

Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Química

Doctorado en Ciencias Químicas



Efecto de biopolímeros con extractos antioxidantes sobre la vida útil de un reestructurado cárnico

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

M. en C.Q. Ángel Santillán Álvarez

Dirigida por:

Dr. Octavio Dublán García

Dr. Leobardo Manuel Gómez Oliván

Dra. Baciliza Quintero Salazar

Toluca, Méx. Enero 2018

AGRADECIMIENTOS

Al universo por hacer coincidir a todas las personas en el justo momento y el lugar idóneo para acompañarme durante estos tres años y medio de trabajo y formar este equipo:

Gracias a mi mamá por darme la oportunidad de tener una educación y nunca dejarme.

Gracias Octavio Dublán por confiar en mí, ser más que un mentor un amigo.

Gracias Gabriela Morachis porque sin tu apoyo, compañía, conocimiento y amistad durante el transcurso de estos estudios doctorales no hubieran sido lo mismo.

Gracias Yesenia Ordoñez por todo tu apoyo, confianza y ánimo pero sobre todo por escucharme.

Gracias Dra. Baciliza Quintero por su confianza y conocimiento desde estudios de pregrado que lograron fortalecerme para llegar a la obtención de este grado.

Gracias Gerardo Fernández por tolerar la locura de mí ser, por acompañarme, creer en mí y siempre darme ánimo para continuar.

Gracias Martha Rodríguez por tu conocimiento, ayuda y amistad.

Gracias María Walter, María Fernanda Cañón y Krisztina Lendenmayer por su amistad y formar parte de esta experiencia de vida.

Gracias a mi alma mater la Universidad Autónoma del Estado de México y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo para la realización de este posgrado.

Gracias a la Professoressa Elena Torrieri y al Universidad de Nápoles Federico II por su hospitalidad y acogida.

.

Índice

<i>Resumen</i>	10
<i>Abstract</i>	10
1. INTRODUCCION	12
2. ANTECEDENTES	16
2.1. CARNE	16
2.1.1. Composición e importancia nutritiva de la carne	17
2.1.2. Proteínas, péptidos y aminoácidos de la carne	18
2.1.3. Calidad de la carne	22
2.2. LA CARNE DE CERDO	23
2.2.1. Producción mundial	24
2.2.2. Consumo mundial	25
2.2.3. Mercado nacional de carne de cerdo	26
2.2.4. Consumo en México	28
2.3. CARNE DE LOS PESCADOS Y LA CARPA COMÚN	29
2.3.1. El pescado	29
2.3.1.1. Aspectos generales de los pescados	30
2.3.1.2. Constitución del pescado	30
2.3.1.3. Músculo del pescado	32
2.3.1.4. Constitución proteínica del pescado	33
2.3.1.5. Propiedades funcionales de las proteínas del músculo de pescado	34
2.3.1.5.1. Solubilidad	36
2.3.1.5.2. Capacidad de retención de agua (CRA)	36

2.3.1.5.3. Capacidad de gelificación	37
2.3.1.5.4. Capacidad emulgente	40
2.3.1.6. Valor nutrimental del pescado	40
2.3.1.7. El músculo y sus cambios después de la pesca	45
2.3.1.7.1. Cambios sensoriales	45
2.3.1.7.2. Cambios autolíticos	46
2.3.1.7.2.1. Autolisis	48
2.3.2. Carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>)	49
2.3.2.1. Rasgos biológicos	51
2.3.2.2. Antecedentes históricos	51
2.3.2.3. Principales países productores y producción mundial	51
2.3.2.4. Composición nutrimental	52
2.3.2.5. Productos a base de carpa	53
2.4. REESTRUCTURADOS CÁRNICOS	53
2.4.1. Productos cárnicos más saludables	56
2.4.2. Reducción y/o eliminación de compuestos con implicaciones negativas a la salud	57
2.4.2.1. Grasa	57
2.4.2.2. Sodio	57
2.4.2.3. Nitritos	57
2.4.3. Eliminación de alérgenos	58
2.4.4. Incorporación de compuestos asociados con beneficios para la salud	58
2.5. ALIMENTOS FUNCIONALES Y REESTRUCTURADOS CÁRNICOS	59
2.5.1. Derivados cárnicos como alimentos funcionales	61

2.6. FIBRA DIETÉTICA	62
2.6.1. Propiedades funcionales de la fibra	68
2.6.2. Usos y ventajas tecnológicas	70
2.7. CHÍA	71
2.7.1. Características de la semilla	72
2.7.1.1. Cultivo	72
2.7.2. Composición fisicoquímica de las semillas de chía y propiedades funcionales	73
2.7.3. La chía como fuente de ácidos grasos esenciales en la nutrición humana	74
2.7.4. Usos y aplicaciones	76
2.7.5. Antioxidantes presentes en la chía (<i>Salvia hispánica</i> L.) y propiedades funcionales	78
2.8. TECNOLOGÍA DE BARRERAS	80
2.8.1. Empaques y recubrimientos comestibles	85
2.8.1.1. Empaques	85
2.8.1.2. Empaques comestibles	87
2.8.1.2.1. Películas comestibles	90
2.8.1.2.2. Recubrimientos comestibles	90
2.8.1.3. Componentes de películas y recubrimientos comestibles	92
2.8.1.3.1. Proteínas	92
2.8.1.3.1.1. Suero de leche	94
2.8.1.3.1.2. Grenetina	96
2.8.1.3.2. Polisacáridos	99
2.8.1.3.2.1. Inulina	100

2.8.1.3.3. Lípidos	102
2.8.1.3.4. Plastificantes	102
2.8.1.3.4.1 Glicerol	103
2.8.1.3.5. Conservadores	105
2.8.1.4. Procesos de formación de películas y recubrimientos comestibles	105
2.8.1.5. Caracterización de recubrimientos comestibles	107
2.8.1.5.1. Propiedades de barrera	107
2.8.1.5.1.1. Permeabilidad al vapor de agua	107
2.8.1.5.1.2. Permeabilidad a gases	108
2.8.1.5.2. Propiedades mecánicas	109
2.8.1.5.3. Propiedades ópticas: color, transparencia y brillo	109
2.8.1.6. Aplicación de los recubrimientos en carne y productos cárnicos	112
2.8.1.6.1. Bioempaques adicionados con ingredientes activos	113
2.8.1.6.2. Agentes antimicrobianos para aplicaciones de envasado de alimentos	115
2.8.1.6.3. Efectividad de los recubrimientos antimicrobianos	117
2.8.1.6.4. Recubrimientos antimicrobianos adicionados con aceites esenciales y extractos de plantas.	118
2.9. Compuestos antioxidantes y actividad antioxidante	119
2.9.1. Antioxidantes en reestructurados o alimentos funcionales	121
2.9.2. Antioxidantes naturales	123
2.10. <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	124
2.10.1. Uso tradicional culinario	127
2.10.2. Usos tradicionales en alimentos y bebidas locales	127

2.10.3.Fuente de fibra	128
2.10.4. Importancia hoy en día de <i>Hibiscus safdariffa</i> L.	128
2.10.5. Valor nutrimental	128
2.10.6.Capacidad antioxidante de cálices de jamaica	133
2.10.7.Capacidad antimicrobiana de cálices de jamaica	134
3. JUSTIFICACION	137
4. HIPOTESIS	138
5. OBJETIVOS	139
5.1. Objetivo general	139
5.2. Objetivos específicos	139
6. MATERIALES Y METODOS	140
6.1. Materia prima y reactivos.	140
6.1.1. Colecta y almacenamiento de carne de carpa.	140
6.1.2. Colecta y almacenamiento de carne de cerdo.	140
6.1.3. Compra y almacenamiento de las semillas de chía.	140
6.1.3.1. Elaboración de harina de chía	140
6.1.4. Compra y almacenamiento de plantas deshidratadas y semillas	141
6.1.4.1. Elaboración de extractos acuosos	141
6.1.5. Reactivos	141
6.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	142
6.3. METODOLOGÍA	143
6.3.1. Evaluación de características fisicoquímicas de materia prima	143
6.3.1.1. pH	143
6.3.1.2. Acidez total titulable	143

6.3.1.3. Humedad	144
6.3.1.4. Cenizas	144
6.3.1.5. Proteína cruda	144
6.3.1.6. Determinación de extracto etéreo	145
6.3.2. Desarrollo y selección del reestructurado cárnico	146
6.3.2.1. Extracción de proteínas miofibrilares.	147
6.3.2.2. Gelificación de las proteínas.	148
6.3.2.3. Concentración proteica	148
6.3.2.4. Determinación de grupos sulfhídrido totales	149
6.3.2.5. Electroforesis SDS-PAGE	149
6.3.2.6. Compuestos fenólicos totales (método Folin – Ciocalteau)	150
6.3.2.7. ABTS ⁺ . 2-2'-Azino-bis (3-etilenbenzotiazonilo-6-ácido sulfónico)	151
6.3.2.8. DPPH- (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo)	152
6.3.2.9. Medición de parámetros de color	153
6.3.2.10. Esfuerzo al corte (navaja de Warner-Bratzler).	153
6.3.2.11. Análisis del perfil de textura (TPA).	154
6.3.2.12. Bases volátiles	155
6.3.3. Obtención de biopolímero comestible con actividad antioxidante y antimicrobiana	157
6.3.3.1. Elaboración de extractos de plantas	157
6.3.3.2. Elaboración de extractos acuosos	157
6.3.3.3. Elaboración de biopolímeros comestibles	158
6.3.4. Elaboración de reestructurados cárnicos adicionados con extracto de Jamaica	161

6.3.5. Análisis microbiológicos	162
6.3.5.1. Mesófilos aeróbios.	162
6.3.5.2. Coliformes totales.	163
6.3.5.3. Hongos y Levaduras.	164
6.3.6. Análisis estadístico	165
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	166
7.1. Evaluación de características fisicoquímicas de la materia prima.	166
7.2. Desarrollo y selección del reestructurado	168
7.2.1. Análisis de perfil de textura de los reestructurados cárnicos	171
7.3. Obtención del biopolímero comestible con actividad antioxidante y antimicrobiana	176
7.3.1. Características fisicoquímicas de extractos de plantas y biopolímeros comestibles	176
7.3.2. Caracterización de biopolímero comestible	181
7.3.2.1. Grosor de los biopolímeros	181
7.3.2.2. pH	182
7.3.2.3. Contenido de humedad y contenido de compuestos fenólicos totales	182
7.3.2.4. Densidad de superficie, solubilidad del biopolímero en agua, capacidad de absorción de agua y permeabilidad.	183
7.3.2.5. Parámetros de color de biopolímeros con EHs	184
7.4. Reestructurado con biopolímero adicionado con extracto de jamaica	185
7.5. Análisis del pH	186
7.6. Análisis del color	187
7.7. Análisis de humedad	189

7.8 Análisis de acidez	191
7.9 Resultados de contenido de bases volátiles	192
7.10 Resultados de contenido de proteína y grupos sulfhídricos	193
7.11. Resultados TPA y esfuerzo al corte	194
7.12. Características de cocción	199
7.13. Análisis electroforético con geles de concentración estándar (SDS-PAGE)	202
7.14. Análisis microbiológico	204
8. CONCLUSIONES	207
9. BIBLIOGRAFIA	208
10. ANEXOS	240
10.1. Índice de figuras	240
10.2. Índice de gráficas	242
10.3. Índice de tablas	243
10.4. Primer artículo	247
10.5. Confirmación de recibido de segundo artículo	262
10.6. Certificado de estancia doctoral en el extranjero	263

