.

#### **7.8.1.2. Determinación del pH**

El pH se midió utilizando la metodología de Villalobos-Delgado *et al.* (2020) previamente descrita en el apartado 7.7.3.

#### **7.8.1.3. Determinación de humedad**

La humedad se determinó utilizando la metodología estándar (950.46) de la AOAC previamente descrita en el apartado 7.6.1.1.

#### **7.8.1.4. Actividad antioxidante**

Los extractos del batido crudo se obtuvieron siguiendo la metodología descrita por Póltorak *et al.* (2018). Se pesaron 2.5 g de muestra y se le añadieron 7.5 mL de etanol para posteriormente homogenizar en el Ultraturrax (IKA T18 digital, Alemania) a 12 rpm x 120 segundos. Posteriormente, el homogeneizado se centrifugó a 1800 rpm x 10 minutos para obtener el sobrenadante, el cuál fue utilizado para determinar la actividad antioxidante mediante el método DPPH, ABTS y FRAP, según lo descrito en las secciones 7.5.3 a 7.5.5.

### **7.8.2. Salchichas**

Las determinaciones señaladas en esta sección se llevaron a cabo en las salchichas elaboradas con carne de pollo sin o con defecto White striping.

#### **7.8.2.1. Determinación del color**

Para realizar las lecturas del color, se siguió la metodología reportada en la sección 7.8.1.1, considerando tres porciones de salchicha de 2.5 cm de largo.

#### **7.8.2.2. Actividad antioxidante**

Para llevar a cabo la determinación de la actividad antioxidante, se siguió la metodología reportada en el apartado 7.8.1.4.

#### **7.8.2.3. Determinación de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)**

El efecto de los extractos sobre la oxidación lipídica en salchichas cocidas se evaluó mediante el método de TBARS descrito por Hwang *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Se homogenizaron 5 gramos de muestra con 25 mL de agua destilada durante 2 min. Posteriormente, la mezcla fue transferida a un matraz bola y el vaso de precipitado que contenía la mezcla fue lavado con 47.5 mL de agua destilada, para añadir 2.5 mL de HCl (4N). La mezcla se destiló hasta obtener 50 mL del destilado. Finalmente, 5 mL de destilado fueron mezclados con el mismo volumen de TBA (0.02 M) en tubo de ensaye, para ser calentado a 95 °C durante 5 min. La absorbancia de la solución resultante se determinó a 538 nm. Los valores de TBARS se expresaron como mg de malondialdehído (MDA) por kg de muestra, a partir de una curva de calibración con 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP).

#### **7.8.2.4. Análisis de mesófilos aerobios (Recuento total en placa)**

El recuento total en placa se determinó mediante el método de vertido en placa como se describe en la legislación mexicana (Secretaría de Salud, 1994). El recuento bacteriano total se determinó en agar de recuento en placa (Becton Dickinson, México) a 35 °C durante 48 h. Posteriormente las colonias microbianas se contaron y se expresaron como log<sub>10</sub> unidades formadoras de colonias/g de carne (UFC/g).

#### **7.8.2.5. Análisis de Bacterias ácido lácticas**

Se realizó mediante la técnica de extensión superficial en placa (NOM-110-SSA1-1994) para determinar el conteo microbiano de bacterias ácido lácticas totales en Agar MRS (Becton Dickinson, México) a 35 °C durante 48 h. Posteriormente las colonias microbianas se contaron y se expresaron como log<sub>10</sub> unidades formadoras de colonias/g de carne (UFC/g).

### **7.9. Análisis estadístico**

Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía para evaluar la caracterización *in vitro* de los extractos acuosos y etanólicos de tuna y garambullo, así como de las mezclas en polvo de ambos frutos (actividad antioxidante, el contenido total de polifenoles y flavonoides y los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y tono) y la caracterización de la

materia prima cárnica sin o con defecto WS (análisis proximal, actividad antioxidante, CRA, CE y los parámetros de color). Asimismo, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías para la caracterización de los batidos cárnicos y de las salchichas sin o con defecto WS para analizar el efecto de los tratamientos (CTL, NOS, GTA, GTB y GTC) y los días de almacenamiento (1, 7 y 14 días) en el pH, actividad antioxidante, color instrumental y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS). Para encontrar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se empleó la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software STATISTICA, versión 10.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados y las discusiones obtenidos de la caracterización *in vitro* de los extractos y las mezclas en polvo provenientes de los frutos deshidratados de la tuna y el garambullo, considerando su actividad antioxidante (AA), el contenido total de polifenoles, flavonoides y el color. Así como, la caracterización de la materia prima cárnica, considerando la evaluación subjetiva para calificar el defecto WS, análisis proximal, valores de pH, color instrumental, aptitudes tecnológicas y la AA. También se describen los resultados obtenidos en las determinaciones fisicoquímicas realizadas en los batidos cárnicos y salchichas, tales como los valores de pH, TBARS, color instrumental, actividad antioxidante y recuento microbiológico.

### 8.1. Caracterización *in vitro* de los extractos y las mezclas de tuna y garambullo

#### 8.1.1. Contenido de polifenoles totales (CPT) y contenido de flavonoides totales (CFT).

Las diferencias obtenidas en el CPT y el CFT entre los extractos etanólicos y acuosos de la tuna y el garambullo se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Contenido de polifenoles totales (CPT) y flavonoides totales (CFT) de los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo.

Variable de respuesta	Tratamientos			
	Tuna Etanol	Tuna Agua	Garambullo Etanol	Garambullo Agua
CPT, mg EAG/g	213.52 ± 2.77 <sup>d</sup>	1667.81 ± 5.10 <sup>a</sup>	243.68 ± 2.64 <sup>c</sup>	416.79 ± 3.82 <sup>b</sup>
CFT, mg quercetina/g	112.07 ± 3.56 <sup>c</sup>	618.54 ± 9.19 <sup>a</sup>	147.17 ± 3.53 <sup>b</sup>	628.31 ± 14.00 <sup>a</sup>

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c,d</sup> Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Los extractos acuosos tanto de tuna como de garambullo, tuvieron la mayor CPT (1667.81±5.10 mg EAG/g y 416.79±3.82 mg EAG/g, respectivamente), así como el mayor CFT (618.54±9.19 mg de quercetina/g y 628.31±14.00 mg de quercetina/g, respectivamente) a diferencia de los extractos etanólicos de ambos frutos. El CPT en agua destilada fue mayor para la tuna ( $P < 0.05$ ), mientras que el CFT fue igual entre ambos frutos.

En general, los resultados obtenidos para polifenoles y flavonoides de ambos frutos son variables entre par de solventes. Lo anterior se puede atribuir a la naturaleza química de los productos fitoquímicos, el pretratamiento de la muestra, la forma de extracción, la relación solvente-muestra, el tipo de solvente de extracción utilizado, el pH del disolvente de extracción, la temperatura y el tiempo de extracción, el tamaño de partícula de la muestra y la presencia de otras sustancias interferentes (Casazza *et al.*, 2010; Shah *et al.*, 2014). En esta investigación, factores como la polaridad del solvente y el tiempo de extracción, pudieron haber afectado el CPT y CFT en cada extracto, debido a que ambos factores fueron diferentes en esta investigación con respecto de otras investigaciones en las cuales se reportan valores superiores e inferiores.

La naturaleza fenólica de los polifenoles los hace relativamente hidrófilos, por lo que los polifenoles libres, incluidos los aglicones, glucósidos y oligómeros, se extraen con agua, disolventes orgánicos polares como metanol, etanol, acetonitrilo y acetona, o su mezcla en agua (Tsao, 2010). Sin embargo, la afinidad por algún solvente dependerá de la solubilidad de estos compuestos, así como el tipo de polifenoles y flavonoides presentes y su polaridad (Alara, Abdurahman & Ukaegbu, 2021; Chaves *et al.*, 2020; Haminiuk *et al.*, 2012). En el caso de los flavonoides, compuestos como las catequinas, las proantocianidinas y los taninos condensados, a menudo se extraen directamente con agua (Brglez *et al.*, 2016). En esta investigación, el extracto acuoso presentó la mayor extracción de compuestos fenólicos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha encontrado que el contenido de polifenoles y flavonoides presentes en este tipo de frutos se atribuye a la presencia de compuestos tales como: la portulacaxantina II, indicaxantina, vulgaxantina I y III, 3-metoxitiramina-betaxantina, arginina-betaxantina, betanidina, dopa-betaxantina, betanina, filocactina y betalaínas. Asimismo, ácido elágico, cafeico, gálico y protocatecuico (3,4-dihidroxibenzoico) y compuestos fenólicos como la quercetina, epigallocatequina galato, epicatequina, 3- $\beta$ -glucósido, kaempferol, miricitrina y vainillina (Montiel-Sánchez *et al.*, 2020; Correa-Betanazo *et al.*, 2011). Además, Gosetti *et al.* (2018) señalan que alrededor del 10% del contenido total de polifenoles son betalaínas, las cuales son sustancias colorantes naturales solubles en agua, siendo las betacianinas las que reflejan un color rojo violeta, por lo que el agua como solvente permite una extracción eficiente de este tipo de compuestos.

En relación a la concentración de polifenoles totales en la tuna, variedad roja, Jorge & Troncoso (2016) reportaron valores en un intervalo de 52.0 a 72.3 mg equivalentes de ácido gálico en 100 g de fruta fresca. Mientras que Ramírez-Ramos *et al.* (2015) reportaron que las concentraciones más altas de compuestos fenólicos en extractos etánolicos de tuna, se observan en variedades verdes, amarillas, anaranjadas y en algunas rojas en la etapa de inmadurez hortícola en un intervalo de 153.1 a 165.5 mg EAG/100 g de fruto fresco.

Cabe señalar que los polvos de tuna y garambullo utilizados para esta investigación fueron previamente deshidratados, sufriendo así, un proceso térmico. Con respecto a esto, la literatura refiere que un incremento en la temperatura produce cambios sustanciales en la composición de los fenoles y acelera la pérdida de estos compuestos (Correa-Betanazo *et al.*, 2011). En este sentido, Mancera-Rodríguez *et al.* (2019) evaluaron el contenido de fenoles totales en el fruto fresco y en el fruto deshidratado de garambullo observando que la concentración de fenoles totales después del proceso de secado disminuyó significativamente, teniendo una pérdida del 40% pasando de 926.4 mg EqAG/100g a 555.84 mg EqAG/100g. Por otra parte, Ramírez-Ramos *et al.* (2015) argumentan que las variantes genéticas entre especies y cultivares, así como las condiciones de cultivo y la etapa de maduración del fruto también son factores que influyen en el contenido total de polifenoles y flavonoides.

Asimismo, los resultados reportados por Chavez-Santoscoy, Gutierrez-Urbe & Serna-Saldívar (2009) y Kharrat *et al.* (2018) concuerdan con respecto a los valores obtenidos para el contenido total de polifenoles y flavonoides en el extracto etanólico de tuna, reportados en esta investigación. Por su parte, Chavez-Santoscoy, Gutierrez-Urbe & Serna-Saldívar (2009) informaron que los valores del contenido de fenoles totales para diferentes especies de tuna se encontraron en un rango de 22.3-226 mg de ácido gálico equivalente (GAE)/g y 276.9 mg equivalentes de quercetina/g para el contenido de flavonoides. Mientras que Kharrat *et al.* (2018) señalaron que el contenido de polifenoles y flavonoides totales encontrados para extractos disueltos en etanol/agua (70/30; v/v) fueron de 370.60 µg GAE/ mg de PPE y 152.25 µg QE/ mg PPE, respectivamente. Los autores indicaron que dichos resultados se deben a la presencia de carbohidratos y compuestos fenólicos ya que existe una relación directa entre la presencia de polifenoles y el contenido de carbohidratos (fibra dietética).

Con respecto a los flavonoides, en la fruta (pulpa) de la tuna, se han cuantificado solo trazas de ellos siendo los principales los flavanoles como la quercetina y sus derivados, la rutina, la catequina y un flavan-3-ol (Chavez-Santoscoy, Gutierrez-Urbe & Serna Saldivar, 2009; Slimen, Najjar & Abderrabba, 2021). Lo cual coincide con García-Cayuela *et al.* (2019) quienes informan que el mayor contenido de flavonoides en la tuna se obtiene de la cáscara y solo trazas en la pulpa.

Los resultados del CPT y el CFT entre los extractos acuosos de las mezclas en polvo de la tuna y el garambullo se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Contenido de polifenoles totales (CPT) y contenido de flavonoides totales (CFT) de los extractos acuosos de las mezclas.

	<i>Mezclas</i>		
	GTA	GTB	GTC
CPT, mg EAG/g	1456.21 ± 5.04 <sup>a</sup>	1377.34 ± 12.73 <sup>b</sup>	1318.43 ± 4.91 <sup>c</sup>
CFT, mg Quercetina/g	385.92 ± 18.14 <sup>b</sup>	521.21 ± 15.90 <sup>b</sup>	1176.84 ± 11.55 <sup>a</sup>

GTA: mezcla de 25% garambullo con 75% tuna

GTB: mezcla de 50% garambullo con 50% tuna

GTC: mezcla de 75% garambullo con 25% tuna.

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c</sup> Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

En el caso de las mezclas usando agua destilada como solvente, el contenido de polifenoles entre tratamientos fue diferente ( $P < 0.05$ ), siendo GTA el que presentó un mayor contenido de polifenoles, seguido de GTB y finalmente GTC. Con ello se puede observar que el aporte de la tuna en el CPT es muy relevante, alcanzando valores cercanos a los de pura tuna.

La cantidad total de polifenoles que se ha encontrado en GTA, se podría deber al contenido de diversos compuestos fenólicos encontrados en la tuna, sobre todo de los ácidos fenólicos. Estos se dividen en dos subgrupos: ácidos hidroxibenzoicos e hidroxicinámicos. Los ácidos hidroxicinámicos más abundantes son los ácidos cinámicos, clorogénico, cumárico y ferúlico y en concentraciones más bajas el ácido cafeico, sinápico y dimetoxicinámico. Los ácidos hidroxibenzoicos generalmente se encuentran en concentraciones más bajas, pero comúnmente se han identificado los ácidos 4-hidroxibenzoico, protocatequico, vanílico, siríngico, salicílico, gálico y gentísico (Alves *et*

*al.*, 2017; Chavez-Santoscoy, Gutierrez-Uribe & Serna Saldivar, 2009; Slimen, Najjar & Abderrabba, 2021).

Por otro lado, el mayor contenido de flavonoides se observó para el tratamiento GTC (75% garambullo/25% tuna), el cual fue diferente ( $P < 0.05$ ) de GTA y GTB, mientras que estos dos últimos tratamientos fueron estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ). Cabe señalar que, el extracto acuoso de garambullo (G) presentó los valores más altos en el CFT (Tabla 2), lo que pudo haber influido en los resultados de la mezcla con la tuna. Estos resultados se pueden atribuir a la sinergia de ambos frutos para potenciar el contenido de compuestos fenólicos presentes y su posible interacción durante la extracción para la cuantificación. Montiel-Sánchez *et al.* (2020) al caracterizar el fruto de garambullo, identificó mayormente flavonoides (13 flavonoides) con respecto a los compuestos fenólicos (6 ácidos fenólicos), lo que sugiere que este fruto es más rico en dichos compuestos

En el caso de la mezcla GTC, la cual obtuvo un mayor contenido de flavonoides, se podría sugerir que probablemente se debió a una mayor proporción de polvo de garambullo con respecto al de la tuna en la mezcla, siendo este el que registró los valores más altos para el contenido de flavonoides en el extracto acuoso. Algunos estudios sugieren que el contenido de flavonoides en el garambullo se debe a la quercetina, galato de epigallocatequina, epicatequina, entre otros (Guía-García *et al.*, 2021; Montiel-Sánchez *et al.*, 2020; Reynoso-Camacho *et al.*, 2015).

### **8.1.2. Actividad antioxidante de los extractos y las mezclas.**

Las diferencias obtenidas para la actividad antioxidante mediante los ensayos DPPH, ABTS<sup>•+</sup> y FRAP entre los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo, así como de las mezclas en polvo de ambos frutos se muestran en la Tabla 4 y 5, respectivamente.

Todos los tratamientos presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ), tanto para los extractos individuales como para las mezclas en polvo con diferentes solventes. En los extractos (ambos frutos) y en las mezclas, el agua como solvente presentó los mejores resultados para DPPH y ABTS<sup>•+</sup>, mientras que para FRAP, únicamente el extracto etanólico de garambullo y de la mezcla GTB. El extracto acuoso de tuna para los ensayos DPPH y ABTS<sup>•+</sup> presentó los valores más altos de capacidad antioxidante con respecto a los del garambullo.

**Tabla 4.** Actividad antioxidante (mg eq. Trolox/ 100 g de muestra) de los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo.

Solvente	Extractos			
	Tuna		Garambullo	
	Etanol	Agua destilada	Etanol	Agua destilada
DPPH	27.88 ± 0.12 <sup>d</sup>	80.40 ± 0.40 <sup>a</sup>	29.56 ± 0.28 <sup>c</sup>	49.85 ± 0.24 <sup>b</sup>
ABTS <sup>•+</sup>	411.74 ± 3.89 <sup>c</sup>	1020.86 ± 8.06 <sup>a</sup>	351.26 ± 13.26 <sup>c</sup>	796.76 ± 43.74 <sup>b</sup>
FRAP	191.21 ± 2.04 <sup>c</sup>	225.87 ± 3.78 <sup>b</sup>	312.52 ± 6.15 <sup>a</sup>	100.67 ± 3.65 <sup>d</sup>

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c,d</sup> Medias en la misma fila con diferente literal para cada técnica son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

En relación con la tuna, los resultados se podrían atribuir a su alto contenido en polifenoles totales, lo que pudo haber influido en su actividad antioxidante. La capacidad antioxidante de los compuestos polifenólicos depende de las propiedades redox de sus grupos hidroxilo fenólicos y de las relaciones estructurales entre las diferentes partes de las estructuras químicas. Dichas relaciones estructurales actúan mediante un mecanismo de eliminación de radicales libres, neutralización de lípidos, neutralización o eliminación de especies reactivas al oxígeno (ROS) capturando electrones desapareados de las ROS y a través de su capacidad de quelar iones metálicos, como el hierro y el cobre (Zafra, 2021).

Sin embargo, se ha informado que la capacidad antioxidante de la tuna y su correlación con los compuestos bioactivos (vitaminas, polifenoles, carotenoides, betalaínas, antocianinas, tocoferoles, carbohidratos) no son consistentes, puesto que algunos investigadores reportan correlaciones positivas y otros no encuentran correlación con algunos de estos compuestos bioactivos (Alves *et al.*, 2017). Para esta investigación, se podría decir que existe una correlación entre el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante, ya que ambos frutos demostraron tener un alto contenido de polifenoles y a su vez una capacidad antioxidante alta. En el caso de la tuna su mayor actividad antioxidante se presentó mediante el método DPPH y ABTS, mientras que el garambullo tuvo la mayor capacidad antioxidante mediante el método FRAP.

La capacidad antioxidante del garambullo se puede atribuir posiblemente a que los compuestos fenólicos, el ácido ascórbico y las betalaínas tienen la capacidad de contrarrestar, reducir y reparar el daño resultante del estrés oxidativo derivado de su

elevada capacidad antioxidante (López-Palestina *et al.*, 2019). Sin embargo, esta actividad antioxidante, se ve afectada por el grado de maduración, pues en estado inmaduro su actividad antioxidante se puede atribuir a la presencia de los fenoles totales, flavonoides y ácido ascórbico, mientras que en frutos sobremaduros, los compuestos fenólicos y ácido ascórbico se reducen, pero las betalaínas se conservan y aumentan durante la maduración del fruto. Por ende, la elevada actividad antioxidante que presentan los frutos de garambullo es el reflejo de la concentración de compuestos bioactivos (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2010; Herrera-Hernández *et al.*, 2011).

