



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN  
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS CÓRDOBA**

**POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA  
SUSTENTABLE**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UNA PELÍCULA  
COMESTIBLE CON CÚRCUMA (*Curcuma longa* L.) EN  
LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE**

**HYLENNE BOJORGES GUTIÉRREZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**


**AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO**

**MAYO, 2019**

## **CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **Hylenne Bojorges Gutiérrez**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo de ser partícipe de las regalías económicas y o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del profesor **Aleida Selene Hernández Cázares**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis *Efecto de la aplicación de una película comestible con cúrcuma (*Curcuma longa L.*) en la estabilidad oxidativa de la carne* y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Profesor Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo con las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Amatlán de los Reyes, Ver., a 29 de mayo de 2019.

  
\_\_\_\_\_  
**Hylenne Bojorges Gutiérrez**  
Alumna

  
\_\_\_\_\_  
**Aleida Selene Hernández Cázares**  
Vo. Bo. del Profesor Consejero

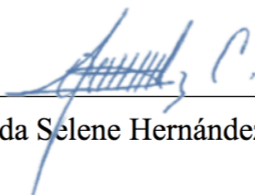
La presente tesis titulada: *Efecto de la aplicación de una película comestible con cúrcuma (Curcuma longa L.) en la estabilidad oxidativa de la carne* realizada por la alumna: **Hyllenne Bojorges Gutiérrez**, bajo la dirección del Consejo Particular indica, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE**

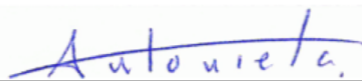
**CONSEJO PARTICULAR**

Consejero:



Dra. Aleida Selene Hernández Cázares

Asesor:



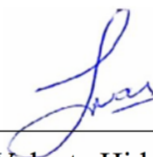
Dra. María Antonieta Ríos Corripio

Asesor:



Dra. Adriana Contreras Oliva

Asesor:



Dr. Juan Valente Hidalgo Contreras

Amatlán de los Reyes, Ver., a 29 de mayo de 2019

***EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UNA PELÍCULA COMESTIBLE CON CÚRCUMA  
(Curcuma longa L.) EN LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE***

Hyllenne Bojorges Gutiérrez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

**RESUMEN**

El objetivo de esta investigación fue desarrollar una película comestible producida a partir de alginato y cúrcuma (EFT) como compuesto activo, para su aplicación en carne fresca de lomo de cerdo, lomo de bovino y pechuga de pollo y evaluar su capacidad antioxidante. La EFT se caracterizó mediante la determinación del espesor, el color, la permeabilidad al vapor de agua (WVP), la permeabilidad al oxígeno (OP), las propiedades mecánicas, estructurales y antioxidantes. Para evaluar la capacidad antioxidante de la EFT, estas se aplicaron en la carne fresca y se evaluó el color, el pH y las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) durante su almacenamiento en refrigeración. Los resultados evidenciaron que las muestras de carne con PCC mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en color (CIE  $L^*a^*b^*$ ) y exhibieron menores valores de TBARS ( $p < 0.05$ ). La adición de cúrcuma en la película, además de afectar sus propiedades físicas, químicas y estructurales de la película comestible, mostró una importante actividad antioxidante en carne. La película comestible de cúrcuma evidenció su potencial como material de empaque activo para aumentar la vida útil y conservar la calidad de la carne de lomo de cerdo, lomo de bovino y pechuga de pollo en refrigeración hasta 12, 16 y 12 d, respectivamente.

**Palabras clave:** Carne de cerdo, carne de bovino, carne de pollo, cúrcuma, película comestible.

***EFFECT OF THE APPLICATION OF AN EDIBLE FILM WITH TURMERIC (*Curcuma longa L.*) IN THE OXIDATIVE STABILITY OF MEAT***

Hyllenne Bojorges Gutiérrez, MC.

Postgraduate Collage, 2019

**ABSTRACT**

The aim of this research was to develop an edible film produced from alginate and turmeric (EFT) as an active compound, for its application in fresh meat of pork loin, beef loin and chicken breast and to evaluate its antioxidant capacity. The EFT was characterized through the determination of the thickness, the color, the water vapor permeability (WVP), the oxygen permeability (OP), mechanical, structural and antioxidant properties. To evaluate the antioxidant capacity of the EFT, these were applied in the fresh meat and the color, the pH and the substances reactive to the thiobarbituric acid (TBARS) were evaluated during their storage in refrigeration. The results showed that meat samples with EFT showed significant differences ( $p < 0.05$ ) in color (CIE  $L^*a^*b^*$ ) and exhibited lower values of TBARS ( $p < 0.05$ ). The addition of turmeric in the film, besides affecting its physical, chemical and structural properties of the edible film, showed an important antioxidant activity in meat. The edible film of turmeric showed its potential as an active packaging material to increase the shelf life and preserve the quality of pork loin, beef loin, and chicken breast in refrigeration until 12, 16 and 12 d, respectively.

**Keywords:** Beef, chicken meat, edible film, pork, turmeric.

## DEDICATORIAS

A Dios, por permitirme llegar al final, por siempre cuidar de mi y por su infinito amor. Por todas las bendiciones recibidas, por las pruebas, alegrías y tristezas; por permitirme comprobar de que estoy hecha, conocer y valorar la vida, donde estoy y lo que soy.

A mis papás, quienes iluminan mi vida, por ser mi luz, mi esperanza, mi faro y mis guías. Mis ejemplos de esfuerzo y fortaleza.

A Gaby y Alexis, mis hermanos, mis amigos y mis cómplices; porque son ellos, mi motor en los momentos más difíciles.

Y finalmente, está especialmente dedicado a todas aquellas personas que formaron parte de mi vida, y que por alguna razón ya no están, gracias por el aprendizaje. A los que aún permanecen, gracias, por seguir compartiendo su tiempo y su vida conmigo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por apoyar el desarrollo científico en México, y permitirme realizar mis estudios de posgrado con la beca No. 814464 y con ello, el desarrollo de la presente investigación.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. A la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento 2 (LGAC-2), en Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social del Programa de Posgrado de la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable.

Al Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA), por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

A la Dra. Aleida Selene Hernández Cázares, por su apoyo, confianza, paciencia y por sus valiosas aportaciones. Además, de su tiempo y consejos brindados en este período.

Al Dr. Juan Valente Hidalgo Contreras, por su disponibilidad en todo momento y por ser parte de mi formación académica.

A la Dra. Adriana Contreras Oliva, por su contribución y enseñanzas brindadas en el proyecto de esta investigación.

A la Dra. María Antonieta Ríos Corripio, por sus importantes aportes y por su participación activa en la presente investigación. Asimismo, por su confianza, disponibilidad, paciencia, consejos y su apoyo incondicional. Muchas gracias por su amistad.

A la Dra. María José Fabra Rovira, por darme la oportunidad de trabajar con usted, por su paciencia, apoyo y enseñanzas brindadas en el laboratorio, así como los agradables momentos durante mi estancia en Valencia, España.

Al Laboratorio de Ciencias de los Alimentos y especialmente a IA. Paulina Chávez Zepeda, por su amistad y apoyo incondicional en la realización del experimento.

A mis amigos y compañeros del Posgrado, por su generosidad, disposición y su ayuda en todo momento. Por el tiempo compartido y por las gratas experiencias a su lado.

A todos ¡Muchas gracias!



*“Soy de los que piensan que la ciencia tiene una gran belleza. Un científico en su laboratorio no es sólo un técnico: es también un niño colocado ante fenómenos naturales que le impresionan como un cuento de hadas”*

Marie Curie

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Hipótesis .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Objetivos.....</b>	<b>9</b>
<b>4. Revisión de literatura .....</b>	<b>10</b>
4.1. Importancia de la producción de carne.....	10
4.2. Consumo per-cápita.....	14
4.3. Bioquímica de la carne. ....	16
<b>4.4. Tipos de fibras musculares .....</b>	<b>18</b>
<b>4.5. Rigor mortis .....</b>	<b>21</b>
4.6. Factores de deterioro en la carne .....	22
<b>4.7. Oxidación lipídica .....</b>	<b>23</b>
<b>4.8. Oxidación proteica.....</b>	<b>26</b>
4.9. Conservación de la carne .....	28
4.9.1. Antioxidantes.....	28
4.9.2. Cúrcuma.....	30
<b>4.10. Películas comestibles.....</b>	<b>33</b>
<b>4.10.1. Composición .....</b>	<b>33</b>
<b>4.10.2. Producción de películas comestibles .....</b>	<b>34</b>
<b>4.10.3. Películas con propiedades activas .....</b>	<b>35</b>
<b>5. Literatura citada.....</b>	<b>36</b>
<b>EFFECT OF THE APPLICATION OF AN EDIBLE FILM WITH TURMERIC (Curcuma longa L.) IN THE OXIDATIVE STABILITY OF MEAT .....</b>	<b>41</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>41</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>41</b>
<b>2. MATERIALS AND METHODS.....</b>	<b>43</b>
2.1. Materials .....	43
2.2. Preparation of the edible film with turmeric (EFT).....	43
2.3. Physical and structural characterization of the edible film.....	43
2.3.1. Thickness .....	43
2.3.2. Moisture content (MC) Solubility in water (WS).....	43
2.3.3. Antioxidant capacity .....	44
2.3.4. Color .....	44
2.3.5. Transparency .....	44
2.3.7. Water vapor permeability (WVP).....	45
2.3.6. Oxygen permeability (OP).....	45
2.3.7. Mechanical properties.....	45
2.3.8. Infrared spectroscopy .....	46
2.4. Wrapping of meat with the edible film added with turmeric .....	46

2.5. pH .....	46
2.7. Lipid oxidation .....	46
2.8. Statistical analysis.....	47
<b>3. RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>47</b>
3.1. Characterization of the edible film added with turmeric .....	47
3.1.1. Thickness .....	48
3.1.2. Antioxidant capacity.....	49
3.1.3. Color and transparency .....	50
3.1.4. Water vapor permeability (WVP).....	51
3.1.5. Oxygen permeability (OP).....	52
3.1.6. Mechanical properties.....	52
3.1.7. Infrared spectroscopy .....	54
3.2. Edible film application on meat.....	54
3.2.1. Determination of pH value .....	54
3.2.2. Color .....	56
3.3.3. Lipid oxidation .....	57
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>59</b>
<b>5. ACKNOWLEDGMENTS.....</b>	<b>59</b>
<b>6. REFERENCES .....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de la estructura miofibrilar .....	17
<b>Figure 2.</b> The appearance of the edible film based on alginate with turmeric, in a 1.0:0.13 ratio (% , w/w); (a) front and (b) back.....	47
<b>Figure 3.</b> Infrared spectra of the alginate films (a) without turmeric and (b) with turmeric in 1.0:0.13 ratio (% , w/w).....	54
<b>Figure 4.</b> Effect of edible film with turmeric (EFT) on TBARS values in (a) pork, (b) beef, and (c) chicken, under refrigerated storage at 4°C. ....	59
<b>Figura 5.</b> Proceso de elaboración de las películas comestibles adicionada con cúrcuma ...	72
<b>Figura 6.</b> Medición de las propiedades mecánicas de la película comestible adicionada con cúrcuma (EFT).....	72
<b>Figura 7.</b> (a) Obtención de las películas comestibles, (b) medición del espesor .....	73
<b>Figura 8.</b> (a) Determinación de humedad, (b) color, (c) solubilidad .....	73
<b>Figura 9.</b> Determinación a la permeabilidad del oxígeno (OP).....	73
<b>Figura 10.</b> Muestras preparadas para la medición de la permeabilidad del oxígeno.....	73
<b>Figura 11.</b> Medición de permeabilidad al vapor de agua .....	73

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Producción mundial y nacional de carne en 2016 .....	10
<b>Cuadro 2.</b> Volumen de producción de carne de porcino a nivel mundial en 2016 .....	11
<b>Cuadro 3.</b> Principales entidades productoras de carne en canal de porcina en México .....	11
<b>Cuadro 4.</b> Volumen de producción de carne de ave a nivel mundial en 2016 .....	12
<b>Cuadro 5.</b> Principales entidades productoras de carne en canal de ave en México .....	12
<b>Cuadro 6.</b> Volumen de producción de carne de bovino a nivel mundial en 2016 .....	13
<b>Cuadro 7.</b> Principales entidades productoras de carne en canal de bovino en México .....	13
<b>Cuadro 8.</b> Consumo mundial <i>per-cápita</i> de carne avícola en 2017 .....	15
<b>Cuadro 9.</b> Consumo mundial <i>per-cápita</i> de carne porcina en 2017 .....	15
<b>Cuadro 10.</b> Consumo mundial <i>per-cápita</i> de carne de bovino en 2017 .....	16
<b>Cuadro 11.</b> Características de los tipos de fibras musculares en la carne. ....	20
<b>Table 12.</b> Physical and chemical characterization of the edible film based on alginate added with turmeric (1.0:0.13 ratio (% , w/w)).....	48
<b>Table 13.</b> Physical and chemical analysis of fresh pork, beef ( <i>Longissimus dorsi</i> ) and chicken meat ( <i>Pectoralis major</i> ), stored in refrigeration at 4°C with and without edible film added with turmeric (1.0:0.13 ratio (% , w/w)).....	56

*“La ciencia no sólo es una disciplina de la razón, sino también del romance y la pasión”*

Stephen Hawking

# EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UNA PELÍCULA COMESTIBLE CON CÚRCUMA (*Curcuma longa* L.) EN LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE LA CARNE

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### 1. Planteamiento del problema

Las carnes rojas y de ave representan una fuente importante de proteína y constituye aproximadamente el 11 % del total del consumo de alimentos. En 2016, México produjo más de 6 mil millones de Kg, lo que significa apenas el 2.17 % de la producción total en el mundo de este alimento (FAOSTAT, 2017). Para 2020, se espera que la producción mundial de carne incremente un 13 %, y que el consumo mundial de carne per cápita sea de 34.6 Kg aproximadamente. No obstante, se prevé que el consumo total aumente aproximadamente 1.5 % al año, debido al crecimiento acelerado de las tasas poblacionales de países en desarrollo (FAO, 2017).

La carne, de acuerdo al CODEX (2005), son “*todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin*”. Este tejido muscular consiste en tejido conectivo, músculos esqueléticos, venas, arterias y grasa (Gul *et al.*, 2016). Además es una matriz rica en nutrientes, compuesta por agua en un 60-80 %, proteínas 18-20 %, lípidos 0.5-19 %, minerales 1-1.5 % y rastros de carbohidratos (Gul *et al.*, 2016; Jiménez-Colmenero *et al.*, 2010). Además, es fuente importante de aminoácidos esenciales como la leucina, lisina, triptófano, treonina y metionina (Varnam y Sutherland, 1995).

La estabilidad de la carne es afectada por múltiples factores complejos e interconectados tales como: la especie, raza, dieta del animal, ambiente, manejo *postmortem*, carga microbiana, oxidación de lípidos y proteínas, entre otros. La seguridad higiénica y la estabilidad del alimento son de los principales parámetros que determinan la calidad sensorial; sin embargo, también se ve afectado por procesos de oxidación, producto de reacciones fisicoquímicas negativas.

La principal causa de deterioro de la carne, está asociada a cambios provocados por la oxidación de lípidos, debido a que inducen la aparición de olores y sabores desagradables, alteraciones del color, y en general una reducción en la calidad sensorial de la carne (Bouton *et al.*, 2009). Así también, da lugar a una disminución del valor nutritivo y la generación de compuestos potencialmente nocivos para la salud (Bouton *et al.*, 2009). Del mismo modo que la oxidación lipídica, las proteínas pueden oxidarse y conducir a una disminución significativa del valor nutritivo de la carne en términos de digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos esenciales (Sante-Lhoutellier *et al.*, 2007).

El efecto de estas reacciones perniciosas se puede contrarrestar con el uso de antioxidantes y un adecuado envasado. El desarrollo de películas comestibles posee un especial potencial conservante para mejorar la estabilidad oxidativa de los lípidos y la calidad de almacenamiento del alimento (Varnam y Sutherland, 1995). Las películas comestibles se definen como una capa delgada de polímero (matriz) que puede ser consumida y empleada en la superficie de un alimento, que puede aplicarse como capas continuas entre los diferentes componentes o utilizarse como cubierta durante su elaboración (Kowalczyk y Baraniak, 2011). Estas películas pueden incorporar en su formulación sustancias activas, lo que las hace un ejemplo de envases activos para alimentos (Han y Gennadios, 2005). Además, funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases, humedad y nutrientes; se busca que eviten o disminuyan la oxidación y pérdida de compuestos volátiles responsables de sabores y propiedades específicas de los alimentos (Guilbert *et al.*, 2006; Rojas *et al.*, 2009).

En este proyecto de investigación el objetivo fue desarrollar una película comestible para carne fresca, que retarde el proceso de oxidación y aumente su vida útil.



## **2. Hipótesis**

Las propiedades de la película comestible adicionada con cúrcuma (*Curcuma longa* L.), permitirá obtener carne de diversas especies con mayor vida útil.

## **3. Objetivos**

### **General**

Evaluar una película comestible adicionada con cúrcuma (*Curcuma longa* L.) que mantenga la estabilidad oxidativa de la carne fresca de diversas especies.

### **Particulares**

- Caracterizar las propiedades mecánicas, física, químicas, estructurales y antioxidantes de la película comestible adicionada con cúrcuma.
- Evaluar la estabilidad oxidativa de carne de cerdo, bovino (*Longissimus dorsi*) y pollo (*Pectoralis major*) utilizando la película comestible adicionada con cúrcuma.

## 4. Revisión de literatura

### 4.1. Importancia de la producción de carne.

La ganadería representa una de las actividades más productivas y dinámicas del sector primario, reportando un mayor crecimiento en el sector agropecuario a nivel mundial (SAGARPA, 2017). Por el valor de sus productos, las especies más relevantes son bovino, porcino y aves; de manera conjunta estas especies generan el 90% del valor de la producción pecuaria, la cual incluye productos alimenticios y no alimenticios (Pérez, 1998).

La producción mundial de carne de bovino, cerdo y pollo en 2016 fue de 291 mil millones de toneladas (Cuadro 1), de las cuales México produce solo el 2.17% (FAOSTAT, 2017). De acuerdo con INEGI (2018), el sector ganadero en México generó 238, 279 millones de pesos a precios corrientes durante el primer trimestre de 2018, monto que significó 1.2% del PIB nominal a valores básicos en el lapso de consideración.

**Cuadro 1.** Producción mundial y nacional de carne en 2016

Región geográfica	Producción de carne (Toneladas)		
	Bovino	Porcino	Avícola
A nivel mundial	65,973,820	118,162,709	107,143,008
México	1,878,705	1,376,199	3,077,874

Fuente: Datos calculados (FAOSTAT, 2017)

La tendencia mundial de producción de carne se inclina hacia la de cerdo, en donde China aporta el mayor volumen con el 50.5%, seguido por Estados Unidos con el 10.6% y Alemania con el 5.2% (Cuadro 2). México ocupa el decimoquinto lugar al producir 1,376,199 t de carne, lo que representa apenas el 1.3% en 2016; esto quiere decir, que por cada 100 Kg de carne de cerdo que se produce, un kilogramo es mexicano (FAOSTAT, 2017).

De acuerdo con el SIAP (2018) la alta tecnificación en los sistemas nacionales de producción porcina, ha permitido que la actividad crezca a una tasa media anual de 3.1% entre 2012 y 2017, con un volumen promedio de 1,265 miles de toneladas en el mismo período.

**Cuadro 2.** Volumen de producción de carne de porcino a nivel mundial en 2016

Rank	País	Volumen (toneladas)
1	China	54,129,762
2	Estados Unidos	11,320,182
3	Alemania	5,589,639
4	España	3,947,015
5	Vietnam	3,664,556
	Total mundial	107,143,088

Fuente: Datos calculados (FAOSTAT, 2017)

En México, los principales estados productores son Jalisco (15.7%), Sonora (13.1%) y Puebla (8.6%), mientras que Veracruz ocupa la quinta posición, con un porcentaje de participación del 6.6% (Cuadro 3). En 2017, los indicadores arrojaron que Jalisco obtuvo ingresos por 14 mil 580 millones de pesos, al ser la entidad con mayor producción de este tipo de carne, seguido por Sonora y Puebla con 9 mil 324 y 6 mil 909 millones de pesos, respectivamente (SIAP, 2018).

**Cuadro 3.** Principales entidades productoras de carne en canal de porcina en México

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)		Variación (%) 2012-2017
		2012	2017	
1	Jalisco	236,433	301,148	27.4
2	Sonora	233,727	261,757	12.0
3	Puebla	122,194	165,563	35.5
4	Yucatán	105,150	138,917	32.1
5	Veracruz	105,996	129,665	22.3
	Total nacional	1,238,625	1,441,850	16.4

Fuente: SIAP, 2018.

La producción de carne de ave a nivel mundial asciende a poco más de 107 millones de toneladas anuales (Cuadro 4), en donde el principal productor es Estados Unidos, el cual aporta 17.5%

de ese volumen, seguido de Brasil con el 13%, China 11.9%, Rusia 3.9% y la India con 3.2%. México el 2.9% ocupando la sexta posición con 3,077,874 t en 2016 (FAOSTAT, 2017).

**Cuadro 4.** Volumen de producción de carne de ave a nivel mundial en 2016

Rank	País	Volumen (toneladas)
1	Estados Unidos	18,708,326
2	Brasil	13,894,450
3	China	12,721,408
4	Rusia	4,141,365
5	India	3,398,812
	Total mundial	107,143,008

Fuente: Datos calculados (FAOSTAT, 2017)

La producción nacional es principalmente carne de pollo, seguida por la de bovino y finalmente la de cerdo. En 2017 la producción de carne en canal de ave fue 4.3% superior respecto al año anterior (Cuadro 5), lo que significa que el ritmo de crecimiento media anual fue de 2.8% en el periodo de 2012 a 2017. Los principales estados productores son Jalisco (11.7%), Veracruz (11.1%) y Querétaro (11.0%), que en conjunto representan el 33.38% del total y en los cuales se generaron 33 mil 551 millones de pesos en 2017 (SIAP, 2018).