Resumen

Se evaluó el efecto de biopolímeros con extractos antioxidantes sobre la vida útil de un reestructurado cárnico, almacenado a 4°C. Se llevaron a cabo cuatro etapas, en la primera etapa el reestructurado cárnico fue a base de carpa común (*Cyprinus carpio*) y cerdo (0:100; 100:0) fortificado con 0-8 g / 100 g de harina de semilla de chía (CSF). Para seleccionar el mejor reestructurado se realizó la evaluación textural y sensorial observándose que el reestructurado cárnico con características idóneas fue la base de carpa: cerdo, 75:25 con 8 % de harina de chía, con un color similar a un producto tipo integral. En la segunda etapa se obtuvo un biopolímero a base de suero de leche, inulina, gretina, glicerol y extracto acuoso de (*Hibiscus safdariffa* L.) sustituyendo el contenido de agua (50 %), el cual presentó un contenido de compuestos fenólicos de 392.13 mgAGE/g. En la tercera etapa fue la aplicación biopolímero sobre el reestructurado y se evaluó el efecto durante su vida de anaquel, observándose que al transcurrir el tiempo de almacenamiento (23 días), el color no tuvo diferencia significativa, el recubrimiento con y sin extracto acuoso mantuvieron estable la humedad con respecto al control, quién tuvo una disminución significativa ($p < 0.05$), en cuanto al contenido

Abstract

The effect of biopolymers with antioxidant extracts on the shelf life of a restructured meat was evaluated, stored at 4 ° C. Three stages were carried out, in the first stage the restructured meat was made of common carp (*Cyprinus carpio*) and beef (0: 100; 100: 0) fortified with 0-8 g / 100 g of chia seed flour (CSF) To select the best restructured, the textural and sensory evaluation was accomplished, perceiving that the restructured meat with suitable textural and sensory characteristics was realized the basis of carp: pork 75:25 with 8% of chia flour, with a similar color to an integral type product. In the second stage a biopolymer was obtained made of whey, inulin, gelatin glycerol and aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* L. replacing water content (added with 1.5% aqueous extract of (50%) which presented a content of phenolic compounds of 392.13 mgAGE / g. In the third stage was made the application of the biopolymer on the restructured and its effect during its shelf life was evaluated, observing that after the storage time (23 days), the color did not have a significant difference, the polymer with and without aqueous extract they maintained stable humidity with respect to the control, which had a significant decrease

de bases volátiles totales, ambos polímeros (con y sin extracto acuoso de Jamaica) provocaron una disminución en la producción de estos compuestos, respecto a la textura, ambos recubrimientos tuvieron un efecto protector de los reestructurados, ya que las proteínas se vieron menos afectadas manteniendo por más tiempo la integridad del reestructurado cárnico. El perfil electroforético SDS-PAGE, mostró que las muestras con biopolímero coadyuvaron a mantener la integridad de la miosina durante el tiempo de almacenamiento, no siendo así para la muestra sin polímero. Respecto a los análisis microbiológicos, se observó que los reestructurados con biopolímero disminuyeron la velocidad de crecimiento de los microorganismos. Este estudio muestra que la aplicación de biopolímeros activos adicionados con extracto de *Hibiscus safdariffa* L., son una estrategia que retarda los cambios fisicoquímicos y microbiológicos de descomposición almacenados a bajas temperaturas (-4 °C).

($p < 0.05$), in terms of the content of total volatile bases, both polymers (with and without aqueous extract of Hibiscus) caused a decrease in the production of these compounds, regarding to the texture, both polymers had a protective effect of the restructured ones, since the proteins were less affected maintaining the integrity of the restructured meat for a longer time. The SDS-PAGE electrophoretic profile showed that the samples with biopolymer helped to maintain the integrity of the myosin during the storage time, but not for the sample without polymer. Relating to microbiological analyzes, it was observed that those restructured with biopolymer decreased the growth rate of microorganisms. This study showed that the application of active biopolymers added with *Hibiscus safdariffa* L. extract is a strategy that delays the physicochemical and microbiological changes of decomposition stored at low temperatures (-4 °C).

1. Introducción

La obesidad se define como el estado de tener exceso de grasa en el cuerpo y es el resultado de un desequilibrio entre las calorías ingeridas y las calorías gastadas (Corey & Kaplan, 2014), actualmente está considerada como una epidemia creciente alrededor del mundo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) en 2016 más de 1900 millones de adultos tenían sobrepeso; sino se busca una estrategia poblacional, multisectorial y multidisciplinaria para frenar el problema, para el año 2025 se superará y 650 millones de personas eran obesas. Conjuntamente había para 2016 más de 340 millones de niños y adolescentes (de 5 a 19 años) con sobrepeso u obesidad. Además Si se mantienen las tendencias actuales, el número de lactantes y niños pequeños con sobrepeso aumentará a 70 millones para 2025. Sin intervención, los lactantes y los niños pequeños obesos se mantendrán obesos durante la infancia, la adolescencia y la edad adulta.

En México desde la década de los años 80's las cifras de sobrepeso y obesidad se han triplicado, 39.05% de la población tiene sobrepeso y 32.15% obesidad, lo que equivale a 7 de cada 10 mexicanos de entre 30 y 60 años (INSP, 2012). De acuerdo con el Fondo de las Naciones Unidas para la infancia (UNICEF por sus siglas en inglés) el país se encuentra en el primer lugar de obesidad infantil a nivel mundial y segundo lugar en adultos después de Estados Unidos, y primer lugar en el caso de mujeres (FAO, 2013; UNICEF, 2014).

Dentro de las causas de estas enfermedades están la ingesta de alimentos hipercalóricos ricos en lípidos, sal y carbohidratos, y deficientes en el contenido de vitaminas minerales y fibra, aunado al descenso de actividad física y el ritmo de vida sedentario y poco activo. La 

obesidad y el sobrepeso son prevenibles realizando actividad física periódica, equilibrando el contenido energético consumido, limitando la ingesta de azúcares, y grasas totales, y aumentando el consumo de frutas, verduras, legumbres, cereales integrales y frutos secos (OMS, 2012) todo esto traducido como una mayor ingesta de fibra.

Diferencias entre la fibra soluble e insoluble. Entre las primeras encontramos sustancias como las pectinas, gomas y mucílagos, mientras que entre las segundas encontramos sustancias como la celulosa, lignina y hemicelulosa (FAO, 2018)

La fibra insoluble, sobre todo la lignina, es especialmente importante para controlar los niveles de colesterol en sangre, ya que éste se une a ácidos biliares y la fibra aumenta la excreción de los mismos. Además, la fibra insoluble es la que más efecto tiene contra el estreñimiento.

La fibra soluble, por su lado, retrasa el vaciamiento gástrico y por ende, reduce el tiempo de elevación de glucemia tras las comidas. Entonces, en caso de querer controlar la glucosa en sangre, lo ideal es ingerir fibra soluble.

Estudios demuestran que el incremento en consumo de productos ricos con fibra dietética está asociado fuertemente con la reducción de padecer diabetes (Isken *et al.*, 2010) y a su vez enfermedades cardiovasculares, o complicaciones de comorbilidad. En ese sentido existen diversos productos alimenticios que aportan a la dieta la cantidad requerida o una parte de la fibra necesaria, y referente a su funcionalidad la fibra dietética puede tener algunos beneficios como: coadyuvante de la textura, incrementar el volumen en productos bajos en azúcar, sustituto de grasa, aportar color, y como antioxidante natural (Viuda-³

Martos *et al.*, 2010; Ramírez-Santiago *et al.*, 2010). Además de contribuir al mejoramiento de las características texturales, mejora las sensoriales y la vida útil de los alimentos, debido a su capacidad de retención de agua, capacidad de formar geles, grasa mimética, antiadherencia, poder antiaglutinante, texturización y efectos espesantes (Yangilar, 2013).

Algunos ejemplos de estas fibras dietéticas se obtienen de fracciones de granos y diversas frutas (Bollinger, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006), pectinas (Rodríguez *et al.*, 2006), β -glucanos, fibra de celulosa de remolacha (Nelson, 2001), povidexrosa (Mitchell, 2001), entre otras.

Las fibras dietéticas ligadas con las proteínas de la soya por sus propiedades funcionales han sido empleadas extensamente en diferentes ramas de la industria de alimentos, incluyendo los cárnicos (Waszkowiak *et al.*, 2001; Bilska *et al.*, 2002; Makafa & Olkiewicz, 2004; Jiménez-Colmenero, Ayo & Carballo 2005; Hoogenkamp, 2007; Waszkowiak and Szymandera-Buszka, 2008). Las cáscaras de papa, un subproducto de la industria de las papas, es rica en fibra y también ha sido empleada como fuente de fibra dietética en la elaboración de pan (Sudha, Baskaran & Leelavathi 2007). Las semillas de la *Salvia hispánica* L., mejor conocida como chía, es un pseudocereal rico en fibra soluble e insoluble, además de contener del 25% al 35% de ácidos grasos polinsaturados, antioxidantes como ácido cinámico, clorogénico y cafeíco, además de flavonoides, mirecitina, quercitina y kaempferol (Reyes-Caudillo, Tecante & Valdivia-López, 2008), haciéndola un excelente ingrediente para la dieta ya que trae efectos benéficos como la reducción de la colesterolemia, modificación de la glucemia y respuestas en insulinémicos, además de cambios en la función del intestino y actividad antioxidante (Reyes-Caudillo Tecante & Valdivia-López, 2008). Algunos autores como Sánchez-Alonso, Haji-Maleki & Borderías (2007a), Sánchez-Alonso, Solas & Borderías

(2007b), Sánchez-González *et al.* (2009), Cardoso *et al.* (2011), Cardoso, Ribeiro & Mendes (2012), Debusca *et al.* (2013), Debusca *et al.* (2014), ha adicionado diferentes tipos de fibra como fibra de trigo a merluza y jurel, fibra dietética de trigo a surimi a base de calamar gigante, fibra de trigo en surimi, fibra de chícharo, carragenina y carragenina-harina de komjac en lubina, Solka Flog (fibra de celulosa) en surimi a base de abadejo de Alaska (Alaska pollock) y celulosa en polvo de fibra dietética respectivamente para la obtención de reestructurados cárnicos a base de especies de origen marino y/o acuícola, dentro de éstas, la carpa común, es una especie poco aprovechada alrededor del mundo (FAO, 2014; Agüeria *et al.*, 2010), sin embargo, presenta características nutrimentales relevantes. Hasta el momento no existen reportes sobre el uso de la semilla de chía como fuente de fibra para la obtención de reestructurados cárnicos de esta especie, por lo cual el uso de estos dos productos, podrían ser una alternativa de consumo, aprovechando los productos de la pesca poco comercializados por su tamaño, por su contenido de espinas o bien los retazos de pescados grandes al ser procesados, coadyuvando a la salud. Por lo que el objetivo de este estudio fue desarrollar un reestructurado cárnico como alimento funcional a base de carpa común (*Cyprinus carpio*) adicionado con harina de chía (CSF) (*Salvia hispánica* L.) y evaluarlos fisicoquímica y sensorialmente.

2. Antecedentes

2.1. CARNE

La carne es el producto pecuario de mayor valor, por sus componentes fisicoquímicos y nutricionalmente específicamente el aporte de aminoácidos esenciales de elevada biodisponibilidad. Mientras en el mundo desarrollado el consumo de carne no ha registrado variaciones importantes, el consumo per cápita de carne en países en vías de desarrollo se ha duplicado desde 1980. Según las proyecciones, la producción mundial de carne se habrá duplicado para el año 2050 (FAO, 2015a).

La palabra *carne* tiene diversos significados que generalmente concluyen en uno similar, se define como el tejido muscular de los animales que se emplea como alimento. El término carne generalmente se emplea en un sentido restrictivo para denominar a los tejidos musculares comestibles de animales mamíferos (bovinos, porcinos, ovinos, entre otros) (Sun & Holley, 2012), aunque algunos autores también contemplan los músculos de aves y pescados. También se incluye dentro de la definición de carne fresca a la carne de animales recientemente procesada y que se ha empacado al vacío o envasado en atmósferas controladas, que no ha sufrido ningún tratamiento distinto de la refrigeración para garantizar su conservación (Zhou *et al.*, 2010). De acuerdo a la FAO (2015b) el Codex Alimentarius define a la carne como “todas las partes de un animal que han sido dictaminadas como inocuas y aptas para el consumo humano o se destinan para este fin”.