En lo que se refiere a las mezclas, los resultados obtenidos coinciden con lo obtenido para los extractos individuales, ya que siendo la tuna la que presentó los mejores resultados en agua destilada, la mezcla GTA, fue quien registró la mayor capacidad antioxidante probablemente debido a su contenido en mayor proporción de tuna. Mientras que, en la mezcla GTB disuelta en etanol, el garambullo presentó la mayor actividad antioxidante mediante el método FRAP.

**Tabla 5.** Actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ 100 g de muestra) de los extractos acuosos y etanólicos de las mezclas en polvo.

Solvente	Extractos de las mezclas					
	GTA		GTB		GTC	
	Etanol	Agua destilada	Etanol	Agua destilada	Etanol	Agua destilada
DPPH	25.23 ± 0.28 <sup>e</sup>	77.61 ± 0.00 <sup>a</sup>	24.54 ± 0.36 <sup>e</sup>	60.94 ± 0.36 <sup>b</sup>	28.09 ± 0.16 <sup>d</sup>	59.34 ± 0.32 <sup>c</sup>
ABTS <sup>•+</sup>	384.20 ± 16.26 <sup>d</sup>	985.22 ± 2.35 <sup>a</sup>	251.63 ± 0.48 <sup>e</sup>	465.74 ± 15.90 <sup>c</sup>	167.66 ± 4.61 <sup>f</sup>	926.90 ± 22.22 <sup>b</sup>
FRAP	189.97 ± 2.65 <sup>d</sup>	221.45 ± 4.42 <sup>c</sup>	336.57 ± 1.97 <sup>a</sup>	128.26 ± 2.34 <sup>f</sup>	303.68 ± 2.26 <sup>b</sup>	156.02 ± 7.18 <sup>e</sup>

GTA: mezcla de 25% garambullo con 75% tuna

GTB: mezcla de 50% garambullo con 50% tuna

GTC: mezcla de 75% garambullo con 25% tuna.

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c,d,e,f</sup> Medias en la misma fila con diferente literal para cada técnica son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

### 8.1.3. Determinación de color

Los valores del color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , tono y saturación) de los extractos acuosos y etanólicos individuales, así como el de las mezclas en polvo se muestran en la Tabla 6 y 7, respectivamente. Todos los valores del color instrumental  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y tono (ángulo Hue) fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) para cada fruto y mezcla entre par de solventes usados en la extracción. Los mejores resultados se obtuvieron en agua como solvente, ya que se determinó la mayor presencia de tonos rojos (en garambullo y en tuna, respectivamente), a pesar de la baja luminosidad comparada con la extracción etanólica.

**Tabla 6.** Valores de color de los extractos etanólicos y acuosos de tuna y garambullo.

Solvente	Extractos			
	Tuna		Garambullo	
	Etanol	Agua destilada	Etanol	Agua destilada
$L^*$	$80.47 \pm 1.12^a$	$62.26 \pm 0.88^b$	$80.37 \pm 1.82^a$	$56.14 \pm 1.11^b$
$a^*$	$-5.15 \pm 0.03^c$	$14.80 \pm 0.21^b$	$-5.62 \pm 0.11^c$	$41.20 \pm 1.14^a$
$b^*$	$10.31 \pm 0.14^b$	$29.10 \pm 0.23^a$	$10.81 \pm 0.19^b$	$-1.39 \pm 0.09^c$
Croma	$11.53 \pm 0.13^c$	$32.65 \pm 0.30^b$	$12.19 \pm 0.22^c$	$41.23 \pm 1.14^a$
Tono	$-63.43 \pm 0.23^d$	$63.04 \pm 0.16^a$	$-62.56 \pm 0.05^c$	$-1.95 \pm 0.16^b$

Los valores corresponden a las medias  $\pm$  error estándar.

a,b,c,d Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Algunos de los estudios que han caracterizado el garambullo demuestran que se han identificado betalaninas (betanina y filocactina) en una concentración suficientemente alta. Las betalaínas se derivan biosintéticamente de la tirosina y pueden clasificarse en dos grupos estructurales según su color, las betacianinas, las cuales brindan tonalidades rojas y las betaxantinas que proporcionan coloraciones amarillas. Estos pigmentos vegetales vacuolares tienen una naturaleza hidrófila siendo más polares que las antocianinas, por lo que el agua es el disolvente más adecuado por motivos de estabilidad y de solubilidad, mientras que en etanol y metanol son ligeramente solubles (Colomas, Barthe & Bulard, 1977; García-Cruz *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2008; Stintzing *et al.*, 2008).

Como se puede observar, los resultados obtenidos para los extractos de etanol disminuyeron la intensidad de la coloración rojo-púrpura tendiendo hacia tonos verdes-azulados. Se ha reportado que los extractos con etanol o etanol/agua presentan una mayor pérdida de color comparada con los de agua (López-Palestina *et al.*, 2019). La presencia

de etanol incrementa la velocidad de degradación de las betalaínas, debido a la alta densidad electrónica del átomo de oxígeno del grupo alcohol y a su mayor carácter nucleofílico del agua. Durante el ataque nucleofílico se forma un compuesto protonado intermediario muy inestable que rompe el sistema de los dobles enlaces conjugados, este protón liberado provoca una hidrólisis de las betalaínas. La escisión del protón no es tan rápida en soluciones ligeramente ácidas (pH 4-5). Sin embargo, lo es en soluciones neutras o básicas (García, Reynoso & González de Mejía, 1998).

A su vez, el contenido de pigmentos en estos frutos depende también de su estado de madurez, el cual va incrementando conforme el fruto va madurando. Esto se puede atribuir a la pérdida de agua en postcosecha y a su síntesis durante la senescencia como respuesta a efecto del estrés oxidativo de los frutos (López-Palestina *et al.*, 2019). Asimismo, factores como la atmósfera de almacenamiento y la presencia de oxígeno pueden disminuir la estabilidad de las betalaínas. El almacenamiento en una atmósfera con poco oxígeno o nitrógeno puede disminuir la reacción de las betalaínas con el oxígeno molecular (Correa-Betanazo *et al.*, 2011).

De esta manera, los resultados obtenidos difieren con lo reportado por otros autores y esto se puede atribuir al pretratamiento de la muestra, a los solventes que se utilizaron y a la etapa de maduración en la que se encuentra el fruto (García, Reynoso & González de Mejía, 1998; López-Palestina *et al.*, 2019; Rodríguez, 1985).

En un estudio realizado por García, Reynoso & González de Mejía (1998) analizaron extractos de garambullo con diferentes solventes, mezcla de etanol-HCl 1 %, etanol/agua y etanol-HCl 1%/agua (1:2), obteniendo los mayores rendimientos de extractos de betalaína utilizando una solución de etanol-HCl 1%/agua. Estos autores señalaron que el garambullo en condiciones ácidas presentó una ligera variación en la tonalidad del color pasando de un rosa intenso a un azul violeta. Por su parte, Herrera-Hernández *et al.* (2011) y Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) evaluaron los parámetros de color directamente en los frutos de garambullo fresco. Herrera-Hernández *et al.* (2011) evaluaron el fruto en tres distintas etapas de maduración mientras que Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) analizaron el fruto recolectado de diferentes partes del centro de México. En ambas investigaciones, se reportaron valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y tonos similares a los obtenidos en esta investigación.

Con respecto a las mezclas, los valores de rojos incrementaron al aumentar el contenido de garambullo e inversamente proporcional a los tonos amarillos por la tuna en las mediciones de extractos acuosos. Sin embargo, en etanol no prevalecieron los rojos y se desplazaron los valores hacia los verdes. Respecto a la luminosidad, GTC fue la menor al generarse la solución acuosa posiblemente ante el aporte del garambullo en la mezcla, mientras que en las soluciones etanólicas, difícilmente un consumidor podría distinguir las ligeras diferencias entre mezclas.

Cabe señalar que, los resultados individuales para el extracto acuoso de garambullo demostraron una coloración más intensa rojo-púrpura con respecto al de tuna. Por lo tanto, la mezcla GTC al contener una mayor proporción de garambullo en la mezcla (75%) pudo otorgar también una mayor coloración rojo-púrpura. Además, la mezcla de ambos frutos pudo haber potenciado el color de los extractos, sobre todo del acuoso. En relación con ello, se sabe que el contenido de pigmentos rojo-violeta solubles en agua del garambullo es de aproximadamente 2.3 mg/100 g y los de la tuna 2.1 mg/ 00 g, en variedades completamente rojas. De acuerdo con lo anterior, en la mezcla GTC, el garambullo pudo haber contribuido en mayor medida en la pigmentación de las mezclas (Correa-Betanazo *et al.*, 2011).

**Tabla 7.** Valores de color de los extractos etanólicos y acuosos de las mezclas en polvo.

Solvente	Extractos de las mezclas					
	GTA		GTB		GTC	
	Etanol	Agua destilada	Etanol	Agua destilada	Etanol	Agua destilada
L*	81.36 ± 0.42 <sup>a</sup>	60.68 ± 0.63 <sup>b</sup>	82.06 ± 0.29 <sup>a</sup>	61.47 ± 0.34 <sup>b</sup>	81.88 ± 0.22 <sup>a</sup>	55.35 ± 0.16 <sup>c</sup>
a*	-5.10 ± 0.04 <sup>d</sup>	23.29 ± 0.79 <sup>c</sup>	-5.74 ± 0.10 <sup>d</sup>	27.09 ± 0.62 <sup>b</sup>	-5.90 ± 0.05 <sup>d</sup>	37.39 ± 0.31 <sup>a</sup>
b*	9.36 ± 0.14 <sup>c</sup>	20.09 ± 0.53 <sup>a</sup>	11.08 ± 0.28 <sup>b</sup>	9.95 ± 0.22 <sup>c</sup>	11.35 ± 0.17 <sup>b</sup>	5.18 ± 0.08 <sup>d</sup>
Croma	10.66 ± 0.14 <sup>e</sup>	30.76 ± 0.94 <sup>b</sup>	12.48 ± 0.29 <sup>d</sup>	28.86 ± 0.65 <sup>c</sup>	12.79 ± 0.18 <sup>d</sup>	37.74 ± 0.31 <sup>a</sup>
Tono	-61.41 ± 0.21 <sup>d</sup>	40.81 ± 0.23 <sup>a</sup>	-62.59 ± 0.22 <sup>e</sup>	20.16 ± 0.15 <sup>b</sup>	-62.54 ± 0.17 <sup>e</sup>	7.89 ± 0.15 <sup>c</sup>

GTA: mezcla de 25% garambullo con 75% tuna; GTB: mezcla de 50% garambullo con 50% tuna; GTC: mezcla de 75% garambullo con 25% tuna.

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c,d,e</sup> Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

## **SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL**

### **8.2. Caracterización de la materia prima cárnica**

#### **8.2.1. Evaluación subjetiva para evaluar la carne con defecto de rayas blancas**

##### **(White striping, WS)**

La evaluación subjetiva de las pechugas asociadas con el defecto de rayas blancas (provenientes de pollos alimentados con 4 diferentes dietas) presentó un grado de defecto severo (SEV) en la mayoría de las pechugas (5 pechugas), seguido del grado moderado (MOD) (4 pechugas) y solo 1 pechuga fue normal (datos no presentados en tablas). Lo anterior, se atribuye a diversos factores.

De acuerdo con Kuttappan *et al.* (2012) y Kuttapan *et al.* (2013b) la incidencia de rayas blancas puede deberse al tipo de dieta, puesto que una dieta con un alto contenido en grasa aumenta la tasa de crecimiento causando que los tejidos musculares superen el límite de los sistemas de soporte y aumenten el peso de las pechugas. Además, una mayor tasa de crecimiento puede conducir a una regulación de cationes defectuosa, lo que resulta en un aumento del nivel de sodio, potasio, magnesio y calcio en el músculo. La deficiencia dietética de vitamina E y los nutrientes asociados denominados miopatía nutricional también son factores que están asociados a este defecto (Kuttapan *et al.*, 2012; Sihvo, Immonen & Puolanne, 2013).

Asimismo, Kuttapan *et al.* (2013a) señalan que la incidencia de este defecto podría deberse a un mayor estrés en los pollos de engorde a causa de la falta de suministro de sangre, lo que podría resultar en la acumulación de productos de desechos metabólicos. Por otro lado, las pechugas que muestran un grado severo de rayas blancas traen como consecuencia la no comercialización de su venta al por menor debido a una menor aceptabilidad del producto o rechazo por parte del consumidor, causando daños económicos a la industria avícola (Petracci *et al.*, 2013).

#### **8.2.2. Análisis proximal y pH**

Los resultados que se muestran en la Tabla 8 demuestran las diferencias obtenidas ( $P < 0.05$ ) en el pH y análisis proximal para los diferentes tipos de carne considerando valores de humedad, grasa, proteína y cenizas.

En lo que respecta al pH, se observaron diferencias significativas entre las pechugas sin o con defecto WS, con valores de  $5.72 \pm 0.06$  y  $6.02 \pm 0.03$ , respectivamente. Las diferencias observadas en el pH final de la carne, depende en gran medida de la cantidad de glucógeno

presente en el músculo. Este glucógeno se agota en los músculos de las aves que han estado expuestas al estrés antes del sacrificio (Allen, Russell & Fltecher, 1997).

El valor obtenido de pH en pechugas de pollo con defecto WS fue mayor (6.1) con respecto a las pechugas de pollo sin defecto (5.72). Este aumento de pH se podría asociar con el desarrollo del músculo pectoral. La tasa de crecimiento de cada ave está involucrada con el pH final, por lo que los pollos con un mayor desarrollo de la pechuga pueden exhibir valores de pH final más alto. En diversos estudios los músculos que presentan el defecto WS registran valores de pH superiores a 6, que son comunes en la carne oscura, firme y seca. Además, el defecto WS puede reducir el contenido de glucógeno o modificar la aparición de acidificación durante el tiempo *post-mortem* conduciendo a un aumento del pH final (Petracci, 2013; Mudalal *et al.*, 2014a).

**Tabla 8.** Valores de pH y análisis proximal (base seca) de la materia prima cárnica de pollo sin o con defecto WS.

Atributo	Tipo de carne	
	Pechuga sin defecto	Pechuga WS
pH	5.72 ± 0.06 <sup>b</sup>	6.02 ± 0.03 <sup>a</sup>
Humedad (%)	72.89 ± 0.22 <sup>a</sup>	73.24 ± 0.07 <sup>a</sup>
Grasa (%)	5.74 ± 0.04 <sup>b</sup>	6.13 ± 0.04 <sup>a</sup>
Proteína (%)	18.98 ± 0.64 <sup>a</sup>	18.51 ± 0.24 <sup>a</sup>
Cenizas (%)	1.34 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.27 ± 0.03 <sup>a</sup>

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b</sup> Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Mudalal (2019) reportó valores de pH para carne con defecto WS en un grado moderado (6.16) y severo (6.20) significativamente más alto que la carne normal (6.10). Sin embargo, Mudalal *et al.* (2014a), reportaron un valor de pH para carne WS similar (5.90) al obtenido en esta investigación.

Por otra parte, el análisis proximal de las pechugas sin o con defecto WS demostró que solo hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en lo que respecta al contenido de grasa, con valores de 5.74±0.04% y 6.13±0.04%, respectivamente.

La composición proximal de la carne de pollo depende de factores como el genotipo, sistema de producción, edad, dieta y manejo, así como de las condiciones ambientales (Dal

Bosco, Castellini & Mugnai, 2004; Fanatico *et al.*, 2005; Souza, Faria & Bressan, 2011). Además, como expresa Fanatico *et al.* (2005), las diferencias en las características físicas y químicas se relacionan con la madurez, el potencial de crecimiento, el desarrollo muscular y el linaje de los pollos, así como, la edad al momento del sacrificio y el sexo.

Los resultados obtenidos en esta investigación para las pechugas de pollo sin defecto WS (raza Cobb), concuerdan parcialmente con lo reportado por Jayasena *et al.* (2011), siendo el contenido de humedad (73.89%) y grasa (6.59%) similares pero diferentes en el contenido de proteína (16.95%), cenizas (1.03%) y valor de pH (6.48). Asimismo, Souza, Faria & Bressan, (2011) reportaron para la misma raza, un porcentaje de humedad y proteína mayor (75.57 y 22.49%, respectivamente) y un valor similar de pH (5.8). Por otra parte, lo reportado por da Silva, de Arruda & Gonçalves, (2017) para pollos de engorde industrial (raza Cobb), sin defecto WS, difiere de lo obtenido en este estudio, reportando un contenido más alto en humedad (76.3%) y proteína (19.9%) y un contenido más bajo en cenizas (1%) y grasa (1.3%). Así como un valor de pH de 5.9.

Por otra parte, la pechuga con defecto WS presentó un mayor contenido de grasa. Estos resultados se podrían atribuir a la miodegeneración de la pechuga, la cual generalmente puede ir acompañada de fibrosis y adiposis, lo que podría explicar el alto porcentaje de grasa (Mudalal, 2019). Cabe señalar que, para esta investigación, el tiempo de vida que se le dio a los pollos con defecto WS con respecto a los pollos sin defecto, fue mayor, esto con el objetivo de que se desarrollara el defecto en las pechugas. Asimismo, un clima cálido puede aumentar la grasa abdominal, mientras que, en temperaturas frías, se puede depositar menos grasa (Fanatico *et al.*, 2005).

Además, algunos estudios han señalado que la aparición de un proceso de degeneración de las fibras musculares por parte de la carne con defecto WS, trae como consecuencia un aumento en el contenido de lípidos intramusculares y disminuye el contenido de proteínas derivado de un posible efecto indirecto de una mayor acumulación de lípidos intramusculares (Petracci *et al.*, 2013; Petracci *et al.*, 2014). En relación con los resultados obtenidos en esta investigación, para la pechuga de pollo con defecto WS, estos fueron similares a lo reportado por Chen *et al.* (2016) considerando tres distintas cepas de pollos (817C, Arbor Acres y Hy-line Brown) con el mismo defecto. Los autores observaron un rango de valores para el contenido de humedad de 74-42% a 74.93 y para el contenido de cenizas de 1.11% a 1.40, mientras que los resultados para el contenido de proteína fueron mayores, mostrando valores de 20.46 a 22.37%.

Así mismo, Pretacci *et al.* (2014) analizaron la composición química para diferentes grados del defecto WS en pechuga de pollo, encontrando diferencias significativas ( $P < 0.001$ ) en los porcentajes de proteínas y lípidos entre los grupos normal, moderado y grave. Los autores observaron que el contenido de humedad (75.10%, 75.16% y 74.90%, respectivamente) y de grasa (1.30%, 1.37% y 1.43%, respectivamente) fue aumentando a medida que el grado de defecto aumentaba, mientras que el contenido de proteínas disminuía (22.90%, 22.20% y 20.90%, respectivamente).

### **8.2.3. Determinación de color y esfuerzo al corte**

Los valores de color para  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (tonos rojos),  $b^*$  (tonos amarillos), croma, tono como el ángulo Hue y el esfuerzo al corte en pechugas de pollo sin o con defecto WS se presentan en la Tabla 9.

El color de la carne de las aves de corral es un indicador de la calidad que se ve afectado por diversos factores como el sexo, la edad, la cepa, factores ambientales, el sistema de producción, el manejo previo al sacrificio y el pH (Fanatico *et al.*, 2005; Fletcher, Qiao & Smith, 2000; Mugler & Cunningham, 1972). Otros factores como el sistema de producción y en menor medida el genotipo también influye en el color que adquiere la carne (Chen *et al.*, 2016; Fanatico *et al.*, 2005).