**Cuadro 5.** Principales entidades productoras de carne en canal de ave en México

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)		Variación (%) 2012-2017
		2012	2017	
1	Jalisco	313,743	373,607	19.2
2	Veracruz	294,323	357,127	21.3
3	Querétaro	223,752	354,633	58.5
4	Aguascalientes	250,301	338,388	35.2
5	Durango	285,542	276,478	-3.2
	Total nacional	2,791,639	3,211,686	15.0

Fuente: SIAP, 2018.

Con respecto a la producción de carne en canal de bovino a nivel mundial, Estados Unidos ocupa la primera posición al producir el 17.4% del volumen mundial, seguido por Brasil y China (14.1 y 10.6% respectivamente) (Cuadro 6). Por otro lado, México figura entre las primeras diez naciones, ocupando la sexta posición y aportando tres de cada 100 t a la oferta mundial.

**Cuadro 6.** Volumen de producción de carne de bovino a nivel mundial en 2016

Rank	País	Volumen (toneladas)
1	Estados Unidos	11,470,489
2	Brasil	9,284,000
3	China	6,997,279
4	Argentina	2,644,000
5	Austria	2,360,756
	Total mundial	65,973,820

Fuente: Datos calculados (FAOSTAT, 2017)

En México, la producción de carne de bovino incrementó a una tasa promedio anual de 1.8 en el periodo de 2007 a 2016 (FIRA, 2018). Sin embargo, en 2017 la producción rebasó los 1.9 millones de toneladas, 2.6% superior a la obtenida en 2016. El promedio del volumen de producción nacional fue de 1,803 miles de toneladas entre 2012 y 2017 (SIAP, 2018).

**Cuadro 7.** Principales entidades productoras de carne en canal de bovino en México

Rank	Entidad federativa	Volumen (toneladas)		Variación (%) 2012-2017
		2012	2017	
1	Veracruz	258,565	258,228	-0.1
2	Jalisco	199,620	226,858	13.6
3	San Luis Potosí	65,341	114,245	74.8
4	Chiapas	114,690	104,486	-8.9
5	Sinaloa	103,441	101,220	-2.1
	Total nacional	1,820,547	1,926,900	5.8

Fuente: SIAP, 2018.

La ganadería bovina es una de las actividades económicas más importantes en Veracruz, ubicándola como el primer estado proveedor de esta carne en 2017 (Cuadro 7), con 258 mil 200 t y una aportación del 13.2% de la producción nacional, seguida de Jalisco y San Luis Potosí, que juntas representan el 31% del volumen total de producción en el país (SIAP, 2018).

#### **4.2. Consumo per-cápita**

El consumo *per-cápita* de carne proviene en su mayor parte del aumento de ingresos y de la tasa poblacional, especialmente en regiones como Asia, América Latina y el Medio Oriente, que cuentan con países de gran tamaño con población de clase media. Por otro lado, en países desarrollados en los que el consumo de carne ya es alto, la demanda seguirá en aumento, aunque sus tasa poblacionales sean menores en comparación con los países en desarrollo (OCDE-FAO, 2017).

La carne de ave es la de mayor consumo en el mundo y es el sector con mayor crecimiento. En 2017 la media del consumo mundial per cápita de esta carne fue de 13.9 Kg (Cuadro 8), concentrándose principalmente en Israel (56.9 Kg), Estados Unidos (48.8 Kg) y Arabia Saudita (44.7 Kg), para el caso de México fue de 26.6 Kg (OECD, 2018). Se estima que el consumo mundial de carne de pollo aumente hasta un 45%, independientemente de la región o el nivel socioeconómico del que se trate, y que se mantenga como la preferida arriba de la carne de cerdo, situación estimada hasta el año 2026 (OCDE-FAO, 2017). En particular para México, se espera que de manera similar continúe la tendencia de crecimiento dinámico, en la cual, podría alcanzar un récord de consumo per cápita de hasta 32 Kg (FIRA, 2017).

**Cuadro 8.** Consumo mundial *per-cápita* de carne avícola en 2017

Rank	País	Volumen (Kg/per-cápita)
1	Israel	56.93
2	Estados Unidos	48.83
3	Sarabia Saudita	44.67
4	Australia	44.47
5	Malasia	41.69
	Total mundial	13.90

Fuente: OECD, 2018

El consumo per cápita de carne de cerdo creció a una tasa anual promedio de 1.6% durante el período de 2007 a 2016, lo que la ha posicionado como una de las carnes preferidas, junto con la carne de ave. China, Vietnam y Corea son los principales consumidores con 30.8, 29 y 28.7 Kg respectivamente (Cuadro 9); México de manera similar que la media mundial (12.3 Kg) tiene un consumo per cápita de 12 Kg anual (OECD, 2018). Sin embargo, se estima que para 2026 el consumo baje significativamente en países desarrollados. No obstante, en países en desarrollo el crecimiento es sostenido, aunque a una tasa más lenta en comparación con la década pasada. América Latina es una de las regiones en las que se ha impulsado el consumo de carne de cerdo, debido a una mayor producción interna, a una mejora en la calidad y a precios relativamente favorables, que en conjunto con el aumento de la tasa poblacional en estas regiones, ha apoyado el crecimiento del consumo total de este tipo de carne (OCDE-FAO, 2017).

**Cuadro 9.** Consumo mundial *per-cápita* de carne porcina en 2017

Rank	País	Volumen (Kg/per-cápita)
1	China	30.78z
2	Vietnam	29.01
3	Corea	28.68
4	Estados Unidos	23.57
5	Rusia	20.70
	Total mundial	12.30

Fuente: OECD, 2018

Respecto al consumo de carne bovina, se prevé que ésta incremente un 6% en los próximos años especialmente en los países desarrollados y un 17% para los países en desarrollo. En términos de consumo per cápita, está permanece limitadamente baja alrededor de un tercio de volumen (OCDE-FAO, 2017). Uruguay es uno de los países con alto consumo de carne de bovino y con un alza en la tendencia, el volumen de consumo anual per cápita en 2017 fue de 43 Kg, seguido por Argentina y Brasil con 41 y 26 Kg respectivamente (Cuadro 10). De acuerdo a las estimaciones de OCDE-FAO (2017), prevén que para el año 2026 el consumo de carne bovina registre una ligera tendencia alcista, para situarse en 6.7 Kg por persona. En la actualidad, el consumo per cápita de América Latina, el Caribe y de países desarrollados es casi 3 veces mayor que el consumo per cápita mundial, y 25% menor que el promedio mundial en las economías emergentes.

**Cuadro 10.** Consumo mundial *per-cápita* de carne de bovino en 2017

Rank	País	Volumen (Kg/per-cápita)
1	Uruguay	43.19
2	Argentina	41.24
3	Brasil	26.47
4	Estados Unidos	25.82
5	Paraguay	25.52
	Total mundial	6.50

Fuente: OECD, 2018

En general, se estima que la producción mundial de carne incremente al menos un 13 % y que el consumo total incremente 1.5 % en 2026. Asimismo, se espera que el consumo mundial de carne *per-cápita* alcance los 34.6 Kg equivalentes en peso al menudeo, en el mismo período (OCDE-FAO, 2017).

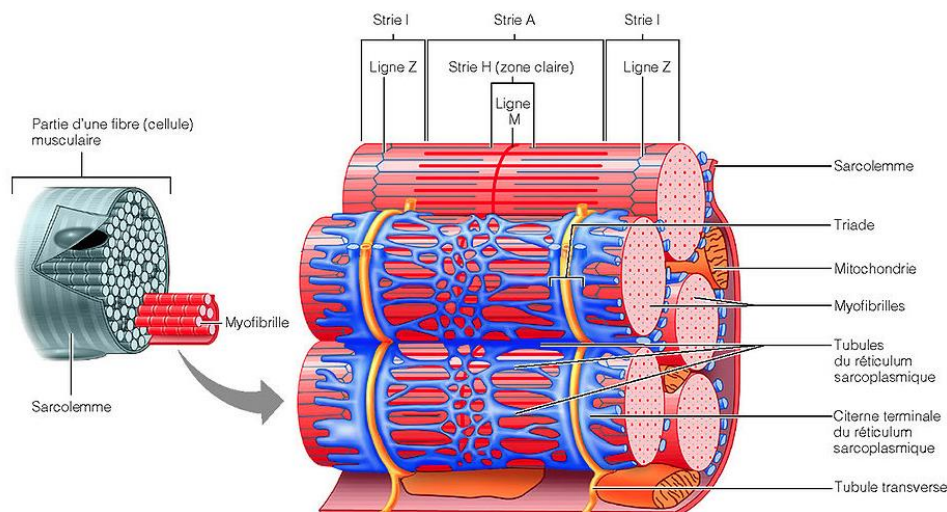
#### **4.3. Bioquímica de la carne.**

La transformación de músculo a carne involucra una serie de procesos bioquímicos y metabólicos, poco después de la muerte del animal, en un intento de retener el control de los mecanismos homeostáticos que se vieron afectados en dicho proceso. La bioquímica *post-*



*mortem* es consecuencia de diversos factores tales como la disposición genética, la dieta, el estrés antes y durante la matanza, etc. Asimismo, estos factores influyen considerablemente en la estructura muscular y por consiguiente en la calidad y aceptabilidad por parte del consumidor (Warner, 2015).

Se define al músculo como tejido muscular *in vivo*, es un órgano contráctil y posee distintas funciones mecánicas, principalmente del movimiento, equilibrio y coordinación. Existen tres tipos de tejido muscular, el esquelético, liso y el cardíaco (Sierra, 2010). El músculo esquelético (Figura 1), también denominado como músculo voluntario o estriado, es el tejido más grande en la mayoría de las especies animales y está compuesto por un conjunto de músculos completos unidos al hueso, rodeados por el tejido conectivo llamado epimisio, el cual es duro e inextensible. Los músculos a su vez se subdividen en haces musculares y se encuentran envueltos por un tejido conectivo llamado perimisio. Estos haces musculares contienen varias células musculares (también conocidas como fibras musculares), que están rodeadas por el tejido conjuntivo, endomisio (Warner, 2015).



**Figura 1.** Esquema de la estructura miofibrilar  
Fuente: Marie y Hoehn, 2010.

La fibra muscular es un sincicio multinucleado que se encuentra rodeado por el sarcolema, que está adherido al tejido conjuntivo del exterior. La disposición de las fibras musculares, están en agrupaciones de unidades longitudinales de miofibrillas individuales, que están

registradas y alineadas dentro de una misma célula muscular. Las miofibrillas son haces de polímeros individuales, que son los miofilamentos. Éstos a su vez están comprendidos por filamentos gruesos y delgados, que están compuestos principalmente por proteínas de miosina II y de actina, respectivamente, los cuales de manera conjunta son los elementos contráctiles del músculo estriado (Brewer, 2014). En la banda luminosa del sarcómero se encuentran presentes los filamentos delgados, mientras que los filamentos gruesos están localizados en la banda oscura del sarcómero (Warner, 2015).

La unidad funcional de contracción es el sarcómero (Figura 1), el alineamiento de los sarcómeros le confiere a la célula muscular la apariencia de célula estriada. Las estriaciones aparecen de manera alternada en las bandas A, que son zonas proteicas densas y en las bandas I que son las menos densas en las miofibrillas. Estas dos bandas están divididas en dos regiones estrechas de densidad contrastante, las bandas A por una zona menos densa llamada banda H y por una delgada zona llamada línea M, por otro lado, las bandas I están divididas por una línea o disco Z (Ross y Pawlina, 2007). El proceso de contracción es el resultado de la interacción entre filamentos delgados y gruesos, deslizándose unos sobre otros y uniéndose de manera tal que los primeros se muevan hacia los segundos (Graziati *et al.*, 2010).

La presencia de adenosintrifosfato (ATP) en el músculo *in vivo* permite que la cabeza de miosina en el filamento grueso se desprenda y se relaje cuando se encuentra unido a la actina. En *post-mortem* la contracción y el acortamiento ocurre en las miofibrillas y el sarcómero cuando todavía hay presencia de ATP, una vez agotado la unión de la miosina a la actina forman el complejo actomiosina, que da como resultado el *rigor mortis*, que son músculos rígidos e inextensibles (Warner, 2015).

#### **4.4. Tipos de fibras musculares**

De acuerdo a un conjunto de características morfológicas, enzimáticas y funcionales, las fibras musculares se pueden distinguir en fibras rojas, blancas e intermedias. Asimismo, se clasifican de acuerdo a dos criterios: a) velocidad de contracción y b) tipo de metabolismo energético regenerador de ATP. Sin embargo, la clasificación más empleada es la que se basa en el color, las fibras rojas son de diámetro pequeño y muy vascularizadas, contienen una

gran cantidad de mioglobina (alta afinidad por el oxígeno) y mitocondrias, que están dispuestas en filas entre las miofibrillas y los acúmulos por debajo del sarcolema, son de contracción lenta. Las fibras blancas poseen un diámetro mayor, menor cantidad de mioglobina y mitocondrias, que se disponen entre las miofibrillas al nivel de la banda I y son de contracción rápida (Télles, 2004).

Gran parte de los músculos son de composición heterogénea y están conformados por distintos tipos de fibras, por lo que su composición depende de las funciones que realiza el músculo (Ruusunen, y Puolanne, 1997):

- a) *Músculos oxidativos y de contracción lenta.* Son músculos responsables del mantenimiento de la postura corporal, participan en la realización de movimientos repetitivos y lentos con el mínimo gasto de energía, de modo que, como respuesta a un estímulo, son músculos lentos en contraerse. Están constituidos por un elevado porcentaje de fibras Tipo I, SO ó  $\beta$ R, y utilizan a la glucosa y a la grasa como sustrato para generar energía. Contienen además un número elevado de mitocondrias e hidrolizan el ATP de manera tardada, por lo que son muy resistentes a la fatiga.
- b) *Músculos glucolíticos y de contracción rápida.* De respuesta rápida ante un estímulo y de veloz relajación cuando cesa el estímulo. Además, presentan alta actividad de miosina-ATPasa, que se requiere cuando el movimiento es rápido, pero el músculo se fatiga enseguida. Contienen pocas mitocondrias y más glucógeno. Las fibras características son las del Tipo IIB, FG ó  $\alpha$ W en este tipo de músculos.
- c) *Músculos oxidativos y de contracción rápida.* Son parecidos a los glucolíticos en velocidad de contracción, pero con una velocidad de acortamiento ligeramente más lenta. Están adaptados para realizar movimientos rápidos y repetitivos, además son los primeros en utilizarse después de las fibras oxidativas de contracción lenta. Cuentan con un mayor número de mitocondrias en comparación con los músculos glucolíticos, por lo que el músculo se recupera con mayor rapidez de los efectos del

ejercicio. Las fibras que predominan a este tipo de músculos son Tipo IIA, FOG ó  $\alpha R$ .

La composición de las fibras musculares depende de distintos factores tales como, la especie animal, tipo de músculo, dieta, actividad física y la temperatura ambiente que impacta de manera fuerte al metabolismo energético (Sosniki, 1998). En el Cuadro 11, se pueden observar características bioquímicas y fisiológicas de los diferentes tipos de fibras.

**Cuadro 11.** Características de los tipos de fibras musculares en la carne.

Característica	Tipo I (Lenta oxidativa)	Tipo IIA (Rápida glucolítica oxidativa)	Tipo IIB (Rápida glucolítica)
Función	Postura	Movimiento	Movimiento
Vel. Contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Tipo de fibra	$\beta R$	$\alpha R$	$\alpha W$
Diámetro	Pequeño	Grande	Grande
Color	Rojo intenso	Rosado	Blanco
Mioglobina	Alto	Bajo	Muy bajo
Miofibrillas	Pocas	Intermedias	Muchas
Capilarización	Alta	Intermedia	Baja
Motoneurona	Pequeña ( $\alpha-1$ )	Grande ( $\alpha-2$ )	Grande ( $\alpha-2$ )
Descarga nerviosa	Tónica (100-200 ms)	Intermedia	Fásica (40-59ms)
Fatigabilidad	Poco fatigable	Fatigable	Muy fatigable
Mitocondrias	Muchas y grandes	Intermedias	Pocas y pequeñas
Lípidos	Alto	Medio	Bajo
Triglicéridos	Alto	Medio	Bajo
Glucógeno	Bajo	Alto	Alto
Retículo sarcoplasmático	Bajo	Alto	Alto
Propiedad contráctil	Tensión baja Duración alta	Intermedia	Tensión alta Duración baja
Vía metabólica predominante	Oxidación aeróbica	Glucólisis aeróbica y anaeróbica	Glucólisis anaeróbica
SDH (Enzima oxidativa)	Muy elevada	Alta	Baja
FPK (Enzima glucolítica)	Baja	Intermedia	Alta

Fuente: Tomado y adaptado de (Télles, 2004).

Como se puede observar los músculos no son homogéneos, difieren en la proporción del tipo de fibras, en su composición bioquímica y la velocidad de inicio del *rigor mortis*. Además,

dentro de un mismo músculo las fibras pueden entrar en rigor en diferente momento; aunado a ello, el efecto de la temperatura en los procesos metabólicos (Kim *et al.*, 2014).

#### 4.5. Rigor mortis

El proceso de *rigor mortis* o rigidez cadavérica, es la etapa inicial en la transformación del músculo en carne. El cual consiste en la pérdida gradual del músculo para generar ATP y, finalmente cuando el ATP se agota, la miosina se une irreversiblemente a la actina, para formar el complejo actomiosina, y la producción de ácido láctico se estabiliza (Acevedo, 2004).

Después de la muerte del animal, el suministro de sangre se detiene, lo que conduce a la anoxia en todos los órganos y tejidos. La anoxia del músculo esquelético produce cambios dramáticos en el metabolismo, puesto que el músculo trata de mantener su temperatura y la contracción normal, lo que provoca el consumo total de ATP, este descenso en los niveles de ATP impide la relajación muscular debido al aumento de  $Ca^{2+}$  en el retículo sarcoplásmico. Asimismo, la baja temperatura limita la eficacia de la bomba de iones de calcio y consecuentemente las uniones de actina-miosina, estableciéndose así el estado de “*rigor mortis*” (Lawrie, 1998; Forrest *et al.*, 2001).



**Figura 2.** Diagrama de conversión de músculo a carne

Fuente: Dominio público

La finalización del *rigor mortis* ocurre de 1 a 12 h *post-mortem*, y dependerá principalmente de las especies, el tipo de fibra muscular y las condiciones *ante* y *post-mortem*. En las aves el proceso de *rigor mortis* se establece muy rápido, el tiempo promedio es de 1 a 2 h, pero también puede observarse entre los 10 min y las 4 h. El tiempo máximo establecido está entre las 2 y 8 h *post-mortem* (Wang *et al.*, 2011). De manera similar, en cerdos el tiempo promedio es de 2 a 3 h, pero se ha encontrado que puede iniciar desde los 15 min a las 3 h. Para el caso de la especie bovina, el tiempo estimado está entre las 6 y las 12 h (Bechtel, 1986). Durante el *post-mortem*, que es el tiempo de maduración de la carne, la degradación proteolítica de las proteínas del citoesqueleto provoca la pérdida de la integridad estructural del músculo, y por ende, una disminución de la tensión muscular (Matarneh *et al.*, 2017).

#### **4.6. Factores de deterioro en la carne**

La carne es un alimento que por su composición es muy susceptible a la descomposición. La actividad enzimática endógena, la forma y la temperatura de almacenamiento, el envase, la humedad, la luz, el oxígeno atmosférico y los microorganismos (Zhou *et al.*, 2010), así como otros factores relacionados con la especie animal, el tipo de corte de carne, contenido de grasa y hemoproteína influyen de manera significativa en la frescura y vida útil de la carne fresca (Shahidi, 2016).

Los procesos oxidativos son una de las principales causas de deterioro en la carne, sucede en la conversión de músculo a carne, durante el procesamiento de la carne o en el almacenamiento (Cunha *et al.*, 2018). Los cambios bioquímicos que se generan en el proceso de conversión de músculo a carne, provoca la interrupción del equilibrio del sistema antioxidativo y pro-oxidativo *in vivo*, que predispone a las reacciones oxidativas en la etapa posterior al proceso de matanza (Kumar *et al.*, 2015). Estos cambios oxidativos en la carne han sido implicados como una de las principales causas de pérdida de calidad y deterioro en la carne, conducen al desarrollo de sabores, olores desagradables y alteraciones del color. Aunado a ello, hay una reducción del valor nutritivo de la carne y se generan compuestos secundarios potencialmente nocivos para la salud del consumidor (Falowo *et al.*, 2014).

Los mecanismos de acción implicados en el proceso de oxidación de la carne son complejos e irreversibles, producen efectos adversos especialmente sobre los lípidos y las proteínas, así también como en los ácidos nucleicos (Shahidi, 2016) y es un fenómeno común en la carne en condiciones de almacenamiento convencionales.