2.1.1. Composición e importancia nutritiva de la carne

Los valores medios para la composición bruta y el contenido energético de la fracción comestible de la carne fresca son: 17% de proteína, 20% de grasa, 62% de humedad, 1% de cenizas y 250 Kcal/100 g (valores adecuados para carnes con un recubrimiento graso de aproximadamente 1 cm de espesor). Los trozos de músculo magro son más uniformes en composición: 20% de proteína, 9% de grasa, 70% de humedad, 1% de cenizas y 160 Kcal/100 g. La eliminación de pequeñas cantidades de grasa del músculo magro se manifiesta en un aumento de los niveles de proteína y humedad y en un descenso significativo en las cantidades de grasa y energía. Un músculo magro cuidadosamente seleccionado y resecado puede tener sólo un 3-5% grasa. La carne comercial no posee prácticamente carbohidratos (menos del 1%), ni tampoco contiene fibra (Price & Schweigert, 1994).

Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva del contenido de proteínas de alta calidad, debido a que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como minerales y vitaminas de superior biodisponibilidad. Algunos de los compuestos presentes en ella son la vitamina B12 y el hierro, los cuales no están fácilmente disponibles en las dietas vegetarianas. Se considera que el valor nutritivo de las proteínas de la carne es superior al de las proteínas de origen vegetal, aunque las diferencias entre ellas no son en realidad muy grandes (Ver Tabla 1). En general, la carne y los productos cárnicos tienen entre 95-100% de digestibilidad, mientras que la correspondiente a alimentos vegetales varía de entre 65-75% (Hopskins, 1981).

Tabla 1. Composición nutrimental de las carnes y otras fuentes de alimento por 100 g.

Producto	Agua	Proteína	Grasas	Cenizas	KJ
Carne de vacuno (magra)	75.0	22.3	1.8	1.2	485
Canal de vacuno	54.7	16.5	28.0	0.8	1351
Carne de cerdo (magra)	75.1	22.8	1.2	1.0	469
Canal de cerdo	41.1	11.2	47.0	0.6	1975
Carne de ternera (magra)	76.4	21.3	0.8	1.2	410
Carne de pollo	75.0	22.8	0.9	1.2	439
Carne de venado (ciervo)	75.7	21.4	1.3	1.2	431
Grasa de vaca (subcutánea)	4.0	1.5	94.0	0.1	3573
Grasa de cerdo (tocino dorsal)	7.7	2.9	88.7	0.7	3397
Leche (pasteurizada)	87.6	3.2	3.5		264
Huevos (cocidos)	74.6	12.1	11.2		661
Pan (centeno)	38.5	6.4	1.0		1000
Patatas (cocidas)	78.0	1.9	0.1		301

Fuente: FAO, 2015b

2.1.2. Proteínas, péptidos y aminoácidos de la carne

La carne es una fuente importante de proteínas, y su proporción varía de acuerdo a la cantidad de grasa y agua (Martin, 2002), se dice que las proteínas de la carne son de alto valor biológico debido a que el 40% de los aminoácidos que las componen son esenciales (lisina, isoleucina, treonina, valina, leucina, metionina, fenilalanina, histidina y triptófano) (Higgs & Mulvihill, 2002), variando en función de la especie de origen ([Tabla 2](#)).

Tabla 2. Contenido en aminoácidos (g/100 g de músculo) de las proteínas cárnicas de distintas especies (USDA, 2004).

	Vacuno (redondo)	Cordero (pierna)	Cerdo (costillas)	Pollo (pechuga)
Aminoácidos esenciales				
Triptófano	0,24-0,25	0,19-0,24	0,20-0,24	0,23-0,27
Treonina	0,94-0,99	0,72-0,89	0,73-0,88	0,86-0,97
Isoleucina	0,98-1,02	0,87-1,00	0,75-0,90	1,06-1,22
Leucina	1,72-1,80	1,31-1,62	1,29-1,54	1,53-1,73
Lisina	1,81-1,89	1,49-1,84	1,45-1,73	1,72-1,96
Metionina	0,55-0,58	0,43-0,53	0,42-0,51	0,56-0,63
Valina	1,06-1,10	0,91-1,12	0,87-1,04	1,02-1,14
Fenilalanina	0,85-0,89	0,69-0,85	0,64-0,76	0,81-0,91
Histidina	0,74-0,78	0,53-0,66	0,64-0,77	0,62-0,71
Aminoácidos no esenciales				
Cisteína	0,24-0,25	0,20-0,25	0,20-0,24	0,27-0,29
Arginina	1,37-1,44	1,00-1,24	1,02-1,19	1,28-1,39
Tirosina	0,73-0,76	0,56-0,70	0,52-0,67	0,64-0,79
Alanina	1,31-1,37	1,01-1,25	0,93-1,12	1,18-1,26
Ácido Aspártico	1,99-2,08	1,49-1,83	1,49-1,78	1,85-2,05
Ácido Glutámico	3,27-3,42	2,458-3,02	2,52-3,02	3,07-3,45
Glicina	1,19-1,24	0,82-1,02	0,76-0,91	1,13-1,22
Prolina	0,96-1,00	0,71-0,87	0,64-0,77	0,94-0,95
Serina	0,83-0,87	0,63-0,77	0,66-0,79	0,72-0,79
Relación Lisina/arginina	1,31-1,32	1,48-1,49	1,42-1,45	0,66-1,41

También son denominadas de alto valor biológico por estar en suficiente cantidad y proporción para cubrir las necesidades corporales, el crecimiento y la reconstitución de los tejidos (importantes para los deportistas y en períodos postoperatorios), por ser muy similares a los que componen el tejido humano (Higgs, 2000). El tratamiento térmico afecta muy poco el valor biológico de las proteínas cárnicas, aunque disminuye algo la biodisponibilidad de algunos aminoácidos esenciales como la lisina, metionina y triptófano. Las proteínas también poseen la capacidad de provocar saciedad (diferente según el tipo de carne), sin afectar negativamente a la función renal, siendo útil en dietas para favorecer la pérdida de peso y de este modo reducir el riesgo cardiovascular (Higgs, 2000).

La carne contiene derivados proteicos con efectos fisiológicos beneficiosos para la salud ([Tabla 3](#)). Algunos aminoácidos y péptidos poseen capacidad antioxidante, contribuyen a la síntesis de anticuerpos y por lo tanto a la resistencia frente algunas enfermedades (Romans *et al.*, 1994). Algunas proteínas de la carne son precursores de péptidos bioactivos (Arihara, 2004), así ciertos hidrolizados proteicos de músculo y glóbulos rojos de vacuno actúan reduciendo los factores de riesgo de enfermedades hepáticas y cardiovasculares (Honda *et al.*, 1999).

Tabla 3. Ejemplos de derivados proteicos que poseen efectos fisiológicos beneficios para la salud.

Origen y/o efecto fisiológico

Arginina	Aminoácido con efecto antioxidante por ser el precursor del óxido nítrico (Romans <i>et al.</i> , 1994).
Aminoácidos esenciales:	Contribuyen a la síntesis de anticuerpos y en la resistencia frente algunas enfermedades (Romans <i>et al.</i> , 1994). Como la <i>Taurina</i> que se comporta como un aminoácido esencial para recién nacidos y ancianos, siendo la carne una fuente importante para su aporte (Higgs & Mulvihill, 2002).
Creatina	Compuesto nitrogenado sintetizado de proteínas (principalmente de carne y pescado), posee un importante efecto en el metabolismo energético del músculo, ya que ciertos suplementos de este compuesto incrementan su rendimiento (McKenna <i>et al.</i> , 1999).
Glutación	Péptido con efecto reductor, cuya fuente más importante es la carne. Proporciona protección celular frente a una amplia variedad de procesos toxicológicos y patológicos, por lo que puede ser importante en la prevención frente a enfermedades crónicas (Higgs, 2000). Asimismo se le considera como el posible responsable del efecto atribuido a la carne de aumentar la absorción del hierro no hemo de otros alimentos (Cobiac, 2000).
L-Carnitina	Péptido que aporta energía y disminuye los niveles de colesterol, ayudando en la absorción del calcio. Procede en un 75 % de la dieta, principalmente por la carne roja (Arihara, 2004). Además, posee capacidad antioxidante y puede ser crítico en el desarrollo normal del cerebro (Cobiac, 2000). Asimismo disminuye la aparición de ácido láctico y acelera el quemado de grasas al aumentar la función mitocondrial (Gäsperlin <i>et al.</i> , 2002).
Carnosina y anserina	Péptidos bioactivos con capacidad antioxidante, más abundantes en la carne, protegen frente al estrés oxidativo, antiinflamación y antitumorales (Arihara, 2004).
Péptidos antihipertensivos	Péptidos bioactivos que inhiben la enzima angiotensina-I convertasa, con el consiguiente efecto sobre la presión sanguínea. Son derivados de proteínas de la leche, pero algunos se obtiene a partir de hidrolizados proteicos de músculo, como miopentapeptidos A y B, hidrolizados de miosina de cerdo (Arihara, 2004).

2.1.3. Calidad de la carne

La calidad de la carne se define como una combinación de propiedades donde se incluyen atributos tecnológicos de calidad, aceptación por parte de los consumidores y las características de seguridad y salud, así como las características intangibles como el bienestar animal en el sistema de producción y el estatus ecológico. Entre estas propiedades, los atributos tecnológicos de calidad y la aceptación de por parte de los consumidores manifiestan una fuerte influencia en la percepción del consumidor. La aceptación por parte de los consumidores resulta de una compleja combinación de apariencia visual y satisfacción de comer. Específicamente la satisfacción de comer, está asociada principalmente a la terneza, jugosidad y el sabor de la carne, quien es un factor importante que representa la calidad general de la carne debido a su influencia en los consumidores por repetir la compra del mismo producto (Lee *et al.*, 2012), cabe señalar que estudios demuestran que la terneza es el factor más importante que subyace la calidad de la carne de cerdo en su consumo (Wood *et al.*, 2004).

La raza es otro factor determinante en la calidad de la carne, los rasgos de las características de las fibras musculares, así como la alimentación. Aunado a esto, algunas razas presentan mayor contenido de grasa intramuscular (veteado) que puede afectar la calidad comestible principalmente la jugosidad (Lee *et al.*, 2012), además de los factores determinantes, origen de la carne es uno de los más importantes.

En México, el consumo de carne normalmente varía en función de las condiciones económicas del país. En épocas de crisis se reduce, pero en los últimos años la tendencia ha

sido a aumentar su consumo. En 2012 el consumo per-cápita anual de carne de res fue de 17.4 kg, por debajo de la carne de pollo con un consumo per cápita de 29.5 kg, y por encima de la carne de cerdo con un consumo de 15.1 kg. Estos datos nos indican que el mexicano consume más de 63 kg de carne por año, lo cual es superior al consumo per cápita promedio de los países en vías de desarrollo (41kg), pero por debajo del consumo promedio de los del primer mundo (80 kg por persona al año) (Rubio *et al.*, 2013).

2.2. LA CARNE DE CERDO

La carne de cerdo es uno de los tipos de carne que tradicional y popularmente son más consumidas en el mundo a pesar de las creencias negativas que se piensa que tienen en contra de la salud humana. En 2014 la producción mundial de carne de porcino mantuvo una tendencia creciente, así como el consumo también ha mantenido una tendencia creciente (FIRA, 2015). La idea de que la carne de cerdo no es recomendada en dietas hipocalóricas o bajas en colesterol es errónea, de hecho diversos estudios indican que la carne de cerdo comparada con otros tipos de carne es rica en proteína y baja en contenido de carbohidratos con el mismo nivel de colesterol y ácidos grasos saturados como la carne del pollo, de res o de oveja más allá del interesante contenido de ácidos grasos oleico y linoleico (Teixeira & Rodrigues, 2013).