El valor de  $L^*$  obtenido para las pechugas no presentó diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los diferentes tipos de carne. Lo anterior concuerda con Kuttappan *et al.* (2009) quienes informan que el defecto WS en las pechugas de pollo no tiene ningún efecto sobre los valores de  $L^*$ . No obstante, Braña *et al.* (2011) reportaron que el parámetro de  $L^*$  se correlaciona con el estado físico de la carne, debido al pH final del músculo, a la estructura de las fibras musculares y a la cinética implicada para establecer el *rigor mortis*. Guidi & Castigliero, (2010) reportaron que, la pechuga de pollo ha sido clasificada de acuerdo con el nivel de luminosidad siendo  $L^* < 46$  más oscura de lo normal,  $48 < L^* < 53$  normal y más clara de lo normal  $L^* > 53$ , demostrando que cada grupo estaba asociado con un pH promedio entre 6.23, 5.96 y 5.81, respectivamente. De esta manera, los valores de  $L^*$  mayores a 53, podrían indicar que la carne puede tener problemas de calidad, siendo señalada como PSE (pálida, blanda y exudativa) (Souza, Faria & Bressan, 2011; Wilkins & Jones, 2000). De esta manera, los valores obtenidos en esta investigación sugieren que ambos tipos de carne se encuentran en el parámetro de “más claras de lo normal”.

**Tabla 9.** Valores de color y esfuerzo al corte (Kg) en pechugas de pollo sin o con defecto WS.

Atributo	Tipo de carne	
	Pechuga sin defecto	Pechuga WS
$L^*$	$64.75 \pm 1.21^a$	$62.93 \pm 0.81^a$
$a^*$	$5.20 \pm 0.22^b$	$6.83 \pm 0.19^a$
$b^*$	$26.56 \pm 0.48^a$	$17.64 \pm 0.70^b$
Croma	$27.08 \pm 0.42^a$	$19.03 \pm 0.64^b$
Tono	$78.84 \pm 0.67^a$	$69.24 \pm 1.00^b$
Esfuerzo al corte (kg)	$0.78 \pm 0.15^a$	$0.26 \pm 0.07^b$

Los valores de la tabla corresponden a la media  $\pm$  error estándar.

<sup>a,b</sup> Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Por otra parte, los valores de  $a^*$ ,  $b^*$ , tono y croma presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los diferentes tipos de pechuga. El valor de  $a^*$  para las pechugas sin defecto fue menor (menos rojizo) con respecto de las pechugas con defecto, mientras que los valores de  $b^*$ , croma y tono fueron mayores con respecto al valor registrado para las pechugas con defecto.

En lo que respecta a los valores bajos de  $a^*$  en las pechugas de pollo sin defecto WS, Giudi & Castigliego (2010) reporta que, valores bajos, están asociados con el estrés durante el transporte de las aves previo al sacrificio. Por lo que, dichos resultados sugieren que estos pollos sufrieron un mayor estrés provocando una coloración menos rojiza en la carne.

Por su parte, Taisonero *et al.* (2016) reportan que el valor de  $a^*$  en la pechuga de pollo con defecto WS aumenta a medida que la miopatía es más severa. Cabe señalar que, para esta investigación, la evaluación subjetiva realizada a las pechugas con este defecto, presentaron un grado de afectación severo, por lo cual se observó un enrojecimiento creciente. Además, estos valores concuerdan con lo obtenido para el atributo de tono, puesto que valores más grandes indican una coloración menos roja, siendo las pechugas sin defecto las que obtuvieron un valor mayor con respecto a las pechugas con defecto. Petracci *et al.* (2013) demostraron que la condición del defecto WS era suficiente para determinar un mayor enrojecimiento de la carne en comparación con las pechugas de pollo normales.

Los valores de  $b^*$  para la pechuga de pollo sin defecto fueron mayores con respecto de la pechuga con defecto, siendo esta última menos amarilla. Estudios han demostrado que las pechugas afectadas por el defecto WS o pechuga de madera (WB) son más amarillas que las no afectadas, probablemente debido a la fuerte respuesta fibrótica (Petracci *et al.*, 2013; Dalle Zotte *et al.*, 2014). A su vez, Tasoniero *et al.* (2016) informan que el aumento de la acumulación de lípidos en las pechugas con defecto WS, derivan de la incorporación de pigmentos provenientes del alimento que son liposolubles, como los carotenoides y las xantofilas, aumentando la amarillez de este tipo de carne. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación difieren de lo reportado por otros autores, ya que no se demostró que las pechugas con defecto WS fuesen más amarillas; a pesar de que el contenido de grasa fue mayor (6.13%) con respecto a las pechugas sin defecto (5.74%).

Con respecto al valor de croma, este fue mayor en la pechuga sin defecto WS. Este atributo en carne fresca se relaciona con la concentración de mioglobina, que influye directamente en la saturación del color del músculo y se relaciona principalmente con los factores ante-mortem tipo de músculo, edad, alimentación y genética (Braña *et al.*, 2011).

Con respecto a los valores del esfuerzo al corte, se presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre ambos tipos de carne, siendo la pechuga con defecto WS la que presentó el valor más bajo, lo que sugiere que este tipo de carne es más suave. Campo *et al.* (2020) encontraron que a medida que el grado de defecto aumenta, la carne tiende a ser menos resistente a la fuerza de corte, lo que pudiera explicar el resultado obtenido en esta investigación. Así mismo, el tejido conectivo, el contenido cuantitativo y cualitativo de colágeno presente, son factores que contribuyen apreciablemente sobre la dureza de la carne. El colágeno insoluble es un factor definitivo sobre la dureza de la carne, cuando se hidroliza se produce el ablandamiento de este producto.

La carne con defecto WS ha evidenciado cantidades variables de tejido conjuntivo laxo, junto con tejido conectivo rico en colágeno, en casos de miopatía grave (Braña *et al.*, 2011; Campo *et al.*, 2020; Mazzoni *et al.*, 2015). Tijare *et al.* (2016) sugirieron que las diferencias histológicas que presenta este defecto (WS) pueden afectar los resultados de cizallamiento que indirectamente se usan para evaluar la terneza relacionada con el estado contráctil de la fibra.

Campo *et al.* (2020) reportaron valores de 1.52 kg/cm<sup>2</sup> en pechugas de pollo con defecto WS. Dichos valores son superiores con respecto a lo obtenido en este estudio. Tasoniero *et al.* (2016) obtuvieron un valor similar con respecto a los valores obtenidos en esta investigación (0.76 kg) para la pechuga de pollo sin defecto WS y un valor superior de 2.04 kg para la pechuga de pollo con defecto. Sin embargo, estos autores aplicaron un procedimiento de cocción diferente al del presente estudio, lo que posiblemente explique los diferentes resultados de la fuerza de corte (Mudalal *et al.*, 2014b).

#### **8.2.4. Aptitud tecnológica de la carne (CRA, CE)**

La capacidad de retención de agua (CRA) se define como la capacidad de la carne y los productos cárnicos para retener o resistir la pérdida de agua durante el corte, picado y prensado, la cual está determinada por una serie de estructuras físicas y componentes químicos (Yang *et al.*, 2018; Warner, 2017). La capacidad de retención de agua puede ser afectada por factores como el efecto de carga neta, la tasa de disminución del pH, la raza, cría de animales, transporte y condición previa al rigor. Así como otros rasgos sensoriales y fisicoquímicos, como la terneza, la jugosidad, el color y el valor del pH (Saelin *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2018; Yao *et al.*, 2018).

El color, la textura y la firmeza son propiedades sensoriales relacionadas con la cantidad de agua que se tiene contenida o retenida en la carne. Los factores que inciden sobre la capacidad de retención de la carne es el pH, la especie de que proviene la carne, el tipo de fibra, la estabilidad oxidativa de sus membranas, el proceso de maduración, y el sistema utilizado para congelar y descongelar la materia prima cárnica.

Los músculos blancos, como la pechuga de pollo, tienen menor irrigación y un metabolismo glicolítico por lo que tienden a tener menor CRA en comparación con aquellos músculos constituidos por fibras rojas, más cortas y con un metabolismo oxidativo (Pérez & Ponce, 2006). Adicionalmente, el estrés previo al sacrificio acelera el desarrollo del rigor mortis, reduciendo la capacidad de retención de agua e incrementando la palidez de la carne atribuido a la desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas por el aumento de la dispersión de la luz en el músculo (McKee & Sams, 1997).

Los resultados obtenidos para la capacidad de retención de agua en la pechuga de pollo sin o con defecto WS fue de 48.33% y 31.11%, respectivamente. Karunanayaka *et al.*, 2016 refiere que el valor de capacidad de retención de agua para carne normal es de ≈77.12%.

Dicho valor es mayor con respecto a los resultados obtenidos para ambos tipos de pechugas en esta investigación. Sin embargo, en un estudio realizado por Karakaya *et al.* (2004) se analizó la CRA en diferentes tipos de carne. Para carne de pollo se registró un valor de 44.3%; este resultado es similar a lo obtenido para la pechuga de pollo sin defecto (48.33%).

En el caso de la capacidad de retención de agua para la pechuga con defecto WS, Kuttappan, Hargis, & Owens (2016) señalan que el grado de defecto, no solo altera la apariencia del producto, sino también reducen la capacidad para retener y unir agua, resultado de una fuerte disminución de las proteínas contráctiles musculares (por ejemplo, miosina y actina) afectando los principales rasgos tecnológicos (capacidad de retención de agua y textura) (Bowker & Zhuang, 2015). Cabe señalar que para en esta investigación la mayoría de las pechugas analizadas presentaron un grado de defecto severo por lo que esto pudo influir en los resultados.

Braña *et al.* (2011) informan que nutricionalmente, una baja CRA resulta en pérdidas importantes de agua, que acarrean, proteínas, minerales y vitaminas hidrosolubles. Desde el punto de vista industrial, la capacidad de una carne para retener el agua originalmente contenida, así como el agua que se añada durante los procesos industriales, influye en la eficiencia del sistema y dicta en parte el rendimiento final del producto. Una pobre retención de agua provoca un goteo constante que interfiere en los sistemas de empaque. Por lo tanto, la evaluación de la CRA de la carne de pollo es importante tanto para los productores como para los consumidores, ya que podría afectar la calidad de la carne cruda y los productos cocidos (Yao *et al.*, 2018).

Por otra parte, la relación entre la capacidad de retención de agua y el pH, así como con los parámetros de color, en especial de  $L^*$ , se debe a que la carne con un pH bajo (5.5) disminuye el valor de CRA debido a que el valor de pH se acerca al punto isoeléctrico (5.1-5.5) de las proteínas musculares y alcanza un máximo a valores de pH cercanos a la neutralidad (Judge *et al.*, 1989; Pérez & Ponce, 2006). Por otra parte, Qiao *et al.* (2001) refieren que los valores de  $L^* > 49$  y un valor de pH bajo, generalmente están asociados con valores entre 38.50-51.73% para la capacidad de retención de agua y son considerados como una baja capacidad de retención de agua, los cuales son considerados como carne PSE. Por lo anterior ambos tipos de carne podrían ser considerados como carne PSE, de acuerdo con los resultados obtenidos previamente, siendo  $L^* > 49$  y la CRA de 48.33% y 31.11% para pechugas sin y con defecto WS.

Por otra parte, la emulsión o capacidad emulsionante se define generalmente como el volumen de aceite que puede ser emulsionado por la proteína antes de que ocurra la inversión de fase o el colapso de la emulsión (Tahergorabi, Hosseini, & Jaczynski, 2011). Como tal, la CE se considera como un indicador de la calidad de la carne fresca, así como de su aptitud tecnológica para la elaboración de productos cárnicos, en especial de productos de pasta fina como las salchichas (Pérez & Ponce, 2006). En este sentido, las proteínas miofibrilares (actina, miosina y actomiosina), son generalmente reconocidas como emulsionantes importantes y estabilizantes en emulsiones cárnicas. Su solubilidad e interacciones crecientes afectan la capacidad de unión de aceite y de retención de agua, la estabilidad, la viscosidad, la densidad y otras características de las emulsiones (Galluzo & Regenstein, 1978; Zorba & Kurt, 2006).

En esta investigación, la capacidad de emulsificación para las pechugas sin y con defecto presentaron valores de 163.38 mL de aceite y 153.75 mL de aceite, respectivamente. Algunos estudios han señalado que para la carne de pollo sin defecto WS, la capacidad de emulsificación se encuentra en un intervalo entre 79.69-224 mL de aceite (Karakaya *et al.*, 2004; Qiao *et al.*, 2001). De acuerdo con estos autores, en esta investigación, la pechuga de pollo con defecto WS, presenta buena capacidad de emulsificación debido a que presentó valores similares dentro del intervalo que reportan dichos autores.

### 8.2.5. Actividad antioxidante de la materia prima cárnica

La capacidad antioxidante de las pechugas de pollo sin o con defecto White striping analizadas *in vitro* mediante los métodos DPPH, ABTS<sup>•+</sup> y FRAP se muestra en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ kg de carne) de la materia prima cárnica sin o con defecto WS.

Actividad antioxidante	Tipo de carne	
	Pechuga sin defecto	Pechuga WS
DPPH	29.96 ± 5.33 <sup>b</sup>	62.27 ± 1.90 <sup>a</sup>
ABTS <sup>•+</sup>	468.98 ± 4.25 <sup>b</sup>	751.21 ± 6.91 <sup>a</sup>
FRAP	52.30 ± 1.94 <sup>b</sup>	64.58 ± 1.90 <sup>a</sup>

Los valores de la tabla corresponden a la media ± error estándar.

<sup>a,b,c</sup>: Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

La pechuga con defecto WS presentó la mayor capacidad antioxidante mediante los tres métodos, obteniendo así diferencias ( $P < 0.05$ ) entre ambos tipos de carne. Las capacidades antioxidantes y el contenido de macronutrientes y compuestos bioactivos de las pechugas de pollo dependen en gran medida de factores como la dieta y el genotipo (Hosseindoust *et al.*, 2020; Lengkidworrapihat *et al.*, 2020). Además, se ha demostrado que la carne de pollo tiene la mayor capacidad antioxidante con respecto a otras carnes debido a que las proteínas y los péptidos contenidos en este tipo de carne, los cuales tienen una importante acción antioxidante debido a su capacidad para eliminar los radicales libres y quelar los metales prooxidativos. Así mismo, ésta es rica en histidil dipéptidos, tales como la carnosina y anserina, las cuales tienen importantes propiedades antioxidantes (Jayasena *et al.*, 2015; Serpen *et al.*, 2012) a lo que se le podría atribuir en parte su actividad antioxidante en carne de pollo.

Los valores obtenidos para la pechuga sin defecto WS mediante el método DPPH, coinciden con lo reportado por Serpen *et al.* (2012) quienes determinaron la capacidad antioxidante de la carne proveniente de diferentes especies, siendo la carne de pollo la que presentó 29  $\mu\text{mol Trolox Eq./kg}$  de carne (peso seco) mediante el método DPPH.

En esta investigación, la carne con defecto obtuvo los valores más altos en capacidad antioxidante en todos los ensayos. Lo anterior, se podría atribuir al tipo de dieta que siguieron estos pollos, la cual pudo haber contribuido en los resultados obtenidos. La presencia de compuestos como el  $\alpha$ -tocoferol, el cual generalmente está contenido en el alimento de los pollos de engorda, propician una mayor concentración en el músculo debido a la composición de los ácidos grasos, a la eficiencia de absorción y deposición de  $\alpha$ -tocoferol, así como su agotamiento por sistemas de oxidación *in vivo* (Chan, Decker & Feustman, 1994). Lengkidworrapihat *et al.* (2020), sugieren que un valor antioxidante alto en la pechuga de pollo, evaluado por el método ABTS<sup>•+</sup> para compuestos polares y apolares, puede deberse a un alto contenido de grasa, lo que concuerda con lo obtenido en el análisis proximal para las pechugas con defecto evaluadas en esta investigación.

## **TERCERA ETAPA EXPERIMENTAL**

### **8.3. Caracterización de los batidos cárnicos**

#### **8.3.1. Determinación del color**

El efecto de la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo en el color instrumental de los batidos cárnicos de pollo sin o con defecto White striping, se muestra en la Tabla 11.

En lo que se refiere a los batidos elaborados a partir de las pechugas sin defecto, los valores registrados para  $L^*$  fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) entre todos los tratamientos. Siendo BGTA y BGTB iguales estadísticamente, pero diferentes de BGTC con un valor de  $L^*$  menor. Por su parte, los valores registrados para  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y tono mostraron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos control y los tratamientos con las mezclas. Para la variable  $a^*$ , BGTA registró un valor menor con respecto de BGTB y BGTC. Mientras que, BGTA, BGTB y BGTC presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre sí en el valor de  $b^*$  y tono, entre tratamientos. En el croma, BGTA y BGTB fueron iguales ( $P > 0.05$ ), pero diferentes de BGTC ( $P < 0.05$ ).

En el caso de la carne con defecto WS, los valores de  $L^*$ ,  $b^*$ , croma y tono registraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos control y los tratamientos que contenían las diferentes mezclas. Asimismo, en el caso de  $a^*$  se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los controles, así como entre los tratamientos control y los tratamientos que contenían las diferentes mezclas.

De esta manera, los resultados obtenidos en los valores de las variables del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , tono y saturación) en los tratamientos BGTA, BGTB y BGTC tanto en la pechuga sin defecto y con defecto, pudieron verse afectados por el color impartido por las mezclas de tuna y garambullo, principalmente por las betalaínas (Khatabi *et al.*, 2016). En estos tratamientos se pudieron observar que no hubo diferencias estadísticas entre las mezclas en la pechuga de pollo sin defecto, pero si los hubo en los valores reportados para la pechuga con defecto.

Estos resultados se podrían atribuir a que la inclusión de mezclas para los batidos cárnicos con defecto WS, pudieron verse afectados por el proceso de elaboración y las condiciones de procesamiento, ya que el procesamiento de los batidos con diferentes tipos de carne se realizó en diferentes días.

El atributo  $a^*$  para BCTL en la pechuga de pollo sin defecto WS, presentó un menor valor con respecto al BNOS, siendo este más rojo. Estos resultados se pueden atribuir a la presencia de nitritos. Holownia, Chinnan, & Reynolds (2003) demostraron que la adición de nitritos a diferentes proporciones en carne de pollo cruda presento como resultado, una variación en el parámetro  $a^*$ . Dicha variable incrementaba conforme la concentración de nitrito de sodio aumentaba, atribuyendo estos resultados a que los nitritos provocan la formación directa de nitrosomioglobina de apariencia roja. Por lo que los valores obtenidos

de  $a^*$  para el tratamiento BCTL sin defecto WS coinciden con los valores de tono, ya que valores altos de tono indican una coloración menos roja, siendo este tipo de carne el que obtuvo un valor mayor con respecto a la pechuga con defecto teniendo una coloración menos roja (AMSA, 2012).

Por otro lado, el atributo  $b^*$  para los controles positivo y negativo en ambos tipos de batidos, presentaron coloraciones más amarillas con respecto a los tratamientos con inclusión de mezclas de tuna y garambullo, lo cual era de esperarse puesto que no tuvieron la adición de ningún colorante y la carne de pollo generalmente posee tonalidades amarillas como se mostró previamente en la Tabla 8.

En general, los tratamientos que incluían las mezclas de tuna y garambullo mostraron una coloración más roja con respecto a los controles positivo y negativo, lo que sugiere que es efectivo, el aporte de color por parte de los pigmentos naturales. Como se puede observar, los tratamientos BGTB y BGTC para batidos con defecto WS presentaron los valores más altos para  $a^*$ , siendo estos más rojos. Sin embargo, estas diferencias no se observaron en los mismos tratamientos para los batidos sin defecto WS.

**Tabla 11.** Efecto de las mezclas de tuna y garambullo en el color del batido cárnico de pollo elaborado con carne sin o con defecto WS.