#### **4.7. Oxidación lipídica**

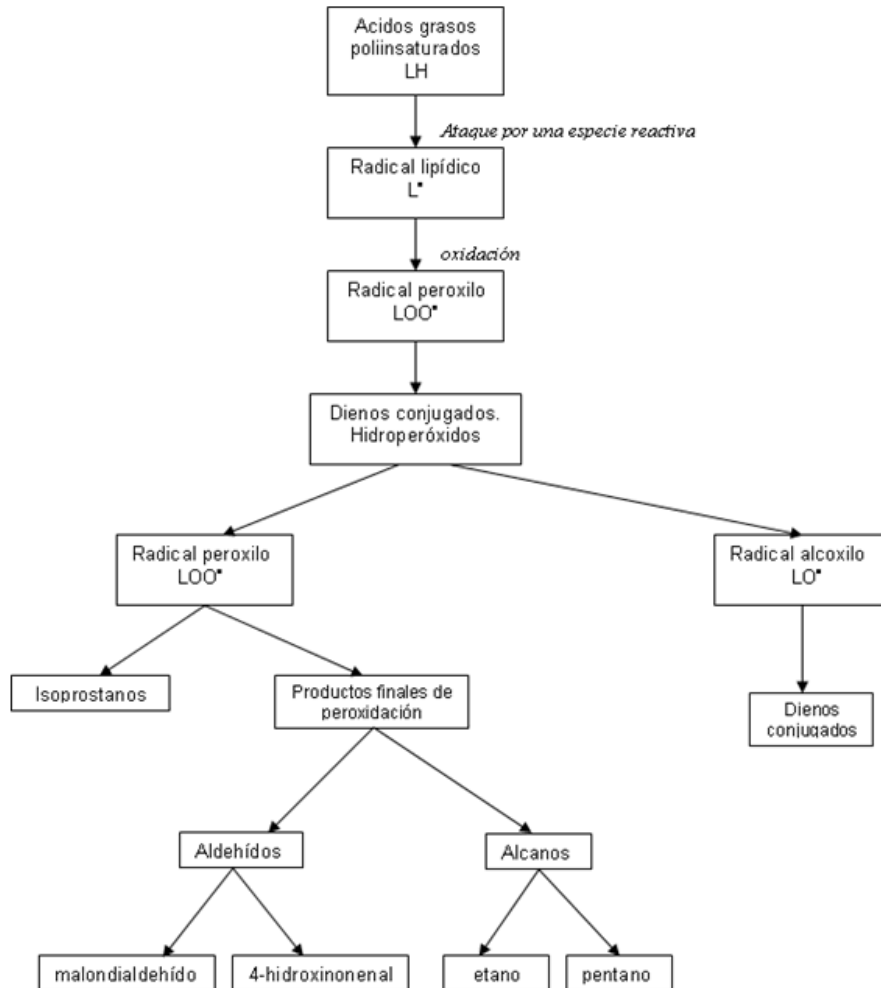
El proceso de oxidación de lípidos en la carne inicia inmediatamente después del proceso de matanza, se extiende durante la etapa *post-mortem*, continúa en el procesamiento e incluso hasta el almacenamiento (Mariutti y Bragagnolo, 2017). La oxidación se caracteriza por la pérdida de uno o más electrones, esto sucede generalmente cuando se pierden átomos de hidrógeno y resulta con la adición de oxígeno molecular (Papuc *et al.*, 2017). Es una reacción en cadena dependiente del oxígeno, que suscita el deterioro de los ácidos grasos insaturados de los fosfolípidos presentes en la membrana celular y genera radicales libres (Lorenzo *et al.*, 2018).

El principal mecanismo de oxidación de lípidos en la carne es la autooxidación, proceso que involucra reacciones del oxígeno triplete ( $^3\text{O}_2$ ) con compuestos orgánicos. El  $^3\text{O}_2$  es un diradical por lo que puede reaccionar rápidamente con especies radicales; sin embargo, no puede reaccionar con ácidos grasos insaturados. Para ello, es necesario un iniciador para eliminar un electrón del ácido graso insaturado y generar un radical para que reaccione con el oxígeno triplete (Mariutti y Bragagnolo, 2017). No obstante, cuando los dos electrones libres del oxígeno triplete emparejan en dos orbitales distintos, forman al oxígeno singlete ( $^1\text{O}_2$ ), especie muy reactiva con moléculas ricas en electrones, tal como los ácidos grasos insaturados (debido a que los dos electrones del oxígeno con espines opuestos permite que puedan reaccionar fácilmente) (Turrens, 2003). Por tales motivos, la autooxidación de lípidos es un fenómeno que reacciona en cadena provocado por radicales libres que sucede a través de la clásica vía de iniciación, propagación y terminación (Shahidi, 2016). Los principales productos generados son hidroperóxidos y compuestos volátiles (Joseph, 2016). La formación de estos productos genera reacciones de degradación y compuestos inestables tales, como aldehídos, cetonas, ácidos y alcoholes (Lorenzo *et al.*, 2018).

El mecanismo oxidativo en lípidos, es provocado por especies oxidantes reactivas y sucede en tres etapas (Figura 3):

1. La **fase de iniciación** se produce en presencia de incitadores tales como el calor, la luz, radiación ionizante, iones metálicos, radicales libres, pigmentos y especies reactivas al oxígeno (ROS) y al nitrógeno (RNS) (Mariutti y Bragagnolo, 2017). En esta fase, el ácido graso poliinsaturado recibe un átomo de hidrógeno, para generar un radical alquilo ( $R\cdot$ ) en el átomo de carbono del ácido graso, que es donde requiere menor cantidad de energía (Akoh y Min, 2002).
2. Durante la **fase de propagación**, los radicales alquilo reaccionan con el oxígeno y conducen a la formación de radicales peroxilo ( $ROO\cdot$ ), éstos reaccionan con otros ácidos grasos insaturados y se forman hidroperóxidos ( $ROOH$ ). Debido a que en esta etapa se producen diversos hidroperóxidos y a su alta inestabilidad, son susceptibles a descomponerse generando nuevos radicales. Una gran parte de los hidroperóxidos generados son hidroperóxidos conjugados (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009). La descomposición de estos hidroperóxidos genera compuestos de bajo peso molecular, tales como aldehídos, hidrocarburos, alcoholes, cetonas y compuestos aromáticos volátiles, que se les conoce como productos secundarios de la oxidación lipídica (Chaiyasit *et al.*, 2007).
3. Finalmente, las últimas dos reacciones de **terminación** tienen la capacidad de romper con la etapa de propagación de radicales; es decir, con el acoplamiento radical-radical y la desproporción radical-radical, las cuales generan dos productos estables (aldehídos y alcanos) (Akoh y Min, 2002).





**Figura 3.** Mecanismo de oxidación de lípidos

Fuente: Céspedes y Castillo, 2008.

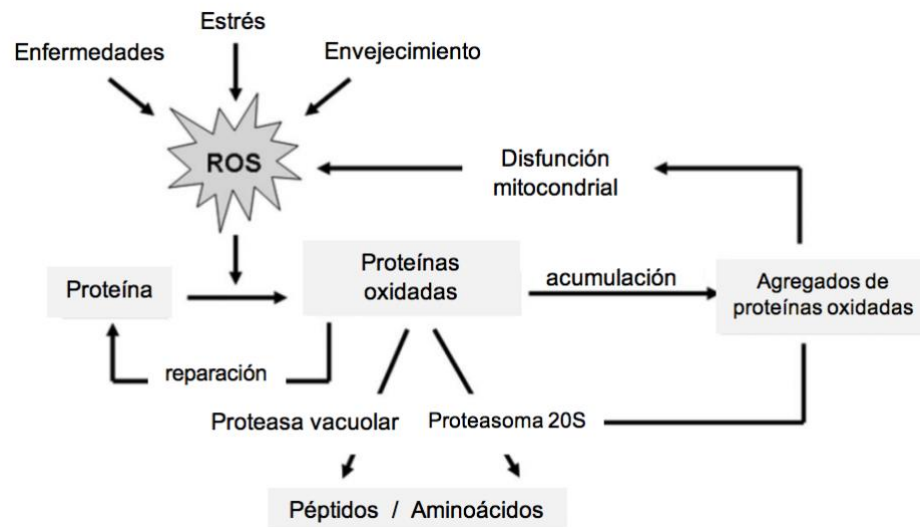
Es conocido, que la velocidad y los productos de oxidación dependen de factores internos y externos (Lorenzo y Pateiro, 2013). La especie animal, el tipo de músculo, enzimas, el contenido de grasa y ácidos grasos; así como los antioxidantes endógenos forman parte de los factores internos; mientras que, los factores externos hacen referencia a las condiciones de procesamiento (picado, curado, calor, irradiación, etc.), a la concentración de oxígeno y a las condiciones de almacenamiento (Pateiro *et al.*, 2014).

#### 4.8. Oxidación proteica

El tejido muscular contiene una alta cantidad de proteína, por lo que desempeña un papel importante en la calidad y evaluación de la carne (Falowo *et al.*, 2014). La oxidación proteica, se refiere a las modificaciones postraduccionales de una proteína, inducida de forma directa por especies reactivas al oxígeno o por especies reactivas al nitrógeno y también de manera indirecta mediante reacción con del estrés oxidativo (Lorenzo *et al.*, 2018).

Existen tres formas de modificación de la proteína, el primero de ellos es la escisión del péptido mediado por radicales libres, la modificación oxidativa de un aminoácido específico, y la formación de una proteína de unión transversal, que es debido a la reacción con productos de la peroxidación de lípidos (Ribeiro *et al.*, 2019). La presencia de algunos aminoácidos como la cisteína, metionina, histidina y arginina, puede provocar vulnerabilidad en las proteínas para su oxidación, y su modificación mediada por radicales libres, además de aumentar la susceptibilidad a la proteólisis enzimática (Lobo *et al.*, 2010).

De acuerdo a Lund *et al.* (2010), la oxidación de proteínas ocurre de manera similar a la oxidación lipídica (Figura 4), a través de una reacción en cadena de radicales libres en el músculo animal. La fase de iniciación comienza con la abstracción de un átomo de hidrógeno de la proteína, por medio de las especies reactivas al oxígeno para generar un centrado en el carbono de la proteína radical, que en presencia del oxígeno se transforma en un radical peroxilo, y un peróxido de alquilo por abstracción de un átomo de hidrógeno de otra molécula. Algunas otras reacciones en presencia de HO<sub>2</sub> o con formas reducidas de metales de transición, conducen a la formación de un radical alcoxilo y su derivado hidroxilo. Al igual que otras macromoléculas, las proteínas son susceptibles a la oxidación, en especial la miosina al ser la más sensible, después de la troponina T (Martinaud *et al.*, 1997).



**Figura 4.** Oxidación de proteínas y proteólisis de las proteínas oxidadas.

Fuente: Costa *et al.*, 2007.

Otra vía para la oxidación de la proteína, se puede producir por medio de interacciones entre proteínas, en especial los centros de azufre o nitrógeno de los residuos de aminoácidos reactivos de la proteína y el hidroperóxido del lípido, o bien los productos secundarios de la oxidación de lípidos (aldehídos o azúcares reductores) (Falowo *et al.*, 2014).

Algunas de las consecuencias del daño oxidativo, es la modificación de la proteína en aminoácidos específicos, la fragmentación de la cadena peptídica, cambios conformacionales o alteración de la carga eléctrica (Shacter, 2000). En este sentido, los cambios oxidativos provocan cambios fisicoquímicos significativos en la carne, una disminución en el valor nutritivo, incluyendo una reducción en la biodisponibilidad de aminoácidos de la proteína, baja solubilidad, pérdida de la actividad proteolítica y una digestibilidad deteriorada (Lund *et al.*, 2010). Sin embargo, las principales consecuencias de la oxidación proteica sobre la calidad de la carne, se aprecia sobre todo a nivel color. La química del color de la carne se debe fundamentalmente al estado de la proteína muscular mioglobina, por lo tanto, aquellos músculos con un contenido elevado de este pigmento sufrirán las consecuencias de la oxidación proteica en mayor medida (Carreras, 2005).

Las reacciones de oxidación mencionadas anteriormente, están estrechamente relacionadas con el deterioro de la carne, por lo que disminuyen la calidad de la carne y afectan negativamente la percepción y satisfacción por parte del consumidor.

#### **4.9. Conservación de la carne**

La carne es un alimento de alto valor nutritivo, pero muy perecedero, dado su composición química la hace susceptible al deterioro y al crecimiento microbiano. Los principios de conservación de la carne se asocian principalmente a la inhibición microbiana y a reducir al mínimo los cambios asociados a la oxidación (Zhou *et al.*, 2010). Existen diversos factores que influyen considerablemente en la calidad y vida útil de la carne, específicamente son la temperatura de conservación, la presencia de luz y oxígeno atmosférico, enzimas endógenas, y las cepas microbianas. La combinación de estos factores, dan lugar a cambios perjudiciales en el color, olor, textura y sabor de la carne (Faustmann y Cassens, 1990).

Los procesos utilizados en la conservación de los alimentos buscan evitar la pérdida de peso y provocar cambios sensoriales. Estos se basan generalmente en el control de la temperatura, reducción de la actividad de agua, o la adición de aditivos químicos. Actualmente, el almacenamiento de la carne es controlado por refrigeración, congelación y otros métodos, como atmósferas modificadas, altas presiones o curado (Ledward, 2003). Sin embargo, las nuevas tecnologías de conservación buscan ser de inactivación no térmica, aplicar nuevos sistemas de envasado, adicionar compuestos activos naturales o biopreservar. Todas estas tecnologías intentan tener un mínimo o nulo impacto en la calidad de la carne, ahorrar energía, cuidar el medio ambiente y garantizar inocuidad en el alimento (Zhou *et al.*, 2010).

##### **4.9.1. Antioxidantes**

Los antioxidantes se definen como “cualquier sustancia que cuando está presente en bajas concentraciones en comparación con la de un sustrato oxidable, retrasa o inhibe significativamente la oxidación de ese sustrato” (Halliwell y Gutteridge, 1995). El uso más común de los antioxidantes en los alimentos se utiliza para disminuir o retardar los efectos nocivos de la oxidación. Estos se clasifican en primarios o secundarios, de acuerdo a sus

mecanismos de acción antioxidante, aunque existen antioxidantes multifuncionales que exhiben propiedades de los primarios y secundarios (Hermund, 2018).

Los principales antioxidantes son los primarios, también llamados antioxidantes de rotura de cadena, los cuales poseen la capacidad de reaccionar de manera directa con los radicales libres, por medio de la transformación de éstos a productos más estables (Hermund, 2018). Su mecanismo de acción es donar un átomo de hidrógeno o un electrón a un radical, y con ello interrumpir el proceso de propagación de cadena de los radicales libres (Berdahl *et al.*, 2010). Este tipo de antioxidantes son importantes en la oxidación de lípidos, puesto que pueden reaccionar con los radicales de los lípidos que se han formado y convertirlos en compuestos no radicales, para sí dificultar la descomposición de los lípidos (Decker, 2010). Algunos antioxidantes primarios eficientes, son los compuestos fenólicos debido a que poseen más de un grupo hidroxilo y a su capacidad de donar átomos de hidrógeno a los radicales libres, lo que provoca la formación de radicales fenoxilo, compuestos relativamente no reactivos (Hermund, 2018). Existen compuestos fenólicos de origen natural como los tocoferoles, tocotrienoles, carvacrol, timol, ácido carnósico o el ácido cafeico, que son de rotura de cadena (Jamilah *et al.*, 2008). Mientras que, el hidroxitolueno butilado (BHT), el hidroxianisol butilado (BHA) y el galato de propilo, son compuestos fenólicos sintéticos eficientes y ampliamente utilizados como conservadores alimenticios (Weiss *et al.*, 2010).

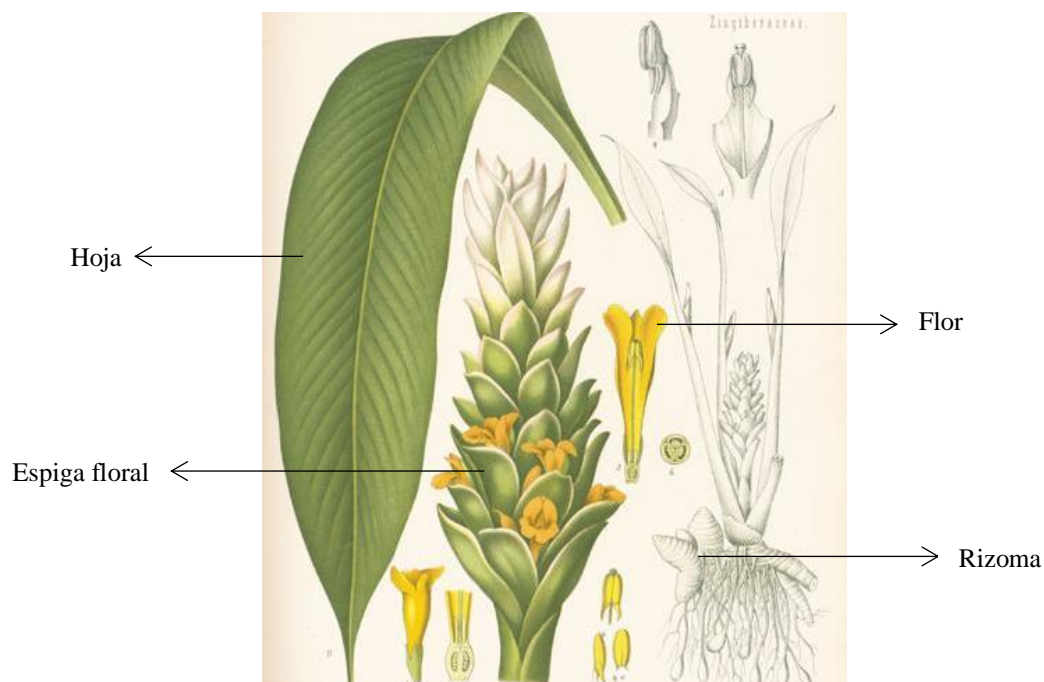
Los antioxidantes secundarios, son aquellas sustancias que trabajan de manera directa en limitar la oxidación de lípidos, y reaccionar con hidroperóxidos, convirtiéndolos en productos más estables y, por lo tanto, en no radicales. Sus mecanismos de acción incluyen la eliminación de oxígeno singlete (en la fotooxidación), quelación de metales transición y la eliminación de oxígeno (Decker, 2010). Asimismo, algunos antioxidantes secundarios trabajan de manera sinérgica mediante la restauración y regeneración de la actividad antioxidante de los compuestos primarios (Hermund, 2018).

Los antioxidantes sintéticos como el BHT y el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), son excelentes quelantes de metales, baratos y fáciles de usar. Sin embargo, su uso está restringido por su toxicidad y riesgos a la salud (Linderschmidt *et al.*, 1986). Por tal motivo,

existe un gran interés en el uso de antioxidantes de origen vegetal, tales como el ácido ascórbico, fenoles, carotenoides, ácido cítrico y ácido fosfórico, que son potencialmente beneficiosos para la salud (Halliwell, 1996).

#### 4.9.2. Cúrcuma

La cúrcuma (*Curcuma longa* L.) conocida como jengibre amarillo o yuquilla amarilla, es una planta perenne que pertenece a la familia Zingiberaceae (Figura 5) y es nativa del sur de Asia (Arteche *et al.*, 1999).



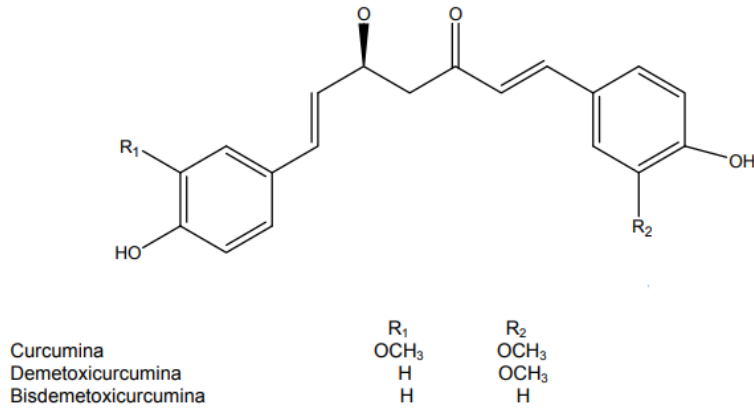
**Figura 5.** Ilustración de la cúrcuma (*Curcuma longa* L.) por Franz Eugen Kohler, 1887.

Se caracteriza por tener un rizoma de color amarillo-naranja intenso y comúnmente utilizada como una especia en la industria alimentaria y en la cultura asiática, su resina es utilizada como agente saborizante y colorante (Goel *et al.*, 2008). Además, es considerada como un recurso de oro por su gran potencial en la medicina, belleza, cocina y como tinte natural (Das, 2016). Antiguamente, se le consideraba una planta mágica dadas sus características sensoriales y sus propiedades medicinales. En países asiáticos se utiliza como una hierba medicinal para numerosas patologías, debido a su actividad anti-radical, antiinflamatoria,

anti-mutagénica, antimicrobiana y anticancerígena. Aunado a ello, se ha demostrado que tiene efectos antisépticos, antioxidantes, colagogos, adaptogénicos, antihiperlipidémicos, analgésicos y hepato-protectores. (Pulido-Moran *et al.*, 2016).

Entre los principales componentes de la cúrcuma están los carbohidratos (4.7-8.2%), aceites esenciales (2.44%), ácidos grasos (1.7-3.3%) y polifenoles del grupo curcuminoides cuyo contenido aproximado está entre el 2 y el 5% (Srinivas *et al.*, 1992). Entre los polifenoles más importantes se encuentran, la curcumina (77%), demethoxycurcumin (17%), bisdemethoxycurcumin (3%) y ciclocurcumin (3%) (Heger *et al.*, 2014). La curcumina (1,7-Bis-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona) o diferuloilmetano (Figura 6) es la principal sustancia causante del color amarillo característico de los rizomas. Es una molécula lipófila y un compuesto polifenólico, con un peso molecular de 368.37 g mol<sup>-1</sup> y un punto de fusión de 183 °C (Tapal y Tiku, 2012), soluble en solventes orgánicos como el metanol, etanol, hexano, dimetilsulfóxido y acetona (Casas *et al.*, 2009; Nwoso *et al.*, 2009).

Algunos estudios (Ak y Gülçin, 2008; Bengmark *et al.*, 2009; Singh y Sharma, 2011) han demostrado que la curcumina tiene actividad farmacológica, antioxidante, antineoplásica, antiviral, antiinflamatoria, antibacteriana, antifúngica, antidiabética, anticoagulante, antifertilidad, protector cardiovascular, hepatoprotector e inmunoestimulante en animales y por lo tanto, podría ser uno de los componentes responsable de la bioactividad del rizoma de esta planta. Por lo que, esta sustancia tiene una amplia gama de propiedades benéficas para la salud (Selvam *et al.*, 1995).