Figura 1. Carne de cerdo



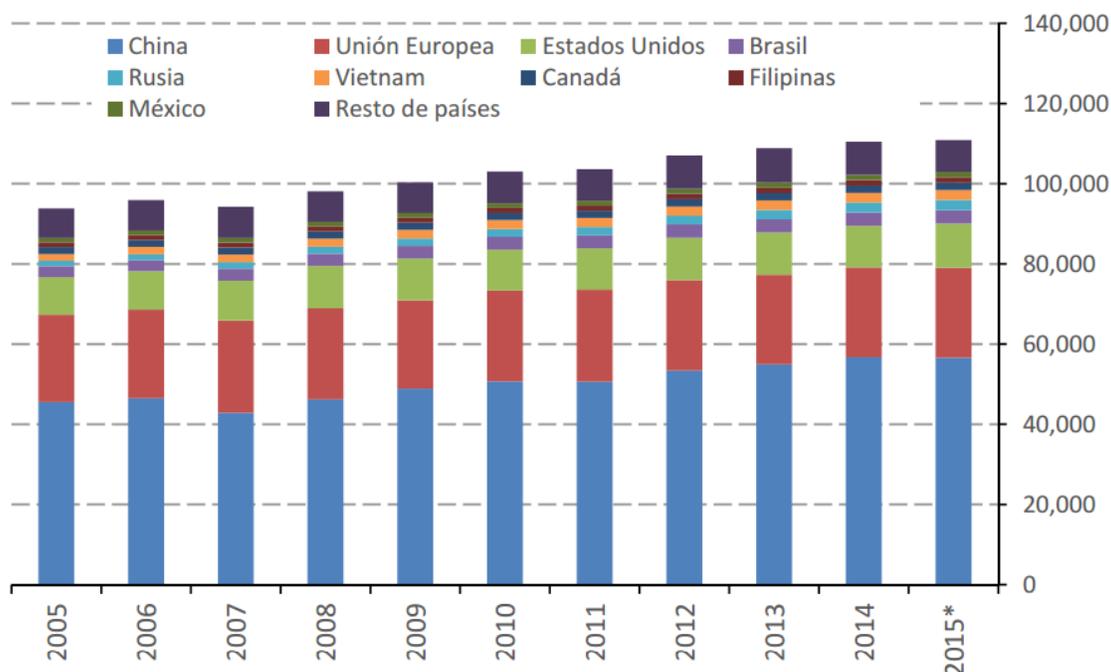
Fuente: Sin embargo.mx, 2015

2.2.1. Producción mundial

La producción mundial de carne de porcino presento un crecimiento sostenido en el periodo comprendido entre 2005 y 2014, sin embargo, de 2013 a 2014 la tasa de crecimiento fue ligeramente menor en 1.5 por ciento, lo anterior debido a la disminución de la producción de Estados Unidos por cuestiones sanitarias, y en el caso de China por los altos precios internos de los forrajes. En la [gráfica 1](#) se muestra la producción mundial de carne de porcino hasta el año 2015.

Para 2014 más del 80 por ciento de la producción mundial se concentró en tres regiones: China, Unión Europea y Estados Unidos

Gráfica 1. Producción mundial de carne de porcino, 2005-2015 (Miles de toneladas métricas)



Estimado *

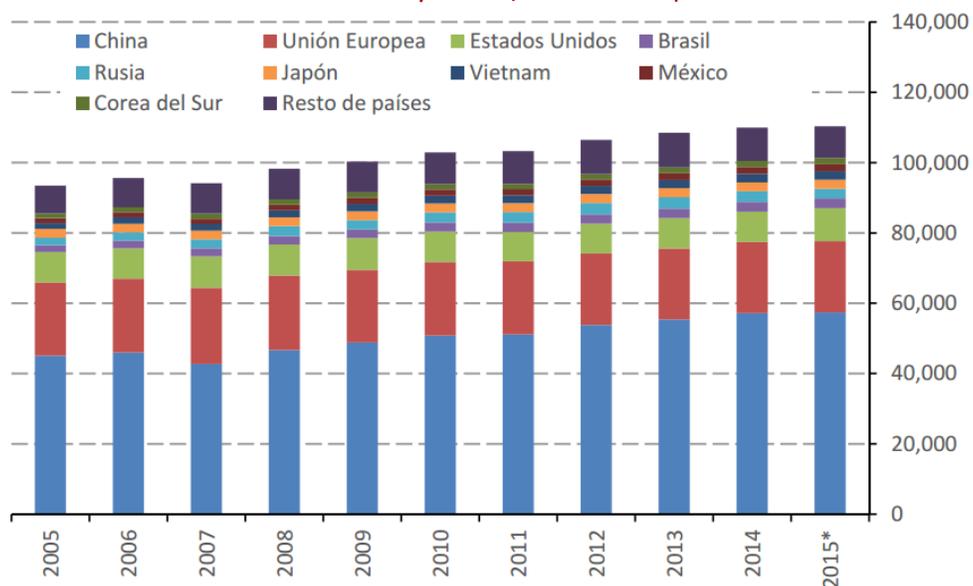
Fuente: FIRA, 2015

2.2.2. Consumo mundial

Respecto al consumo mundial de carne de cerdo muestra una tendencia creciente en los últimos 10 años, lo que representa un aumento del consumo de 93.5 millones de toneladas en 2005 hasta 110.3 millones.

China es el país número uno en consumo de carne de cerdo, seguido de la Unión Europea y en tercer lugar Estados Unidos (Ver [gráfica 2](#)). En términos per cápita, el mayor consumo lo realiza Montenegro con 77.5 Kg/año, seguido de Hong Kong y Macao con 67 y 61.2 Kg per cápita al año, respectivamente. México se encuentra en el vigésimo cuarto consumidor en términos per cápita con un consumo de 16.6 Kg anualmente (ver [gráfica 3](#)).

Gráfica 2. Consumo mundial de carne de porcino, 2005-2015 (Miles de toneladas métricas)



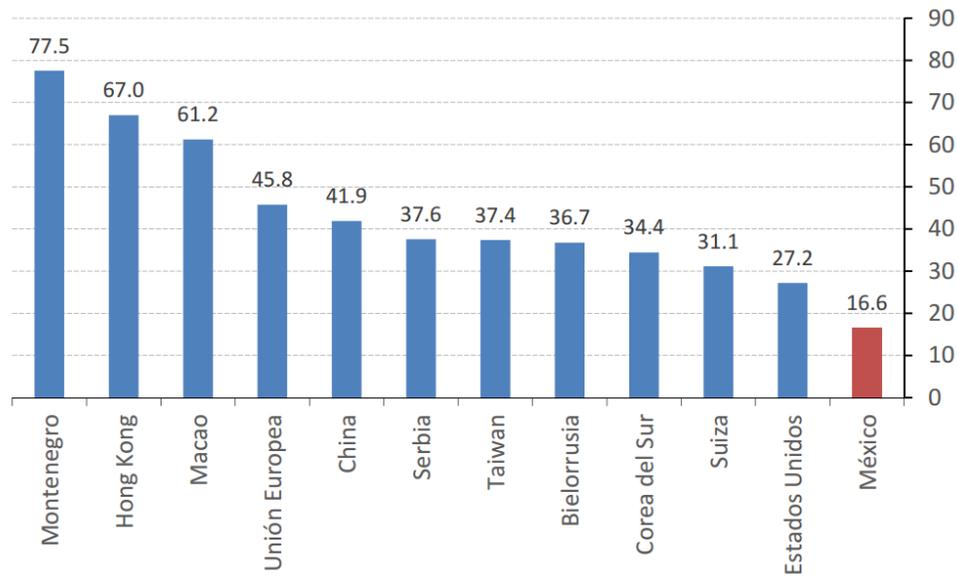
Estimado *

Fuente: FIRA, 2015

2.2.3. Mercado nacional de carne de cerdo

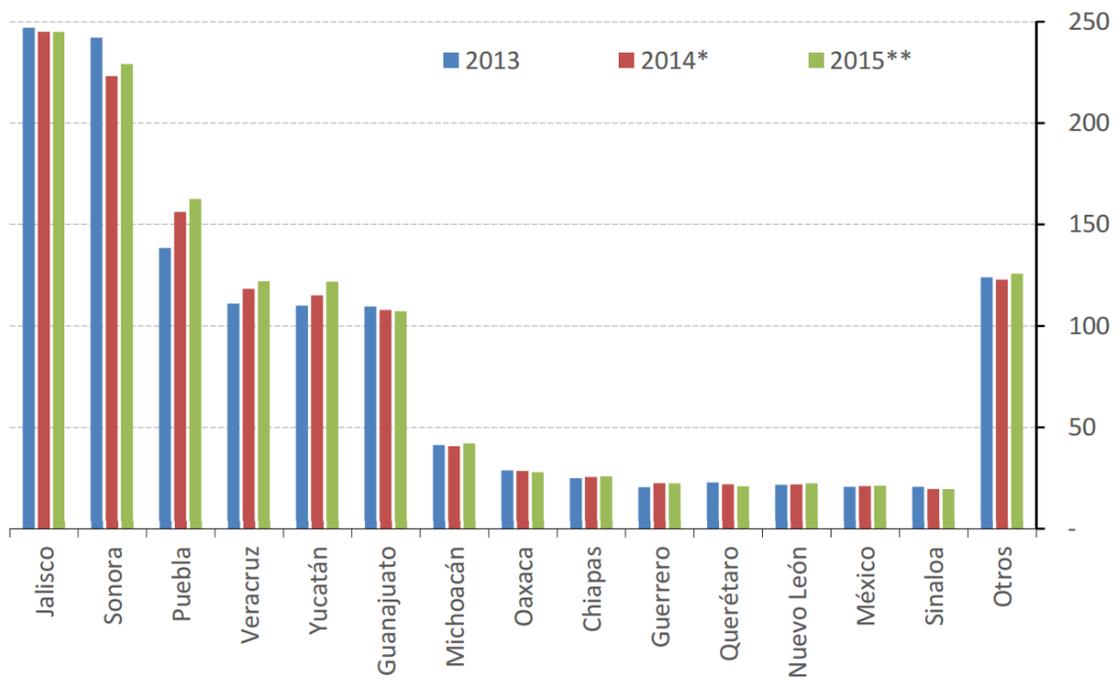
En México alrededor de 2 millones de familias dependen de la actividad porcícola, la cual genera 350 mil empleos directos, además de los 1.7 millones de empleos indirectos (FIRA, 2015). Jalisco y Sonora son las principales entidades productoras de carne de cerdo, le siguen en orden de importancia Puebla, Veracruz, Yucatán y Guanajuato (ver [gráfica 4](#))

Gráfica 3. Consumo per cápita de carne de cerdo, 2014 (Kg per capita por año)



Fuente: FIRA, 2015

Gráfica 4. Principales estados productores de carne de cerdo 2013-2015 (miles de toneladas de carne en canal)

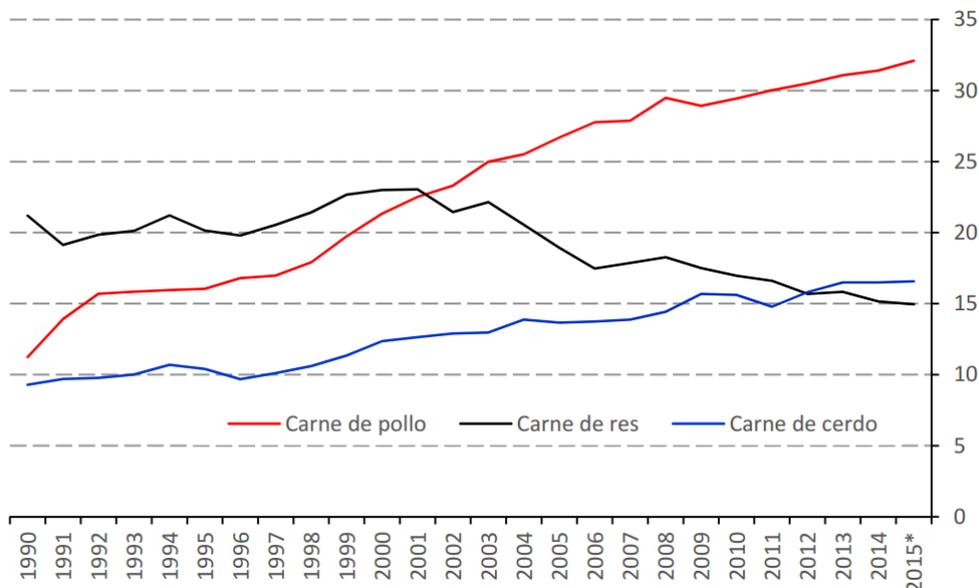


Fuente: FIRA, 2015

2.2.4. Consumo en México

El consumo de los principales tipos de carne en México presenta diferentes tendencias. Durante los últimos diez años, el consumo de carne de cerdo aumento en una tasa promedio anual de 3.3%, la de pollo 3.1% y la de res lo hizo a una tasa de 0.1%. De acuerdo a la SAGARPA (Sagarpa.gob.mx, 2014) aumentó el consumo per cápita de la carne de cerdo en México en casi 600 gramos en el último año, al pasar de 16 a 16.6 kilogramos, informó el presidente de la Confederación de Porcicultores Mexicanos (CPM), José Luis Carám Inclán. De esta forma, desde hace algunos años el consumo aparente de carne de cerdo supera al de la carne de res. En lo anterior se ve influenciado por varios factores como la diferencia de precios, ya que la carne de res es más costosa (ver [gráfica 5](#)).