Atributo	Tratamientos				
	BCTL	BGTA	BGTB	BGTC	BNOS
<i>Carne sin defecto</i>					
<i>L*</i>	90.19 ± 0.05 <sup>b</sup>	83.04 ± 0.22 <sup>c</sup>	83.13 ± 0.53 <sup>c</sup>	81.25 ± 0.06 <sup>d</sup>	92.72 ± 0.19 <sup>a</sup>
<i>a*</i>	5.08 ± 0.06 <sup>c</sup>	10.58 ± 0.13 <sup>b</sup>	12.04 ± 0.25 <sup>a</sup>	11.65 ± 0.12 <sup>a</sup>	5.06 ± 0.30 <sup>c</sup>
<i>b*</i>	19.75 ± 0.13 <sup>a</sup>	13.58 ± 0.10 <sup>b</sup>	12.11 ± 0.20 <sup>c</sup>	10.68 ± 0.06 <sup>d</sup>	19.88 ± 0.02 <sup>a</sup>
Croma	20.40 ± 0.14 <sup>a</sup>	17.22 ± 0.13 <sup>b</sup>	17.08 ± 0.30 <sup>b</sup>	15.80 ± 0.12 <sup>c</sup>	20.51 ± 0.03 <sup>a</sup>
Tono	75.57 ± 0.09 <sup>a</sup>	52.10 ± 0.35 <sup>b</sup>	45.18 ± 0.41 <sup>c</sup>	42.52 ± 0.21 <sup>d</sup>	75.71 ± 0.06 <sup>a</sup>
<i>Carne con defecto</i>					
<i>WS</i>					
<i>L*</i>	95.39 ± 0.18 <sup>a</sup>	83.36 ± 0.95 <sup>b</sup>	84.35 ± 0.90 <sup>b</sup>	84.71 ± 0.84 <sup>b</sup>	94.95 ± 0.38 <sup>a</sup>
<i>a*</i>	2.94 ± 0.49 <sup>c</sup>	11.19 ± 0.20 <sup>a</sup>	11.52 ± 0.33 <sup>a</sup>	11.29 ± 0.13 <sup>a</sup>	4.35 ± 0.32 <sup>b</sup>
<i>b*</i>	20.11 ± 0.10 <sup>a</sup>	12.29 ± 0.28 <sup>b</sup>	12.57 ± 0.65 <sup>b</sup>	12.85 ± 0.76 <sup>b</sup>	19.88 ± 0.19 <sup>a</sup>
Croma	20.37 ± 0.81 <sup>a</sup>	16.65 ± 0.19 <sup>b</sup>	17.14 ± 0.34 <sup>b</sup>	17.15 ± 0.65 <sup>b</sup>	20.37 ± 0.17 <sup>a</sup>
Tono	81.70 ± 1.39 <sup>a</sup>	47.64 ± 0.98 <sup>b</sup>	47.23 ± 2.19 <sup>b</sup>	48.30 ± 1.35 <sup>b</sup>	77.65 ± 0.93 <sup>a</sup>

BCTL: batido cárnico sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo)

BNOS: batido cárnico con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo)

BGTA: batido cárnico con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna.

BGTB: batido cárnico con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna.

BGTC: batido cárnico con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c,d</sup>: Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

### 8.3.2. Actividad antioxidante

La capacidad antioxidante de los batidos cárnicos de pechugas de pollo con y sin defecto WS analizadas *in vitro* mediante los métodos DPPH, ABTS<sup>•+</sup> y FRAP se muestra en la Tabla 12.

Los valores registrados de la capacidad antioxidante para ambos batidos cárnicos presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) mediante los diferentes ensayos. A excepción de los valores registrados para los batidos cárnicos sin defecto WS, mediante el ensayo DPPH entre los tratamientos BNOS, BGTA, BGTB y BGTC, los cuales fueron estadísticamente iguales.

Mediante el método DPPH, los valores más altos obtenidos en los batidos cárnicos sin defecto WS, se observaron en BNOS, BGTA, BGTB y BGTC. Para ABTS, BGTB exhibió la mayor capacidad antioxidante y BNOS lo hizo para FRAP. Del mismo modo, para los batidos cárnicos con defecto WS, BGTC obtuvo la mayor actividad antioxidante para DPPH, BGTA lo hizo para ABTS, mientras que BNOS y BGTC para FRAP.

Por lo tanto, los batidos con la inclusión de las mezclas BGTB y BGTC mostraron una actividad antioxidante similar o superior al tratamiento con la inclusión de nitritos mediante los métodos DPPH y ABTS<sup>•+</sup>. Lo anterior sugiere que estas mezclas tuvieron un efecto positivo sobre los batidos cárnicos y pueden ser efectivos para retardar la oxidación lipídica en este tipo de productos. Cabe señalar que, ambos tratamientos (BGTB y BGTC) presentaron los mejores resultados para los batidos cárnicos sin y con defecto WS, respectivamente. En relación con estos resultados, lo esperado era que se obtuviera una mayor actividad antioxidante (en todos los ensayos) en el tratamiento BGTC debido a que éste contenía la mayor proporción de garambullo.

El efecto antioxidante de las mezclas en los batidos cárnicos se podría atribuir a compuestos como el kaempferol, ramnetina, isoquercitrina y kaempferitrin, los cuales son eliminadores de radicales libres y también quelantes de metales efectivos (Muthukumar *et al.*, 2012). Dado que existen diferencias entre tratamientos, se puede decir que factores como el porcentaje de inclusión de las mezclas de tuna y garambullo, así como el proceso de elaboración del producto, influyen sobre los resultados obtenidos para cada ensayo. Pues, aunque los compuestos bioactivos que confieren un efecto antioxidante por parte de ambos frutos son similares, la concentración de estos varía.

Por otra parte, la inclusión de nitritos y su actividad antioxidante se debe a que este compuesto ha demostrado ser un antioxidante eficaz, ya que puede actuar como quelante de diferentes metales y reaccionar con componentes de la carne formando compuestos nitrosil que presentan cierta actividad antioxidante (Morrissey & Tichivangana, 1985). Además, Villalobos-Delgado *et al.* (2020) reportó que el potencial antioxidante del nitrito está relacionado con la capacidad del óxido nítrico para fijar y estabilizar el hierro hemo (Fe) del pigmento de la carne (mioglobina), lo que hace que no esté disponible para actuar como catalizador activo de las reacciones de oxidación.

**Tabla 12.** Efecto de las mezclas de tuna y garambullo sobre la actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ kg de carne) del batido cárnico de pollo sin o con defecto WS.

Actividad antioxidante	Tratamientos				
	BCTL	BGTA	BGTB	BGTC	BNOS
<i>Carne sin defecto</i>					
DPPH	31.57 ± 0.66 <sup>b</sup>	53.03 ± 3.60 <sup>a</sup>	53.62 ± 3.00 <sup>a</sup>	65.15 ± 1.55 <sup>a</sup>	52.35 ± 7.70 <sup>a</sup>
ABTS <sup>•+</sup>	574.18 ± 9.02 <sup>d</sup>	706.84 ± 17.55 <sup>b</sup>	989.39 ± 13.48 <sup>a</sup>	512.95 ± 12.91 <sup>d</sup>	649.17 ± 27.27 <sup>c</sup>
FRAP	2.04 ± 0.57 <sup>e</sup>	5.03 ± 1.86 <sup>d</sup>	172.09 ± 3.97 <sup>c</sup>	181.56 ± 4.67 <sup>b</sup>	207.43 ± 2.65 <sup>a</sup>
<i>Carne con defecto WS</i>					
DPPH	36.63 ± 6.03 <sup>c</sup>	60.34 ± 6.43 <sup>b</sup>	66.05 ± 2.04 <sup>b</sup>	79.83 ± 5.60 <sup>a</sup>	33.75 ± 1.45 <sup>c</sup>
ABTS <sup>•+</sup>	643.36 ± 14.37 <sup>d</sup>	1180.43 ± 34.28 <sup>a</sup>	1072.18 ± 14.32 <sup>b</sup>	1080.00 ± 6.42 <sup>b</sup>	740.34 ± 24.04 <sup>c</sup>
FRAP	140.62 ± 32.44 <sup>b</sup>	6.23 ± 0.97 <sup>d</sup>	61.09 ± 22.68 <sup>c</sup>	201.81 ± 3.46 <sup>a</sup>	231.97 ± 8.43 <sup>a</sup>

BCTL: batido cárnico sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo)

BNOS: batido cárnico con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo)

BGTA: batido cárnico con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna.

BGTB: batido cárnico con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna.

BGTC: batido cárnico con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

<sup>a,b,c,d</sup> Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

## **8.4. Caracterización de las salchichas**

### **8.4.1. Determinación del pH y el color**

El pH y el color de las salchichas sin y con defecto White striping almacenadas en refrigeración durante 14 días, se muestran en las Tabla 13 y 14, respectivamente.

Los valores de pH para las salchichas sin defecto WS no presentaron diferencias significativas al día 1 y 7 entre los tratamientos control, pero si fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) en BGTA, BGTB y BGTC. Al día 14, todos los tratamientos fueron iguales a excepción de SNOS y SGTC. Mientras que para las salchichas con defecto WS (Tabla 11), los tratamientos presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre ellos y entre los días de almacenamiento. Siendo las salchichas con defecto WS las que presentaron los valores más bajos para pH.

Los valores de pH en las salchichas elaboradas con pechuga sin defecto WS en ambos controles (SCTL y SNOS), disminuyeron a través de los días de almacenamiento. Sin embargo, los tratamientos con la inclusión de mezclas (BGTA, BGTB y BGTC) presentaron una tendencia poco uniforme puesto que el pH tendió a disminuir al día 7 y aumentar al día 14. Por otra parte, los valores de pH tendieron a disminuir en salchichas elaboradas con pechuga con defecto WS, a excepción de SGT, cuyo tratamiento no presentó diferencias significativas a través del tiempo de almacenamiento ( $P > 0.05$ ).

De manera general, se puede observar que los valores de pH registrados para ambos tipos de salchichas fueron mayores con respecto a los valores de la materia prima cárnica sin o con defecto WS, mostrados en la Tabla 6. Diversos autores han demostrado que, durante la cocción, generalmente hay un aumento del pH en los productos cárnicos (Dzudie & Okubanjo, 1998; Smith *et al.*, 1990; Van Laach & Frans, 1990) lo que podría haber causado este incremento en el pH.

En relación con la tendencia poco uniforme sobre los valores de pH presentada en ambos tipos de salchichas, esta también fue observada por Kamel, Mohamed & Abdelmaguid, (2020) quienes incluyeron diferentes proporciones de extractos de polvo de té verde y clavo en salchichas de pollo y evaluaron su efecto durante 12 días. Estos autores sugieren que la disminución del pH indica una posible iniciación de fermentación durante el almacenamiento y el aumento de los valores de pH podría atribuirse a la liberación de compuestos amoniacales como resultado de la actividad enzimática o de la flora microbiana

proteolítica presente en las salchichas crudas (batidos cárnicos). Así mismo, Kapche *et al.* (2016) sugieren que la reducción del pH de la salchicha de pollo después del procesamiento podría atribuirse al contenido de sal ya que aumenta la acidez del producto, lo cual es posible, ya que todos los tratamientos analizados en esta investigación contenían sal. Sin embargo, se pudo observar que el tratamiento SNOS para las salchichas de pollo sin defecto WS presentó únicamente diferencia estadística con respecto de SGTC, mientras que para las salchichas con defecto WS fue diferente solo de SGTB. Lo que nos indica que, a pesar del contenido de nitritos, este no pudo afectar el valor de pH para todos los tratamientos ya que diversos autores han demostrado que la inclusión de nitritos no afecta significativamente este parámetro (Choi & Chin, 2020; Lee & Chin, 2019).

Con respecto al color, los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y tono fueron estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ) para los tratamientos control (SCTL, SNOS) en salchichas elaboradas con pechugas de pollo sin defecto WS, pero diferentes ( $P < 0.05$ ) de los tratamientos que incluían las mezclas de tuna y garambullo en su formulación.

Por otra parte, Las salchichas elaboradas con pechugas con defecto WS (Tabla 11) presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) para todos los atributos entre tratamientos y durante los días de almacenamiento. Los valores en  $L^*$  obtenidos para los tratamientos SGTA, SGTB y SGTC en salchichas sin y con defecto fueron más oscuras con respecto a los controles (SCTL y SNOS). Lo anterior, se puede atribuir a la inclusión de las mezclas de tuna y garambullo ya que estos frutos contienen pigmentos que confieren tonalidades rojo-purpura y los controles (BCTL y BNOS) tonalidades amarillas debido al color de la materia prima cárnica.

Por otra parte, para el atributo  $a^*$ , para ambos tipos de salchichas se puede observar que los valores más altos los obtuvieron los tratamientos SGTB y SGTC con respecto al resto de los tratamientos. Lo anterior indica que, estas salchichas presentaron una coloración más roja, sugiriendo que los pigmentos provenientes de la tuna y el garambullo prevalecieron, pese al procesamiento térmico al que fueron sometidas los batidos cárnicos.

**Tabla 13.** Efecto de las mezclas de tuna y garambullo en el pH y el color de las salchichas elaboradas a partir de carne pollo sin defecto White striping durante el almacenamiento.

Atributo	Día	Tratamiento				
		SCTL	SGTA	SGTB	SGTC	SNOS
pH	1	6.47 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	6.30 ± 0.00 <sup>b,A</sup>	6.33 ± 0.06 <sup>b,A</sup>	6.35 ± 0.01 <sup>b,B</sup>	6.46 ± 0.03 <sup>a,A</sup>
	7	6.36 ± 0.02 <sup>a,B</sup>	5.93 ± 0.11 <sup>b,B</sup>	6.15 ± 0.07 <sup>a,b,B</sup>	6.05 ± 0.07 <sup>b,C</sup>	6.36 ± 0.07 <sup>a,A</sup>
	14	6.33 ± 0.05 <sup>a,b,B</sup>	6.15 ± 0.05 <sup>a,b,A</sup>	6.31 ± 0.01 <sup>a,b,A</sup>	6.44 ± 0.06 <sup>a,A</sup>	6.08 ± 0.20 <sup>b,A</sup>
<i>L</i> *	1	95.98 ± 0.21 <sup>a,A</sup>	86.41 ± 0.34 <sup>b,A</sup>	85.13 ± 0.40 <sup>c,A</sup>	84.62 ± 0.41 <sup>c,A</sup>	96.08 ± 0.25 <sup>a,A</sup>
	7	94.91 ± 0.15 <sup>a,B</sup>	87.23 ± 0.47 <sup>b,A</sup>	85.90 ± 0.49 <sup>c,A</sup>	85.15 ± 0.46 <sup>c,A</sup>	94.50 ± 0.18 <sup>a,B</sup>
	14	95.47 ± 0.22 <sup>a,B</sup>	87.15 ± 0.38 <sup>b,A</sup>	85.83 ± 0.47 <sup>c,A</sup>	85.65 ± 0.48 <sup>c,A</sup>	95.29 ± 0.30 <sup>a,C</sup>
<i>a</i> *	1	3.82 ± 1.08 <sup>b,A</sup>	10.15 ± 0.48 <sup>a,A</sup>	10.70 ± 0.30 <sup>a,A</sup>	11.02 ± 0.19 <sup>a,A</sup>	3.64 ± 0.82 <sup>b,A</sup>
	7	2.28 ± 0.28 <sup>c,A</sup>	9.09 ± 0.12 <sup>b,B</sup>	9.71 ± 0.31 <sup>a,b,B</sup>	10.09 ± 0.19 <sup>a,B</sup>	2.08 ± 0.47 <sup>c,A</sup>
	14	3.35 ± 0.57 <sup>b,A</sup>	8.36 ± 0.13 <sup>a,C</sup>	9.02 ± 0.35 <sup>a,B</sup>	9.46 ± 0.14 <sup>a,C</sup>	3.16 ± 0.81 <sup>b,A</sup>
<i>b</i> *	1	18.92 ± 0.11 <sup>a,A</sup>	13.71 ± 0.22 <sup>b,A</sup>	12.37 ± 0.68 <sup>c,A</sup>	11.60 ± 0.29 <sup>c,A</sup>	18.90 ± 0.15 <sup>a,A</sup>
	7	12.60 ± 0.09 <sup>c,B</sup>	14.26 ± 0.29 <sup>b,A</sup>	18.18 ± 0.67 <sup>a,A</sup>	18.44 ± 0.32 <sup>a,A</sup>	12.02 ± 0.08 <sup>c,B</sup>
	14	12.87 ± 0.10 <sup>c,A,B</sup>	14.36 ± 0.29 <sup>b,A</sup>	18.10 ± 0.50 <sup>a,A</sup>	18.66 ± 0.27 <sup>a,A</sup>	12.39 ± 0.16 <sup>c,B</sup>
Croma	1	19.48 ± 0.34 <sup>a,A</sup>	17.07 ± 0.18 <sup>b,A</sup>	16.47 ± 0.33 <sup>b,c,A</sup>	16.01 ± 0.16 <sup>c,A</sup>	19.40 ± 0.32 <sup>a,A</sup>
	7	18.57 ± 0.08 <sup>a,B</sup>	16.92 ± 0.31 <sup>b,A</sup>	16.01 ± 0.41 <sup>c,A</sup>	15.72 ± 0.15 <sup>c,A</sup>	18.38 ± 0.14 <sup>a,B</sup>
	14	19.02 ± 0.21 <sup>a,A,B</sup>	16.62 ± 0.31 <sup>b,A</sup>	15.79 ± 0.28 <sup>c,A</sup>	15.60 ± 0.14 <sup>c,A</sup>	18.51 ± 0.25 <sup>a,B</sup>
Tono	1	79.52 ± 3.00 <sup>a,A</sup>	53.46 ± 0.48 <sup>b,C</sup>	48.76 ± 2.34 <sup>b,c,A</sup>	46.41 ± 1.09 <sup>c,B</sup>	78.83 ± 2.24 <sup>a,A</sup>
	7	83.55 ± 0.88 <sup>a,A</sup>	57.44 ± 0.32 <sup>b,B</sup>	51.99 ± 2.25 <sup>c,A</sup>	49.90 ± 1.23 <sup>c,A</sup>	82.94 ± 1.42 <sup>a,A</sup>
	14	80.28 ± 1.63 <sup>a,A</sup>	59.76 ± 0.24 <sup>b,A</sup>	54.76 ± 2.02 <sup>c,A</sup>	52.55 ± 1.00 <sup>c,A</sup>	79.97 ± 2.42 <sup>a,A</sup>

SCTL: salchichas de pollo sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo)

SNOS: salchichas de pollo con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo)

SGTA: salchichas de pollo con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna.

SGTB: salchichas de pollo con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna.

SGTC: salchichas de pollo con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.

Los valores de la tabla corresponden a la media  $\pm$  error estándar.

a,b,c: Medias en la misma fila y en la misma sección con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

A, B, C: Medias en la misma columna y en la misma sección con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

García, Reynoso & González de Mejía, (1998) mencionan que las betalaínas, como muchos otros pigmentos naturales son altamente termolábiles y su velocidad de degradación se incrementa con la temperatura, además de que una alta actividad de agua provoca un decremento en la estabilidad de los pigmentos. Así mismo, estos autores mostraron que el empacado al vacío reducía la pérdida de color en las salchichas debido a la degradación de los pigmentos que puede llegar a ser hasta de un 15% en solo seis días. Por lo que, en esta investigación, al haber estado empacadas al vacío ambos tipos de salchichas, probablemente pudieron reducir la pérdida de la coloración. Mientras que la disminución del valor de  $a^*$  a través de tiempo de almacenamiento, podría atribuirse a la reacción de oxidación del color inducida por la luz, así como la degradación de los pigmentos (Böhner *et al.* Hendry, 1992). Así mismo, comparando los valores obtenidos para tono, se puede observar que la relación con  $a^*$  para cada tratamiento, coincide, dado que, a valores mayores de tono, existe una coloración menos roja.

A su vez, los resultados obtenidos para las salchichas elaboradas con pechugas con defecto WS, presentaron una mayor variabilidad con respecto a las salchichas sin defecto WS, ya que los parámetros de color para todos los tratamientos tuvieron una tendencia poco uniforme a través de los días de almacenamiento. Sin embargo, se puede observar que la coloración roja prevalece aún después del proceso de cocción y de los días de almacenamiento.