**Figura 6.** Estructura química de los principales curcuminoides presentes en la cúrcuma (*Curcuma longa* L.)

Fuente: Alvis, 2012.

Una de sus principales propiedades, es su actividad antioxidante, dada su capacidad para retirar especies reactivas al oxígeno (ROS), tales como el radical hidroxilo, el radical superóxido, el oxígeno singlete, el dióxido de nitrógeno, el óxido nítrico y el peróxido de hidrógeno (Parshad *et al.*, 1998; Priyadarsini, 1997; Sreejayan y Rao, 1996). En virtud de su capacidad para eliminar distintos tipos de ROS, la curcumina puede reducir el daño oxidativo de los lípidos, proteínas y el ADN (Singh *et al.*, 2011). Mukherjee *et al.* (2007) determinaron que la curcumina puede neutralizar el daño provocado por ROS incitado por la toxicidad del arsénico, al aumentar el contenido de enzimas de detoxificación catalasa, glutatión, superóxido dismutasa y disminuir el nivel de oxidación lipídica. Mientras que, Lima *et al.* (2010) observaron que la curcumina responde al estrés celular en los fibroblastos de la piel humana, por medio de las señales redox y de la ruta fosfatidil inositol-3-quinasa, asociando que estimula defensas antioxidantes celulares en el cuerpo humano.

En la adaptación celular al estrés, el glutatión juega un papel muy importante como antioxidante intracelular, algunos estudios *in vitro*, exhiben que la curcumina aumenta niveles de glutatión celular (Dickinson *et al.*, 2004). Hussain *et al.* (2017), Chan *et al.* (2011), Ak y Gülçin, (2008), Srinivas *et al.* (1992) exponen la capacidad antioxidante de la cúrcuma, tanto de la curcumina como de los péptidos y los residuos de metionina, en comparación con



la vitamina C y E. La bioactividad de la cúrcuma, se le atribuye principalmente a los compuestos fenólicos y aceites volátiles producidos en las rutas del metabolismo secundario. (Tilak *et al.*, 2004; Ramsewak *et al.*, 2000; Arteché *et al.*, 1999; Kuttan y Kuttan, 1999).

#### **4.10. Películas comestibles**

Los empaques tienen la función de conservar, proteger y mantener la integridad y calidad de los alimentos (Reséndiz *et al.*, 2013). Incluso, se han desarrollado envases activos y empaques inteligentes que ofrecen numerosos e innovadores beneficio para prolongar la vida útil y mantener las propiedades sensoriales de los alimentos (Guilbert *et al.*, 2006). Por otro lado, los consumidores demandan productos alimenticios frescos y de calidad, pero también se preocupan por obtener empaques que tengan un bajo impacto con el medio ambiente. Derivado de ello, en los últimos años se ha incrementado notablemente las investigaciones en el desarrollo de películas comestibles, además de su diversificación y tipo de aplicación (Dehghani *et al.*, 2018).

Las películas comestibles son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas y polisacáridos que funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases, humedad y nutrientes (Del Valle *et al.*, 2005). Además, sirven de vehículo para un amplio rango de compuestos bioactivos que preservan la calidad de los alimentos. El desarrollo de estas películas, deben ser seguras para el consumo humano, aceptables para los consumidores y sobre todo proporcionar un valor agregado al alimento (Baldwin *et al.*, 2012). Rojas-Graü *et al.* (2009) mencionan que las películas comestibles en alimentos perecederos como la carne, están condicionados a parámetros como el costo, la disponibilidad, la funcionalidad, las propiedades mecánicas, ópticas y de barrera, la aceptabilidad sensorial y la actividad antimicrobiana.

##### **4.10.1. Composición**

El desarrollo de películas comestibles se basa en la utilización de matrices complejas con distintas mezclas de biopolímeros y compuestos bioactivos, aplicado en combinación con otros tratamientos de conservación (atmósferas modificadas, vacío, altas presiones, irradiación, etc.) (Gómez-Estaca *et al.*, 2007; Cutter, 2006). Asimismo, como de buenas

prácticas de higiene y condiciones de almacenamiento adecuadas, que contribuyan a mejorar la calidad e inocuidad del alimento. Aunque, dependiendo del alimento, existe una disposición para la selección de una película sobre otra, factores que incluyen principalmente las características específicas del tipo de carne, la temperatura *post-mortem* y de conservación, el proceso de aplicación, almacén apropiado, entre otros (Montero *et al.*, 2012).

De acuerdo a su composición las películas comestibles se clasifican en tres categorías: hidrocoloides, lípidos y compuestos. Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de celulosa, alginato, pectina, almidón y otros polisacáridos. Los lípidos comprenden ácidos grasos, acilglicerol y ceras. Mientras que los compuestos contienen componentes de hidrocoloides y lípidos (Donhowe y Fennema, 1994). A menudo se agregan plastificantes, que son sustancias no volátiles con alto punto de fusión, tales como glicerol, polietilenglicol o sorbitol, para modificar las propiedades mecánicas de la película, tales como la flexibilidad, fuerza y resistencia. Además, se pueden añadir distintos aditivos que faciliten su función como agente de reticulación (Flores *et al.*, 2010).

Janes y Dai, (2012) menciona que las películas de un solo componente generalmente poseen una buena barrera o tienen buenas propiedades mecánicas, pero típicamente no ambas. Por lo que, en la formación de películas se combinan dos o más componentes para mejorar sus propiedades y la adherencia a la superficie del alimento (Baldwin *et al.*, 2012). Las tendencias actuales en la elaboración de películas para carne y productos cárnicos, se basan en la utilización de matrices complejas con distintas mezclas de biopolímeros y compuestos bioactivos, aplicado en combinación con otros tratamientos (atmósferas modificadas, vacío, altas presiones, irradiación, etc.) (Gómez-Estaca *et al.*, 2007; Cutter, 2006).

#### **4.10.2. Producción de películas comestibles**

Las películas comestibles se obtienen por distintos métodos como el vertido en placa, extrusión o laminación, mediante procesos similares a los utilizados en la industria de polímeros sintéticos. La técnica más utilizada ha sido el vertido en placa, durante este procedimiento la solución filmogénica, el plastificante y los agentes reticulantes se disuelven,

se vierten en placas de acrílico, se moldean en una fina capa y se seca a peso constante hasta formar una película (Janes y Dai, 2012). Mediante esta técnica las películas se pueden remover fácilmente de las placas, permitiendo modificar la relación entre la masa de solución y el área de moldeo (espesor), así como también de las condiciones de secado (López *et al.*, 2012).

#### **4.10.3. Películas con propiedades activas**

El enriquecimiento de las películas comestibles con ingredientes activos permite mejorar aspectos de calidad nutricional, sensorial y de seguridad, sin afectar la integridad del alimento. Estos ingredientes sobresalen por su capacidad para transportar sustancias activas, tales como agentes antimicrobianos, antioxidantes, estabilizadores de textura, saborizantes, colorantes, vitaminas, entre otros ingredientes (Rojas-Graü *et al.*, 2012). La incorporación de compuestos antioxidantes es la estrategia más utilizada para conferir estabilidad, especialmente a los lípidos de la carne, ya que, pueden actuar como filtro a luz visible y ultravioleta, evitar la rancidez del producto y la pérdida de color, así como de mantener su valor nutritivo y su potencial bioactivo (Burt, 2004).

De la amplia gama de antioxidantes para uso alimentario se pueden emplear compuestos fenólicos sintéticos como el Butilhidroxitolueno (BHT), Butilhidroxianisol (BHA), terbutilhidroquinona (TBHQ) y tocoferoles para evitar la oxidación lipídica (Montero *et al.*, 2012). No obstante, en los últimos años ha incrementado el interés por la utilización de antioxidantes naturales, los cuales al ser añadidos protegen los lípidos de la carne frente a la oxidación (Kim *et al.*, 2012). El uso de este tipo de empaques resulta en una estrategia potencialmente efectiva para retardar los cambios oxidativos en la carne.

## 5. Literatura citada

- Ak, T., Gülçin, İ., 2008. Antioxidant and radical scavenging properties of curcumin. *Chem. Biol. Interact.* 174, 27–37. <https://doi.org/10.1016/J.CBI.2008.05.003>
- Akoh, C.C., Min, D.B., 2002. Food Lipids. <https://doi.org/10.1201/9780203908815>
- Bechtel, P.J., 1986. Muscle as food. Academic Press.
- Belitz, H.D., Grosch, W., Schieberle, W., 2009. Food Chemistry, 4th ed. Springer, Heidelberg, Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
- Berdahl, D.R., Nahas, R.I., Barren, J.P., 2010. 12 - Synthetic and natural antioxidant additives in food stabilization: current applications and future research, en: Decker, E.A.B.T.-O. in F. and B. and A.A. (Ed.), Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, pp. 272–320. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857090447.2.272>
- Brewer, M.S., 2014. CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MEAT | Water-Holding Capacity. *Encycl. Meat Sci.* 274–282. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00247-6>
- Burt, S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *Int. J. Food Microbiol.* 22, 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Chaiyasit, W., Elias, R.J., McClements, D.J., Decker, E.A., 2007. Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47, 299–317. <https://doi.org/10.1080/10408390600754248>
- Chan, E.W., Ng, V.P., Tan, V.V., Low, Y.Y., 2011. Antioxidant and Antibacterial Properties of *Alpinia galanga*, *Curcuma longa*, and *Etilingera elatior* (Zingiberaceae). *Pharmacogn. J.* 3, 54–61. <https://doi.org/10.5530/PJ.2011.22.11>
- Cunha, L.C.M., Monteiro, M.L.G., Lorenzo, J.M., Munekata, P.E.S., 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 Res. Int.* 111, 379–390. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.05.041>
- Dehghani, S., Hosseini, S.V., Regenstein, J.M., 2018. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chem.* 240, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>

- Falowo, A.B., Fayemi, P.O., Muchenje, V., 2014. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Res. Int.* 64, 171–181. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2014.06.022>
- FAOSTAT, 2017. Livestock Primary. Metadata. [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> (consultado 8.16.18).
- FIRA, 2018. Panorama Agroalimentario | Carne de bovino 2017 Contenido 1.
- FIRA, 2017. Panorama Agroalimentario | Avicultura carne 2016 Contenido 1.
- Graziati, G.; Ríos, C.; Basso, L., 2010. Las fibras musculares esqueléticas y la producción de carne en el cerdo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 20, 145–159.
- Guilbert, S., Gontard, N., Gorris, L.G.M., 2006. Prolongation of the Shelf-life of Perishable Food Products using Biodegradable Films and Coatings. *LWT - Food Sci. Technol.* 29, 10–17. <https://doi.org/10.1006/FSTL.1996.0002>
- Gul, K., Singh, P., Wani, A.A., 2016. Safety of Meat and Poultry, en: *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods*. Elsevier, pp. 63–77. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800605-4.00004-9>
- Halliwell, B., 1996. Commentary Oxidative Stress, Nutrition and Health. *Experimental Strategies for Optimization of Nutritional Antioxidant Intake in Humans*. *Free Radic. Res.* 25, 57–74. <https://doi.org/10.3109/10715769609145656>
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C., 1995. The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radic. Biol. Med.* 18, 125–126. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)91457-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)91457-3)
- Hermund, D.B., 2018. 10 - Antioxidant Properties of Seaweed-Derived Substances, en: Qin, Y.B.T.-B.S. for F.A. (Ed.), . Academic Press, pp. 201–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00010-8>
- Hussain, Z., Thu, H.E., Amjad, M.W., Hussain, F., Ahmed, T.A., Khan, S., 2017. Exploring recent developments to improve antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial efficacy of curcumin: A review of new trends and future perspectives. *Mater. Sci. Eng. C* 77, 1316–1326. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.226>
- INEGI, 2018. PRODUCTO INTERNO BRUTO A PRECIOS CORRIENTES (Estructura porcentual).
- Janes, M.E., Dai, Y., 2012. Edible films for meat, poultry and seafood, *Advances in Meat*,

- Poultry and Seafood Packaging. Woodhead Publishing Limited.  
<https://doi.org/10.1533/9780857095718.4.504>
- Joseph, P., 2016. Oxidative Stability and Shelf Life of Bulk Animal Fats and Poultry Fats. *Oxidative Stab. Shelf Life Foods Contain. Oils Fats* 233–249.  
<https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00006-9>
- Kim, I.H., Yang, H.J., Noh, B.S., Chung, S.J., Min, S.C., 2012. Development of a defatted mustard meal-based composite film and its application to smoked salmon to retard lipid oxidation. *Food Chem.* 133, 1501–1509.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.040>
- Kim, Y.H.B., Warner, R.D., Rosenvold, K., 2014. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Anim. Prod. Sci.* 54, 375–395.
- Kumar, Y., Yadav, D.N., Ahmad, T., Narsaiah, K., 2015. Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 14, 796–812. <https://doi.org/doi:10.1111/1541-4337.12156>
- Ledward, D.A., 2003. MEAT | Preservation, en: Caballero, B. (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. Academic Press, Oxford, pp. 3772–3777.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00752-5>
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Chandra, N., 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacogn. Rev.* 4, 118–126.  
<https://doi.org/10.4103/0973-7847.70902>
- Lorenzo, J.M., Pateiro, M., 2013. Influence of fat content on physico-chemical and oxidative stability of foal liver pâté. *Meat Sci.* 95, 330–335.  
<https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2013.04.045>
- Lorenzo, J.M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F.J., Putnik, P., Kovačević, D.B., Shpigelman, A., Granato, D., Franco, D., 2018. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Res. Int.* 106, 1095–1104.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.12.005>
- Lund, M.N., Heinonen, M., Baron, C.P., Estévez, M., 2010. Protein oxidation in muscle foods: A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 55, 83–95.  
<https://doi.org/10.1002/mnfr.201000453>

- Mariutti, L.R.B., Bragagnolo, N., 2017. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food Res. Int.* 94, 90–100. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.02.003>
- Martinaud, A., Mercier, Y., Marinova, P., Tassy, C., Gatellier, P., Renerre, M., 1997. Comparison of Oxidative Processes on Myofibrillar Proteins from Beef during Maturation and by Different Model Oxidation Systems. *J. Agric. Food Chem.* 45, 2481–2487. <https://doi.org/10.1021/jf960977g>
- Matarneh, S.K., England, E.M., Scheffler, T.L., Gerrard, D.E., 2017. The Conversion of Muscle to Meat. *Lawrie's Meat Sci.* 159–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100694-8.00005-4>
- O'Sullivan, M.G., 2017. Sensory Properties Affecting Meat and Poultry Quality. *A Handb. Sens. Consum. New Prod. Dev.* 225–257. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100352-7.00011-7>
- O'Sullivan, M.G., 2016. The Stability and Shelf Life of Meat and Poultry, en: *The Stability and Shelf Life of Food*. Elsevier, pp. 521–543. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00018-6>
- OCDE-FAO, 2017. CARNE Situación del mercado.
- OECD, 2018. Meat consumption 2017 [WWW Document]. URL [https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/meat-consumption/indicator/english\\_fa290fd0-en](https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/meat-consumption/indicator/english_fa290fd0-en) (consultado 8.20.18).
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C.N., Nicorescu, V., 2017. Mechanisms of Oxidative Processes in Meat and Toxicity Induced by Postprandial Degradation Products: A Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 16, 96–123. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241>
- Pateiro, M., Lorenzo, J.M., Amado, I.R., Franco, D., 2014. Effect of addition of green tea, chestnut and grape extract on the shelf-life of pig liver pâté. *Food Chem.* 147, 386–394. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.09.153>
- Pérez, E.R., 1998. El sector pecuario en México: características y perspectivas. *Comer. Exter.* 38, 686–693.
- Ribeiro, J.S., Santos, M.J.M.C., Silva, L.K.R., Pereira, L.C.L., Santos, I.A., da Silva Lannes, S.C., da Silva, M.V., 2019. Natural antioxidants used in meat products: A brief review.

- Meat Sci. 148, 181–188. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.10.016>
- SAGARPA, 2017. La Ganadería en México | Fideicomiso de Riesgo Compartido | Gobierno | gob.mx [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/firco/articulos/la-ganaderia-en-mexico?idiom=es> (consultado 8.13.18).
- Shacter, E., 2000. Protein oxidative damage. *Methods Enzymol.* 319, 428–436. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(00\)19040-8](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(00)19040-8)
- Shahidi, F., 2016. Oxidative Stability and Shelf Life of Meat and Meat Products. *Oxidative Stab. Shelf Life Foods Contain. Oils Fats* 373–389. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00010-0>
- SIAP, 2018. Atlas agroalimentario 2012-2018. México. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Sierra, V., 2010. Evolución post-mortem de parámetros indicativos de calidad en carne de vacuno: efecto de la raza y el gen de la hipertrofia muscular.
- Singh, U., Barik, A., Singh, B.G., Priyadarsini, K.I., 2011. Reactions of reactive oxygen species (ROS) with curcumin analogues: Structure–activity relationship. *Free Radic. Res.* 45, 317–325. <https://doi.org/10.3109/10715762.2010.532493>
- Srinivas, L., Shalini, V.K., Shylaja, M., 1992. Turmerin: A water soluble antioxidant peptide from turmeric [*Curcuma longa*]. *Arch. Biochem. Biophys.* 292, 617–623. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(92\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0003-9861(92)90040-4)
- Télles, R.J., 2004. Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Turrens, J.F., 2003. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *J. Physiol.* 552, 335–344. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2003.00335.x>
- Wang, Y., Zhan, X., Zhang, X., Wu, R., Yuan, D., 2011. Comparison of Different Forms of Dietary Selenium Supplementation on Growth Performance, Meat Quality, Selenium Deposition, and Antioxidant Property in Broilers. *Biol. Trace Elem. Res.* 143, 261–273. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8839-2>
- Warner, R., 2015. Meat: Conversion of Muscle into Meat. *Encycl. Food Heal.* 677–684. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00452-9>
- Zhou, G.H., Xu, X.L., Liu, Y., 2010. Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Sci.* 86, 119–128. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2010.04.033>



# EFFECT OF THE APPLICATION OF AN EDIBLE FILM WITH TURMERIC (*Curcuma longa* L.) IN THE OXIDATIVE STABILITY OF MEAT

Bojorges Hylenne<sup>1</sup>, Ríos-Corripio M.A.<sup>2</sup>, Hernández-Cazares Aleida S.<sup>1\*</sup>, Hidalgo-Contreras Juan Valente<sup>1</sup> y Contreras-Oliva Adriana<sup>1</sup>

## ABSTRACT

This study aimed to develop a based edible film produced with alginate and turmeric (EFT), as an active compound, for its application in fresh meat of pork loin, beef loin, and chicken breast and to evaluate its antioxidant capacity. The EFT through the determination of the thickness, the color, the water vapor permeability (WVP), the oxygen permeability (OP) and the mechanical, structural and antioxidant properties was characterized. Meat samples with and without EFT were stored at 4°C and analyzed at 3 d intervals. The meat samples with EFT showed significant differences ( $p < 0.05$ ) in color (CIE L\*a\*b\*) and exhibited lower values of TBARS ( $p < 0.05$ ) compared with those without EFT. The addition of turmeric in the film, besides affecting its physical, chemical and structural properties showed an important antioxidant effect in meat. The edible film of turmeric showed its potential as an active packaging material to increase the shelf life and preserve the quality of pork loin, beef loin, and chicken breast in refrigeration until 12, 16 and 12 days, respectively.

**Keywords:** Beef, chicken meat, edible film, pork, turmeric.

## 1. INTRODUCTION

Meat is one of the foods with the highest protein content and provides the essential amino acids needed in the human diet (Baltic y Boskovic, 2015). However, it is susceptible to oxidative deterioration, a limiting factor in quality, since various products such as aldehydes, ketones, alcohols, and other toxic compounds are produced during the lipid oxidation reaction (Chang *et al.*, 2018), which negatively affect attributes such as: the color, texture,

---

<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados - Campus Córdoba. Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946. \* Corresponding author: aleyse@colpos.mx

<sup>2</sup>CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946

and flavor (Ribeiro *et al.*, 2019). This leads to the reduction of the shelf life and to the loss of the nutritional value of the meat (Liu *et al.*, 2015), represents a risk for the consumers and economic losses for the producers.

Derived from the growing demand of consumers for safe and the need to reduce fresh food losses (Fabra *et al.*, 2018), there is a tendency towards the search for alternatives to packaging materials and biodegradable packaging technologies that could reduce the negative impact caused by conventional packaging materials (Mkandawire & Aryee, 2018). In this sense, the development of edible films are particularly interesting, they have demonstrated the ability to preserve food; besides improving the quality and safety of the food by controlling its barrier properties (Acevedo-Fani *et al.*, 2015).

The based edible films on polysaccharides exhibit excellent barrier properties against oxygen, aromas, and lipids, in addition to adequate mechanical properties (Salgado *et al.*, 2015). Recent research has focused on the development of active and biodegradable packaging, through the incorporation of antioxidants and antimicrobials in its formulation, with the purpose of producing edible films with functional properties (Giménez *et al.*, 2013). Curcuma (*Curcuma longa* L.) is a rhizome that belongs to the family *Zingiberaceae*, and is widely used as a spice and dye (Martins *et al.*, 2016). Also, a broad spectrum of properties are attributed to it, such as anti-inflammatory, antibacterial, antioxidant, nematicide, etc. (Gupta *et al.*, 2011). Its main component is curcumin, polyphenol responsible for its antioxidant capacity (Tylewicz *et al.*, 2018).