Gráfica 5. Consumo per cápita de carne en México, 1990-2015 (Kilogramos por persona por año)



De acuerdo con información de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2012, los hogares mexicanos destinan 22.8 por ciento del total del gasto corriente monetario trimestral al consumo de carne, del cual el 8.1% para adquirir carne de res, 7.8 % carne de ave y 2.7 para la adquisición de carne de cerdo, y 4.3% para otras carnes.

En el mercado nacional, destaca el crecimiento en el consumo per cápita, que desde 2012 superó al consumo per cápita de carne de res. Un factor relevante que ha favorecido esta tendencia es el menor precio relativo en comparación con la carne de res, que posiciona a la carne de cerdo en un nivel más accesible para los consumidores de ingresos bajos y medios, además cabe hacer mención que una porción de carne de cerdo magra y recortada contiene solo 198 calorías. En comparación, una porción de pollo frito con piel contiene 246 calorías. Actualmente, la carne de cerdo es buena para dietas de bajas calorías pues una porción de 3 onzas provee solo con el 10-12% de las calorías requeridas (aproximadamente 2000 calorías) (Rubio *et al.*, 2013).

2.3. CARNE DE LOS PESCADO Y LA CARPA COMÚN

2.3.1. El pescado

Se designa el nombre de pescado a todos los peces comestibles que han sido sacados del agua y empleados como alimento, ya sean en estado fresco o previamente conservados, y pueden ser de agua salada (mares y océanos) o de agua dulce (ríos y lagos) (Camarero, 2006).

2.3.1.1. Aspectos generales de los pescados

Los peces son vertebrados acuáticos inferiores de sangre fría, que emplean branquias para poder obtener oxígeno del agua y presentan aletas, esto de acuerdo a FAO (2016a) y Huss (1995). Los peces son los vertebrados más numerosos, de los cuales se conocen cerca de 20,000 especies, en el mar se encuentran cerca de 58% y de forma general este porcentaje se encuentra en aguas cálidas y templadas continentales.

2.3.1.2. Constitución del pescado

El pescado, así como muchos productos animales están constituidos por agua, proteínas y otros compuestos nitrogenados, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas, y su composición química varía mucho de una especie a otra, esto de acuerdo a diversos factores como la edad, el sexo, el medio ambiente y la temporada.

Los principales macronutrientes que componen a los pescados son las proteínas y lípidos, mientras que los carbohidratos se encuentran en menor contenido (menor a 0.5%); en el caso de las vitaminas su contenido es similar al contenido de los mamíferos, excepto en el contenido de las vitaminas A y D, que se encuentran en grandes proporciones en especies grasas como lo es el bacalao. Respecto al contenido de minerales, son buena fuente de calcio, fósforo, hierro, cobre y selenio, y los de agua salada presentan altos niveles de yodo (FAO, 2016a).

Los pescados presentan una clasificación de acuerdo al contenido de lípidos el cual va de 0.2% al 25%, esta clasificación es pescados magros, pescados semigrasos y pescados grasos. Dentro de los pescados clasificados como grasos se encuentran especies pelágicas como el arenque, la caballa y el espadín. Algunas especies almacenan lípidos en partes de los tejidos de su cuerpo en cantidades limitadas o en cantidades más pequeñas que las típicas de especies grasas y en consecuencia denominadas semigrasas como por ejemplo la barracuda, la lisa y el tiburón (FAO, 2016a).

De acuerdo con la FAO (2016a) los lípidos presentes en peces contrastan en gran medida con los lípidos de los mamíferos, los cuales presentan hasta 40 % de ácidos grasos de cadena larga que son altamente insaturados y contienen cinco o seis dobles enlaces, esta diferencia repercute en la salud (actividad antitrombótica de los ácidos grasos poliinsaturados) y consecuencias tecnológicas (implicaciones rápido desarrollo de rancidez).

Como se mencionó las proteínas son uno de los dos constituyentes más importantes del pescado, estas son una excelente fuente de lisina, metionina y cisteína, y puede aumentar significativamente el valor de dietas basadas en cereales, que son pobres en estos aminoácidos esenciales. Los peces también tienen una fracción de nitrógeno no proteínico (NPN) soluble en agua, de bajo peso molecular. Esta fracción de NPN constituye del 9 a 18 por ciento del nitrógeno total en los teleósteos (peces óseos, con esqueleto casi completamente calcificados), incluyendo óxido de trimetilamina (OTMA), aminoácidos libres, creatina y carnosina FAO (2016a).

2.3.1.3. Músculo del pescado

El músculo de pescado presenta los mismos macronutrientes que el animal completo, y su composición también varía de una especie a otra en función de la edad, el sexo, el medio ambiente y la temporada (FAO, 2016b). La variación está estrechamente relacionada con la alimentación, el nado migratorio y los cambios sexuales relacionados con el desove. Los peces tienen períodos de inanición por razones naturales o fisiológicas (como la migración y desove) o debido a factores externos, tales como la escasez de alimentos. El desove puede producirse después de largas migraciones o no, por lo general requiere un mayor nivel de energía. De hecho, los peces con los depósitos de energía en forma de lípidos dependen de esta. Las especies que migran largas distancias antes de llegar a motivos específicos de desove o ríos pueden utilizar proteínas además de los lípidos para obtener la energía (FAO, 2016b). Los principales componentes del músculo de pescado y su variación se muestran en la [tabla 4](#), se incluye la composición media del músculo de carne de res para comparación.

Tabla 4. Componentes principales del músculo de pescado y carne de res (en porcentaje).

Constituyente	Pescado (filete)			Res (músculo aislado)
	Mínimo	Variación normal	Máximo	
Proteína	6	16-21	28	20
Lípidos	0,1	0,2-25	67	3
Carbohidratos		<0,5		1
Ceniza	0,4	1,2-1,5	105	1
Agua	28	66-81	96	75

Fuente: FAO, 2016b.

2.3.1.4. Constitución proteínica del pescado

Las proteínas en el músculo de peces se pueden dividir en tres grupos (FAO, 2016c):

Proteínas estructurales (actina, miosina, tropomiosina y actomiosina), constituyen entre el 70-80% del contenido total de proteína (en comparación con 40 % en los mamíferos). Estas proteínas son solubles en disoluciones salinas neutras de fuerza iónica bastante alta (0,5 M).

Proteínas sarcoplásmicas (mioalbúmina, globulina y enzimas) solubles en disoluciones salinas neutras de baja fuerza iónica (<0,15 M). Esta fracción constituye el 25-30 % de la proteína.

Proteínas del tejido conjuntivo (colágeno), constituyen aproximadamente el 3% de la proteína en teleósteos y aproximadamente 10 % en elasmobranquios (en comparación con 17 % en los mamíferos).

El aparato contráctil es el responsable del movimiento de músculos, y está formado por las proteínas estructurales. Los aminoácidos presentes en el músculo son aproximadamente similares al contenido de las correspondientes proteínas en los músculos de mamíferos, aunque las propiedades físicas pueden variar ligeramente. Cuando las proteínas se desnaturalizan en condiciones controladas, sus propiedades pueden ser utilizadas con fines tecnológicos por ejemplo en la producción de productos a base de surimi en que se utiliza la capacidad de formación de gel de las proteínas miofibrilares (FAO, 2016c). Por otro lado, la mayoría de las proteínas sarcoplásmicas son enzimas que participan en el metabolismo celular, tales como la conversión de energía anaeróbica de glucógeno a ATP (FAO, 2016c).

Las propiedades químicas y físicas de las proteínas de colágeno son diferentes en tejidos tales como piel, vejiga natatoria y la miocomata en el músculo. En general, las fibrillas de colágeno forman una estructura de red delicada complejidad variable en los diferentes tejidos conectivos en un patrón similar al encontrado en los mamíferos. Sin embargo, el colágeno de pescado es mucho más termolábil y contiene menos, pero más lábiles, enlaces cruzados que el colágeno de vertebrados de sangre caliente. Las diferentes especies de pescado contienen cantidades variables de colágeno en los tejidos del cuerpo, además las diferentes cantidades y tipos de colágeno en diferentes peces también puede tener una influencia sobre las propiedades texturales de músculo de pescado (FAO, 2016c).

Las proteínas del pescado se consideran de un alto valor biológico ya que contienen todos los aminoácidos esenciales, similar a la leche, los huevos y las proteínas de carne de mamíferos (Ver [tabla 5](#)).

2.3.1.5. Propiedades funcionales de las proteínas del músculo de pescado

La calidad del pescado está íntimamente relacionada al valor nutritivo de la carne, de sus atributos sensoriales y de sus propiedades funcionales, es decir la capacidad de proporcionar características organolépticas deseables de los productos alimenticios en sus interacciones con el agua y otros componentes del alimento. En los pescados estas propiedades funcionales o también llamado valor tecnológico depende de las proteínas (Sikorski, 1990). Las propiedades se pueden perder o dañar debido al manejo inadecuado del producto en tierra o a bordo y el factor principal del deterioro es el aumento de la

temperatura porque se disparan mecanismos enzimáticos y bacteriológicos que actúan principalmente en las uniones de los ases musculares con un marcado descenso en la capacidad de formar emulsiones estables y además una marcada pérdida de la textura de la carne.

Tabla 5. Aminoácidos esenciales en diversas fuentes de proteína (porcentaje).

Aminoácido	Pescado	Leche	Carne de res	Huevos
	%			
Lisina	8,8	8,1	9,3	6,8
Triptófano	1,0	1,6	1,1	1,9
Histidina	2,0	2,6	3,8	2,2
Fenilalanina	3,9	5,3	4,5	5,4
Leucina	8,4	10,2	8,2	8,4
Isoleucina	6,0	7,2	5,2	7,1
Treonina	4,6	4,4	4,2	5,5
Metionina-cistina	4,0	4,3	2,9	3,3
Valina	6,0	7,6	5,0	8,1

Fuente: FAO 2016c.

Las proteínas miofibrilares son las principales contribuyentes de la textura y de las propiedades funcionales en el músculo (Dublán *et al.*, 2006). Las principales propiedades funcionales de las proteínas que afectan al músculo de pescado son: solubilidad, capacidad de retención de agua, capacidad de gelificación y capacidad de emulsificación.

2.3.1.5.1. Solubilidad

La solubilidad puede ser definida como el porcentaje total de proteína muscular que permanece en disolución bajo condiciones específicas y que no sedimenta bajo fuerzas moderadas de centrifugación.

De esta solubilidad de la proteína dependen propiedades como espesante, espumante, emulgente y gelificante (Fennema, 2010).