De esta manera, se pudo observar que la mezcla SGTB y SGTC evidenció las coloraciones más rojizas en ambos tipos de salchichas, lo que sugiere que las mezclas podrían ser utilizadas como fuente de pigmentos rojo-púrpura, en este tipo de productos cárnicos. Estos resultados coinciden con la evaluación del color *in vitro* para ambas mezclas debido a que los valores más altos de  $a^*$  fueron registrados para GTC seguido de GTB. Los pigmentos presentes en el garambullo tales como como las betaxantinas (isómero C11 de indicaxantina e indicaxantina) y las betacianinas (betanidina 5-O-B glucósido, isobetanina, filocactina e isofilocactina) podrían encontrarse en una mayor proporción y otorgar así tonalidades más rojizas e intensas.



Fig. 4. Salchichas elaboradas con carne sin defecto WS



Fig. 5. Salchichas elaboradas con carne con defecto WS.

**Tabla 14.** Efecto de las mezclas de tuna y garambullo en el pH y el color de las salchichas elaboradas a partir de carne pollo con defecto WS durante el almacenamiento.

Atributo	Día	Tratamientos				
		SCTL	SGTA	SGTB	SGTC	SNOS
pH	1	6.59 ± 0.06 <sup>a,A</sup>	6.39 ± 0.05 <sup>b,c,A</sup>	6.31 ± 0.04 <sup>c,A</sup>	6.31 ± 0.02 <sup>c,A</sup>	6.45 ± 0.02 <sup>b,A</sup>
	7	6.37 ± 0.01 <sup>a,B</sup>	6.30 ± 0.02 <sup>b,A</sup>	6.27 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	6.27 ± 0.02 <sup>b,A</sup>	6.36 ± 0.01 <sup>a,A,B</sup>
	14	5.85 ± 0.09 <sup>b,C</sup>	6.13 ± 0.08 <sup>a,b,B</sup>	5.94 ± 0.13 <sup>b,B</sup>	6.29 ± 0.03 <sup>a,A</sup>	6.24 ± 0.11 <sup>a,B</sup>
<i>L</i> *	1	93.73 ± 1.01 <sup>a,A</sup>	85.05 ± 0.33 <sup>b,B</sup>	83.09 ± 0.46 <sup>c,A</sup>	83.08 ± 0.30 <sup>c,A</sup>	93.48 ± 0.40 <sup>a,A</sup>
	7	93.01 ± 0.50 <sup>a,A</sup>	86.21 ± 0.26 <sup>b,c,A</sup>	88.08 ± 2.75 <sup>b,A</sup>	83.42 ± 0.14 <sup>c,A</sup>	93.46 ± 0.05 <sup>a,A</sup>
	14	92.80 ± 0.50 <sup>b,A</sup>	86.33 ± 0.43 <sup>c,A</sup>	84.47 ± 0.31 <sup>d,A</sup>	82.64 ± 0.46 <sup>e,A</sup>	94.11 ± 0.15 <sup>a,A</sup>
<i>a</i> *	1	3.18 ± 0.17 <sup>d,A</sup>	9.32 ± 0.23 <sup>b,A</sup>	10.20 ± 0.18 <sup>a,A</sup>	10.38 ± 0.04 <sup>a,A</sup>	3.97 ± 0.32 <sup>c,B</sup>
	7	3.40 ± 0.06 <sup>c,A</sup>	8.73 ± 0.03 <sup>a,B</sup>	5.85 ± 1.64 <sup>b,B</sup>	9.89 ± 0.15 <sup>a,B</sup>	4.84 ± 0.08 <sup>b,c,A</sup>
	14	3.34 ± 0.10 <sup>d,A</sup>	8.13 ± 0.15 <sup>b,C</sup>	9.20 ± 0.04 <sup>a,A</sup>	8.95 ± 0.06 <sup>a,C</sup>	4.93 ± 0.08 <sup>c,A</sup>
<i>b</i> *	1	18.54 ± 0.21 <sup>a,A,B</sup>	14.29 ± 0.11 <sup>b,A</sup>	12.14 ± 0.44 <sup>c,B</sup>	11.59 ± 0.05 <sup>c,B</sup>	18.11 ± 0.08 <sup>a,A</sup>
	7	18.17 ± 0.04 <sup>a,B</sup>	14.28 ± 0.54 <sup>b,c,A</sup>	15.58 ± 1.79 <sup>b,A</sup>	12.25 ± 0.06 <sup>c,A</sup>	17.73 ± 0.05 <sup>a,b,A</sup>
	14	19.05 ± 0.43 <sup>a,A</sup>	14.95 ± 0.37 <sup>c,A</sup>	13.24 ± 0.27 <sup>d,A,B</sup>	11.78 ± 0.25 <sup>e,B</sup>	18.03 ± 0.19 <sup>b,A</sup>
Croma	1	18.82 ± 0.18 <sup>a,A,B</sup>	17.07 ± 0.07 <sup>b,A</sup>	15.89 ± 0.22 <sup>c,A</sup>	15.56 ± 0.06 <sup>c,A</sup>	18.55 ± 0.13 <sup>a,A</sup>
	7	18.48 ± 0.03 <sup>a,B</sup>	16.74 ± 0.47 <sup>b,c,A</sup>	17.34 ± 1.06 <sup>a,b,A</sup>	15.74 ± 0.07 <sup>c,A</sup>	18.38 ± 0.07 <sup>a,A</sup>
	14	19.34 ± 0.42 <sup>a,A</sup>	17.03 ± 0.25 <sup>b,A</sup>	16.13 ± 0.20 <sup>c,A</sup>	14.80 ± 0.23 <sup>d,B</sup>	18.69 ± 0.16 <sup>a,A</sup>
Tono	1	79.52 ± 0.61 <sup>a,A</sup>	53.46 ± 0.82 <sup>b,B</sup>	48.76 ± 1.52 <sup>b,c,B</sup>	46.41 ± 0.08 <sup>c,C</sup>	78.84 ± 0.93 <sup>a,A</sup>
	7	79.40 ± 0.18 <sup>a,A</sup>	58.43 ± 0.93 <sup>c,d,B</sup>	67.11 ± 7.40 <sup>b,c,A</sup>	51.09 ± 0.53 <sup>d,B</sup>	74.74 ± 0.19 <sup>a,b,B</sup>
	14	80.02 ± 0.44 <sup>a,A</sup>	61.38 ± 1.03 <sup>c,A</sup>	55.16 ± 0.64 <sup>d,A,B</sup>	52.74 ± 0.46 <sup>e,A</sup>	74.69 ± 0.39 <sup>b,B</sup>

SCTL: salchichas de pollo sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo)

SNOS: salchichas de pollo con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo)

SGTA: salchichas de pollo con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna.

SGTB: salchichas de pollo con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna.

SGTC: salchichas de pollo con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.

Los valores de la tabla corresponden a la media  $\pm$  error estándar.

a,b,c,d,e: Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

A, B, C: Medias en la misma columna y en el mismo atributo con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

#### 8.4.2. Actividad antioxidante

El efecto de las mezclas de tuna y garambullo sobre la actividad antioxidante de las salchichas de pollo con o sin defecto WS se muestran en la Tabla 15.

En general, se puede observar que los valores obtenidos para la actividad antioxidante en las salchichas elaboradas con carne de pollo White striping fueron mayores con respecto a las salchichas elaboradas sin defecto WS, considerando todos los ensayos, al día 14.

Al día 14 de almacenamiento en salchichas sin defecto WS mediante el ensayo DPPH y FRAP, SGTB y SGTC, fueron los tratamientos con los valores más altos mostrando diferencias ( $P < 0.05$ ) con respecto al resto de los tratamientos. Sin embargo, SGTA y SGTC lo fueron para ABTS<sup>•+</sup>. A su vez, el tratamiento SGTC para las salchichas con defecto exhibieron los valores más altos para DPPH siendo diferente estadísticamente del resto, así como SNOS, SGTB y SGTC lo fueron para ABTS<sup>•+</sup>, mientras que SGTB para FRAP.

El comportamiento poco uniforme observado en ambos tipos de salchichas para cada tratamiento disminuyó e incrementó sus valores a través del tiempo de almacenamiento. Lo anterior, sugiere que el tratamiento térmico y la posible degradación de compuestos antioxidantes influyen sobre la capacidad antioxidante variando sus valores a través del tiempo.

Aunado a ello, la actividad antioxidante mostrada en los batidos cárnicos en ambos tipos de carne fue menor con respecto a ambos tipos de salchichas lo cual sugiere un incremento en la capacidad antioxidante, posterior al proceso de cocción. Con respecto a ello, Ryan & Prescott, (2010) señalan que es posible que durante los tratamientos térmicos se formen nuevos grupos estructurales que mejoren el potencial antioxidante. Por lo que a pesar de que se pudiesen destruir ciertos antioxidantes, no se observe la pérdida general de éstos, debido al aumento de otros compuestos antioxidantes. Respecto a esto, Gazzani *et al.* (1998) reportaron que la actividad antioxidante se estabiliza a través de la ebullición, posiblemente debido a la inactivación de prooxidantes a altas temperaturas. Lo anterior concuerda con Kim *et al.* (2010) y Kwon *et al.* (2003) quienes informan que el calor puede causar cambios en la estructura de los polifenoles mejorando su actividad antioxidante.

En esta investigación, la capacidad antioxidante observada en ambos tipos de salchichas se puede atribuir al contenido de compuestos bioactivos provenientes de la tuna y el garambullo, siendo GTB y GTC, las mezclas que aportaron una mayor actividad antioxidante. El análisis *in vitro* para la actividad antioxidante de estas mezclas evidenció

los mejores resultados, por ende, es razonable que su inclusión en ambos tipos de salchichas evidenciara los mejores resultados. Además, pueden ser una fuente de antioxidantes naturales eficiente e incluso ser mejor que la inclusión de nitritos, ya que los valores que se obtuvieron en la mayoría de los ensayos fueron superiores a estos últimos.

Asimismo, la actividad antioxidante de ambas mezclas se puede atribuir a los compuestos fenólicos, al ácido ascórbico y las betalainas, las cuales tienen la capacidad de contrarrestar, reducir y reparar el daño resultante del estrés oxidativo derivado de su elevada capacidad antioxidante (López-Palestina *et al.*, 2019). En el caso de los polifenoles que contienen ambos frutos, su actividad antioxidante se atribuye principalmente a sus propiedades redox, que pueden desempeñar un papel importante en la adsorción y neutralización de los radicales libres, la extinción del oxígeno singulete o la descomposición de los peróxidos (Jayawardana *et al.* 2015).

Autores como Jamhari *et al.* (2019) evaluaron la capacidad antioxidante de extractos de flor de Jamaica en salchichas de pollo. Los resultados evidenciaron que el nivel de incorporación de extracto de Jamaica tuvo un efecto significativo sobre la actividad antioxidante ( $P < 0.05$ ). Al aumentar el nivel de incorporación del extracto de Jamaica, la actividad antioxidante aumentó significativamente, reportando que los resultados se podrían atribuir a que el extracto de Jamaica contiene una alta concentración de compuestos antioxidantes, como ácidos orgánicos, ácido ascórbico, antocianinas y flavonoides.

**Tabla 15.** Efecto de las mezclas de tuna y garambullo sobre la actividad antioxidante (mg eq.Trolox/ kg de carne) de las salchichas de pollo con o sin defecto WS durante el almacenamiento.

Actividad antioxidante	Día de almacenamiento	Tratamientos				
		SCTL	SGTA	SGTB	SGTC	SNOS
<i>Carne sin defecto</i>						
DPPH	1	40.73 ± 3.74 <sup>c,A</sup>	30.90 ± 0.81 <sup>d,B</sup>	53.82 ± 1.47 <sup>b,B</sup>	35.93 ± 1.48 <sup>c,d,C</sup>	77.93 ± 2.37 <sup>a,A</sup>
	7	23.65 ± 1.41 <sup>c,B</sup>	60.08 ± 3.13 <sup>b,A</sup>	51.78 ± 5.11 <sup>b,B</sup>	85.52 ± 1.41 <sup>a,A</sup>	30.78 ± 1.61 <sup>c,C</sup>
	14	27.00 ± 1.25 <sup>c,B</sup>	17.45 ± 1.81 <sup>d,C</sup>	67.71 ± 0.85 <sup>a,A</sup>	64.97 ± 2.20 <sup>a,B</sup>	45.15 ± 2.07 <sup>b,B</sup>
ABTS	1	732.07 ± 32.75 <sup>b,A</sup>	882.06 ± 12.91 <sup>a,B</sup>	881.30 ± 26.67 <sup>a,B</sup>	894.54 ± 13.68 <sup>a,B</sup>	787.61 ± 7.03 <sup>b,C</sup>
	7	610.90 ± 5.21 <sup>b,B</sup>	928.00 ± 14.64 <sup>a</sup>	881.30 ± 26.77 <sup>a</sup>	894.54 ± 13.68 <sup>a</sup>	585.01 ± 14.90 <sup>b</sup>
	14	777.65 ± 19.89 <sup>a,A</sup>	1075.00 ± 49.36 <sup>a,A</sup>	868.41 ± 22.00 <sup>d,A</sup>	992.67 ± 11.65 <sup>a,b,A</sup>	951.07 ± 26.25 <sup>c,d,A</sup>
FRAP	1	217.15 ± 8.40 <sup>b,A</sup>	192.67 ± 3.27 <sup>c,A</sup>	29.40 ± 1.47 <sup>d,C</sup>	273.88 ± 13.53 <sup>a,A</sup>	175.27 ± 5.22 <sup>c,B</sup>
	7	96.33 ± 3.66 <sup>c,B</sup>	90.84 ± 0.31 <sup>c,C</sup>	95.60 ± 2.48 <sup>c,B</sup>	192.78 ± 2.67 <sup>b,B</sup>	262.25 ± 2.55 <sup>a,A</sup>
	14	7.66 ± 0.93 <sup>d,C</sup>	127.16 ± 6.89 <sup>b,B</sup>	170.78 ± 1.42 <sup>a,A</sup>	180.64 ± 1.86 <sup>a,B</sup>	22.73 ± 3.99 <sup>c,C</sup>
<i>Con defecto WS</i>						
DPPH	1	24.98 ± 0.44 <sup>c,C</sup>	62.47 ± 1.62 <sup>b,A</sup>	64.68 ± 1.56 <sup>b,A</sup>	88.55 ± 1.29 <sup>a,A</sup>	24.90 ± 0.55 <sup>c,C</sup>
	7	29.67 ± 1.32 <sup>c,B</sup>	59.12 ± 1.82 <sup>b,A,B</sup>	69.57 ± 2.06 <sup>a,A</sup>	68.82 ± 3.06 <sup>a,B</sup>	55.35 ± 1.25 <sup>b,B</sup>
	14	43.72 ± 1.71 <sup>d,A</sup>	54.25 ± 1.83 <sup>c,B</sup>	65.98 ± 1.15 <sup>b,A</sup>	75.51 ± 4.33 <sup>a,B</sup>	67.61 ± 1.65 <sup>b,A</sup>
ABTS	1	682.70 ± 25.15 <sup>c,B</sup>	1076.82 ± 32.60 <sup>a,A</sup>	1004.66 ± 35.61 <sup>a,b,A</sup>	1014.89 ± 12.54 <sup>a,b,A</sup>	990.58 ± 21.74 <sup>b,A</sup>
	7	793.93 ± 19.90 <sup>c,A</sup>	1128.36 ± 34.81 <sup>a,A</sup>	1056.71 ± 32.29 <sup>a,A</sup>	814.92 ± 16.57 <sup>c,B</sup>	936.63 ± 15.88 <sup>b,B</sup>
	14	856.82 ± 12.53 <sup>c,A</sup>	919.82 ± 13.95 <sup>b,c,B</sup>	1012.66 ± 31.65 <sup>a,b,A</sup>	1003.96 ± 19.68 <sup>a,b,A</sup>	1046.16 ± 29.04 <sup>a,A</sup>
FRAP	1	12.82 ± 0.88 <sup>c,B</sup>	242.42 ± 1.49 <sup>a,A</sup>	222.46 ± 8.46 <sup>b,B</sup>	253.83 ± 5.33 <sup>a,A</sup>	243.12 ± 1.53 <sup>a,B</sup>
	7	228.30 ± 9.11 <sup>b,A</sup>	54.65 ± 4.03 <sup>c,B</sup>	69.66 ± 1.42 <sup>c,C</sup>	231.27 ± 9.35 <sup>b,B</sup>	333.30 ± 9.52 <sup>a,A</sup>
	14	20.18 ± 1.68 <sup>c,B</sup>	26.41 ± 1.77 <sup>c,C</sup>	252.33 ± 4.78 <sup>a,A</sup>	224.17 ± 6.74 <sup>b,B</sup>	31.22 ± 0.93 <sup>c,C</sup>

SCTL: salchichas de pollo sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo)

SNOS: salchichas de pollo con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo)

SGTA: salchichas de pollo con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna.

SGTB: salchichas de pollo con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna.

SGTC: salchichas de pollo con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna.

Los valores de la tabla corresponden a la media ± error estándar.

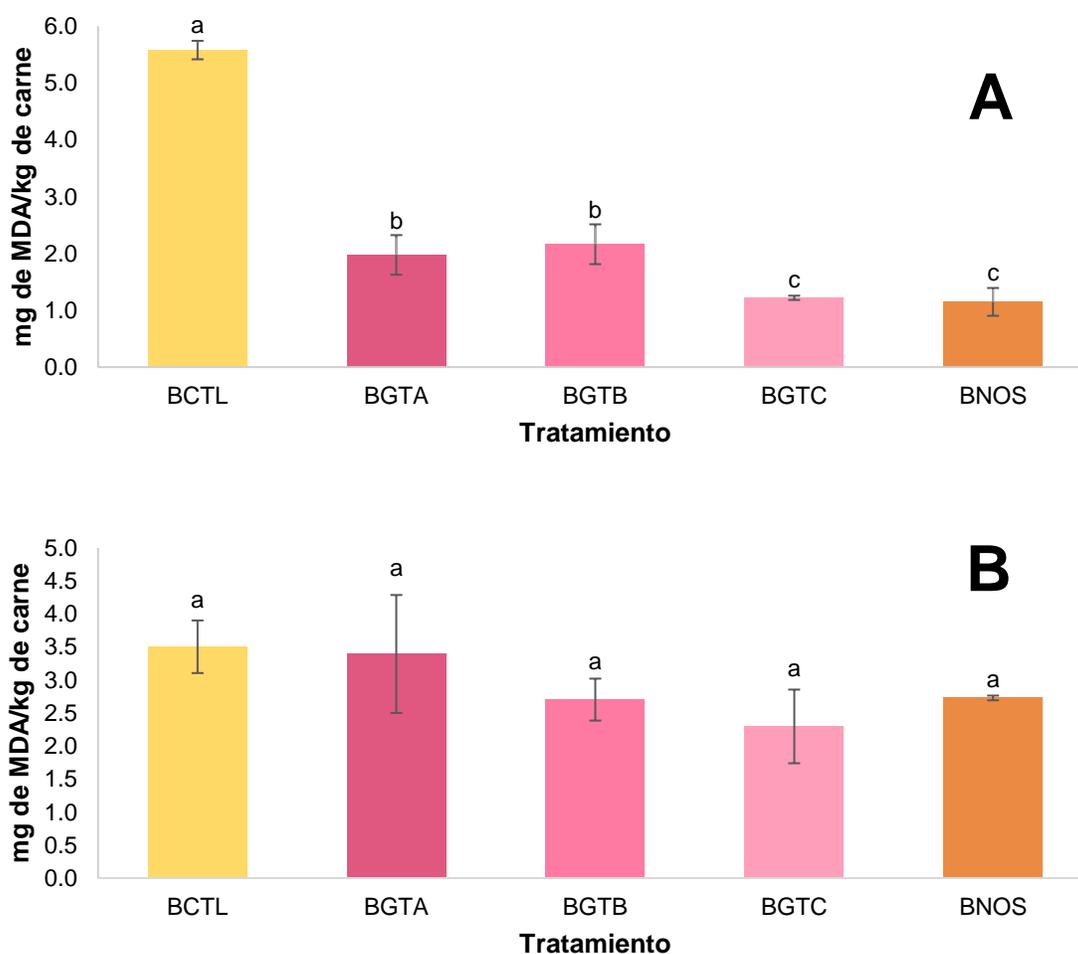
a,b,c,d,e: Medias en la misma fila y en la misma sección con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

A, B, C: Medias en la misma columna y en la misma sección con diferente literal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

### 8.4.3. Determinación de las Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

La estabilidad oxidativa de los batidos cárnicos (elaborados y muestreados al día 1 de procesamiento) considerando pechugas de pollo sin o con defecto WS, se muestra en la Figura 6.