Some research has focused on the development and characterization of edible films added with curcumin as a bioactive compound, due to its antioxidant and antimicrobial properties (Liu *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2017a; Ma *et al.*, 2017b; and Roşu *et al.*, 2017). However, until now, no edible films have been developed that are completely added to the spice of turmeric, nor is its documented application in fresh meat. The objective of this research was to characterize and evaluate the antioxidant capacity of edible films of sodium alginate added with turmeric on the fresh meat of pork, beef, and poultry to prolong the shelf life of the meat during refrigeration storage.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

### **2.1. Materials**

Sodium alginate was purchased from Sigma (St. Louis MO, USA), glycerol (Monarca Additives, Mexico), calcium chloride (PRM, Mexico) and turmeric (*Curcuma longa* L.) food grade (Alimentaria Mexicana Bekarem, Mexico), EDTA by J.T. Baker (New Jersey, USA), Propyl Galato (PG) from Sigma (St. Louis MO, USA), Thiobarbituric acid and HCl from J.T. Baker (Pennsylvania, USA). All the other reagents used in this study were of analytical grade. The loin of pork and beef (*Longissimus dorsi*), as well as the chicken breast (*Pectoralis major*) were obtained 24 and 8 h postmortem respectively, the municipal trail of the area was acquired. The whole tests were determined for quintuplicate.

### **2.2. Preparation of the edible film with turmeric (EFT).**

The EFT-forming solution was prepared by dispersing alginate in distilled water and turmeric, in a 1.0:0.13 ratio (% , w/w) at 70°C for 30 min under constant stirring. 1% glycerol was added and vigorously mixed for another 30 min. The mixture was poured into polyethylene plates (64 cm<sup>2</sup>) and placed in a dehydrator (Excalibur 4900, Spain) at 41°C for 12 h, finally, calcium chloride was added (15mL) 1% (w/v) (dry film formulation). Then, they were stored at a relative humidity of 33 % for analyzing physical and mechanical properties.

### **2.3. Physical and structural characterization of the edible film**

#### **2.3.1. Thickness**

The EFT thickness was measured with a micrometer (Model MDC-1 "SB", AMES, USA) to the nearest 0.001mm at five random positions.

#### **2.3.2. Moisture content (MC) and solubility in water (WS)**

Moisture content was determined by the loss of weight of the film after oven drying at 105°C for 24 h (ASTM, 2004). The solubility in the water was determined as described by Gontard et al. (1993), with slight modifications. The determinations of MC and WS were both performed in triplicate.

### 2.3.3. Antioxidant capacity

The antioxidant activity of the EFT was carried out with the DPPH method (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil), according to Brand-Williams *et al.* (1995) and Dashipour *et al.* (2015). A homogenized sample of 25 mg of EFT with 5 mL of distilled water with constant agitation was prepared. 0.1 mL of the extract was mixed with 3.9 mL of the DPPH solution (0.1mM methanol solution) and was incubated for 60 min at dark at room temperature. The absorbance was measured at 517nm. The percentage of DPPH radical uptake activity was calculated using equation (1).

$$DPPH (\%) = \frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}} \times 100 \quad (1)$$

Where  $A_{control}$ , absorbance obtained by the blank and  $A_{sample}$  is the absorbance obtained from the sample.

### 2.3.4. Color

The color was determined with a CR-400 Minolta Chroma Meter colorimeter (Konika Minolta, Valencia, Spain). The CIELab color scale was used to measure:  $L^* = 0$  (black) to  $L^* = 100$  (white),  $-a^*$  (green),  $+a^*$  (redness),  $-b^*$  (blue), and  $+b^*$  (yellow). The color of the EFT was measured by placing the sample on the surface of the standard plate. The meat samples were measured immediately after taking them out of their packages.

### 2.3.5. Transparency

The relative transparency property was measured with a UV-Vis spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific Inc., UK), the readings were performed at 600 nm. The EFT sample was cut into rectangular pieces (4x1 cm), and placed directly in a cell test of the spectrophotometer. The measurements were made using air as a reference. It was calculated with equation (2) (Han & Floros, 1997).

$$\text{Transparency} = A_{600} / \delta \quad (2)$$

Where  $A_{600}$  is the absorbance at 600 nm and  $\delta$  is the thickness of the film (mm).

### **2.3.7. Water vapor permeability (WVP)**

Water vapor permeability (WVP) was measured according to ASTM E96/E96M-10 (ASTM, 2010), by the gravimetric method with the use of Payne permeability cups (3.5 cm diameter, Elcometer SPRL, Hermelle/s Argenteau, Belgium). Distilled water was used in each cup to expose one side of the film at high relative humidity (53% RH and at 20°C). The weighted cups were periodically ( $\pm 0.0001$  g) registered. The water vapor permeation rate from the steady-state permeation slopes obtained from the regression analysis of the weight loss data as a function of time was calculated. Once the steady state was reached, it was divided between the area of the edible film and the weight loss was calculated as the total loss of the cell minus the loss through sealing. The permeability was calculated by multiplying the permeance by the average thickness of the film.

### **2.3.6. Oxygen permeability (OP)**

The oxygen permeability was calculated from the oxygen transmission rate (OTR) was calculated, by means of an OXTRAN Model 2/21 mL Mocon system (Lippke, Neuwied, Germany). The EFT samples were previously purged with nitrogen at a moisture equilibrium, before exposure to an oxygen flow of  $10 \text{ mL min}^{-1}$ . The exposure zone during the test was  $5 \text{ cm}^2$  for each EFT sample. To obtain the OP, we considered the thickness of EFT and the difference in the partial pressure of oxygen. The experiments at 23°C and 53% RH were developed.

### **2.3.7. Mechanical properties**

The measurement of the mechanical properties of the EFT was carried out in a universal test machine Mecmesin MultiTest 1-í (Landes Poli Ibérica, SL, Barcelona, Spain) equipped with a static load cell of 100 N for the tensile test, according to the ASTM D882-09 standard (ASTM, 2010). The tensile strength (TS), elastic modulus (EM) and elongation at break (EAB) were determined from stress-strain curves; which was estimated from force-distance data obtained for the different samples (1x8 cm). The experiments were carried out at a  $50 \text{ mm min}^{-1}$  speed, at 54% RH and 24°C.

### **2.3.8. Infrared spectroscopy**

The structural characterization of the EFT, an Infrared Spectrophotometer with Fourier Transform (FTIR) (Bruker, Vertex, Wisconsin, USA) by the Attenuated Total Reflectance (ATR) sampling method. 64 scans were used with a resolution of  $4\text{ cm}^{-1}$  in the spectral region of  $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ . The spectra were obtained in triplicate.

### **2.4. Wrapping of meat with the edible film added with turmeric**

Pieces of  $40\times 20\times 10\text{ mm}$  (10 g) of each meat (pork loin, beef loin, and chicken breast) was fully wrapped with the edible film added with turmeric. Meat samples with and without EFT were stored at  $4^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  for analysis at 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 and 16 d. Prior to pH, color, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) measurement, the film was peeled off from meat. The measurement was made in triplicate.

### **2.5. pH**

The pH of the meat samples with a Thermo Fisher Scientific Inc. potentiometer, UK was measured; 10 g of sample was homogenized with 100 ml of distilled water. The extract was filtered using cotton gauze to remove the connective tissue.

### **2.7. Lipid oxidation**

The TBARS assay was used to determine the lipid oxidation in the meat samples (Tarladgis *et al.*, 1960). 10 g of meat with and without EFT was homogenized with 15 mL of bidistilled water at  $50^{\circ}\text{C}$  and 5 mL of the solution of PG-EDTA (Propyl gallate at 0.5% with disodium salt of ethylenediamine-tetraacetic acid dihydrate at 0.5%). To the extract was added with 77.5 mL of bidistilled water and 2.5 mL of 4 N HCl. The solution was transferred to a Kjeldahl flask, heated with steam distillation until 50 mL of condensate was obtained. 5 ml of this condensate was taken and mixed with 5 ml of 0.02 M 2-TBA solution to be incubated in boiling water for 35 min. The solution was cooled at room temperature and the absorbance was measured at 532 nm. The blank contained 5 mL of bidistilled water with 5 mL of the 2-TBA solution. TBARS values were expressed as mg malonaldehyde/kg meat ( $\text{MDAkg}^{-1}$  meat).

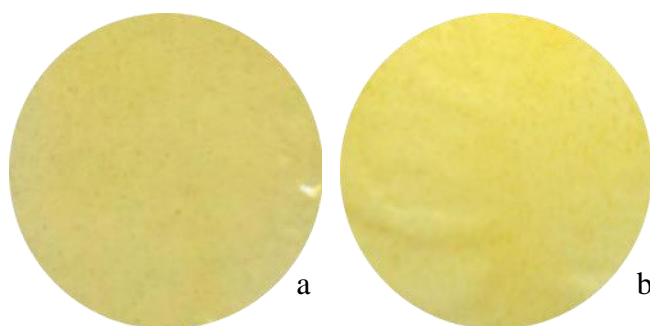
## 2.8. Statistical analysis

A completely randomized design was used, with a factorial arrangement in the treatments, the meat factor with three levels (pork, beef, and chicken), and the film factor with two levels (with and without edible film). The data were analyzed under a mixed-effects model and subjected to a one-way analysis of variance (ANOVA) by means of the statistical software SAS® (Statistical Analysis System, USA). The means tests were performed using the Tukey's test. The significance level was set at  $p < 0.05$ .

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1. Characterization of the edible film added with turmeric

Previous results in the development of the edible film added with turmeric (data not shown) showed that the higher the content of turmeric added in the edible film increased the antioxidant activity. However, from a concentration of 1.0:0.15 ratio (% w/w) of turmeric did not present statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) in the antioxidant activity. The appearance of edible film to higher concentrations of turmeric was not favorable for its application in meat, closely related condition with the decision to buy from consumers. The optical properties were modified considerably, causing a decrease in transparency and an increase in the variables  $a^*$  and  $b^*$ , and affecting the light scattering. The reason why, a proportion of alginate/turmeric at 1.0:0.13 ratio (% w/w) was chosen for its appearance, for the development of the edible film, with a slight yellow color (Figure 1). In addition, the film exhibited homogeneity and flexibility, aspects that also contributed to its application in meat.



**Figure 2.** The appearance of the edible film based on alginate with turmeric, in a 1.0:0.13 ratio (% w/w); (a) front and (b) back.

### 3.1.1. Thickness

In Table 1, it is shown that the thickness of the EFT developed was 0.096 mm, thickness greater than that reported by Musso et al. (2017) with 0.051 mm in a film based on gelatin with curcumin. This is probably explained by the thickness of the film depend on the composition and the nature of it; as well as the hydrophobic molecule content of the film-forming polymer.

**Table 12.** Physical and chemical characterization of the edible film based on alginate added with turmeric (1.0:0.13 ratio (% , w/w)).

<b>Variables</b>	<b>Edible film</b>
Thickness (mm)	$0.096 \pm 0.002$
Moisture content, MC (%)	$23.83 \pm 1.05$
Solubility, WS (%)	$100 \pm 0.01$
DPPH (%)	$38.282 \pm 0.85$
Water vapor permeability, WVP (g mm kPa <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> )	$1.73 \pm 0.049$
Oxygen permeability, OP (cm <sup>3</sup> mm m <sup>-2</sup> atm <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	$1.89 \pm 0.23$
Mechanical properties	
Tensile strength, TS (MPa)	$8.26 \pm 1.79$
Elongation at break, EAB (%)	$35.94 \pm 2.75$
Young's Module, EM (MPa)	$42.33 \pm 1.79$

The film exhibited low moisture content (23.83%) (Table 1), similar to that reported by Musso *et al.* (2017) with 22.1% in gelatin films with curcumin. On the other hand, Senturk *et al.* (2018) consider the alginate films as sacrificial moisture agents, because the moisture in the food is preserved and the moisture contained in the film evaporates. Nevertheless, Gontard *et al.* (1993) indicate that amino groups and proteins form hydrogen bonds with OH groups of water molecules, which causes greater susceptibility to hydration, which influences the solubility, moisture content, and water permeability of the film. This represents a drawback in the film, since effective control of moisture transfer is desirable, especially when in contact with fresh meat.



The solubility of EFT was found to be completely soluble (Table 1); Murad *et al.* (2011) reported similar results in sodium alginate films, they were dissolved in 100% water after one minute of contact. The high solubility of alginate can be explained due to its hydrophilic nature, which is determined by alternating units of  $\alpha$ -D-mannuronic acid and  $\beta$ -L-guluronic acid. Fabra *et al.* (2018) indicated that pure alginate films have certain limitations, due to their high solubility under medium-high relative humidity conditions. Although it is known that turmeric has a very low aqueous solubility, it was found that the solubility of this one improved significantly with the binding of alginate, as reported by Dey & Sreenivasan, (2014) who formed pharmaceutical conjugates of alginate-curcumin. Thus, since highly soluble alginate-based films with glycerol and turmeric are incorporated, the solubility of the latter compound improved and resulted in complete film solubility.

### **3.1.2. Antioxidant capacity**

The DPPH radicals are widely used to test the antioxidant activity of certain active compounds, such as electron-donating agents. The function of the antioxidant agent is to form a stable radical and eliminate it by electron donation (Dawidowicz, Wianowska, & Olszowy, 2012). Table 1 shows the antioxidant capacity of the EFT, estimated from the percentage of elimination of DPPH. In general, the antioxidant activity of the edible film was similar to that obtained by Ma *et al.* (2017b) with an activity of 35.16% for films made with tara gum / active polyvinyl alcohol with curcumin, and by Kim, Baek, & Song (2018) with 32.96% in alginate films with black chokeberry extract. Yang *et al.* (2016) mention that the antioxidant activity of plant extracts is associated with the number of phenolic compounds present; that is, a higher concentration of the extract, generally results in a higher percentage of uptake of DPPH radicals. In addition, phenolic compounds interact with the major component of the matrix, which plays an important role in the functional properties of these films. In addition to this, the present interactions contribute to improve the water vapor permeability and, in some cases, to reduce the solubility (Fabra *et al.*, 2018).

The antioxidant activity of turmeric is given by curcumin, mainly caused by the phenolic hydroxyl, and a small fraction may come from the CH<sub>2</sub> site (Priyadarsini *et al.*, 2003). Under alkaline conditions, the phenolic OH group could be converted to the phenolic oxygen anion,

which is a likely reaction site of free radicals and curcumin to originate a phenyl radical. However, the film, having desirable antioxidant properties, suggests that some curcumin phenolic groups were not found at said reaction sites to form radicals. Therefore, the edible film is a promising option to prolong the shelf life of food, especially in meat, since being an active container, the release or absorption of the active component in the food or in the environment. In addition it can be controlled because it is found in low quantities and is not present directly in the meat, it would also help improve the quality of the food, since it would provide protection against color deterioration and oxidation of lipids (López-de-Dicastillo *et al.*, 2012).

### **3.1.3. Color and transparency**

The addition of turmeric was dispersed in the film-forming solution, giving it yellow coloration, this could be due to curcumin, a hydrophobic polyphenol derived from turmeric, which generates a yellow-orange hue (Almeida *et al.*, 2018). The brightness value was  $93.41 \pm 0.74$ , similar to that obtained by Musso *et al.* (2017), 93.3, in films based on gelatin added with curcumin at a concentration of 0.02 (% w/v). The  $a^*$  value was  $6.53 \pm 0.18$  of the EFT was similar to that reported by Ma *et al.* (2017a) with 6.05 in tara rubber films incorporated with curcumin, with a slight orange color. The  $b^*$  value, degree of yellowness obtained in the EFT was  $43.94 \pm 1.60$ , a value very close to that reported by Wang *et al.* (2019) with 40.4 for films with nanoparticles composed of sodium caseinate loaded with curcumin and meina. Priyadarsini (2014) mentions that the yellow coloration in the film depends on the solubility of curcumin in the water, due to its hydrophobic nature. Given that, active films contain natural pigments, which are expressed as colored compounds, they induce changes in color parameters (Bitencourt *et al.*, 2014). This indicates that the addition of turmeric to 0.13% in the edible film showed a significant impact on light scattering, a fact that is confirmed in the appearance, transparency, and color that the film adopted.

On the other hand, the transparency of the EFT showed a value of 7.78%, a value higher than that obtained by Ramos *et al.* (2012) that oscillated between 1.35 and 3.09% in films based on whey protein isolate. This is probably due to the fact that curcumin, a diaroylmethane responsible for the characteristic yellow color in turmeric exhibited lower opacity of light

transmission (Gürses, 2019). Fabra *et al.* (2018) mention that extracts containing polyphenols tend to selective absorption of light, especially at low wavelengths, imparting a coloration to the edible film and causing an increase in opacity. This provides a protective barrier against UV light, which could contribute to a decrease in the deterioration of the meat and prevent the oxidation of myoglobin and the lipids present in the food.

#### **3.1.4. Water vapor permeability (WVP)**

The WVP in the edible film is a parameter that shows the transfer of moisture in the material and in the food. WVP is conditioned to the type of polymer, the structural composition of alginate (mannuronic acid/guluronic acid), and concentration of the cross-linked and to storage conditions such as relative humidity and temperature. Therefore, in the packaging of food, it is desirable that the WVP value be as low as possible to avoid moisture loss in food (Gontard, Guilbert, & Cuq, 1992). The WVP value was low ( $1.73 \text{ g mm kPa}^{-1}\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ ) (Table 1), in comparison with that reported by Gholizadeh *et al.* (2018), in alginate films incorporated with hydroxyapatite nanoparticles (from 11.85 a  $23.17 \text{ g mm kPa}^{-1}\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ ). While Rangel-Marrón *et al.* (2019) showed that in alginate films with mashed papaya added with citric acid the WVP value was  $0.002 \text{ g mm kPa}^{-1}\text{h}^{-1}\text{m}^{-2}$ . This could be related to the polarity, solubility and diffusivity of the water molecules present in the composition of hydrophilic films, a fact that significantly impacts the WVP (Zhang *et al.*, 2013). Also, a decrease in the value of WVP is due to process of crosslinking, which modifies the permeability of the films (Costa *et al.*, 2018).

Wang *et al.* (2019), mentions that curcumin has a long chain of carbon and hydrophobicity in the benzene rings that causes a decrease in the WVP value. On the other hand, Musso *et al.* (2017) found that, due to the hydrophobic nature of curcumin, it causes a poor dispersion that agglomerates it and alters the compact structure of the film, resulting in a decrease in WVP. This fact could be associated with hydrophobic interactions and the formation of hydrogen bonds, which restricts the amount of free OH groups to interact with the water present in the edible film (Rashidinejad *et al.*, 2017). This behavior hinders the movement of water in the film, which means that the transfer of water vapor obeys the percentage of hydrophilic composition in the film (Gomaa *et al.*, 2018).

A high dispersion in the WVP values reported in edible films indicates a relationship between the chain structure of the polymer and the distribution of its components in the matrix, that is, a poorly ordered structure could allow greater interactions between the polymers and the molecules of water (Letendre *et al.*, 2002). Likewise, it has been reported that in polysaccharides such as alginate, WVP tends to increase when there is a high humidity difference between the environment and the food (Hambleton *et al.*, 2008), a fact that could result inconvenient in foods with high moisture content such as meat, which is exposed to high relative humidity conditions when stored in refrigeration. This is because the water behaves like a plasticizer in hydrophilic films and causes the movement of diffusing molecules causing a swelling in the film and an increase in the value of WVP (Hambleton *et al.*, 2012).

### **3.1.5. Oxygen permeability (OP)**

Oxygen permeability in edible films has a direct effect on the quality and shelf life of the food so that a lower OP value represents a better barrier capacity against oxygen in the packaging material (Ma, *et al.*, 2017b). The OP value obtained was a relatively low (Table 1) in comparison with those obtained by Ma *et al.* (2017a) that ranged between 7 - 8.51  $\text{cm}^3\text{mm m}^{-2}\text{atm}^{-1}\text{día}^{-1}$  day<sup>-1</sup> for films added with curcumin and from 42.7 - 187  $\text{cm}^3\text{mm}^{-2} \text{atm}^{-1}\text{día}^{-1}$  day<sup>-1</sup> for commercial high density polyethylene films and of low density respectively. This can be associated to the interactions of bonds that appear between turmeric and the matrix of the edible film (alginate), prolonging or limiting the access of oxygen (Liu *et al.*, 2018). In general, phenolic compounds that are incorporated into carbohydrate-based films have the capacity to form hydrogen bonds between the carboxyl groups, inducing a cross-linking effect that promotes the decrease of OP (Fabra *et al.*, 2011). A fact that suggests that the edible turmeric film presents a good barrier against oxygen, even better than commercial plastic films.

### **3.1.6. Mechanical properties**

The values of the tensile strength (TS), elongation at break (EAB) and Young's modulus are shown in Table 1. The value for TS in the EFT was 8.26 MPa slightly higher than that obtained by Wang *et al.* (2019) which was 7.4 MPa in NaCas/zein films loaded with

curcumin, which indicates that the EFT was stronger, to support the extensibility by external tensile stress before breaking. Kalaycıoğlu et al. (2017), observed that the addition of turmeric extracts in chitosan films increased the TS value 1.5 times more compared to those that did not add the extract. This resistance depends on the polymer, the internal union that exists and the possible interactions between the matrix and the active compound (Gilbert *et al.*, 2018).