La proteína insoluble tiene poco uso en el procesamiento tecnológico de alimentos. La solubilidad depende de las interacciones iónicas e hidrófobas. Las interacciones hidrófobas promueven la asociación proteína-proteína y disminuyen la solubilidad, mientras que las iónicas promueven las interacciones proteína-agua y aumentan la solubilidad (Fennema, 2010). La solubilidad se ve influida por el pH, las fuerzas iónicas, la temperatura y la presencia de disolventes orgánicos.

Fennema (2010) menciona que al estar íntimamente relacionada la solubilidad de las proteínas con sus estados estructurales, esta se usa para medir el grado de desnaturalización durante los procesos de extracción, aislamiento y purificación.

2.3.1.5.2. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es la capacidad de su estructura para retener de manera firme su propia agua, o bien el agua añadida, durante la aplicación de una fuerza (Gil, 2010), que puede ser externa como la presión, el calentamiento y/o la centrifugación, o

simplemente por la gravedad (Moreno, 2003). En esta capacidad de retención de agua, el pH muscular desempeña un papel relevante, puesto que los niveles elevados favorecen la capacidad de las proteínas para ligar moléculas de agua cuando se encuentran alejadas de sus puntos isoeléctricos. Se trata de un parámetro con cierta relevancia desde el punto de vista organoléptico, nutritivo y tecnológico (Gil, 2010):

- a. **Sensorial:** incide en la textura, jugosidad, color y dureza de la carne.
- b. **Nutritional:** puede originar pérdidas de agua, elementos minerales, vitaminas hidrosolubles, etc.
- c. **Tecnológico:** se produce goteo cuando sus valores son bajos, o bien hinchamientos cuando son muy elevados.

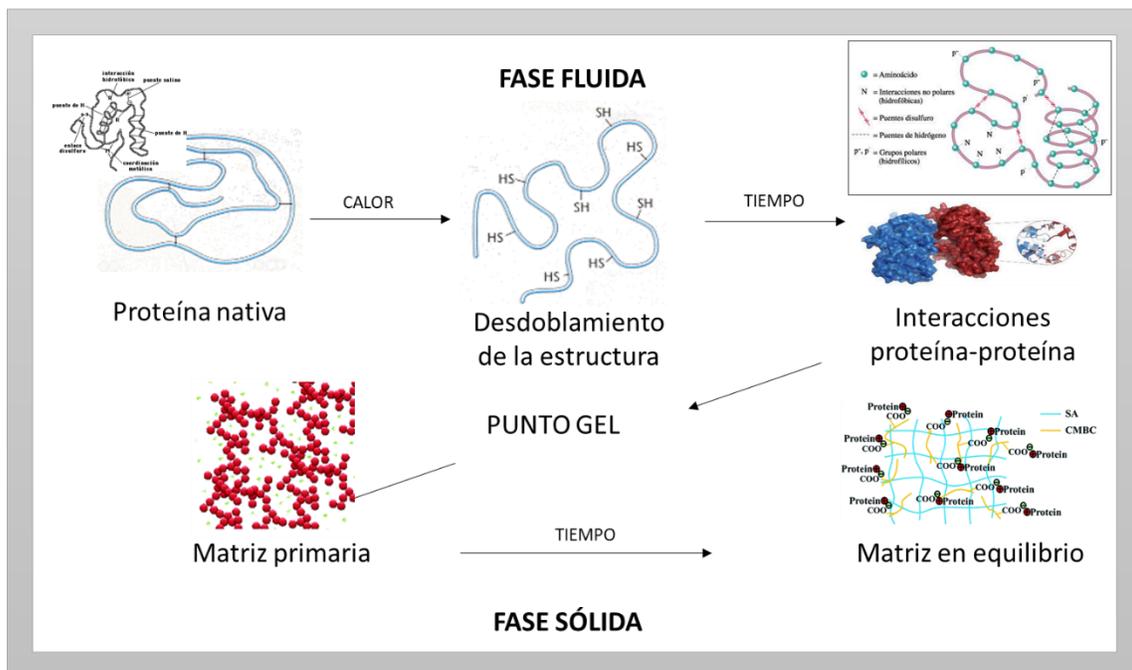
La CRA depende de la interacción agua–proteína, y se ve influida por factores ambientales como pH, fuerza iónica, tipo de sales, la temperatura y la conformación proteínica.

2.3.1.5.3. Capacidad de gelificación

La fase intermedia entre un sólido y un líquido es denominada como gel, el cual se obtiene por el entrecruzamiento de polímeros mediante enlaces covalentes o no covalentes para formar una red capaz de atrapar agua y otras sustancias de bajo peso molecular (Fennema, 2010). Este proceso se inicia con el desdoblamiento o desnaturalización de la proteína, lo que favorece las interacciones proteína-proteína que da origen a la estructura tridimensional ordenada en la que queda retenida el agua, los glóbulos de grasa, las sales y otras sustancias de bajo peso molecular, esta es una red tridimensional semi-sólida en

donde la suspensión inicial se transforma en una matriz viscoelástica (ver [figura 2](#)). Esta transformación se facilita por calor, enzimas o cationes divalentes en condiciones adecuadas (Burchardes *et al.*, 1991), sin embargo, los geles pueden fracturarse y fluir bajo la acción de fuerzas pequeñas (Arizmendi-Cotero, 2012).

Figura 2. Esquema general de gelificación de proteínas.



Fuente: Foegeding & Hamman, 1992.

Los geles proteínicos son sistemas muy hidratados que contienen hasta un 98% de agua, el agua atrapada en estos geles tiene baja actividad química, similar al del agua en disoluciones acuosas, pero carece de fluidez y no puede ser expulsada fácilmente por estrujamiento. Las proteínas que contienen cisteína y cistina pueden polimerizar vía reacciones de intercambio sulfhídrico-disulfuro durante el calentamiento y crean una red

covalente continua al enfriarse, formando geles térmicamente irreversibles (Fennema, 2010).

En el caso de las proteínas cárnicas, la miosina es la principal responsable de la mayor parte de las propiedades de gelificación. Por otro lado, la actina, no tiene la capacidad de una red tridimensional al ser sometida a un tratamiento térmico, sin embargo, en presencia de miosina existe un efecto sinérgico de complementación, por lo que la relación miosina-actina es fundamental para el desarrollo de un gel rígido. Esta interacción permite que el gel presente rigidez y elasticidad (Sano *et al.*, 1989).

Por otro lado, la presencia de proteínas sarcoplásmicas genera geles más débiles, estas proteínas se ligan a las proteínas miofibrilares y en consecuencia interfieren en la formación del gel (Chaijan *et al.*, 2010).

La capacidad de gelificación depende del pH, el punto isoeléctrico de la miosina es de alrededor de pH 5.5, por lo tanto, los geles que se forman cercanos al punto isoeléctrico son más débiles (Foegeding, 1996). El efecto del pH sobre la rigidez de los geles puede deberse a las modificaciones asociadas a los enlaces proteína-proteína, resultado del balance de fuerzas electrostáticas y de otras uniones.

En general, un contenido de proteína miofibrilar de aproximadamente 0,5% es suficiente para producir un gel inducido por calor, independientemente del origen de la proteína, el aumento en la concentración incrementa la dureza del gel. Las condiciones óptimas para la formación de un gel a partir de miosina purificada son aproximadas a pH 6.0, fuerza iónica de 0,6 M y temperatura de 60 a 70° C (Dong & Holley, 2011).

2.3.1.5.4. Capacidad emulgente

Se define a la capacidad emulgente como el volumen (mL) de aceite que puede ser emulsionado por gramo de proteína antes de que se invierta la fase (un cambio del tipo de emulsión, de aceite en agua a agua en aceite). Esta capacidad se expresa en términos de aceite emulsionado por gramo de proteína al alcanzarse la inversión de fase, por lo que disminuye al aumentar la concentración de proteína no adsorbida (Fennema, 2010).

Los factores que afectan la estabilidad de una emulsión proteínica son el pH, las fuerzas iónicas, la temperatura, la presencia de agentes tensoactivos de bajo peso molecular y azúcares, el volumen de la fase oleosa, el tipo de proteína y el punto de fusión de la fase grasa usada. En las emulsiones cárnicas como salchichas la solubilización de proteínas miofibrilares en NaCl 0,5 mejora las propiedades emulgentes (Fennema, 2010).

La solubilidad tiene gran relevancia en esta propiedad, las proteínas sumamente insolubles no tienen un buen comportamiento como emulgentes.

2.3.1.6. Valor nutrimental del pescado

La FAO (2016d) estima que alrededor del 60 % de la población de muchos países en desarrollo dependen del pescado, mientras que casi el 80 % en la mayoría de los países desarrollados obtienen menos del 20% de las proteínas animales a partir de los pescados (ver [figura 3](#)).

Figura 3. Pescados.



Fuente: FMDIABETES.ORG, 2015.

Los productos pesqueros son comparables con los productos cárnicos y productos lácteos en la calidad nutricional. El contenido proteínico promedio de la mayoría de los pescados es de 15 a 20 %. Los pescados también contienen cantidades significativas de todos los aminoácidos esenciales, principalmente lisina que en los cereales es relativamente escasa. Las proteínas de pescado se pueden emplear para complementar el modelo de aminoácidos y mejorar la calidad de la proteína de una dieta mixta (FAO, 2016d). El pescado es una buena fuente de vitamina B y en el caso de las especies grasas de vitaminas A y D. Algunas especies de agua dulce como la carpa tienen actividad tiaminasa alta por lo que el contenido de tiamina en estas especies es generalmente bajo. En cuanto a minerales el músculo de pescado es una fuente rica en calcio y fósforo, así como hierro, cobre y selenio.

Además de los aminoácidos esenciales y proteínas, los atributos nutrimentales de los peces se reflejan en la calidad de los lípidos contenidos, como ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs). La mayor parte de esos ácidos grasos poliinsaturados pertenecen a la familia de los ω -3, como los ácidos eicosapentaenoico (EPA, 20:5 ω -3), docosahexaenoico (DHA, 22:6 ω -3) y docosapentaenoico (DPA 22:5 ω -3). La elevada cantidad de PUFAs convierte al pescado, además de en un excelente alimento desde el punto de vista nutricional, en un alimento funcional portador de compuestos bioactivos, en este caso los PUFAs ω -3. El papel beneficioso del pescado se estudió en el siglo pasado sobre esquimales de Groenlandia, que mostraban un perfil lipídico en plasma con niveles de lipoproteínas de baja densidad (LDL por sus siglas en inglés) inferiores y de lipoproteínas de alta densidad (HDL por sus siglas en inglés) superiores comparado con el de ciudadanos daneses. Se demostró que tales diferencias no dependían de factores genéticos sino de la dieta de los esquimales, rica en aceite y carne de pescado. El mayor beneficio que se ha atribuido al consumo de este tipo de ácidos grasos es la disminución de los niveles de triglicéridos y colesterol asociados a las LDL, que se encuentran entre los mayores factores de riesgo de dolencias cardiovasculares (Lovegrove *et al.*, 2000). Estudios realizados han establecido que un aumento en la dieta de los PUFAs ω -3 puede reducir el riesgo de sufrir arritmias (Billman *et al.*, 1994), modula la composición de ácidos grasos en muchos tejidos (Otten, 1997) y reduce la deposición de grasa en el cuerpo (Baillie *et al.*, 1999). También se ha estudiado el impacto de los PUFAs en la coagulación de la sangre, observándose una menor coagulación. Esto es debido a que la formación de tromboxanos a partir de ácidos grasos ω -3 provoca un aumento de la fluidez de la sangre y una disminución en la agregación de las plaquetas (Briefing, 1999). Como

consecuencia de sus propiedades anticoagulantes, los PUFAs ω -3 también disminuyen el riesgo de sufrir un infarto cerebral. Otros beneficios para la salud de los ácidos ω -3 incluyen la reducción de la respuesta inflamatoria (Chow, 2007), la menor susceptibilidad a sufrir una enfermedad mental y la mejora de las funciones del cerebro y los ojos en los niños (Peet & Stokes, 2005).