El tratamiento BCTL obtuvo el valor más alto con respecto al resto de los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Mientras que los valores de TBARS para BNOS y BGTC fueron significativamente más bajos ( $P < 0.05$ ) con respecto a BGTA y BGTB. Lo anterior sugiere que BGTC retardó eficazmente la oxidación de lípidos durante e inmediatamente después de su elaboración siendo estadísticamente igual que el tratamiento que contenía nitritos.



**Fig. 6.** Efecto de la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo sobre las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mg MAD / kg de carne) en los batidos cárnicos elaborados con pechugas de pollo sin defecto (A) y con defecto White striping (B). BCTL: sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo); BNOS: con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo); BGTA: con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna; BGTB: con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna; BGTC: con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna carne sin agregar extracto. <sup>a-c</sup> Las medias con letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

De acuerdo con el contenido total de flavonoides *in vitro*, la mezcla GTC fue la que obtuvo el mayor contenido ( $1176.84 \pm 11.55$  mg de quercetina/g en base seca), por lo cual se podría decir que los flavonoides participaron en la disminución de la oxidación lipídica, pues estos compuestos pueden inactivar radicales alquil peroxilo y radicales superóxidos, previniendo así las consecuencias nocivas de sus reacciones (Rice-Evans, Miller & Paganga, 1996).

Además, los compuestos fenólicos en la mezcla de ambos frutos son capaces de inhibir o retrasar la oxidación mientras se oxidan en el proceso. Así mismo, el ácido ascórbico y las betalaínas contenidas en el fruto de garambullo y tuna tienen la capacidad de contrarrestar, reducir y reparar el daño resultante del estrés oxidativo derivado de su elevada capacidad antioxidante (López-Palestina *et al.*, 2019).

Por otra parte, la estabilidad oxidativa de los batidos cárnicos elaborados con pechugas de pollo con defecto WS se muestra en la Figura 5. Los valores de TBARS entre tratamientos no presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ), oscilando en un rango de 2.29 y 3.50 mg de MDA/kg de carne. Estos resultados se pudieran atribuir a los antioxidantes provenientes del alimento que se les dio a los pollos con defecto WS, ya que como se muestra en la Tabla 7, este tipo de carne tuvo la mayor capacidad antioxidante mediante el método DPPH, ABTS<sup>•+</sup> y FRAP. Por lo anterior, este factor pudo haber retardado la oxidación lipídica.

Diferentes factores como la temperatura o la presencia de luz y oxígeno incrementan los procesos oxidativos (Xiong *et al.* 2020). También ciertos tratamientos de procesamiento (corte, deshuesado, triturado o cocido) promueven la oxidación lipídica. En general, todos los procesos provocan la ruptura de la membrana muscular que promueve reacciones oxidativas. Esto se relaciona con el procesamiento de los fosfolípidos de membrana liberados, aumentando su contacto con componentes prooxidantes como oxígeno, enzimas o metales que promueven la oxidación (Domínguez *et al.*, 2019).

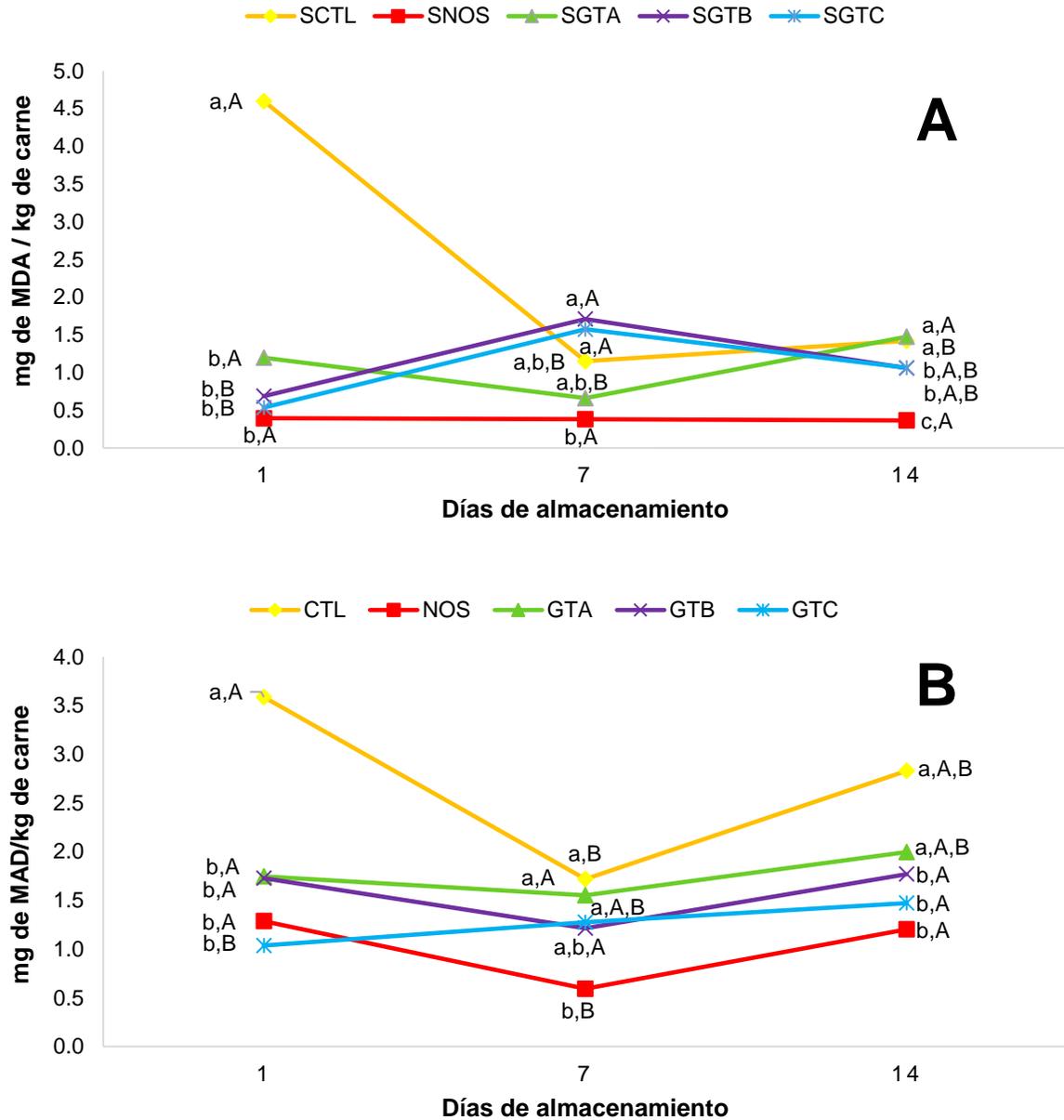
Además, el uso de otros ingredientes (anti o prooxidantes) en las formulaciones de productos cárnicos también influye en el proceso de oxidación (Chaijan *et al.* 2017). Así mismo, el proceso de congelación y descongelación de la materia prima cárnica son factores que también afectan y promueven la oxidación lipídica. La congelación modifica la homeostasis del sistema cárnico, debido a la crioconcentración de solutos en la fase de descongelación. Estos cambios pueden dañar la membrana celular provocando la liberación de prooxidantes intracelulares como lipasas y metales, afectando la estabilidad

química de los mismos. Además, la duración del período de almacenamiento puede afectar la extensión del daño oxidativo de los productos cárnicos (Villalobos-Delgado *et al.*, 2020).

Por otra parte, en la figura 7, se muestran los cambios en los valores de TBARS de las salchichas de pollo elaboradas sin o con pechugas de pollo sin defecto WS durante el almacenamiento en refrigeración. Al día 1 de almacenamiento, se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en los valores de TBARS para SCTL con respecto del resto los tratamientos.

El tratamiento SCTL presentó los valores más altos ( $P < 0.05$ ), mientras que los valores más bajos se observaron en los tratamientos SNOS, SGTA, SGTB y SGTC, lo que sugiere que la inclusión de las mezclas de tuna y garambullo en polvo tuvieron un efecto positivo y similar al de los nitritos. Estos resultados se pueden atribuir a los polifenoles presentes en ambos frutos. Dichos compuestos exhiben propiedades antioxidantes debido a que los grupos hidroxilo dan al polifenol la capacidad de actuar como donante de un átomo de hidrógeno (HAT) o como donante de un electrón (SET) a un radical libre (u otra especie reactiva) (Andreu *et al.*, 2017). Por otro lado, compuestos como la betanina (color rojo púrpura) y la indicaxantina también poseen propiedades reductoras y de eliminación de radicales (Tesoriere *et al.*, 2004).

El tratamiento SCTL presentó los valores más altos ( $P < 0.05$ ), mientras que los valores más bajos se observaron en los tratamientos SNOS, SGTA, SGTB y SGTC, lo que sugiere que la inclusión de las mezclas de tuna y garambullo en polvo tuvieron un efecto positivo y similar al de los nitritos. Estos resultados se pueden atribuir a los polifenoles presentes en ambos frutos. Dichos compuestos exhiben propiedades antioxidantes debido a que los grupos hidroxilo dan al polifenol la capacidad de actuar como donante de un átomo de hidrógeno (HAT) o como donante de un electrón (SET) a un radical libre (u otra especie reactiva) (Andreu *et al.*, 2017). Por otro lado, compuestos como la betanina (color rojo púrpura) y la indicaxantina también poseen propiedades reductoras y de eliminación de radicales (Tesoriere *et al.*, 2004).



**Fig. 7.** Efecto de la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo sobre sobre sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mg MAD/kg de carne) en salchichas elaboradas con pechugas de pollo sin defecto (A) y con defecto WS (B) empacadas al vacío y almacenadas durante 14 días. SCTL: sin la incorporación de extractos y antioxidantes (control negativo); SNOS: con la incorporación de 120 mg/kg de nitritos (control positivo); SGTA: con la mezcla de 25% garambullo y 75% tuna; SGTB: con la mezcla de 50% garambullo y 50% tuna; SGTC con la mezcla de 75% garambullo y 25% tuna carne sin agregar extracto. a-c: Las medias dentro del mismo día con letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ). A- B: Las medias dentro del mismo tratamiento con letras diferentes son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

Al día 7, todos los tratamientos presentaron valores más altos ( $P < 0.05$ ) que SNOS. Finalmente, al día 14, los tratamientos SCTL y SGTA mostraron los valores más altos de TBARS ( $P < 0.05$ ), seguido de SGTB y SGTC y por último SNOS. Este último tratamiento al final del periodo de almacenamiento mostró niveles de oxidación de lípidos por debajo de 0.5 mg MAD/kg de carne, debido a que estos compuestos tienen como función retardar la oxidación lipídica, siendo una de las causas de pérdida de calidad de los productos de la carne y productos cárnicos (Vindas, Rodríguez & Araya, 2017). Sin embargo, este mismo tratamiento para las salchichas elaboradas con pechugas de pollo con defecto WS, los niveles de oxidación de lípidos se encontraron por encima de 1 mg MAD/kg de carne. En relación con ello, se observa que ambos valores de TBARS para SNOS en salchichas, tendieron a disminuir con respecto a los valores de TBARS para SNOS en batidos cárnicos.

Así mismo, valores de TBARS para salchichas elaboradas sin o con defecto WS tendieron a subir y disminuir entre días. Este comportamiento se podría atribuir a que los peróxidos lipídicos siendo los principales productos de oxidación, a menudo reflejan un aumento de hidroperóxidos durante las primeras etapas de oxidación. Sin embargo, estos compuestos son inestables y, como resultado de la descomposición, su contenido disminuye en etapas más avanzadas de oxidación (Karwowska, Kononiuk & Wójciak, 2019).

Por otro lado, los valores de TBARS de las salchichas de pollo elaboradas con pechugas de pollo con defecto WS durante el almacenamiento en refrigeración se presentan en la Figura 7. Al día 1, se observaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en los valores de TBARS para el SCTL con respecto del resto los tratamientos. En este mismo día, se pudo observar que los valores de TBARS en las salchichas con la inclusión de mezclas de tuna y garambullo fue similar ( $P > 0.05$ ) al de las salchichas que contenían un 0.01 % de nitrito de sodio. Al día 7, los tratamientos BCTL, BGTA, BGTB y BGTC fueron estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ). Asimismo, BNOS y BGTB tampoco presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre ambos tratamientos. Finalmente, al día 14, BCTL y BGTA tuvieron los valores más altos de TBARS ( $P < 0.05$ ), mientras que SGTB y SCTC no presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) con SNOS.

En general, se puede observar que las mezclas de ambos frutos fueron eficientes en disminuir la oxidación lipídica en un sentido similar al de los nitritos. Esto se puede atribuir a que la tuna y el garambullo, poseen compuestos fenólicos, pectina, carotenoides, pigmentos de betalaína, vitaminas y enzimas con propiedades antioxidantes. Las propiedades antioxidantes de las betalaínas podrían estar relacionadas y tener efectos

sinérgicos con otras moléculas bioactivas como los tocoferoles, los ácidos orgánicos, los azúcares reductores y los ácidos grasos poliinsaturados (Wit *et al.*, 2020).

#### **8.4.4. Recuento de mesófilos aerobios (Recuento total en placa) y bacterias ácido lácticas**

El recuento de mesófilos aerobios y de bacterias ácido lácticas fue considerado como control de calidad en la elaboración de las salchichas de pollo sin o con defecto White striping con la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo empacadas al vacío y refrigeradas durante 14 días.

Ambos recuentos presentaron valores dentro del intervalo permitido (datos nos mostrados en Tablas). Para el recuento total, se obtuvieron valores de 0.65, 0.37 y 0.81 Log<sub>10</sub> UFC/g, a los días 1, 7 y 14 de almacenamiento, respectivamente. En lo que se refiere a las bacterias ácido lácticas, no se observó la presencia de microorganismos a través de los días de almacenamiento.

La NOM- 213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2018) indica que el límite máximo permitido de mesófilos aerobios en salchichas es de 2 Log<sub>10</sub> UFC/g (100 UFC/g), por lo que los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran por debajo del límite mencionado, lo que sugiere que el proceso de elaboración fue el adecuado. Para las bacterias ácido lácticas el límite permitido es de 6 Log<sub>10</sub> UFC/g (10<sup>6</sup> UFC/g), por lo que los resultados obtenidos en esta investigación también se encontraron por debajo del límite establecido durante el período de almacenamiento (Kröckel, 2011).

Estos resultados se pueden atribuir parcialmente a la inclusión de mezclas de tuna y garambullo en las salchichas. Pourmajed *et al.* (2021) demostraron que la tuna tiene un efecto antimicrobiano contra bacterias tanto *gram positivas* como *gram negativas*, debido al contenido de ingredientes bioactivos. Por su parte, Hikal, Said-Al Ahl & Kačániová, (2021) indicaron que el extracto de *O. ficus-indica* contiene triterpenos, cumarinas, quinonas, taninos, carbohidratos y flavonoides. Los flavonoides causan muerte bacteriana al inhibir la síntesis de ADN o ARN, mientras que los taninos podrían inhibir a las enzimas microbianas extracelulares. Además, los compuestos fenólicos tienen la capacidad de afectar la permeabilidad de la membrana y provocar la destrucción celular, penetrando en las células bacterianas y coagular su contenido, por lo que podrían actuar como antimicrobianos eficaces contra una amplia gama de microorganismos (Argougui *et al.*, 2019; Palmeri *et al.*, 2018).

Así mismo, estudios demuestran que las salchichas empacadas al vacío tienen una mayor vida de anaquel con respecto de otros métodos de empacado (Özpolat *et al.*, 2013). Korkeala & Björkroth, (1997) señalan que las salchichas cocidas presentan un pH de aproximadamente 6.3, mientras que valores de pH bajos entre 4.6 y 5.5 se encuentran solo cuando las salchichas están especialmente estropeadas. Comparando estos valores con los obtenidos para las salchichas elaboradas con pechugas de pollo sin o con defecto White striping, observaron valores de salchichas cocidas (5.85-6.59) demostrando que, durante el almacenamiento, éstas se encontraron en buen estado. La descomposición no siempre es microbiológica, en tales casos, la descomposición se atribuye a otros factores como el desarrollo de un aroma y un sabor a humedad, en lugar de acidez. La población de bacterias ácido lácticas en la salchicha después del envasado puede ser tan baja que la población contaminante puede no incluir cepas que puedan crecer a 2 °C.

## 9. CONCLUSIONES

Los estudios realizados en el presente trabajo de tesis generaron las siguientes conclusiones:

- 1) Los mejores resultados con respecto al contenido total de polifenoles y flavonoides, así como la actividad antioxidante mediante los métodos DPPH, ABTS<sup>•+</sup> y FRAP, se obtuvieron utilizando agua como disolvente. Aunque, la extracción etanólica fue mayor para la tuna en FRAP.
- 2) Los valores más altos en el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante, los presentó el extracto acuoso de tuna.
- 3) La mayor capacidad antioxidante (DPPH y ABTS<sup>•+</sup>) y el mayor contenido de polifenoles totales se obtuvo en la mezcla en polvo de 75% tuna y 25% garambullo (GTA, disuelta en agua), mientras que la mezcla en iguales proporciones de tuna y garambullo (GTB, disuelta en agua) mostró el mayor contenido de flavonoides totales y los mejores parámetros de color para productos cárnicos (tonos rojos).
- 4) El análisis proximal evidenció que existen diferencias solo para el contenido de grasa entre las pechugas de pollo sin y con defecto WS. La carne con defecto WS obtuvo los valores más altos de pH y actividad antioxidante (DPPH, ABTS<sup>•+</sup> y FRAP), así como una coloración más rojiza, menor resistencia al corte (más suave), y menores aptitudes tecnológicas (CRA y CE).
- 5) Las mezclas en polvo de tuna y garambullo incorporadas a las salchichas, elaboradas con carne normal o con defecto WS mantuvieron valores de pH en un intervalo de 5.85 a 6.44.
- 6) En las salchichas de pollo sin defecto WS la incorporación de las mezclas de tuna y garambullo mantuvieron el color durante los 14 días de almacenamiento. Pero en las salchichas con defecto WS, aparentemente el contenido de garambullo favoreció la preservación del color en el almacenamiento.
- 7) La capacidad antioxidante en las salchichas de pollo sin o con defecto WS se vio potenciada por la inclusión de las mezclas, siendo la inclusión de garambullo en 50% o más y las salchichas con defecto WS, las que presentaron los mejores resultados. La capacidad antioxidante de ambos tipos de salchichas se mantuvo durante los 14 días de almacenamiento.

- 8) El uso de garambullo en 50% o más de la mezcla, en la elaboración de salchichas con carne de defecto WS redujo la oxidación lipídica durante los 14 días de almacenamiento, presentando un efecto similar al de los nitritos.

Con base en lo anterior:

Las pechugas de pollo con defecto WS pueden ser usadas en la elaboración de salchichas, lo que podría evitar el desecho de la carne y el rechazo del consumidor. Además, el uso de las mezclas con 50% o más de garambullo complementadas con tuna, podrían ser una alternativa al uso de colorantes y antioxidantes naturales, otorgando el característico color rojo-rosado de las salchichas y estabilizando la oxidación lipídica de las mismas.