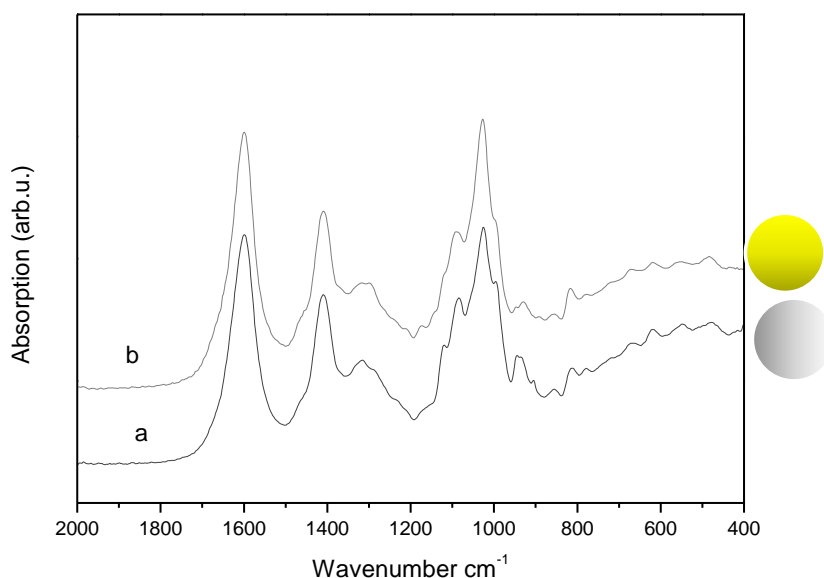
In terms of elongation at break (EAB), the EFT obtained an elongation of 35.94%, higher than that reported by Ma et al. (2017b) and Wang et al. (2019) with 29.88 and 30.8% in tara gum films added with curcumin and caseinate/zein films with curcumin, respectively. Bitencourt *et al.* (2014) observed that at higher concentrations of 50g of turmeric ethanol extract / 100g of gelatin, the value of EAB significantly increased. Noronha *et al.* (2014) indicate that the presence of phenolic compounds in the film could cause an increase in EAB, in this case, due to interactions between curcumin and alginate, causing a more flexible and cohesive matrix.

The Young's modulus value, although there are no determined values for each food, indicates that a material is strong when a high value is obtained. In this study, a value of  $42.33 \pm 1.79$  MPa was obtained, a lower value compared to that reported by Kalaycıoğlu et al. (2017) in chitosan films with turmeric extract ( $2064 \pm 155$  MPa), and with turmeric flour films from the dye extraction residue (values obtained between  $246.8 \pm 46.8$  and  $875 \pm 15.7$  MPa) (Maniglia *et al.*, 2015). This result could be due to the hydrophobicity of the matrix caused by the incorporation of turmeric, which causes changes in the cross-linking resulting in a decrease in Young's modulus.

In this sense, and since it seeks to develop flexible films that adhere perfectly to the surface of the food, as a "second layer", preserve the shape, texture, and integrity of the product (Rosa, 2019). EFT has the potential to be applied to foods such as meat, as a packaging system that maintains properties such as appearance, color, water retention capacity, lipid stability and microbial spoilage.

### 3.1.7. Infrared spectroscopy

The infrared spectroscopy technique was used to analyze the molecular changes that would be observed by the addition of turmeric. Figure 2 shows the spectra of the alginate films with turmeric and without turmeric, the line shape is very similar, only slight band shifts were detected. Therefore, not observing such drastic changes suggests that the chemical stability of the film is not compromised by the presence of turmeric. In general, both spectra show the bands associated with the functional groups C=O, C-O-C, COOH present in the spectrum of the alginate, besides, the Figure 2b showed the bands associated with the presence of the turmeric with low absorption values, this is observed because the turmeric is in lower concentration.



**Figure 3.** Infrared spectra of the alginate films (a) without turmeric and (b) with turmeric in 1.0:0.13 ratio (% , w/w).

## 3.2. Edible film application on meat

### 3.2.1. Determination of pH value

The pH of the meat is related to the characteristics of quality and freshness, such as color, tenderness (Jayasena *et al.*, 2013), microbial growth and the addition of antioxidants (Battisti *et al.*, 2017). In Table 2, a significant effect of EFT on the pH ( $p < 0.05$ ) of pork and beef is observed. The pH value in the meat, with and without EFT, during refrigeration storage

increased gradually, but in those with EFT this increase was lower. While, in chicken breast meat, no significant differences were found ( $p < 0.05$ ) with or without EFT.

The increase in pH during storage can be attributed to the denaturation of proteins and the accumulation of alkaline byproducts such as ammonia, amines, and trimethylamine, produced during the degradation of amino acids by autolytic or microbial reactions (Lorenzo *et al.*, 2014). Likewise, the pH tendency in meat with EFT is probably due to the phenolic compounds present in the edible film and its inhibition effect, which act on microbial growth during storage (Ehsani *et al.*, 2014), since curcumin as well as being an antioxidant has antibacterial functions (Chan *et al.*, 2011).

The pH results in pork meat with EFT was similar to minced pork wrapped in gelatin film with catechin-lysozyme (Kaewprachu *et al.*, 2015). While the pork wrapped in gelatin film with nisin and catechin, showed an increase in pH from 5.7 to 6.4 during 4 d of storage (Kaewprachu *et al.*, 2018). In beef with EFT, Amiri *et al.* (2019) reported similar results in patties of fresh ground beef wrapped with corn starch films with *Zataria multiflora* essential oil (thyme and oregano) for 20 d of storage. Radha *et al.* (2015) indicated pH values of 5.80 - 6.23 after 15 d of storage, in samples of beef wrapped in corn starch films with clove and cinnamon essential oils. Pirsá & Shamusí (2019) observed similar behavior in the increase of the pH value of the chicken meat, reporting a value of 7.38 after 10 d of storage, with films of cellulose-polypyrrole-ZnO.

**Table 13.** Physical and chemical analysis of fresh pork, beef (*Longissimus dorsi*) and chicken meat (*Pectoralis major*), stored in refrigeration at 4°C with and without edible film added with turmeric (1.0:0.13 ratio (% , w/w)).

Variable	Pork		Beef		Chicken	
	Without	With	Without	With	Without	With
Refrigeration Storage (4°C) (d)	8	12	12	16	8	12
pH	6.37 <sup>a</sup>	6.11 <sup>c</sup>	6.45 <sup>a</sup>	6.21 <sup>b</sup>	6.38 <sup>a</sup>	6.45 <sup>a</sup>
Color (Lab*)						
L*	54.55 <sup>a,b</sup>	54.76 <sup>a,b</sup>	53.07 <sup>b</sup>	55.08 <sup>a</sup>	47.45 <sup>c</sup>	35.96 <sup>d</sup>
a*	3.09 <sup>c</sup>	3.36 <sup>c</sup>	9.31 <sup>a</sup>	9.39 <sup>a</sup>	1.82 <sup>d</sup>	6.19 <sup>b</sup>
b*	9.98 <sup>c,d</sup>	8.99 <sup>d</sup>	12.91 <sup>c</sup>	12.86 <sup>c</sup>	20.12 <sup>b</sup>	30.96 <sup>a</sup>
TBARS (mg MDAkg <sup>-1</sup> meat)	0.35 <sup>a,b</sup>	0.30 <sup>b,c</sup>	0.33 <sup>a,b,c</sup>	0.28 <sup>c</sup>	0.31 <sup>b,c</sup>	0.37 <sup>a</sup>

The values reported are their means (n=3). Different letters in the same row indicate significant differences between the samples (p <0.05), according to the Tukey test.

### 3.2.2. Color

Changes in the color of the meat during storage represent an important process for its acceptance by the consumer. The mean values of CIE L\*, a\*, b\* of the meat with and without EFT during storage are shown in Table 2. It was found that the samples of beef and chicken were significantly affected (p<0.05) in the L\* value, this may be due to the oxygen barrier property of the EFT, which may have helped to delay the diffusion of O<sub>2</sub> and its reaction with myoglobin. In the beef, there is an increase in the luminosity value; while in chicken meat an opposite behavior was exhibited in the presence of EFT. This could be explained by factors such as the composition of glycolytic fibers in the muscle that is generally associated with greater luminosity (Kim *et al.*, 2013) and the degree of association of myoglobin with oxygen that is related to the pH of the muscle. Where the highest degree of association the pH value is lower, which shows "bright" meats (Hoving-Bolink *et al.*, 2000). Pork showed no significant difference (p<0.05) with or without EFT.

The low values in a\*, indicate a loss in the redness of the meat, this is associated with the oxidation of myoglobin to metmyoglobin (Warner, 2014); that is, an increase in the concentration of oxymyoglobin causes negative changes in color and is generally related to



a reduction in freshness in meat (Serrano-León *et al.*, 2018). This discoloration is strongly linked to the content of myoglobin present in the muscles, in the case of pork it has a type of oxidic-glycolytic muscle IIX and in the beef an oxidative muscle type I, with a high myoglobin content (Astruc, 2014). However, prolonged storage times causes the iron found in the heme ring to oxidize to the reduced ferric state ( $MbFe^{3+}$ ), inducing browning of the meat (Baron & Andersen, 2002). In this study, no significant differences with and without EFT in pork and beef during refrigerated storage were found, which gives evidence of the effectiveness of using EFT to maintain color integrity in this type of meat. In chicken meat with EFT, an increase in the value of  $a^*$  was observed, since the chicken breast, being mostly type B fibers, contains very few amounts of myoglobin (Nishida & Nishida, 1985).

The mean values of  $b^*$  during storage, in pork and beef samples with EFT did not show significant differences ( $p < 0.05$ ), not in chicken meat with EFT (Table 1), where it was found a significant increase in the value of  $b^*$  ( $p < 0.05$ ). This could possibly be caused by the presence of curcuminoids (yellow color) in the edible film. Zhang *et al.* (2016) found that the incorporation of spice excerpts increases yellowing in fresh chicken meat.

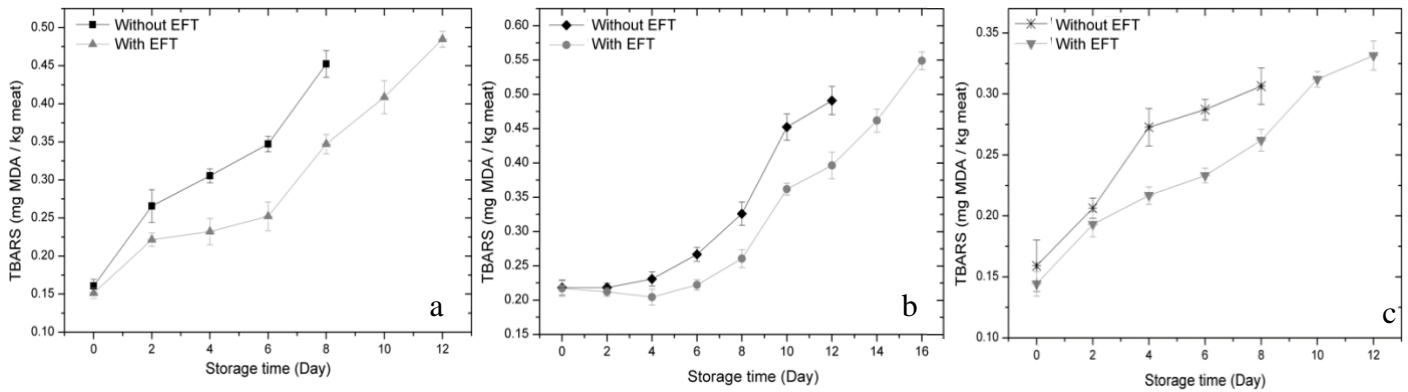
### **3.3.3. Lipid oxidation**

The mean values of TBARS of the meat with and without EFT are presented in Table 1, which shows the significant effect ( $p < 0.05$ ) of the EFT in the different meat. While, the evolution of TBAR values during refrigeration storage in pork (a), beef (b), and chicken meat (c) are presented in Figure 3. The TBARS value increased significantly in all cases, demonstrating that lipid oxidation increased during storage time. Lee *et al.* (2010) indicates that the storage period influences lipid oxidation significantly in meat. However, the TBARS analysis showed that pork, beef, and chicken with EFT obtained significantly lower values ( $p < 0.05$ ) compared to those without EFT.

Pork meat showed a higher oxidation rate, obtaining the highest TBAR values during refrigeration storage; although this remained below  $0.5 \text{ mg MDAkg}^{-1}$  meat up to 12 and 8 d with and without EFT, respectively. Zhang *et al.* (2016) indicate that a range of TBARS values of 0.202 to  $0.664 \text{ mg MDAkg}^{-1}$  meat in pork meat is considered as fresh meat. Cheng

*et al.* (2018) show that a concentration of 5 mg of MDAkg<sup>-1</sup> meat, rancidity is already detectable. Beef meat with EFT reveal an oxidation level of 0.6 mg of MDAkg<sup>-1</sup> meat at 16 d of storage, a low value of TBARS compared with the results obtained by Navikaite-Snipaitiene *et al.* (2018), 0.8-0.96 mg of MDAkg<sup>-1</sup> meat, after 14 d of storage in an antioxidant package with eugenol. Similarly, Kim *et al.* (2013) obtained TBARS values between 0.98-1.11 mg of MDAkg<sup>-1</sup>meat, in patties treated with extracts of *Pimpinella brachycarpa* (Kom.) Nakai, at 0.1% in a period of 12 d in refrigerated storage. In chicken meat with EFT, on day 12 of storage was 0.33 mg of MDAkg<sup>-1</sup> meat, lower value than that reported by Giteru *et al.* (2017) of 0.6 mg of MDAkg<sup>-1</sup> meat, at 96 h of refrigerated storage in films of kafirin incorporated with citral in chicken fillets. Fernández *et al.* (1997) estimate that levels greater than or equal to 1 mg MDAkg<sup>-1</sup> meat is the limit at which consumers detect flavors and strange smells in the meat.

The results obtained show that EFT was effective against lipid oxidation in all the meat tested during refrigeration storage since it significantly reduced the formation of TBARS (p<0.05). The inhibitory effect of oxidation in meat with EFT may be due to its ability to block oxygen and its antioxidant property of turmeric, especially for its high content of curcuminoids (polyphenols) (Pulido-Moran *et al.*, 2016). This finding is corroborated with that reported by Abdou *et al.* (2018) who indicated that the inclusion of curcumin in coatings of nanoemulsions, reduces the values of TBARS in chicken meat, which could inhibit the formation of malonaldehyde. In the same way, Fernandes *et al.* (2016), Lorenzo *et al.* (2018) and Krishnan *et al.* (2014), indicate that the inclusion of natural extracts rich in phenolic compounds in meat helps to delay the oxidation of lipids.



**Figure 4.** Effect of edible film with turmeric (EFT) on TBARS values in (a) pork, (b) beef, and (c) chicken, under refrigerated storage at 4°C.

#### 4. CONCLUSION

The edible films have attributes beyond being biodegradable and biocompatible, advantages they hold over traditional plastic containers. Incorporating turmeric into alginate-based films resulted in interactions between their compounds and the polymer matrix. These interactions influenced the mechanical and barrier properties. The addition of turmeric in the film showed antioxidant capacity, which indicates a great potential to be applied as a packaging material and extend the shelf life of pork (12 d), beef (16 d) and chicken (12 d) in refrigeration storage, exerting a special effect against lipid oxidation.

Consequently, the development of the edible film with turmeric is proposed as a promising technology to increase shelf life and preserve its quality in different meat.

#### 5. ACKNOWLEDGMENTS

The funding provided by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) and the Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Veracruz for the support provided for the development and financing of the present investigation is gratefully acknowledged.

## 6. REFERENCES

- Abdou, E. S., Galhoum, G. F., & Mohamed, E. N. (2018). Curcumin loaded nanoemulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets. *Food Hydrocolloids*, 83, 445–453. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.026>
- Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 47, 168–177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.032>
- Almeida, H. H. S., Barros, L., Barreira, J. C. M., Calhella, R. C., Heleno, S. A., Sayer, C., ... Ferreira, I. C. F. R. (2018). Bioactive evaluation and application of different formulations of the natural colorant curcumin (E100) in a hydrophilic matrix (yogurt). *Food Chemistry*, 261, 224–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.056>
- Amiri, E., Aminzare, M., Azar, H. H., & Mehrasbi, M. R. (2019). Combined antioxidant and sensory effects of corn starch films with nanoemulsion of Zataria multiflora essential oil fortified with cinnamaldehyde on fresh ground beef patties. *Meat Science*, 153, 66–74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.03.004>
- Astruc, T. (2014). MUSCLE FIBER TYPES AND MEAT QUALITY. In M. Dikeman & C. Devine (Eds.), *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)* (Second Edition, pp. 442–448). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00185-9>
- Baltic, M. Z., & Boskovic, M. (2015). When Man Met Meat: Meat in Human Nutrition from Ancient Times till Today. *Procedia Food Science*, 5, 6–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.002>
- Baron, C. P., & Andersen, H. J. (2002). Myoglobin-Induced Lipid Oxidation. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 3887–3897. <https://doi.org/10.1021/jf011394w>

- Battisti, R., Fronza, N., Júnior, Á. V., da Silveira, S. M., Damas, M. S. P., & Quadri, M. G. N. (2017). Gelatin-coated paper with antimicrobial and antioxidant effect for beef packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, *11*, 115–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.01.009>
- Bitencourt, C. M., Fávoro-Trindade, C. S., Sobral, P. J. A., & Carvalho, R. A. (2014). Gelatin-based films additivated with curcuma ethanol extract: Antioxidant activity and physical properties of films. *Food Hydrocolloids*, *40*, 145–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.02.014>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chan, E. W., Ng, V. P., Tan, V. V., & Low, Y. Y. (2011). Antioxidant and Antibacterial Properties of *Alpinia galanga*, *Curcuma longa*, and *Etlingera elatior* (Zingiberaceae). *Pharmacognosy Journal*, *3*(22), 54–61. <https://doi.org/10.5530/PJ.2011.22.11>
- Chang, W., Liu, F., Sharif, H. R., Huang, Z., Goff, H. D., & Zhong, F. (2018). Preparation of chitosan films by neutralization for improving their preservation effects on chilled meat. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.026>
- Cheng, J.-R., Liu, X.-M., Zhang, W., Chen, Z.-Y., & Wang, X.-P. (2018). Stability of phenolic compounds and antioxidant capacity of concentrated mulberry juice-enriched dried-minced pork slices during preparation and storage. *Food Control*, *89*, 187–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.02.008>
- Costa, M. J., Marques, A. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Sillankorva, S. M., & Cerqueira, M. A. (2018). Physicochemical properties of alginate-based films: Effect of ionic crosslinking and mannuronic and guluronic acid ratio. *Food Hydrocolloids*, *81*, 442–448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.014>
- Dashipour, A., Razavilar, V., Hosseini, H., Shojaee-Aliabadi, S., German, J. B., Ghanati, K., ... Khaksar, R. (2015). Antioxidant and antimicrobial carboxymethyl cellulose films

- containing *Zataria multiflora* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 606–613. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2014.09.006>
- Dawidowicz, A. L., Wianowska, D., & Olszowy, M. (2012). On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (Problems in estimation of antioxidant activity). *Food Chemistry*, 131(3), 1037–1043. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.067>
- Dey, S., & Sreenivasan, K. (2014). Conjugation of curcumin onto alginate enhances aqueous solubility and stability of curcumin. *Carbohydrate Polymers*, 99, 499–507. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.067>
- Ehsani, A., Jasour, M. S., Hashemi, M., Mehryar, L., & Khodayari, M. (2014). *Zataria multiflora* Boiss essential oil and sodium acetate: how they affect shelf life of vacuum-packaged trout burgers. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(4), 1055–1062. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12400>
- Fabra, M J, Hambleton, A., Talens, P., Debeaufort, F., & Chiralt, A. (2011). Effect of ferulic acid and  $\alpha$ -tocopherol antioxidants on properties of sodium caseinate edible films. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1441–1447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.012>
- Fabra, María José, Falcó, I., Randazzo, W., Sánchez, G., & López-Rubio, A. (2018). Antiviral and antioxidant properties of active alginate edible films containing phenolic extracts. *Food Hydrocolloids*, 81, 96–103. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.02.026>
- Fernandes, R. P. P., Trindade, M. A., Lorenzo, J. M., Munekata, P. E. S., & de Melo, M. P. (2016). Effects of oregano extract on oxidative, microbiological and sensory stability of sheep burgers packed in modified atmosphere. *Food Control*, 63, 65–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.11.027>
- Fernández, J., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. A. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chemistry*, 59(3), 345–353. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00114-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00114-8)

- Gholizadeh, B. S., Buazar, F., Hosseini, S. M., & Mousavi, S. M. (2018). Enhanced antibacterial activity, mechanical and physical properties of alginate/hydroxyapatite bionanocomposite film. *International Journal of Biological Macromolecules*, *116*, 786–792. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.104>
- Gilbert, J., Cheng, C. J., & Jones, O. G. (2018). Vapor Barrier Properties and Mechanical Behaviors of Composite Hydroxypropyl Methylcellulose/Zein Nanoparticle Films. *Food Biophysics*, *13*(1), 25–36. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9508-1>
- Giménez, B., López de Lacey, A., Pérez-Santín, E., López-Caballero, M. E., & Montero, P. (2013). Release of active compounds from agar and agar–gelatin films with green tea extract. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 264–271. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.014>
- Giteru, S. G., Oey, I., Ali, M. A., Johnson, S. K., & Fang, Z. (2017). Effect of kafirin-based films incorporating citral and quercetin on storage of fresh chicken fillets. *Food Control*, *80*, 37–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.029>
- Gomaa, M., Fawzy, M. A., Hifney, A. F., & Abdel-Gawad, K. M. (2018). Use of the brown seaweed *Sargassum latifolium* in the design of alginate-fucoidan based films with natural antioxidant properties and kinetic modeling of moisture sorption and polyphenolic release. *Food Hydrocolloids*, *82*, 64–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.053>
- Gontard, Nathalie, Guilbert, S., & Cuq, J.-L. (1992). Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. *Journal of Food Science*, *57*(1), 190–195. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>
- Gontard, Nathelie, Guilbert, S., & Cuq, J.-L. (1993). Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Journal of Food Science*, *58*(1), 206–211. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x>
- Gupta, S. C., Prasad, S., Kim, J. H., Patchva, S., Webb, L. J., Priyadarsini, I. K., & Aggarwal,

- B. B. (2011). Multitargeting by curcumin as revealed by molecular interaction studies. *Natural Product Reports*, 28(12), 1937–1955. <https://doi.org/10.1039/C1NP00051A>
- Gürses, A. (2019). 2 - Sustainable colorants. In Shahid-ul-Islam & B. S. Butola (Eds.), *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology* (pp. 21–55). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102491-1.00002-2>
- Hambleton, A, Perpiñan-Saiz, N., Fabra, M. J., Voilley, A., & Debeaufort, F. (2012). The Schroeder paradox or how the state of water affects the moisture transfer through edible films. *Food Chemistry*, 132(4), 1671–1678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.009>
- Hambleton, Alicia, Debeaufort, F., Beney, L., Karbowiak, T., & Voilley, A. (2008). Protection of Active Aroma Compound against Moisture and Oxygen by Encapsulation in Biopolymeric Emulsion-Based Edible Films. *Biomacromolecules*, 9(3), 1058–1063. <https://doi.org/10.1021/bm701230a>
- Han, J. H., & Floros, J. D. (1997). Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 13(4), 287–298. <https://doi.org/10.1177/875608799701300405>
- Hoving-Bolink, A. H., Hulsegge, B., Eikelenboom, G., Klont, R. E., van Dijk, A., Barnier, V. M. H., & Smulders, F. J. M. (2000). Effects of rate of pH fall, time of deboning, aging period, and their interaction on veal quality characteristics1. *Journal of Animal Science*, 78(7), 1845–1851. <https://doi.org/10.2527/2000.7871845x>
- Jayasena, D. D., Jung, S., Kim, H. J., Bae, Y. S., Yong, H. I., Lee, J. H., ... 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(7), 1038–1046. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12684>
- Kaewprachu, P., Amara, C. Ben, Oulahal, N., Gharsallaoui, A., Joly, C., Tongdeesoontorn, W., ... Degraeve, P. (2018). Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 173–183.