Debido a los beneficios en la salud en las poblaciones con dietas ricas en ácidos grasos poliinsaturados, se ha despertado un gran interés por parte de los organismos internacionales relacionados con la Sanidad y Salud Pública por la adopción de un patrón dietético más saludable que constituiría una herramienta de prevención efectiva y aplicable a toda la población desde edades muy tempranas. Por este motivo, la ingesta de PUFAs ha sido incluida en las recomendaciones nutricionales para la prevención de enfermedades cardiovasculares.

Esencialmente, los ácidos grasos que se encuentran formando parte de los lípidos suelen constituir entre 0,2% y un 25% del peso en los productos pesqueros (FAO, 1999). De acuerdo al contenido de estos la clasificación de los pescados desde el punto de vista nutritivo es:

Magros: su contenido graso presenta un máximo del 2% y se almacena principalmente en el hígado. Este tipo de pescados lleva una vida sedentaria, con desplazamientos cortos y por ello no necesitan almacenar grasa como fuente de energía. En este grupo se encuentran especies como el abadejo, bacalao, bacaladilla, faneca, gallo, lenguado o merluza.

Semigrasos: su contenido en grasa varía entre el 2% y el 5%. En este grupo se incluye a la lubina, besugos, dorada, rodaballo o trucha.

Grasos o azules: su contenido graso es superior al 6% y suele oscilar entre el 8 y el 15%. Este tipo de pescado está formado por especies pelágicas que destacan por su carácter migratorio. Dentro de este grupo se incluyen la caballa, la sardina y el atún. La grasa suele localizarse como gotas extracelulares en tejido muscular, sobre todo en la capa situada debajo de la piel.

Los ácidos grasos de los mamíferos raramente contienen más de dos dobles enlaces por molécula, mientras que los depósitos grasos del pez contienen muchos ácidos grasos con más 5 dobles enlaces (Stansby & Hall, 1967). Los peces herbívoros contienen gran cantidad de PUFAs de cadena corta (Henderson & Tocher, 1987; Brown *et al.*, 1989). Los peces que se alimentan de otros peces, son más ricos en PUFAs ω -3 de cadena larga, pero poseen un contenido inferior en ácido linolénico. Los peces omnívoros, tienen una mayor proporción de ácido linolénico, pero una proporción menor de PUFAs ω -3 de cadena larga (Brown *et al.*, 1989). La temperatura del agua también resulta ser un factor influyente en la composición lipídica. Especies de agua fría poseen niveles más elevados de ácidos grasos ω -6 y ω -9. Generalmente, un descenso en la temperatura donde habita el pez tiene como consecuencia un incremento en el grado de insaturación (Henderson & Tocher, 1987) debido a que se necesita un nivel más alto de ácidos grasos poliinsaturados para mantener la flexibilidad y permeabilidad en los fosfolípidos de membrana (Lovell, 1991). El cambio

más importante en la cantidad total de lípidos y composición en ácidos grasos de pescado es observado durante el periodo de reproducción. En este periodo, el almacenamiento de lípidos, así como de proteínas, vitaminas y minerales en músculo, hígado y órganos viscerales, es movilizado hacia las gónadas con el fin de asegurar la maduración (Cejas *et al.*, 2003; Agren *et al.*, 1987). También se ha encontrado que el porcentaje total de PUFAs es levemente menor en los lípidos de peces de agua dulce que en los lípidos de peces agua salada (Stansby, 1967).

2.3.1.7. El músculo y sus cambios después de la pesca

Cuando los pescados son capturados de inmediato se presentan varios cambios químicos y biológicos que pueden conducir a un rechazo para el consumo humano debido a su deterioro, como lo son los sensoriales y autolíticos.

2.3.1.7.1. Cambios sensoriales

Estos son los que perciben los sentidos: aspecto, olor, textura y sabor. Los primeros cambios durante el almacenamiento son la apariencia y la textura. El cambio más drástico que presenta es al inicio del rigor mortis; después de la muerte del pescado el músculo se encuentra totalmente relajado y tendrá una textura elástica que persistirá por algunas horas, tras lo cual el músculo se contraerá. Cuando el cuerpo se vuelve duro y rígido, el músculo es completamente inflexible y el pescado estará en rigor mortis. Posterior al rigor

mortis el músculo se relaja de nuevo y queda sin fuerzas, pero no es tan elástico como antes del rigor. La aparición y resolución de la rigidez varia de una especie a otra y se ve afectada por la temperatura, la manipulación, el tamaño y el estado físico de los pescados (Huss, 1995). El rigor mortis inicia de inmediato después de la muerte si el pescado esta famélico y las reservas de glucógeno se agotan, o bien si el pescado esta estresado. El método de matanza influye de manera significativa, el aturdimiento y sacrificio por hipotermia da el inicio más rápido de rigor en cambio con un golpe en la cabeza le da un retraso de 18 horas (Huss, 1995).

2.3.1.7.2. Cambios autolíticos

La autolisis significa "auto-digestión". Se ha sabido durante muchos años que existen al menos dos tipos de deterioro en el pescado: bacteriano y enzimático (Huss, 1995).

En el punto de la muerte del pescado, el suministro de oxígeno al tejido muscular se interrumpe porque la sangre ya no es bombeada por el corazón y no circula a través de las branquias donde, en los peces vivos, es enriquecida con oxígeno. Al no haber oxígeno disponible para la respiración normal, la producción de energía a partir de los nutrientes ingeridos se restringe. El glucógeno o la grasa se oxidan por las enzimas del tejido en una serie de reacciones que finalmente producen dióxido de carbono (CO_2), agua y energía rica en compuestos orgánicos de adenosina (ATP). Este tipo de respiración se realiza en dos etapas: una fase anaeróbica y una fase aeróbica. Esta última depende de la presencia continuada de oxígeno (O_2) que sólo está disponible en el sistema circulatorio.

Para la mayoría de los peces teleósteos, la glucólisis es la única ruta posible para la producción de energía, una vez el corazón deja de latir. Este ineficiente proceso tiene principalmente ácido láctico y pirúvico como sus productos finales. Además, el ATP se produce en la glucólisis, pero sólo 2 moles por cada mol de glucosa, en comparación con 36 moles de ATP producidos por cada mol de glucosa si los productos finales de la glicólisis son oxidados aeróbicamente en la mitocondria en el animal vivo. Así, después de la muerte, el músculo anaeróbico no puede mantener su nivel normal de ATP, y cuando el nivel intracelular baja de 7-10 $\mu\text{moles/g}$ a 1,0 $\mu\text{moles/g}$ en tejido, el músculo entra en rigor mortis. La glucólisis post mortem resulta en la acumulación de ácido láctico que a su vez reduce el pH, por ejemplo en el bacalao, el pH desciende de 6,8 a un pH final de 6,1-6,5. En algunas especies de peces, el pH final puede ser menor: ejemplo en mackerel el pH final puede ser 5,8 a 6,0 y en atún 5.4 a 5.6, sin embargo estos bajos niveles de pH son inusuales en marinos teleósteos, y rara vez son tan bajos como los observados en el músculo post mortem de mamíferos como el músculo de vacuno que generalmente disminuye a pH de 5,1 en rigor mortis esto debido a que la cantidad de ácido láctico producido está relacionada con la cantidad de glucógeno almacenado en el tejido vivo. En general, el músculo de pescado contiene un nivel relativamente bajo de glucógeno, comparado con los mamíferos, por lo tanto, es mucho menor la cantidad del ácido láctico que se genera después de la muerte. Otro factor a considerar es el estado de nutrición de los peces y la cantidad de estrés y agotamiento antes de la muerte tendrá un efecto dramático en los niveles de glucógeno almacenado y consecuentemente en el pH post mortem final; también se

encontró que el desangrado del pescado disminuye significativamente la producción post mortem de ácido láctico (Huss, 1995).

De acuerdo con Huss (1995) la disminución del pH post mortem en el pescado tiene un efecto sobre las propiedades físicas del músculo. A medida que disminuye el pH, la carga neta de la superficie de las proteínas del músculo se reduce, provocando su desnaturalización parcial y perderán parte de su capacidad de retención de agua. El músculo en estado de rigor mortis pierde su humedad cuando se cocina y es particularmente inadecuado para un procesamiento posterior que involucre calentamiento, puesto que la desnaturalización por calor incrementa la pérdida de agua.

2.3.1.7.2.1. Autolisis

El rigor mortis se presenta cuando el nivel de ATP en el músculo cae a $1,0 \mu\text{moles/g}$. El ATP no es sólo una fuente de alta energía que se requiere para la contracción muscular en el animal vivo, sino que también actúa como un plastificante muscular. La contracción muscular es controlada por el calcio y una enzima la ATP-asa que se encuentra en cada célula muscular y regula la interacción entre las principales proteínas contráctiles, actina y miosina y esto lleva al acortamiento del músculo haciendo rígido e inextensible (Huss, 1995). Por otra parte, la manipulación física acelera los cambios autolíticos en pescado refrigerado, ya que muchas de las enzimas autolíticas se ha demostrado que se encuentran compartimentalizadas en discretos paquetes unidos a la membrana que se rompen cuando se someten a abuso físico y el resultado en la mezcla íntima de enzima y sustrato.

Los cambios sensoriales del pescado se deben a la descomposición enzimática de las macromoléculas de los pescados. Estas reacciones son catalizadas por enzimas ya sean autolíticas o bacterianas, tal como se resume en la [tabla 6](#).

La FAO (2016e) menciona que los cambios inducidos microbiológicamente son resultados de bacterias que se encuentran en todas las superficies externas (piel y branquias) y en los intestinos de peces vivos recién capturados. Estas bacterias invaden el músculo y causan la degradación gradual de varios de sus componentes (carbohidratos, nucleótidos, aminoácidos y otras moléculas NPN), produciendo compuestos volátiles indeseables tales como trimetilamina, compuestos volátiles de azufre, aldehídos, cetonas, ésteres e hipoxantina, así como otros compuestos de bajo peso molecular.

La última causa de deterioro en el pescado es la oxidación de lípidos y la hidrólisis que conduce al desarrollo de rancidez, incluso con un almacenamiento a temperaturas bajo cero, debido a la gran cantidad de restos de ácidos grasos poliinsaturados que se encuentran en los lípidos de peces siendo esta una de las principales causas de deterioro del pescado congelado (FAO, 2016e).

2.3.2. Carpa Común (*Cyprinus carpio*)

La carpa común es un pescado magro, perteneciente a la familia *Cyprinus* y a la especie *carpio*, presenta una carne blanca, de agradable sabor y de alto valor nutricional. Esta especie habita los ríos y cursos de agua dulce, pudiendo alcanzar una longitud de aproximadamente 130 cm y un peso total de hasta 60 Kg (Spuch & Judis, 2004).

Tabla 6. Resumen de los cambios autolíticos en pescado refrigerado o congelado.

Enzima (s)	Sustrato	Cambios encontrados	Prevención/inhibición
Enzimas glucolíticas	Glucógeno	Producción de ácido láctico, pH, pérdida de la capacidad de retención de agua en el músculo, altas temperaturas en el rigor puede dar lugar a la boca abierta	Pescados pasar rigor a temperaturas tan cerca de 0 °C como sea prácticamente posible. Estrés en pre-rigor debe evitarse
Enzimas autolíticas que intervienen en la degradación de nucleótidos	ATP ADP AMP IMP	Pérdida de sabor de pescado fresco, producción gradual de la amargura con Hx * (etapas posteriores)	Igual que el anterior manejo rudo o aplastamiento acelera la descomposición
Catepsinas	Proteínas, péptidos	Ablandamiento del tejido haciendo el procesamiento difícil o imposible	Evitar la manipulación brusca durante el almacenamiento y la descarga
Quimotripsina, tripsina, carboxipeptidasas	Proteínas, péptidos	Autólisis de la cavidad visceral en pelágicos (estallido de vientre)	Problema aumenta con la congelación / descongelación o almacenamiento a largo plazo frío
Calpaína	Proteínas miofibrilares	Ablandamiento. Muda inducida por reblandecimiento en los crustáceos	Eliminación del calcio para prevenir la activación
Colagenasas	Tejido conectivo	Pescados boquiabiertos Reblandecimiento de tejido muscular	La degradación del tejido conjuntivo relacionado con el tiempo y la temperatura de almacenamiento en refrigeración
OTMA desmetilasa	OTMA	Formaldehído. Endurecimiento inducido de pescados gádidos congelados	Almacenar a temperaturas de menos o igual a -30 ° C El abuso físico de congelación / descongelación acelera el endurecimiento inducido por formaldehído

*: Hx: hipoxantina. OTMA: óxido de trimetilamina

Fuente: FAO, 2016e.