## 10. REFERENCIAS

- Abbey, J., Fields, B., O'Mullane, M., & Tomaska, L. D. (2013). Food Aditives: Colorants. In Y. Motarjemi, G. Moy, E. Todd (Eds.). *Encyclopedia of Food Safety* (pp. 459-465). San Diego, CA: Academic Press.
- Abdel-Hameed, E.-S. S., Nagaty, M. A., Salman, M. S., & Bazaid, S. A. (2014). Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. *Food Chemistry*, *160*, 31–38.
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, *4*, 200-214.
- Alarcón, G. A. C., & Araujo-Burgos, T. (2021). Frecuencia de aditivos alimentarios en productos cárnicos procesados bolivianos expedidos en la ciudad de Cochabamba, Bolivia. *Journal Boliviano de Ciencias*, *17*, 28-35.
- Alba-Jiménez, J. E., Chavez-Servia, J. L., Verdalet-Guzmán, I., Martínez. A. J., & Aquino-Bolaños, E. N. (2014). Betalaínas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. *Gayana Botánica*, *71*, 222-226.
- Allen, K., & Cornforth, D. (2010). Comparison of spice-derived antioxidants and metal chelators on fresh beef color stability. *Meat Science*, *85*, 613-619.
- Allen, C. D., Russell, S. M., & Fletcher, D. L. (1997). The relationship of broiler breast meat color and pH to shelf-life and odor development. *Poultry Science*, *76*, 1042-1046.
- Alves, F. A. L., Andrade, A. P. D., Bruno, R. D. L. A., Silva, M. G. D. V., Souza, M. D. F. V. D., & Santos, D. C. D. (2017). Seasonal variability of phenolic compounds and antioxidant activity in prickly pear cladodes of *opuntia* and *nopalea* genres. *Food science and technology*, *37*, 536-543.
- Amchova, P., Kotolova, H., & Ruda-Kucerova, J. (2015). Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory toxicology and pharmacology*, *73*, 914-922.
- Aminzare, M., Hashemi, M., Ansarian, E., Bimkar, M., Azar, H. H., Mehrasbi, M. R., Daneshamooz, S., Raeisi, M., & Afshari, A. (2019). Using natural antioxidants in

- meat and meat products as preservatives: a review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7, 417-426.
- Ammar, I., Ennouri, M., & Attia, H. (2015). Phenolic content and antioxidant activity of cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) flowers are modified according to the extraction method. *Industrial crops and products*, 64, 97-104.
- AMSA. (2012). Meat Color Measurement Guidelines. Illinois, Champaign: American Meat Science Association.
- AOAC (1997). Métodos oficiales de análisis (16 ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Armenteros, M., Heinonen, M., Ollilainen, V., Toldrá, F., & Estevez, M. (2009). Analysis of protein carbonyls in meat products by using the DNPH-method, fluorescence spectroscopy and liquid chromatography–electrospray ionisation–mass spectrometry (LC–ESI–MS). *Meat Science*, 83, 104-112.
- Armenteros, M., Ventanas, S., Morcuende, D., Estévez, M. & Ventanas, J. (2012). Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos. *Eurocarne*, 207, 63-73.
- Atta, E. M., Mohamed, N. H., & Abdelgawad, A. A. (2017). Antioxidants: An overview on the natural and synthetic types. *European Chemical Bulletin*, 6, 365-375.
- Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish, M. A. & Shiboob, M. M. (2016). Evaluación de la calidad de la carne de pollo en el mercado minorista: efectos del tipo y origen de las canales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7, 321-339.
- Badui D. S. (2006). Química de los alimentos. México: Pearson Educación.
- Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M., Sirri, F., Canonico, L., Babini, E., Laghi, L., Cavani, C., & Petracci, M. (2017). Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal*, 12, 164–173.
- Barbut, S., Wood, J., & Marangoni, A. (2016). Quality effects of using organogels in breakfast sausage. *Meat science*, 122, 84-89.
- Bargougui A, Tag H. M, Bouaziz M, Triki S. (2019). Antimicrobial, Antioxidant, Total Phenols and Flavonoids Content of Four Cactus (*Opuntia ficus-indica*) Cultivars. *Biomed Pharmacol*, 9, 12.

- Barrera, F. A. G., Reynoso, C. R., & González de Mejía, E. (1998). Estabilidad de las betalainas extraídas del garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) / Stability of betalains extracted from garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Science and Technology International*, 4, 115–120.
- Barrows, J., Lipman, A., Bailey, C. (2003). Color Additives: FDA's Regulatory Process and Historical Perspectives. Food Safety Magazine, U.S. Food and Drug Administration, Silver Spring.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
- Betancourt, C., Cejudo-Bastante, M. J., Heredia, F. J., & Hurtado, N. (2017). Pigment composition and antioxidant capacity of betacyanins and betaxanthins fractions of *Opuntia dillenii* (Ker Gawl) Haw cactus fruit. *Food Research International*, 101, 173-179.
- Böhrer, B. M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 103–112.
- Bowker, B., & Zhuang, H. (2015). Relationship between water-holding capacity and protein denaturation in broiler breast meat. *Poultry Science*, 94, 1657–1664.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28, 25-30.
- Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M. S., Sánchez, E. A., Torrescano, U. G., Arenas de Moreno, M. L., Partida de la Peña, J. A., Ponce, A. E., & Ríos, R. F. G. (2011). *Manual de Análisis de calidad en muestras de carne*. Folleto Técnico N° 11, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal., México.
- Brglez, M., E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*, 21, 901.

- Campo, M. D. M., Mur, L., Guerrero, A., Barahona, M., Resconi, V. C., Magalhaes, D. R., o Lisbinski, E., Boito, B., de Oliveira, I. M., & Olleta, J. L. (2020). Differentiating breast myopathies through color and texture analyses in broiler. *Foods*, 9, 824-835.
- Capetillo, R., Lira, V. A. A., Pascual, B. S., & Trejo, M. M. A. (2020). Elaboración de bebida carbonatada de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) aplicando ozono y sonicación como métodos alternativos a la pasteurización. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 426-431.
- Carle, R., & Schweiggert, R. M. (2016). Applications of Different Curing Approaches and Natural Colorants in Meat Products. In H. Pöhl. (Ed.). *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial applications for improving food color* (pp. 209–225). Woodhead Publishing: Elsevier Ltd.
- Carranco, J. M., Calvo, C. M. C., & Pérez-Gil, R., F. (2011). Carotenoids and their antioxidant function: A review. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 61, 233-241.
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., Ferreira, (2014). Adding Molecules to Food, Pros and Cons: A Review on Synthetic and Natural Food Additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 377–399.
- Carocho, M., & Ferreira, I. C. (2013). A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 51, 15-25.
- Casazza, A. A., Aliakbarian, B., Mantegna, S., Cravotto G., and Perego, P. (2010). Extraction of phenolics from *Vitis vinifera* wastes using non-conventional techniques. *Journal Food Engineering*. 100, 50–55.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2019). La industria avícola en México y su contribución a los objetivos de la política alimentaria 2019-2024. Palacio Legislativo de San Lázaro, Ciudad de México.
- Chan, K. M., Decker, E. A., Feustman, C. (1994). Endogenous skeletal muscle antioxidants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34, 403-26.
- Chaves, J. O., de Souza, M. C., da Silva, L. C., Lachos-Perez, D., Torres-Mayanga, P. C., Machado, A. P. da F., Forster-Carneiro, T., Vázquez-Espinosa, M., González-de-

- Peredo, V. A., Barbero, F. G., & Rostagno, M. A. (2020). Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Frontiers in Chemistry*, 8, 1-25.
- Chavez-Santoscoy, R. A., Gutierrez-Urbe, J. A., & Serna Saldivar, S.O. (2009). Phenolic Composition, Antioxidant Capacity and In Vitro Cancer Cell Cytotoxicity of Nine Prickly Pear (*Opuntia spp.*) Juices. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1-7.
- Chen, Y., Qiao, Y., Xiao, Y., Chen, H., Zhao, L., Huang, M., & Zhou, G. (2016). Differences in Physicochemical and Nutritional Properties of Breast and Thigh Meat from Crossbred Chickens, Commercial Broilers, and Spent Hens. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 29, 855–864.
- Choi, J. S., & Chin, K. B. (2020). Evaluation of physicochemical and textural properties of chicken breast sausages containing various combinations of salt and sodium tripolyphosphate. *Journal of animal science and technology*, 62, 577–586.
- Cobb-Vantress. (2018). Pollo de engorde. Guía de Manejo. [https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB\\_2.22.2019.pdf](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)
- Colomas, J., Barthe, P., & Bulard, C. (1978). Séparation et Identification des Bétalaines Synthétisées par les Tissus de Tige de *Myrtillocactus geometrizans* Cultivés «*in vitro*». *Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie*, 87, 341–346.
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42, 206-212.
- Correa-Betanazo. J., Jacob, J. K., Perez, P. C., & Paliyath, G. (2011). Effect of a sodium caseinate edible coating on berry cactus fruit (*Myrtillocactus geometrizans*) phytochemicals. *Food Research International*, 44, 1897–1904.
- Criado, D. C. & Moya, M. M. (2009). Vitaminas y antioxidantes. España: Grupo SANED.
- Cruz, R. F. A., Vieira, S. L., Kindlein, L., Kipper, M., Cemin, H. S., & Rauber, S. M. (2016). Occurrence of white striping and wooden breast in broilers fed grower and finisher diets with increasing lysine levels. *Poultry Science*, 96(2), 501–510.

- Culver, C. A., & Wrolstad, R. E. (2004). Betalain Pigments and Color Quality In F. Stintzing, M. Kirsten, M. Herbach, R. Mosshammer, F. Kugler, and R. Carle (Eds.). *Color Quality of Fresh and Processed Foods* (pp. 82-101). ACS Publications.
- Cunha, L. C., Monteiro, M. L. G., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Muchenje, V., De Carvalho, F. A. L., & Conte-Junior, C. A. (2018). Natural antioxidants in processing and storage stability of sheep and goat meat products. *Food Research International*, 111, 379-390.
- Dal Bosco, A., Castellini, C., Bianchi, L., & Mugnai, C. (2004). Effect of dietary  $\alpha$ -linolenic acid and vitamin E on the fatty acid composition, storage stability and sensory traits of rabbit meat. *Meat Science*, 66, 407-13.
- Dalle, Z. A., Ricci, R., Cullere, M., Serva, L., Tenti, S., & Marchesini, G. (2020). Research Note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry Science*, 99, 1797-1803.
- Da Silva, D. C. F., de Arruda, A. M. V., & Gonçalves, A. A. (2017). Quality characteristics of broiler chicken meat from free-range and industrial poultry system for the consumers. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1818–1826.
- Delgado, O. L., Betanzos, C. G., Sumaya, M. M. T. (2010). Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. *Investigación y Ciencia*, 50, 10-15
- de Oliveira, T. L. C., de Carvalho, S. M., de Araújo Soares, R., Andrade, M. A., das Graças Cardoso, M., Ramos, E. M., & Piccoli, R. H. (2012). Antioxidant effects of *Satureja montana* L. essential oil on TBARS and color of mortadella-type sausages formulated with different levels of sodium nitrite. *LWT-Food Science and Technology*, 45, 204-212.
- Dzudie, T., & Okubanjo, A. (1998). Effect of rigor state on quality and stability of goat sausages. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 37, 69–77.
- El-Wahab, H. M. F. A., & Moram, G. S. E. D. (2013). Toxic effects of some synthetic food colorants and/or flavor additives on male rats. *Toxicology and Industrial Health*, 29, 224-232.

- Embuscado, M. E. (2015). Spices and herbs: Natural sources of antioxidants—a mini review. *Journal of Functional Foods*, 18, 811-819.
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64, 171–181.
- Fanatico, A. C., Cavitt, L. C., Pillai, P. B., Emmert, J. L., & Owens, C. M. (2005). Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: meat quality. *Poultry Science*, 84, 1785-90.
- FDA. (2017). Color Additives History. <https://www.fda.gov/industry/color-additives/color-additives-history#authors>
- Febles, C., Soto, C., Saldaña, A., & García, B. E. (2002). Funciones de la vitamina E: actualización. *Revista Cubana de Estomatología*, 39, 28-32.
- Feketea, G., & Tsabouri, S. (2017). Common food colorants and allergic reactions in children: Myth or reality?. *Food Chemistry*, 230, 578–588.
- Fernández-López, J. A., Almela, L., Obón, J. M., & Castellar, R. (2010). Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65, 253-259.
- Fletcher, D. L., Qiao, M., Smith, D. P. (2000). The relationship of raw broiler breast meat color and pH to cooked meat color and pH. *Poultry Science*, 79, 784–788.
- Francis, F. J., & Markakis, P. C. (1989). Food colorants: Anthocyanins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28, 273–314.
- Galluzzo, S. J., & Regenstein, J. M. (1978). Role of chicken breast muscle proteins in meat emulsion formation: myosin, actin and synthetic actomyosin. *Journal of food science*, 43, 1761–1765.
- García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., Guajardo-Flores, D., Welti-Chanes, J., & Cano, M. P. (2019). Characterization and quantification of individual betalain and phenolic compounds in Mexican and Spanish prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) tissues: A comparative study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 1-13.

- García-Cruz, Leticia, & Salinas-Moreno, Yolanda, & Valle-Guadarrama, Salvador (2012). Betaláinas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35,1-5.
- Gómez-Maqueo, A., Antunes-Ricardo, M., Welti-Chanes, J., & Cano, M. P. (2020). Digestive stability and bioaccessibility of antioxidants in prickly pear fruits from the Canary Islands: healthy foods and ingredients. *Antioxidants*, 9, 164-182.
- Gordon, A., Barbut, S., & Schmidt, G. (1992). Mechanisms of meat batter stabilization: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32, 299–332.
- Guerrero-Chavez, Guillermo., De Ancos Siguero, Begoña., Sánchez-Moreno, Concepción., Cano, D. M. P., Mercado-Silva, E., Guzmán-Maldonado, H. S. (2010). Identificación de los pigmentos betalaínicos de frutos de (*Myrtillocactus geometrizans*) por HPLC-DAD-ESI-MS. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11, 16.
- Guía-García, J. L., Charles-Rodríguez, A. V., López-Romero, J. C., Torres-Moreno, H., Genisheva, Z., Robledo-Olivo, A., Reyes-Valdés, M. H., Ramírez-Godina, F., García-Osuna, H. T., & Flores-López, M. L. (2021). Phenolic composition and biological properties of rhus microphylla and *myrtillocactus geometrizans* fruit extracts. *Plants*, 10, 2010.
- Guidi, A., & Castigliego, L. (2010). Poultry meat color. *Handbook of poultry science and technology*, 2, 359-388.
- Guzmán-Maldonado, S. H., Herrera-Hernández, G., Hernández-López, D., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Tovar, A., Vaillant, F., & Brat, P. (2010). Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico. *Food chemistry*, 121(2), 381-386.
- Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits—an overview. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 2023-2044.
- Hasegawa, Y., Hara, T., Kawasaki, T., Yamada, M., Watanabe, T., & Iwasaki, T. (2020). Effect of wooden breast on postmortem changes in chicken meat. *Food Chemistry*, 315, 126285.

- Hasler, C. (1998). Functional foods: their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology*, 52, 63-70.
- Hernández, L. D., Vaillant, F., Reynoso, C. R., & Guzman, M. S. H. (2008). *Myrtillocactus (cactaceae)*: botanical, agronomic, physicochemical and chemical characteristics of fruits. *Fruits*, 63, 269-276.
- Herrera-Hernández, M. G., Guevara-Lara, F., Reynoso-Camacho, R., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2011). Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics, vitamin C, betalains and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 129, 1744-1750.
- Holban, A. M., & Grumezescu, A. M. (2018). Annatto carotenoids as additives replacers in meat products. In V. J. Bolognesi., & C. E. R. Garcia (Eds.). *Alternative and Replacement Foods* (pp. 355-378). United Kingdom: Academic Press.
- Holownia, K., Chinnan, M. S., Reynolds, A. E. (2003). Pink Color Defect in Poultry White Meat as Affected by Endogenous Conditions. *Journal of food science*, 68, 742–747.
- Hosseindoust, A., Oh, S. M., Ko, H. S., Jeon, S. M., Ha, S. H., Jang, A., Son, J. S., Kim, G. Y., Kang, H. K., & Kim, J. S. (2020). Muscle Antioxidant Activity and Meat Quality are Altered by Supplementation of Astaxanthin in Broilers Exposed to High Temperature. *Antioxidants*, 9, 1032.
- Huang, X., & Ahn, D. U. (2018). The Incidence of Muscle Abnormalities in Broiler Breast Meat – A Review. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38, 835–850.
- Jamhari, J., Dewi, A. C., & Setiyono, S. (2019). Physicochemical properties and antioxidant activity of chicken sausage with addition of roselle extract (*Hibiscus sabdariffa*) and different filler ratio. *Buletin Peternakan*, 43, 46-51.
- Jayasena, D. D., Jung, S., Kim, H. J., Bae, Y. S., Yong, H. I., Lee, J. H., Kim, J. G., & Jo, C. (2013). Comparison of quality traits of meat from korean native chickens and broilers used in two different traditional korean cuisines. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 26, 1038–1046.

- Jayawardana, B. C., Liyanage, R., Lalantha, N., Iddamalgoda, S., & Weththasinghe, P. (2015). Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (*Moringa oleifera*) leaves in herbal chicken sausages. *LWT - Food Science and Technology*, *64*, 1204–1208.
- Jin, S. K., Kim, I. S., Jung, H. J., Kim, D. H., Choi, Y. J., & Hur, S. J. (2007). The Development of Sausage Including Meat from Spent Laying Hen Surimi. *Poultry Science*, *86*, 2676–2684.
- Jin, S. K., Choi, J. S., Yang, H. S., Park, T. S., & Yim, D. G. (2018). Natural curing agents as nitrite alternatives and their effects on the physicochemical, microbiological properties and sensory evaluation of sausages during storage. *Meat science*, *146*, 34-40.
- Jiménez-Aguilar, D. M., López-Martínez, J. M., Hernández-Brenes, C., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Welte-Chanes, J. (2015). Dietary fiber, phytochemical composition, and antioxidant activity of Mexican commercial varieties of cactus pear. *Journal of Food Composition and Analysis*, *41*, 66–73.
- Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, *120*, 107–117.
- Jorge, P., & Troncoso, L. (2016). Capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* (ayrampo) y de la *Opuntia ficus-indica* (tuna). *Anales de la Facultad de Medicina*, *77*, 105-109.
- Judge, M. D., Aberle, E. J., Hedrick, H. & Merkel, R. (1989). Principles of meat science. W. H. Freeman & Co., San Francisco, USA.
- Jung, S., Choe, J. H., Kim, B., Yun, H., Kruk, Z. A., & Jo, C. (2010). Effect of dietary mixture of gallic acid and linoleic acid on antioxidative potential and quality of breast meat from broilers. *Meat Science*, *86*, 520-526.
- Kamel, M. R., Abdelmaguid, N. M., Saleh M OS. Improving the Quality and Shelf-life of Raw Rabbit Meat During Refrigeration Storage Using Olive/mulberry Leaves Extracts Dipping. *Pak J Biol Sci*. 2020 Jan;23(9):1122-1130.
- Karakaya, M., Saricoban, C., & Yilmaz, M. T. (2004). The effect of various types of poultry pre- and post-rigor meats on emulsification capacity, water-holding capacity and cooking loss. *European Food Research and Technology*, *220*, 283–286.