<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.011>

- Kaewprachu, P., Osako, K., Benjakul, S., & Rawdkuen, S. (2015). Quality attributes of minced pork wrapped with catechin–lysozyme incorporated gelatin film. *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 88–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.11.002>
- Kalaycıoğlu, Z., Torlak, E., Akın-Evingür, G., Özen, İ., & Erim, F. B. (2017). Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 882–888. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.174>
- Kim, G.-D., Jeong, J.-Y., Jung, E.-Y., Yang, H.-S., Lim, H.-T., & Joo, S.-T. (2013). The influence of fiber size distribution of type IIB on carcass traits and meat quality in pigs. *Meat Science*, 94(2), 267–273. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.02.001>
- Kim, S.-J., Cho, A. R., & Han, J. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of leafy green vegetable extracts and their applications to meat product preservation. *Food Control*, 29(1), 112–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.060>
- Kim, S., Baek, S.-K., & Song, K. Bin. (2018). Physical and antioxidant properties of alginate films prepared from *Sargassum fulvellum* with black chokeberry extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 157–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.008>
- Krishnan, K. R., Babuskin, S., Babu, P. A. S., Sasikala, M., Sabina, K., Archana, G., ... Sukumar, M. (2014). Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf life extension of raw chicken meat. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 32–40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.011>
- Letendre, M., D'Aprano, G., Delmas-Patterson, G., & Lacroix, M. (2002). Isothermal Calorimetry Study of Calcium Caseinate and Whey Protein Isolate Edible Films Cross-Linked by Heating and  $\gamma$ -Irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6053–6057. <https://doi.org/10.1021/jf011689+>

- Liu, F., Xu, Q., Dai, R., & Ni, Y. (2015). Effects of natural antioxidants on colour stability, lipid oxidation and metmyoglobin reducing activity in raw beef patties\*. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment*, *14*(1), 37–44. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2015.1.4>
- Liu, J., Wang, H., Wang, P., Guo, M., Jiang, S., Li, X., & Jiang, S. (2018). Films based on  $\kappa$ -carrageenan incorporated with curcumin for freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, *83*, 134–142. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.05.012>
- Liu, Y., Cai, Y., Jiang, X., Wu, J., & Le, X. (2016). Molecular interactions, characterization and antimicrobial activity of curcumin–chitosan blend films. *Food Hydrocolloids*, *52*, 564–572. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2015.08.005>
- López-de-Dicastillo, C., Gómez-Estaca, J., Catalá, R., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2012). Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. *Food Chemistry*, *131*(4), 1376–1384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.002>
- Lorenzo, José M, Batlle, R., & Gómez, M. (2014). Extension of the shelf-life of foal meat with two antioxidant active packaging systems. *LWT - Food Science and Technology*, *59*(1), 181–188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.061>
- Lorenzo, Jose M, Vargas, F. C., Strozzi, I., Pateiro, M., Furtado, M. M., Sant'Ana, A. S., ... do Amaral Sobral, P. J. (2018). Influence of pitanga leaf extracts on lipid and protein oxidation of pork burger during shelf-life. *Food Research International*, *114*, 47–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.046>
- Ma, Q., Du, L., & Wang, L. (2017a). Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH<sub>3</sub> indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *244*, 759–766. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2017.01.035>
- Ma, Q., Ren, Y., & Wang, L. (2017b). Investigation of antioxidant activity and release kinetics of curcumin from tara gum/ polyvinyl alcohol active film. *Food Hydrocolloids*, *70*, 286–292. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.04.018>
- Maniglia, B. C., de Paula, R. L., Domingos, J. R., & Tapia-Blácido, D. R. (2015). Turmeric

- dye extraction residue for use in bioactive film production: Optimization of turmeric film plasticized with glycerol. *LWT - Food Science and Technology*, 64(2), 1187–1195. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.07.025>
- Martins, N., Roriz, C. L., Morales, P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.009>
- Mkandawire, M., & Aryee, A. N. A. (2018). Resurfacing and modernization of edible packaging material technology. *Current Opinion in Food Science*, 19, 104–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.010>
- Murad, M., Karim, A., Bhat, R., Uthumporn, U., & H Chew, S. (2011). Physical and mechanical properties of sago starch - Alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal*, 18, 1027–1033.
- Musso, Y. S., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2017). Smart edible films based on gelatin and curcumin. *Food Hydrocolloids*, 66, 8–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.007>
- Navikaite-Snipaitiene, V., Ivanauskas, L., Jakstas, V., Rüegg, N., Rutkaite, R., Wolfram, E., & Yildirim, S. (2018). Development of antioxidant food packaging materials containing eugenol for extending display life of fresh beef. *Meat Science*, 145, 9–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.015>
- Nishida, J., & Nishida, T. (1985). Relationship between the concentration of myoglobin and parvalbumin in various types of muscle tissues from chickens. *British Poultry Science*, 26(1), 105–115. <https://doi.org/10.1080/00071668508416792>
- Noronha, C. M., de Carvalho, S. M., Lino, R. C., & Barreto, P. L. M. (2014). Characterization of antioxidant methylcellulose film incorporated with  $\alpha$ -tocopherol nanocapsules. *Food Chemistry*, 159, 529–535. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.159>

- Pirsa, S., & Shamus, T. (2019). Intelligent and active packaging of chicken thigh meat by conducting nano structure cellulose-polypyrrole-ZnO film. *Materials Science and Engineering: C*. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.02.021>
- Priyadarsini, K. Indira, Maity, D. K., Naik, G. H., Kumar, M. S., Unnikrishnan, M. K., Satav, J. G., & Mohan, H. (2003). Role of phenolic O-H and methylene hydrogen on the free radical reactions and antioxidant activity of curcumin. *Free Radical Biology and Medicine*, 35(5), 475–484. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(03\)00325-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(03)00325-3)
- Priyadarsini, Kavirayani Indira. (2014). The Chemistry of Curcumin: From Extraction to Therapeutic Agent. *Molecules*, 19(12), 20091–20112. <https://doi.org/10.3390/molecules191220091>
- Pulido-Moran, M., Moreno-Fernandez, J., Ramirez-Tortosa, C., & Ramirez-Tortosa, M. (2016). Curcumin and Health. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 21(3), 264. <https://doi.org/10.3390/molecules21030264>
- Radha krishnan, K., Babuskin, S., Rakhavan, K. R., Tharavin, R., Azhagu Saravana Babu, P., Sivarajan, M., & Sukumar, M. (2015). Potential application of corn starch edible films with spice essential oils for the shelf life extension of red meat. *Journal of Applied Microbiology*, 119(6), 1613–1623. <https://doi.org/10.1111/jam.12932>
- Ramos, Ó. L., Silva, S. I., Soares, J. C., Fernandes, J. C., Poças, M. F., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Features and performance of edible films, obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. *Food Research International*, 45(1), 351–361. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.09.016>
- Rangel-Marrón, M., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2019). Effects of alginate-glycerol-citric acid concentrations on selected physical, mechanical, and barrier properties of papaya puree-based edible films and coatings, as evaluated by response surface methodology. *LWT*, 101, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.005>
- Rashidinejad, A., Birch, E. J., Hindmarsh, J., & Everett, D. W. (2017). Molecular interactions

- between green tea catechins and cheese fat studied by solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Food Chemistry*, 215, 228–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.179>
- Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C., & da Silva, M. V. (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, 148, 181–188. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.10.016>
- Rosa, M. D. (2019). Chapter 9 - Packaging Sustainability in the Meat Industry. In C. M. Galanakis (Ed.), *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 161–179). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00009-2>
- Roşu, M.-C., Páll, E., Socaci, C., Măgeruşan, L., Pogăcean, F., Coroş, M., ... Pruneanu, S. (2017). Cytotoxicity of methylcellulose-based films containing graphenes and curcumin on human lung fibroblasts. *Process Biochemistry*, 52, 243–249. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2016.10.002>
- Salgado, P. R., Ortiz, C. M., Musso, Y. S., Di Giorgio, L., & Mauri, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5, 86–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.09.004>
- Senturk Parreidt, T., Müller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Foods (Basel, Switzerland)*, 7(10). <https://doi.org/10.3390/foods7100170>
- Serrano-León, J. S., Bergamaschi, K. B., Yoshida, C. M. P., Saldaña, E., Selani, M. M., Rios-Mera, J. D., ... Contreras-Castillo, C. J. (2018). Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelf life extension of chicken restructured product. *Food Research International*, 108, 93–100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031>
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan Jr., L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37(1), 44–48.

<https://doi.org/doi:10.1007/BF02630824>

- Tylewicz, U., Nowacka, M., Martín-García, B., Wiktor, A., & Gómez Caravaca, A. M. (2018). Target sources of polyphenols in different food products and their processing by-products. *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*, 135–175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00005-1>
- Wang, L., Xue, J., & Zhang, Y. (2019). Preparation and characterization of curcumin loaded caseinate/zein nanocomposite film using pH-driven method. *Industrial Crops and Products*, 130, 71–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.072>
- Warner, R. (2014). Measurements of Water-holding Capacity and Color: Objective and Subjective. In *Encyclopedia of Meat Sciences* (pp. 164–171). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00210-5>
- Yang, H.-J., Lee, J.-H., Won, M., & Song, K. Bin. (2016). Antioxidant activities of distiller dried grains with solubles as protein films containing tea extracts and their application in the packaging of pork meat. *Food Chemistry*, 196, 174–179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.020>
- Zhang, H., Wu, J., & Guo, X. (2016). Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality. *Food Science and Human Wellness*, 5(1), 39–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.11.003>
- Zhang, Q., Xu, J., Gao, X., & Fu, X. (2013). Optimized water vapor permeability of sodium alginate films using response surface methodology. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31(6), 1196–1203. <https://doi.org/10.1007/s00343-013-2125-z>

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES**

La película comestible adicionada con cúrcuma (*Curcuma longa* L.) demostró preservar la calidad de la carne y ser efectiva como método de conservación al aumentar la vida útil de la carne de cerdo, de bovino y de pollo a 12, 16 y 12 d, respectivamente. Las propiedades mecánicas, físicas, químicas, estructurales y antioxidantes de la película comestible diseñada 1.0:0.15 (% w/w) permitieron reducir la oxidación lipídica, mantener el color y el pH de la carne, parámetros importantes en la decisión de los consumidores. Además, la película comestible con cúrcuma presentó las ventajas de ser un material biodegradable, de bajo costo, con adecuadas propiedades de barrera, biocompatible y comestible, es un material no tóxico y no contamina el medio ambiente. Sobré todo, la incorporación de la cúrcuma como compuesto bioactivo en la película comestible resultó en una solución innovadora para aprovechar su capacidad antioxidante y extender la vida útil de la carne.

### **Recomendaciones**

Se recomienda para futuras investigaciones:

- Un examen más detallado de la estabilidad de la curcumina durante el almacenamiento de la película comestible.
- Realizar ensayos de liberación de la curcumina durante el almacenamiento del alimento envasado.
- Analizar la influencia de la cúrcuma en la película comestible sobre las propiedades sensoriales del alimento envasado, un factor importante a decidir para la aplicación industrial.

## ANEXOS

### A1. Caracterización y desarrollo de la película comestible adicionada con cúrcuma (*Curcuma longa* L.)



Figura 5. Proceso de elaboración de las películas comestibles adicionada con cúrcuma

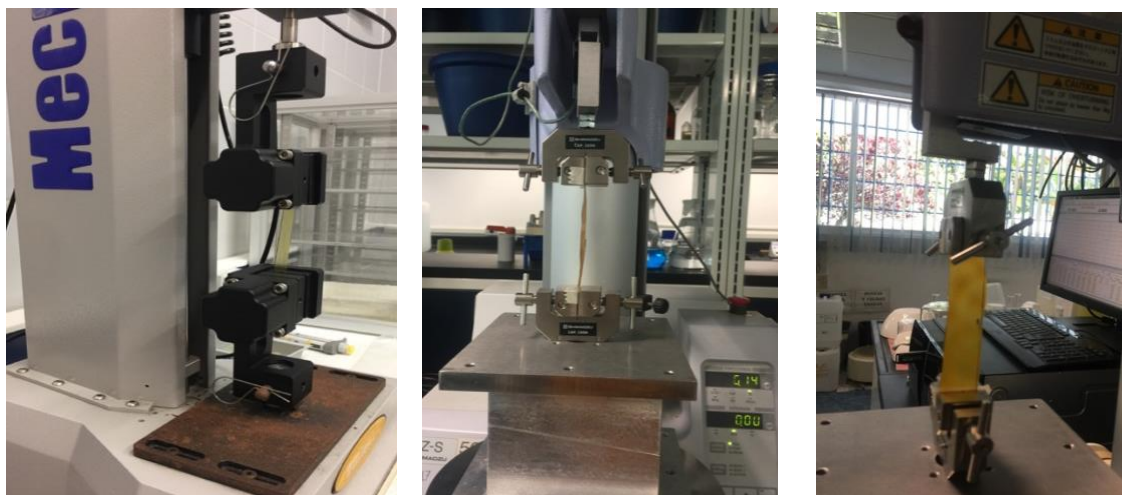


Figura 6. Medición de las propiedades mecánicas de la película comestible adicionada con cúrcuma



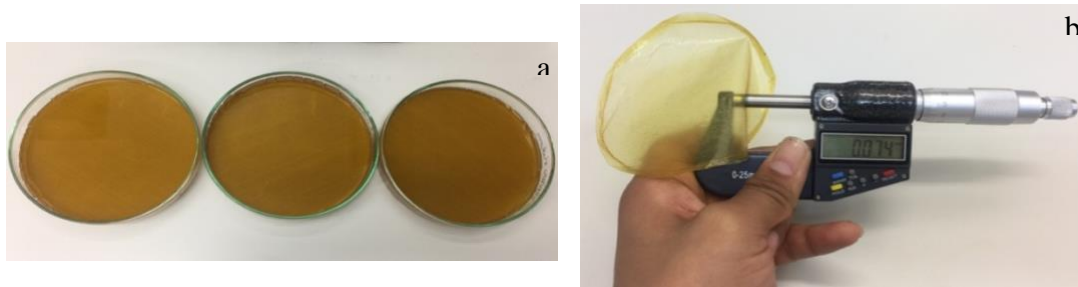


Figura 7. (a) Obtención de las películas comestibles, (b) medición del espesor

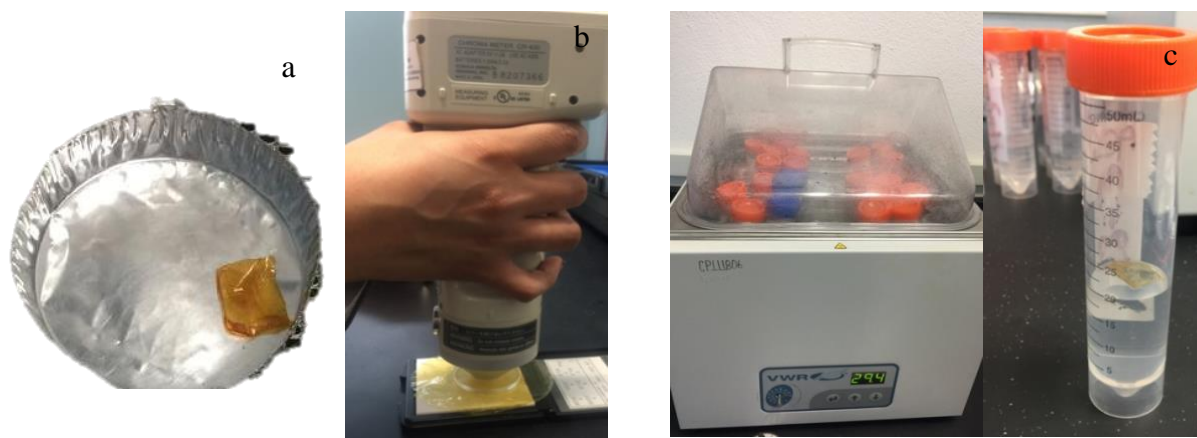


Figura 8. (a) Determinación de humedad, (b) color (colorímetro, Konika Minolta)  
(c) solubilidad (Ferca, TT400)



Figura 9. Determinación a la permeabilidad del oxígeno (OP) (OXTRAN, Mocon)



Figura 10. Muestras preparadas para la medición de la permeabilidad del oxígeno (OXTRAN, Mocon)



Figura 11. Medición de permeabilidad al vapor de agua (Elcometer, SPRL)

## A2. Aplicación de la película comestible con cúrcuma sobre la carne



Figura 8. Aplicación de la película comestible en (a) carne de cerdo, (b) carne de pollo y (c) carne de bovino



Figura 9. Medición de pH en distintas carnes recubierta con la película comestible adicionada con cúrcuma

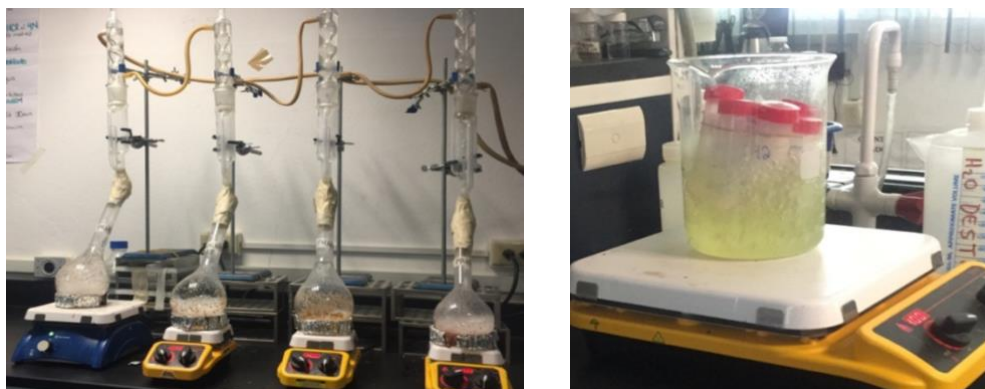


Figura 10. Análisis de la oxidación de lipídica en la carne con la película comestible adicionada con cúrcuma TBARS (expresado  $\text{mg de MDA kg}^{-1}$  de carne)

### A3. Participación en congresos

#### A3.2. *Physicochemical characterization of alginate films added with nisin*



**XXI Biochemical Engineering National Congress  
X Biochemical Engineering International Congress  
XVI Biomedicine and Molecular Biotechnology Scientific Meetings**

21- 23 March 2018, Mérida, Yucatán, México

### **PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF ALGINATE FILMS ADDED WITH NISIN.**

**María Antonieta Ríos Corripio<sup>a\*</sup>, Aleida Selene Hernández Cázares<sup>a</sup>, Hylenne Bojorges Gutiérrez<sup>a</sup>, Jorge Hernández de la Rosa<sup>b</sup>, Vania Domínguez García<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Km. 348, Córdoba - Boca del Río, Rancho Trejo, 94500 Córdoba, Veracruz, México. Email: ríos.antonietta@colpos.mx*

<sup>b</sup> *Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Av. Universidad No.350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Ver. C.P 94910. Córdoba, Veracruz, México.*

There have been remarkable developments in recent years about polymeric packaging films incorporated with natural antimicrobial agents such bacteriocins in order to improve preservation of packaged foods. The aim of this study was to characterize physicochemical properties of alginate films with nisin. Films were prepared by casting method. The film-forming solution was prepared mixing alginate and glycerol. In the case of films containing nisin, 15 g of water was replaced by a solution of nisin of a concentration such that each milliliter of final system contained 1000, 3000 or 5000 IU/ml of the antimicrobial. The physicochemical properties as thickness, puncture strength, color, moisture content, solubility and water vapor permeability were evaluated. Additionally, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was used to identify the characteristic bonds of the main compounds in nisin as well as in the prepared films. The results showed that different concentrations of nisin did not affect the physicochemical properties of films, however, gradual and significant ( $p < 0.05$ ) increments were obtained in color and solubility with the highest concentration of nisin. According to FTIR analysis, nisin produced small structural changes in alginate films. This study shows that it is feasible to incorporate natural antimicrobials into alginate films without affecting their physicochemical properties.

**Keywords:** alginate films; nisin; FTIR.

Mar del Norte No. 5, Col. San Álvaro Azcapotzalco C. P. 02090, México, D. F.  
Tel. y Fax: 5623 3088 email: colegioibq@hotmail.com, colegioibq@yahoo.com.mx

### A.3.1. Desarrollo y caracterización de películas comestibles elaboradas a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)

#### DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MALANGA (*Colocasia esculenta*)

#### DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF EDIBLE FILMS MADE FROM TARO STARCH (*Colocasia esculenta*)

Bojorges-Gutiérrez Hylenne<sup>1</sup>, Hernández-Cazares Aleida S.<sup>1\*</sup>, Ríos-Corripio M.A.<sup>1</sup>, Hidalgo-Contreras Juan Valente<sup>1</sup> y Contreras-Oliva Adriana<sup>1</sup>

#### RESUMEN

Actualmente, los materiales ampliamente utilizados en el envasado de alimentos son los polímeros derivados del petróleo. Sin embargo, se han identificado múltiples problemas asociados a su uso, tales como contaminación y dependencia al petróleo. El uso de polímeros biodegradables puede contribuir a minimizar el impacto ambiental e incrementar la vida útil en los alimentos. Las películas comestibles es ejemplo de ello, funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases, humedad y nutrientes, además pueden servir como vehículos para un amplio rango de compuestos bioactivos, que disminuyan la oxidación y pérdida de nutrientes responsables del sabor y propiedades específicas de los alimentos. La malanga (*Colocasia esculenta*), es un tubérculo comestible con alto contenido de almidón, superior al 80%, proteínas (1.4-7%) además de ser una buena fuente de fibra (0.6-0.8%), vitamina A, C, calcio y fósforo (Dendy, 200). Ha sido asociada con contenido de compuestos fenólicos (Heimer *et al.* 2005) y puede ser utilizada para remplazar materias primas convencionales como maíz, ñame, yuca y papa en la industria alimentaria (Vázquez, 2013). Motivo por el cual, se propone desarrollar y caracterizar una película comestible a partir del almidón de malanga, con la ventaja de ser biodegradable y de bajo costo de producción. Se determinará su espesor, opacidad, densidad, solubilidad en agua, permeabilidad a los gases, sus propiedades mecánicas, estabilidad en soluciones ácidas o alcalinas, espectros infrarrojos y morfología de las películas. Los resultados que se pretenden obtener, es una película comestible con características similares a los envases tradicionales, que conserven las propiedades del alimento y prolonguen su vida útil.

**Palabras clave:** Películas comestibles, malanga, almidón, biodegradables



<sup>1</sup> Colegio de Postgraduados - Campus Córdoba. Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946.  
\*Autor de correspondencia: aleyse@colpos.mx

#### A4. Publicación

Bojorges-Gutiérrez, H., Ríos-Corripio, M. and Hernández-Cazáres, A. (2019). *Desarrollo y caracterización de películas comestibles elaboradas a partir de almidón de Malanga (Colocasia esculenta)*. In: *Desarrollo Científico en México*, 1st ed. León, Guanajuato. México.: Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. ISBN 978-607-95228-9-6.



Figura 11. Portada del libro “*Desarrollo Científico en México*”, 2019.

## DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS A PARTIR DEL ALMIDÓN DE MALANGA (*COLOCASIA ESCULENTA*)

Hylenne Bojorges-Gutiérrez, María Antonieta Ríos-Corripio\* y Aleida Selene Hernández-Cazares

Colegio de Postgraduados - Campus Córdoba. Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, C.P. 94946. \*Autor de correspondencia: rios.antonietta@colpos.mx

### RESUMEN

Actualmente, los materiales utilizados en el envasado de alimentos son los polímeros derivados del petróleo. Sin embargo, se han identificado problemas asociados a su uso, uno de ellos es la contaminación. El uso de polímeros biodegradables puede contribuir a minimizar el impacto ambiental e incrementar la vida útil en los alimentos. Las películas comestibles son ejemplo de ello, funcionan como barreras selectivas para la transferencia de gases y humedad, además pueden servir como vehículos para un amplio rango de compuestos bioactivos. Malanga (*Colocasia esculenta*) cuenta con un alto contenido de almidón, superior al 80%<sup>1</sup>, es un recurso propio de la región de Veracruz que no ha sido aprovechado y que, con el desarrollo de las películas comestibles, se pretende brindarle un valor agregado. El objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímicamente y estructuralmente las películas de almidón obtenidas a partir de malanga (*Colocasia esculenta*). Se utilizó el método de casting. Los resultados obtenidos mostraron que las películas de almidón presentaban características típicas de películas comestibles hechas a base de otros almidones. El análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR) nos ayudó a establecer las características espectrales de las muestras en base a los componentes empleados en su elaboración. Estas películas comestibles a base de almidón de malanga nos proporcionan ventajas en el envasado de los alimentos como: ser biodegradables y de bajo costo en su producción.

Palabras clave: Películas comestibles, almidón, malanga

### INTRODUCCIÓN

Actualmente, los residuos generados por materiales de embalaje a base de petróleo y otros compuestos no renovables, ha provocado un grave problema de contaminación ambiental (Piyada *et al.*, 2013). Esto ha generado el desarrollo de nuevos materiales, que sean biodegradables y utilicen recursos renovables.

Las películas comestibles se definen como una capa delgada de biopolímero (matriz) que es empleada en la superficie de un alimento y puede ser consumida. Actúan como barreras selectivas para la transferencia de humedad, gases y nutrientes; se pretende que eviten o disminuyan la oxidación y la pérdida de compuestos volátiles responsables de olores y sabores específicos en los alimentos (Guilbert *et al.*, 2006; Rojas *et al.*, 2009). Uno de los biopolímeros más convenientes para elaborar películas comestibles, es el almidón debido a su alta disponibilidad, por ser renovable y de bajo costo (Savadekar y Mhaske, 2012).

La Malanga (*Colocassia esculenta*) es un tubérculo tropical que pertenece a la familia monocotilidónea *Araceae*. Su componente más importante es el almidón (73-80%) y altamente digestible, aunque también posee cantidades significativas de fibra, minerales y mucílago (Njintang *et al.*, 2008).

Sin embargo, la aplicación de película de almidón está limitada por sus propiedades mecánicas y capacidad de barrera. Sin embargo, plastificantes como el glicerol o sorbitol se han utilizado para mejorar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de las películas basadas en almidón (Muscat *et al.*, 2012)

Debido a que el plastificante ayuda a reducir los enlaces intramoleculares que existen en las cadenas de los polímeros, lo que conlleva a una modificación de las propiedades mecánicas y producen películas con mayor flexibilidad (Campos *et al.*, 2011).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar fisicoquímicamente y estructuralmente las películas de almidón obtenidas a partir de malanga (*Colocasia esculenta*), con distintos tipos de plastificantes.

## MATERIALES Y MÉTODO

Para este estudio se utilizó glicerol proporcionado por Monarca Aditivos (Puebla, México), sorbitol Sigma Aldrich (St. Louis, EE.UU.), los cuales fueron utilizados como plastificantes. Todos los otros reactivos utilizados en este estudio fueron de grado analítico. Para la obtención de almidón se utilizaron rizomas frescos de malanga blanca, procedentes del campo experimental del Colegio de Postgraduados, campus Córdoba.

### *Obtención de almidón*

Se utilizó la metodología descrita por Rapelo *et al.* (2014), la cual consistió en pelar, cortar y moler la malanga para obtener una lechada y después filtrarla en tela (malla 80), con el propósito de eliminar fibra y otras partículas. El filtrado se dejó sedimentar por aproximadamente 4 horas a 4°C, posteriormente el sobrenadante se decantó y la lechada de almidón se lavó tres veces con agua destilada. El último lavado se centrifugó (Centrifuga Power Spin, EE. UU.), con el objetivo de recuperar el sobrenadante. Finalmente, se secó en estufa de convección a 60°C por 24 horas.

### *Preparación de películas*

Las soluciones formadoras de película se prepararon disolviendo lentamente el 1% (p/p) de almidón en agua desionizada a temperatura ambiente. Luego, se elevó la temperatura a 90°C por un lapso de 30 minutos con agitación constante. Se añadió glicerol o sorbitol como plastificante (Cuadro 1), y la solución se agitó magnéticamente durante 15 minutos. Después se le aplicó vacío durante 30 minutos para eliminar el aire disuelto en la solución, y se vertió en placas Petri esterilizadas. Finalmente, se secaron a 41°C por 12 horas en un deshidratador (Excalibur 4900, España). Una vez formadas, las películas se despegaron y acondicionaron, en un desecador con una solución saturada de  $Cl_2Mg$ , durante al menos 24 h antes de la prueba.

Cuadro 1. Nomenclatura y formulación final de las soluciones formadoras de película

Nomenclatura	Almidón (% p/p)	Glicerol (% p/p)	Sorbitol (% p/p)
AG1	1	1.5	-
AG2	1	1	-
AG3	1	0.05	-
AS1	1	-	1.5
AS2	1	-	1
AS3	1	-	0.05

Fuente: Elaboración propia

### *Caracterización de la película comestible*

#### *Espesor*

El grosor de la película se midió mediante un micrómetro (Modelo MDC-1 "SB", AMES, EE.UU.), con una precisión de 0.001 mm. El espesor promedio se calculó a partir de cinco mediciones tomadas al azar, en distintos lugares de cada película.

#### *Actividad de agua y pH*

La actividad de agua ( $A_w$ ) de las películas preacondicionadas se determinó mediante el equipo Hygrolab (Rotronic, Bassersdorf, Suiza), colocando discos de 30 mm de diámetro sobre el porta muestras del equipo. Para la determinación del pH se pesó un 1g de muestra y se le adicionó 100 ml de agua destilada, posteriormente se disolvió y se midió con el potenciómetro (Thermo Fisher Scientific Inc., UK.).

#### *Color*

El color se determinó con el colorímetro CR-400 Minolta Croma Meter (Konika Minolta, Valencia, España). Se colocaron muestras de películas en la superficie de la placa estándar blanca, (valores de placa de calibración  $L^* = 97.72$ ,  $a^* = -0.39$  y  $b^* = 1.70$ ) y los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  se midieron utilizando la escala de color CIELAB:  $L^* = 0$  (negro) a  $L^* = 100$  (blanco),  $-a^*$  (verde) a  $+a^*$  (enrojecimiento) y  $-b^*$  (azul) a  $+b^*$  (amarillo). Se calculó la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) para las películas de malanga de la siguiente manera:



$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

#### *Espectroscopia Infrarroja (FTIR)*

Para la caracterización del almidón obtenido se utilizó un Espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) (Bruker, Vertex, Wisconsin, EE.UU.) mediante Reflectancia Total Atenuada (ATR). Los espectros se obtuvieron por triplicado. Se utilizaron 64 barridos con una resolución de 4 cm<sup>-1</sup> en la región espectral de 4000-400 cm<sup>-1</sup>. Para el análisis de los espectros se utilizó el programa Origin 6.1 (OriginLab Corporation, EE.UU.).

#### *Análisis estadístico*

Los datos se sometieron a un análisis de varianza de una vía (ANOVA) por medio del programa estadístico SAS ® (Statistical Analysis System, EE.UU.). Las pruebas de medias se realizaron empleando la prueba de Tukey con un nivel de significancia establecido en  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las películas del almidón de la malanga, mostraron ser homogéneas, delgadas, flexibles e incoloras (Figura 1).



Figura 2. Apariencia de la película de almidón de malanga (*Colocasia esculenta*)

De acuerdo a lo observado, la actividad de agua que mostraron las películas fue cercana a 6 (Cuadro 2) y es la cantidad de agua disponible en la película para poder llevar a cabo reacciones químicas, enzimáticas y el desarrollo de actividad microbiana, cuando se pone en contacto con el alimento. Los tratamientos que resultaron distintos en los parámetros de pH y  $A_w$ , fueron a los que se les adicionó glicerol como plastificante, esto probablemente a que este compuesto es sumamente higroscópico, y por lo tanto, las películas formadas presentan una mayor actividad de agua y un contenido más amplio de iones OH.

Cuadro 2. Determinación de la actividad de agua, pH y espesor de las distintas películas de almidón de malanga, obtenidas con diferentes tipos y concentraciones de plastificante

Película	$A_w$	pH	Espesor (mm)
AG1	0.676 ± 0.023 <sup>c</sup>	6.87 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.001 <sup>a</sup>
AG2	0.649 ± 0.021 <sup>c</sup>	6.83 ± 0.036 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.003 <sup>a</sup>
AG3	0.663 ± 0.017 <sup>c</sup>	6.73 ± 0.035 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.002 <sup>a</sup>
AS1	0.491 ± 0.016 <sup>a</sup>	6.75 ± 0.058 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.001 <sup>a</sup>
AS2	0.589 ± 0.018 <sup>b</sup>	6.71 ± 0.056 <sup>b</sup>	0.12 ± 0.004 <sup>a</sup>
AS3	0.619 ± 0.004 <sup>bc</sup>	6.74 ± 0.030 <sup>b</sup>	0.12 ± 0.003 <sup>a</sup>

Los valores reportados para cada película de almidón son sus medias ± desviación estándar (n = 5). Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ( $p < 0.005$ ), de acuerdo a la prueba de Tukey.

Los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $\Delta E^*$  de las películas estudiadas se muestran en el Cuadro 2. Las películas de almidón con diferente tipo y concentración de gelificante no mostraron diferencias significativas en los parámetros de color ( $p < 0.05$ ).

En general, los valores ópticos de la película presentados aquí tienen buena transparencia, comparados con otras películas elaboradas de diferentes tipos de almidones. De acuerdo a Flores et al. (2007) para películas de almidón de tapioca:  $L = 85.42$ ,  $a = -1.08$  y  $b = 5.02$ , en el caso de películas de papa  $L = 95.70$ ,  $a = -5.14$  y  $b = 7.38$  (Zavareze et al., 2010) y para los valores para los sistemas de almidón de quínoa:  $L = 92.86$ ,  $a = -0.87$  y  $b = 1.96$  (Araujo-Farro et al., 2010).

Los parámetros de color ( $a^*$ ,  $b^*$ ) también muestran diferencias entre los almidones, debido a que existe una dependencia entre el origen del almidón (relación amilosa/amilopectina, tamaño y forma de los gránulos de almidón), así como también del grosor (Basiak et al., 2017). En cualquier caso, la magnitud de  $a$  y  $b$  no interfieren con la percepción del color en los consumidores de productos alimenticios recubiertos con este tipo de biomateriales.

Cuadro 3. Parámetros de color CIE-Lab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) y la diferencia de color total ( $\Delta E^*$ ) de las películas de almidón de malanga, obtenidas con diferentes tipos y concentraciones de plastificante

Película	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E^*$
AG1	$95.6 \pm 0.8^a$	$-0.7 \pm 0.2^a$	$4.8 \pm 1.7^a$	$3.8 \pm 1.8^a$
AG2	$94.7 \pm 0.2^a$	$-0.9 \pm 0.1^a$	$6.5 \pm 1.2^a$	$5.8 \pm 2.1^a$
AG3	$96.8 \pm 0.7^a$	$-0.7 \pm 0.1^a$	$4.5 \pm 0.1^a$	$3.0 \pm 0.3^a$
AS1	$93.6 \pm 0.8^a$	$-0.8 \pm 0.1^a$	$3.9 \pm 0.2^a$	$4.7 \pm 0.8^a$
AS2	$92.9 \pm 0.7^a$	$-0.8 \pm 0.2^a$	$4.1 \pm 0.3^a$	$4.8 \pm 0.5^a$
AS3	$94.1 \pm 0.2^a$	$-0.7 \pm 0.2^a$	$4.4 \pm 0.1^a$	$5.1 \pm 0.3^a$

Los valores reportados para cada película de almidón son sus medias  $\pm$  desviación estándar ( $n = 5$ ). Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ( $p < 0.005$ ), de acuerdo a la prueba de Tukey.

#### *Espectroscopia Infrarroja (FTIR)*

El almidón obtenido se caracterizó por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). En la Figura 2 se muestra el espectro FTIR del almidón el cual presenta las bandas características para este tipo de compuesto. Para el almidón los principales picos se muestran en  $3438 \text{ cm}^{-1}$  y se atribuye al estiramiento de los grupos OH; en  $2927 \text{ cm}^{-1}$  indicando el estiramiento del enlace C-H así como a  $1463 \text{ cm}^{-1}$  de la vibración tipo doblez en el plano de los grupos CH en el anillo de glucosa en la estructura del almidón. Similares resultados fueron reportados anteriormente (thawale & Rath, 1997).

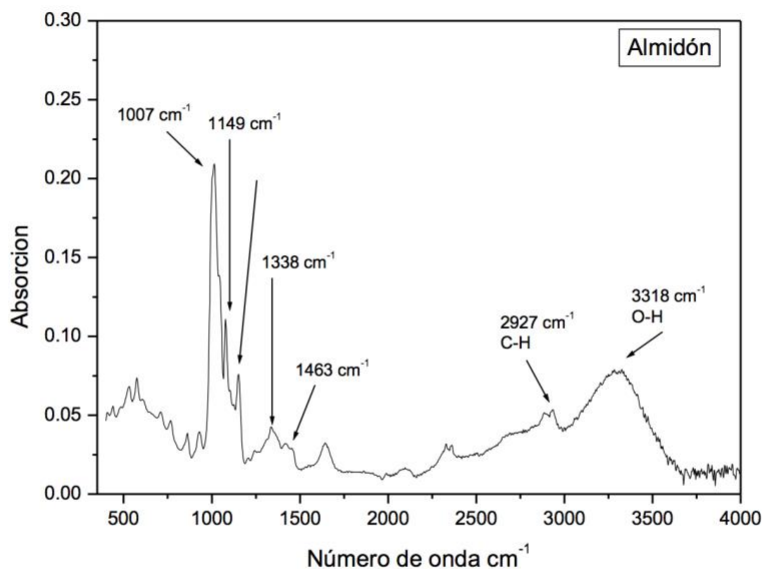


Figura 2. Espectro FTIR típico de almidón obtenido de malanga (*Colocasia esculenta*).

En la Figura 3 se presentan los espectros FTIR de almidón común y del almidón extraído de la malanga, como se puede observar ambos espectros no presentaron cambios en su línea base, lo que nos indica que el proceso de extracción de almidón de la malanga fue el correcto.

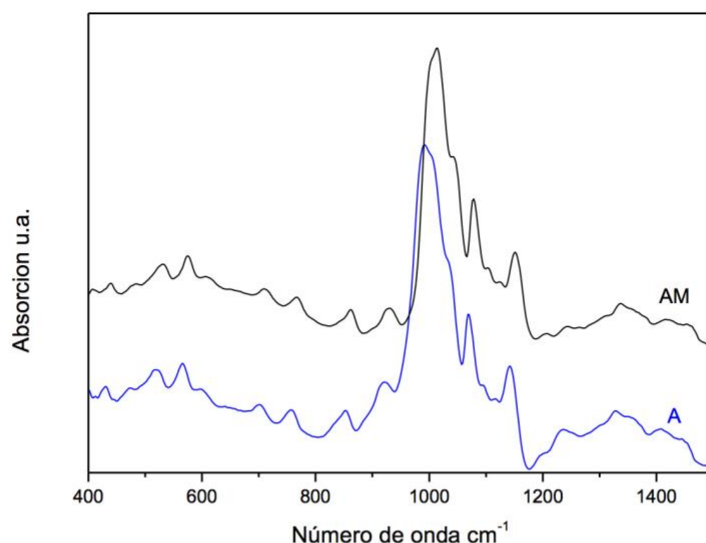


Figura 3. Espectro FTIR de almidones natural (A) y de malanga (*Colocasia esculenta*) (AM).

### CONCLUSIONES

El presente estudio demostró que es posible preparar películas de almidón de malanga, mediante la incorporación de distintos plastificantes. Este material comestible podría usarse como un envase inteligente para alimentos, ya que podrían proporcionar información sobre el deterioro de los alimentos indirectamente a través de la medición del pH de los medios, extender la vida útil de los alimentos y además ser biodegradable.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y a la línea de investigación LGAC 2 de la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Araujo-Farro, P.C., Podadera, G., Sobral, P.J.A., Menegalli, F.C., 2010. Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willdenow) starch. *Carbohydr. Polym.* 81, 839–848.
2. Athawale, V. D.; Rathi, S. C.; *Eur. Polym. J.* 1997, 33, 1067.
3. Basiak, E., Lenart, A., Debeaufort, F., 2017. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *Int. J. Biol. Macromol.* 98, 348–356.
4. Campos, C. A., Gerschenson, L. N. y Flores S. K. 2011. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food Bioprocess Technol.* 4:849-875
5. Flores, S., Famá, L., Rojas, A.M., Goyanes, S., Gerschenson, L., 2007. Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. *Food Res. Int., Starch Functionality III* 40, 257–265.
6. Guilbert, S., Gontard, N., y Gorris L. 2006. Prolongation of the shelflife of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologies.* 29, 10-17.
7. Muscat, D., Adhikari, B., Adhikari, R., Chaudhary, D.S., 2012. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *J. Food Eng.* 109, 189–201.
8. Njintang, N.Y., Mbofung, C.M., Balaam, F., Kitissou, P., Scher, J., 2008. Effect of taro (*Colocasia esculenta*) flour addition on the functional and alveographic properties of wheat flour and dough. *J. Sci. Food Agric.* 88, 273–279.
9. Piyada, K., Waranyou, S., Thawien, W., 2013. Mechanical, thermal and structural properties of rice starch films reinforced with rice starch nanocrystals. *Int. Food Res. J.* 20, 439–449.
10. Rapelo, A.L.T., Montero-Castillo, P.M., Julio-González, L.C., 2014. Utilization of taro starch (*Colocasia esculenta* L.) In the elaboration of frankfurt sausages 12, 9-16.
11. Rojas-Graü, M., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. 2009. The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science and Technology.* 44(5):875-889.
12. Savadekar, N.R., Mhaske, S.T., 2012. Synthesis of nano cellulose fibers and effect on thermoplastics starch based films. *Carbohydr. Polym.* 89, 146–151.
13. Zavareze, E. da R., Storck, C.R., de Castro, L.A.S., Schirmer, M.A., Dias, A.R.G., 2010. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. *Food Chem.* 121, 358–365.