- Karre, L., Lopez, K., & Getty, K. J. K. (2013). Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*, *94*, 220–227.
- Karunanayaka, D. S., Jayasena, D. D., & Jo, C. (2016). Prevalence of pale, soft, and exudative (PSE) condition in chicken meat used for commercial meat processing and its effect on roasted chicken breast. *Journal of Animal Science and Technology*, *58*, 1-8.
- Kharrat, N., Salem, H., Mrabet, A., Aloui, F., Triki, S., Fendri, A., & Gargouri, Y. (2018). Synergistic effect of polysaccharides, betalain pigment and phenolic compounds of red prickly pear (*Opuntia stricta*) in the stabilization of salami. *International Journal of Biological Macromolecules*, *111*, 561-568.
- Khatabi, O., Hanine, H., Elothmani, D., & Hasib, A. (2016). Extraction and determination of polyphenols and betalain pigments in the Moroccan Prickly pear fruits (*Opuntia ficus indica*). *Arabian Journal of Chemistry*, *9*, S278–S281.
- Korkeala, H. J., & Björkroth, K. J. (1997). Microbiological spoilage and contamination of vacuum-packaged cooked sausages. *Journal of Food Protection*, *60*, 724–731.
- Kuttappan, V. A., Brewer, V. B., Apple, J. K., Waldroup, P. W., & Owens, C. M. (2012). Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science*, *91*, 2677–2685.
- Kuttappan, V. A., Brewer, V. B., Mauromoustakos, A., McKee, S. R., Emmert, J. L., Meullenet, J. F., & Owens, C. M. (2013a). Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science*, *92*, 811–819.
- Kuttappan, V. A., Hargis, B. M. & Owens, C. M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science*, *216*.
- Kuttappan, V. A., Shivaprasad, H. L., Shaw, D. P., Valentine, B. A., Hargis, B. M., Clark, F. D., Owens, C. M. (2013b). Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles. *Poultry Science*, *92*, 331–338.
- Kuti, J. O. (2004). Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry*, *85*, 527-533.

- Lee, C. H., & Chin, K. B. (2019). Evaluation of pork myofibrillar protein gel with pork skin gelatin on rheological properties at different salt concentrations. *Food Science Animal Resource*, 39, 576-584.
- Lee, B., Park, C. H., Kong, C., Kim, Y. S., & Choi, Y. M. (2021). Muscle fiber and fresh meat characteristics of white-stripping chicken breasts, and its effects on palatability of sous-vide cooked meat. *Poultry Science*, 100, 101177
- Lengkidworrapphat, P., Wongpoomchai, R., Taya, S., & Jaturasitha, S. (2020). Effect of genotypes on macronutrients and antioxidant capacity of chicken breast meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33, 1817–1823.
- Liao, Q. G., Li, W. H., & Luo, L. G. (2012). Applicability of accelerated solvent extraction for synthetic colorants analysis in meat products with ultrahigh performance liquid chromatography–photodiode array detection. *Analytica Chimica Acta*, 716, 128–132.
- López-Palestina, C. U., Aguirre-Mancilla, C. L. A., Ramírez-Pimentel, J. G. A., Raya-Pérez, J. R. A., Santiago-Saenz, Y. O. B., Gutiérrez-Tlahque, J. C., & Hernández-Fuentes, A. (2019). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante en tres estados de madurez de *Myrtillocactus geometrizans* provenientes del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 317-322.
- Lorenzi, M., Mudalal, S., Cavani, C., & Petracci, M. (2014). Incidence of white striping under commercial conditions in medium and heavy broiler chickens in Italy. *The Journal of Applied Poultry Research*, 23, 754–758.
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Gómez, B., Barba, F. J., Mora, L., Pérez-Santaescolástica, C., & Toldrá, F. (2018). Bioactive peptides as natural antioxidants in food products—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 79, 136-147.
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., Barba, F. J., & Toldrá, F. (2019). Meat quality, brands and consumer trends. In A. Teixeira, & S. Rodrigues (Eds.). *More than Beef, Pork and Chicken – The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet* (pp. 21-29). Switzerland: Springer Nature Switzerland.
- Lourenço, S. C., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24, 4132.

- Mancera-Rodríguez, J. J., Herrera, H. M. G., Guzmán, M. S. H. & Rivera, V. R. (2019). Efecto del secado sobre compuestos fitoquímicos en la obtención de pasas de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). *Avances de Investigación en Inocuidad de Alimentos*, 2, 1-5.
- Martínez, G. J., Martínez, J., García Hurtado, L., Cuaran, J., & Ocampo, Y. (2016). Pigmentos vegetales y compuestos naturales aplicados en productos cárnicos como colorantes y/o antioxidantes: revisión. *INVENTUM*, 11, 51-62.
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2016). Food colorants: Challenges, opportunities, and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. *Trends in Food Science & Technology*, 52, 1-15.
- Mathiyalagan, S., Mandal, B. K., & Ling, Y. C. (2018). Determination of synthetic and natural colorants in selected green colored foodstuffs through reverse phase-high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 278, 381-387.
- Mazzoni, M., Petracci, M., Meluzzi, A., Cavani, C., Clavanzani, P., & Sirri, F. (2015). Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. *Poultry Science*, 94,123– 130.
- McKee, S. R., & Sams, A. R. (1997). The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. *Poultry Science*, 76, 1616-1620.
- Melton, L., Shahidi, F., & Varelis, P. (2019). Synthetic Food Colors. In M. G. Corrandi (Ed.). *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 291-296). United States: Elsevier Ltd.
- Minioti, K. S., Sakellariou, C. F., & Thomaidis, N. S. (2007). Determination of 13 synthetic food colorants in water-soluble foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography coupled with diode-array detector. *Analytica Chimica Acta*, 583, 103–110.
- Montiel-Sánchez, M., García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., García, H. S., & Pilar Cano, M. (2020). *In vitro* gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Chemistry*,342, 128087.

- Morrissey, P. A., Tichivangana, J. Z. (1985). The antioxidant activities of nitrite and nitrosylmyoglobin in cooked meats. *Meat Science*, 14, 175-90.
- Mozdziak, P. (2019). Species of Meat Animals: Poultry. In P. Mozdziak (Ed.). *Food Science* (pp. 1-6). United Kingdom: Elsevier.
- Mudalal, S., Babini, E., Cavani, C., & Petracci, M. (2014a). Quantity and functionality of protein fractions in chicken breast fillets affected by white striping. *Poultry Science*, 93, 2108–2116.
- Mudalal, S., Lorenzi, M., Soglia, F., Cavani, C., & Petracci, M. (2014b). Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal*, 9, 728–734.
- Mudalal S. (2019). Incidence of White Striping and its effect on the equality traits of raw and processed turkey breast meat. *Food Science of Animal Resources*, 39, 410-417.
- Mugler, D. J., & Cunningham, F. E. (1972). Factors Affecting Poultry Meat Color—A Review, *World's Poultry Science Journal*, 28:4, 400-406.
- Murthy, H. N., & Paek, K. Y. (2021). Bioactive compounds of prickly pear [*Opuntia Ficus-Indica* (L.) Mill.]. In I. B. Slimen, T. Najar, & M. Abderrabba (Eds.). *Bioactive compounds in underutilized vegetables and legumes* (pp. 2-29). Switzerland: Springer International Publishing.
- Muthukumar, M., Naveena, B. M., Vaithyanathan, S., Sen, A. R., & Sureshkumar, K. (2012). Effect of incorporation of Moringa oleifera leaves extract on quality of ground pork patties. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 3172–3180.
- Nicoli, M. C., Anese, M., Parpinel, M. T., Franceschi, S., & Lericci, C. R. (1997). Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters*, 114, 71–74.
- OCDE. (2018). Exámenes de mercado en México: Estudio de caso del mercado de carne de pollo. <https://www.oecd.org/daf/competition/ESP-WEB-REPORT-Chicken-MeatMarketMexico2018.pdf>
- Ochoa, C. E., & Guerrero, J. A. (2012). Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). *Información tecnológica*, 23, 117-128.

- Oswell, N. J., Thippareddi, H., & Pegg, R. B. (2018). Practical use of natural antioxidants in meat products in the US: A review. *Meat science*, 145, 469-479.
- Ozuna, C., Cerón, G. A., Gómez, S. J., Salazar, S. E., Sosa, M. M., Abraham, J. M. R. (2016). Potencial de productos alimenticios originarios de la zona noreste de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 26, 83-92.
- Palmeri, R., Parafati, L., Arena, E., Grassenio, E., Restuccia, C., & Fallico, B. (2020). Antioxidant and antimicrobial properties of semi-processed frozen prickly pear juice as affected by cultivar and harvest time. *Foods*, 9, 235.
- Palmeri, R., Parafati, L., Restuccia, C., & Fallico, B. (2018). Application of prickly pear fruit extract to improve domestic shelf life, quality and microbial safety of sliced beef. *Food and Chemical Toxicology*, 118, 355-360.
- Parafati, L., Palmeri, R., Trippa, D., Restuccia, C., & Fallico, B. (2019). Quality maintenance of beef burger patties by direct addition or encapsulation of a prickly pear fruit extract. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1760.
- Pekel, A. Y., Tatli, O., Sevim, Ö., Kuter, E., Ahsan, U., Khamseh, E. K., Atmaca, G., Köksal, B. H., Özsoy, B., & Cengiz, O. (2020). Effects of reducing dietary amino acid density and stocking density on growth performance, carcass characteristics, meat quality, and occurrence of white striping in broiler chickens. *Poultry Science*, 99, 7178–7191.
- Pérez, C. M. L., & Ponce, A. E. (2006). *Manual de prácticas de productos cárnicos*. Ciudad de México: Facultad de Química, UAM. <http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/carnes.pdf>
- Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A., & Cavani, C. (2013). Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*, 92, 1670–1675.
- Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E., & Cavani, C. (2014). Effect of White Striping on Chemical Composition and Nutritional Value of Chicken Breast Meat. *Italian Journal of Animal Science*, 13, 3138.
- Petracci, M., Soglia, F., Madruga, M., Carvalho, L., Ida, E., & Estévez, M. (2019). Wooden-Breast, White Striping, and Spaghetti Meat: Causes, Consequences and Consumer

- Perception of Emerging Broiler Meat Abnormalities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18 (2), 565-583.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. (2001). Antioxidants and food stability. In M. H. Gordon (Ed.). *Antioxidants in food: Practical applications* (pp. 7-20). England: Woodhead Publishing limited.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. (2001). Antioxidants and food stability. In N. V. Yanishlieva (Ed.). *Antioxidants in food: Practical applications* (pp. 22-57). England: Woodhead Publishing limited.
- Pourmajed, R., Jabbari Amiri, M., Karami, P., & Khaledi, A. (2021). Antimicrobial Effect of *Opuntia Ficus-Indica* Extract on Escherichia coli Isolated from Patients with Urinary Tract Infection. *Iranian Journal of Public Health*, 50, 634–636.
- 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, 676–680.
- Ramírez-Ramos, M., García, M. M., Corrales, G. J., Ybarra, M. C., & Castillo, G. A. M. (2015). Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia sp.*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38, 349-357.
- Rebollar, E. R., Rebollar, S., & Soria, E. G. (2019). Determinantes de la oferta de carne de pollo en México. *Panorama Económico*, 27, 336-348.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.
- Reynoso-Camacho, R., Martinez-Samayoa, P., Ramos-Gómez, M., & Guzmán, H., Salgado, L. M. (2015). Antidiabetic and Renal Protective Properties of Berrycactus Fruit (*Myrtillocactus geometrizans*). *Journal of Medicinal Food*, 18, 565-571.
- Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C., & Silva, M. V. (2018). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, 148, 181-188.

- Ryan, L., & Prescott, S. L. (2010). Stability of the antioxidant capacity of twenty-five commercially available fruit juices subjected to an *in vitro* digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 1191-1197.
- Saelin, S., Wattanachant, S., & Youravong, W. (2017). Evaluation of water holding capacity in broiler breast meat by electrical conductivity. *International food research journal*, 24, 2593-2598.
- Sallam, K. I., Ishioroshi, M., & Samejima, K. (2004). Antioxidant and antimicrobial effects of garlic in chicken sausage. *LWT - Food Science and Technology*, 37, 849–855.
- Santiago, M. P. D., Cardador, M. A., Tellez, P. C., Montejano, G. J. G., & Martin del Campo, S. T. (2017). In-vitro antioxidant capacity and bioactive compounds preservation postdrying on Berrycacti (*Myrtillocactus geometrizans*). *Journal of Food Research*, 6, 121-133.
- Secretaría de salud. (1994). *Norma Oficial Mexicana para bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa NOM-092-SSA1-1994*. México: Secretaría de Salud.
- Secretaría de salud. (2012). *Norma Oficial Mexicana para servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación NOM-043-SSA2-2012*. México: Secretaría de Salud.
- Secretaría de salud. (2018). *Norma Oficial Mexicana para productos y servicio. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba NOM-213-SSA1-2018*. México: Secretaría de Salud.
- Serpen, A., Gökmen, V., & Fogliano, V. (2012). Total antioxidant capacities of raw and cooked meats. *Meat science*, 90, 60-65.
- Sihvo, H.-K., Immonen, K., & Puolanne, E. (2013). Myodegeneration With Fibrosis and Regeneration in the Pectoralis Major Muscle of Broilers. *Veterinary Pathology*, 51, 619–623.
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., & Mir, S. A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98, 21–33.
- Shahidi, F. (2000). Antioxidants in food and food antioxidants. *Nahrung*, 44, 158-163.

- SIAP. (2021a). Anuario estadístico de la producción ganadera 2021. [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecResumen.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp)
- SIAP. (2021b). Resumen Nacional de la producción pecuaria 2021. [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecResumen.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp)
- Sies, H., & Stahl, W. (1995). Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 62, 1315S-1321S.
- Sihvo, H.-K., Lindén, J., Airas, N., Immonen, K., Valaja, J., & Puolanne, E. (2016). Wooden Breast Myodegeneration of Pectoralis Major Muscle Over the Growth Period in Broilers. *Veterinary Pathology*, 54, 119–128.
- Sindhi, V., Gupta, V., Sharma, K., Bhatnagar, S., Kumari, R., & Dhaka, N. (2013). Potential applications of antioxidants – A review. *Journal of Pharmacy Research*, 7, 828-835.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Smith, J. J., Ockerman, H. W., & Plimpton, R. F. (1990). The effect of cooking temperature, holding temperature and holding time on proximate analysis, aerobic plate count and coliform count on restructured beef roasts. *Journal Food Protection*, 53, 396-399.
- Socaciu, C. (2008). *Natural Pigments as Food Colorants*. In C. Socaciu (Ed.). Food colorants. Chemical and functional properties (pp. 583-598). USA: CRC Press.
- Souza, V. G. L., Fernando, A. L., Pires, J. R. A., Rodrigues, P. F., Lopes, A. A., & Fernandes, F. M. B. (2017). Physical properties of chitosan films incorporated with natural antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 107, 565-572.
- Suárez, C. A. (2020). La industria de las carnes frías en México. *COMECARNE*.
- Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh C. C., Bunch, R., & Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia spp.*) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 442-451.

- Sumaya, M. M. T., Suárez, D. T., Cruz, C. N., Alanís, G. E., Sampedro, J. G. (2010). Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 27, 435-441.
- Tahergorabi, R., Hosseini, S. V., & Jaczynski, J. (2011). Seafood proteins. *Handbook of Food Proteins*, 116–149.
- Taisoniero, G., Cullere, M., Cecchinato, M., Puolanne, E., & Dalle Zotte, A. (2016). Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by White Striping and Wooden Breast myopathies. *Poultry Science*, 95, 2707–2714.
- Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E., & D'Aubeterre, R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16, 69-74.
- Tijare, V. V., Yang, F. L., Kuttappan, V. A., Alvarado, C. Z., Coon, C. N., & Owens, C. M. (2016). Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science*, 95, 2167–2173.
- Topete-Viniegra, R. (2006). Caracterización química y evaluación del efecto hipoglucemiante y antioxidante del fruto de garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*). Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México.
- Trillas. (2018). *Elaboración de productos cárnicos*. México: Editorial Trillas.
- Trujillo, S. E., Villalobos, D. L. H., Guzmán, P. L. E., López, M. G., Zafra, C. D. I., Nevárez, M. G., Santiago, C. J. T. (2021). The effects of Hierba Santa (*Piper auritum* Kunth) on the inhibition of lipid oxidation in beef burgers. *LTW*, 146, 111428.
- Tsao R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*. 2, 1231-1246.
- Ugalde, M. J., Silva, B. S. & López, L. L. (2016). El garambullo, un recurso natural poco explotado para la obtención de fitomoléculas biológicamente activas. *Acta Química Mexicana*, 15, 1-6.

- UNA. (2019a). Situación de la Avicultura Mexicana. Comportamiento de la industria en 2020. <https://una.org.mx/industria/>
- UNA. (2019b). Situación de la Avicultura Mexicana. Consumo de Pollo. <https://una.org.mx/industria/>
- United States Department of Agriculture, Food Safety and Inspection Service, 2011. Safe and Suitable Ingredients Used in the Production of Meat, Poultry, and Egg Products. FSIS Directive 7120.1.
- Valenzuela, V. C., & Pérez, M. P. (2016). Actualización en el uso de antioxidantes naturales derivados de frutas y verduras para prolongar la vida útil de la carne y productos cárneos. *Revista Chilena de Nutrición*, 43, 12–12.
- Valenzuela, B. A., Sanhueza, J., & Nieto, S. (2003). Natural antioxidants in functional foods: from food safety to health benefits. *Grasas y Aceites*, 54, 295-303.
- Van Laach, R. J. M., & Frans, J. M. S. (1990). Physical, chemical properties and cooking yield of hamburger prepared from accelerated proceeded beef. *Journal Food Science*. 55, 1268-1269.
- Villalobos-Delgado, L. H., González-Mondragón, E. G., Ramírez-Andrade, J., Salazar-Govea, A. Y., & Santiago-Castro, J. T. (2020). Oxidative stability in raw, cooked, and frozen ground beef using Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.). *Meat Science*, 168, 108187.
- Villalobos-Delgado, L. H., González-Mondragón, E. G., Govea, A. Y. S., Andrade, J. R., & Santiago-Castro, J. T. (2017). Potential application of epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) as natural antioxidant in raw ground pork. *LWT*, 84, 306-313.
- Villalobos-Delgado, L. H., Mateo, J., Caro, I., Ramos, M. Y. L., Méndez, N. G., Cansino, R. G., & Mondragón, E. G. G. (2019). Natural antioxidants in fresh and processed meat. En C.M. Galanakis (Ed.). *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 207-236). United Kingdom: Academic Press.
- Villalobos-Delgado. (2018). *Manual de Procesos Tecnológicos de Productos Cárnicos*. Ciudad de Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca, UTM.
- Toldrá, F. (2017). The eating quality of meat: Waterholding capacity and juiciness. In R.D. Warner (Ed.). *Lawrie's meat science* (pp. 419-459). UK: Woodhead Publishing.

- Wilkins, R. J., & Jones, R., (2000). Alternative home-grown protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal Feed Science Technology*, 85, 23-32.
- Yang, Y., Wang, W., Zhuang, H., Yoon, S.-C., & Jiang, H. (2018). Fusion of Spectra and Texture Data of Hyperspectral Imaging for the Prediction of the Water-Holding Capacity of Fresh Chicken Breast Filets. *Applied Sciences*, 8, 640.
- Yao, J., Zhou, Y., Chen, X., Ma, F., Li, P., & Chen, C. (2018). Effect of sodium alginate with three molecular weight forms on the water holding capacity of chicken breast myosin gel. *Food Chemistry*, 239, 1134–1142.
- Yücel, B., & Taşkin, T. (2018). Quality of Chicken Meat. In G. Kralik, Z. Kralic, M. Grčević, & D. Hanžek. (Eds.). *Animal Husbandry and Nutrition* (pp. 63-69). United Kingdom: IntechOpen.
- Zafra, D. (2021). Uso de extractos de cáscara de mango (*mangifera indica l.*) como aditivo natural multifuncional sobre un producto cárnico con dos diferentes formas de procesamiento. *Tesis de Maestra*. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca.
- Zapata, L. M., Gerard, L., Davies, C., Schwab, M. C. (2007). Estudio de los componentes y actividad antioxidantes en tomates. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 18, 175-193.
- Zorba, Ö., & Kurt, Ş. (2006). Optimization of emulsion characteristics of beef, chicken and turkey meat mixtures in model system using mixture design. *Meat Science*, 73, 611–618.e