2.3.2.1. Rasgos biológicos

Las carpas son peces con cuerpo alargado y comprimido, presentan labios gruesos, dos pares de barbillas en el ángulo de la boca. Una base de aleta dorsal larga con 17-22 rayos ramificados y una espina dorsal fuerte y dentada al frente ([figura 4](#)). Dientes faríngeos 5:5. Color variable que va de color pardusco verdoso a amarillo dorado (FAO, 2016f).

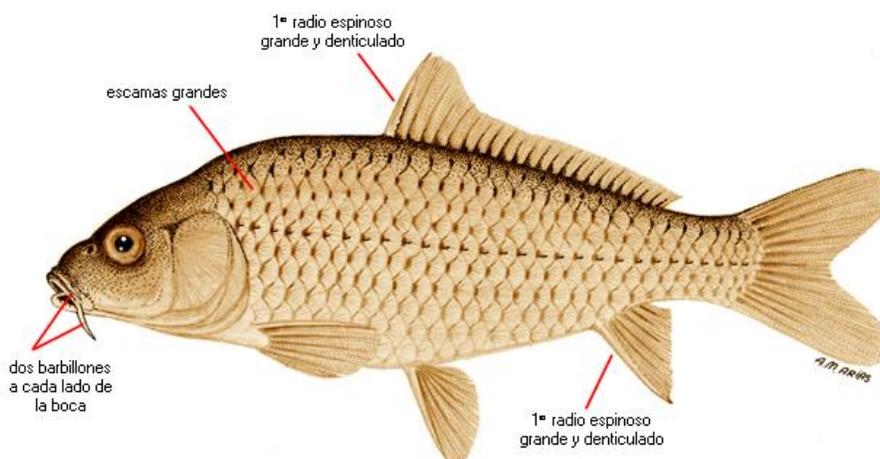
2.3.2.2. Antecedentes históricos

La carpa fue un alimento de lujo en Roma y consumida en el ayuno en la Edad Media. Los primeros fueron cultivados en estanques por los romanos y, posteriormente en lagunas construidas por monasterios cristianos. La crianza y reproducción controlada comenzó en el siglo XIX en Europa. Los chinos las han cultivado por más de 2000 años. Actualmente hay más de 30 cepas domesticadas en Europa, muchas de estas de origen chino (FAO, 2016f).

2.3.2.3. Principales países productores y producción mundial

Los principales países productores de la Unión Europea son República Checa, Polonia, Hungría y Alemania, y los países productores mundiales son China, Indonesia y Myanmar (Comisión Europea, 2016). Los principales exportadores en Europa son Austria, la República Checa, Croacia y Lituania. En el resto del mundo, la principal región productora es Asia (FAO, 2016f).

Figura 4. *Cyprinus carpio*, carpa común.



Fuente: ICTIOTERM.ES, 2016.

2.3.2.4. Composición nutrimental

La carpa como el resto de los pescados ha sido ampliamente reconocida por ser una valiosa fuente de proteína de alta calidad en la dieta humana, siendo además baja en grasas saturadas. Resulta además una fuente dietética directa de los benéficos ácidos grasos poliinsaturados omega 3 (Risso *et al.*, 2000). Castro-González *et al.* (2012) refuerza la idea anterior al mencionar que, por cada 100 g de músculo comestible de carpa común, presenta 19.60 ± 0.11 g de proteína y 84.75 ± 3.45 mg de EPA+DHA. En la [tabla 7](#), se muestra la composición química proximal de la porción comestible de *Cyprinus carpio*.

Tabla 7. Composición química proximal de porción comestible de carpa común por cada 100 g de músculo.

Análisis proximal	Media
Humedad (g)	76,62 ± 0,81
Proteína (g)	19,3 ± 0,3
Lípidos totales (g)	0,98 ± 0,01
Cenizas (g)	1,42 ± 0,04
Carbohidratos (g)	1,63 ± 0,22
Valor energético (cal)	92,7 ± 2,17

2.3.2.5. Productos a base de carpa

Docampo *et al.* (1996) en el informe de pesca número 538 de la FAO muestran una lista de productos cárnicos a base de carpa común producidos en Cuba, dentro de los que se mencionan están salchichas de carpa, salchichas de carpa con soya, salchichas de carpa con clarín, mortadela de carpa, mortadela de carpa y soya, hamburguesas de carpa con soya, croquetas de carpa y albóndigas de carpa. Sin embargo, cabe señalar que en México hasta el momento no se tienen productos como los antes mencionado, solamente se tiene la forma de consumo empapelada, asada, frita, cabe resaltar que no a todos los consumidores les gusta esta forma de preparación y por lo tanto no hay alternativas de consumo.

2.4. REESTRUCTURADOS CÁRNICOS

Una de las posibilidades para mejorar la composición de los derivados cárnicos y obtener nuevos productos, son los procesos de reformulación, por lo que numerosos estudios se

han realizado en productos tipo emulsión principalmente como lo son las salchichas, mortadelas, chorizos, etc.

Los reestructurados son aquellos productos elaborados a partir de materias primas cárnicas que tras cierto proceso de desintegración estructural (troceado, picado, molido, etc.), son sometidas a diversos tratamientos de reestructuración, a fin de impartirles las características propias de los productos que pretenden imitar, como son filetes, porciones magras, carnes para asar, hamburguesas, etc. (Mandingo, 1988; Cambero *et al.*, 1991)

Estos suelen ser comercializados como productos crudos (refrigerados o congelado) y precocinados o cocinados. La elaboración de los reestructurados se fundamenta en procesos tecnológicos que permiten obtener productos con diferente composición química, tamaño de partícula e ingredientes no cárnicos, dando lugar a productos diferentes de la carne que proceden (Mandingo, 1988; Cambero *et al.*, 1991) los cuales pueden ser alimentos funcionales por el tipo de ingredientes añadidos.

Los reestructurados presentan diversas ventajas, las cuales se mencionan a continuación (Schmidt *et al.*, 1987; Cambero *et al.*, 1991; Tarrant, 1998; Boles & Shand, 1999; Resurreccion, 2003):

A. Revalorización y reutilización de las materias primas cárnicas. Con esto se permite el emplear materia prima, subproductos o partes de la canal o del animal de bajo valor comercial y de esta forma transformándolos, y así proporcionando al consumidor productos de calidad y con mejores costos.

B. Ampliar la oferta de productos cárnicos. Esta tecnología permite obtener productos prácticamente de cualquier tamaño o forma, diversificando la oferta. Generalmente los reestructurados cárnicos se venden congelados o pre-cocidos. También se están empleando agentes que permiten una mejor integración de los componentes del reestructurado sin procesos de calentamiento, haciendo posible la elaboración de reestructurados frescos refrigerados, semejantes a la mayoría de los derivados cárnicos de similar naturaleza comercializados en la actualidad.

C. Control exacto y reproducible del peso, atributos sensoriales y propiedades tecnológicas del producto. Con esto es posible elaborar reestructurados con características uniformes y convenientes en cuanto a tamaño y forma, comportamiento a la cocción, textura, etc. Con lo cual se pueden satisfacer las necesidades de los consumidores y el mercado actual que demandan porciones individuales, calidad constante, de rápida y sencilla preparación para una mayor comodidad de consumo.

D. Formulación de productos nutrimentalmente equilibrados. La opción establecer la composición permite la elaboración de reestructurados cárnicos con propiedades de alimento funcional, adecuando el producto a las recomendaciones nutricionales actuales. Además, esto puede contribuir a cambiar la imagen negativa que existe de algunos productos cárnicos.

2.4.1. Productos cárnicos más saludables

Existen posibilidades para modificar los derivados cárnicos y con ello desarrollar reestructurados cárnicos más saludables, entre ellos los potencialmente funcionales. Las posibilidades se enfocan en favorecer la presencia de compuestos beneficiosos y limitar la presencia de aquellos con efectos negativos para la salud.

Lynch *et al.* (2000) muestra estrategias llevadas a cabo en la actualidad para llevar a cabo estos cambios, que básicamente se dan en dos vías: a) genéticas o nutricionales (en el ámbito de la producción animal) y b) tecnológicas (en el sistema de transformación de la carne).

Respecto a las estrategias tecnológicas, empleadas para modificar la composición de los reestructurados cárnicos se basa en procesos de selección de materias primas tanto cárnicas como no cárnicas y en cambios en la reformulación (reducción o eliminación de compuestos perjudiciales para la salud y/o incorporación de otros que mejoren el carácter funcional del reestructurado). Las mayores posibilidades para la modificación de la composición de los reestructurados cárnicos y obtención de alimentos más saludables e incluso funcionales, se obtiene de los procesos de reformulación. En este punto se permite actuar de manera más rápida y directa de diferentes maneras (reducción, eliminación o incorporación de componentes) para obtener reestructurados cárnicos más saludables y promover el carácter funcional de estos derivados cárnicos.

2.4.2. Reducción y/o eliminación de compuestos con implicaciones negativas a la salud

Es de suma importancia la eliminación o bien reducción de compuestos asociados con efectos negativos a la salud, durante el proceso de reestructuración de la carne.

2.4.2.1. Grasa

Las estrategias tecnológicas para reducir el contenido graso se basan en el empleo de carnes magras y por otro lado la disminución de la densidad de grasa mediante la adición de ingredientes que puedan sustituirla como proteínas o carbohidratos.

2.4.2.2. Sodio

La carne no presenta un contenido alto de sodio, sin embargo, algunos derivados cárnicos presentan proporciones elevadas del mineral, y de acuerdo a la OMS (2003) existe una relación entre los niveles elevados de sodio y a hipertensión arterial, por lo que importante impulsar la formulación de los productos con menor contenido de sodio.

2.4.2.3. Nitritos

Se adicionan estas sales por diferentes razones en la elaboración de productos cárnicos, sin embargo, su presencia se ha comprobado que está asociada a la formación de nitrosaminas implicadas en consecuencias carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas, por lo que se han empleado inhibidores de nitrosaminas como el ascorbato o vitamina E (Cassens, 1999; Gray *et al.*, 1982)

2.4.3. Eliminación de alérgenos

Existen diversos ingredientes empleados en la elaboración de productos cárnicos como proteínas de origen vegetal, huevos o proteínas de leche que pueden contener sustancias capaces de originar reacciones de intolerancia o bien alérgicas en algunas personas. Por lo que han surgido los denominados alimentos allerge free o libres de alérgenos, que han sido aprobados en Japón como alimentos FOSHU (Arihara, 2004) así como los derivados cárnicos libres de gluten o lactosa que hoy en día encontramos en el mercado.

2.4.4. Incorporación de compuestos asociados con beneficios para la salud

En la reestructuración de la carne se emplean diversos ingredientes no cárnicos con diferentes propósitos, algunos de ellos pueden contener compuestos bioactivos (con beneficios funcionales). Algunos de estos pueden estar contenidos en la siguiente clasificación que se refiere a doce grupos de ingredientes de origen animal y vegetal: fibra dietética; oligosacáridos; azúcares-alcoholes; proteínas, péptidos y aminoácidos; glucósidos; alcoholes; isoprenos y vitaminas; colina; bacterias ácido lácticas; minerales; ácidos grasos insaturados y por último otros no incluidos en los grupos anteriores como los antioxidantes (Goldberg, 1994).

La incorporación de estos ingredientes o sustancias se ha realizado de manera directa, o como constituyente de alguno de los ingredientes (extractos, harinas, concentrados, homogenizados, etc.) empleados en la formulación de los productos, dotándolos de cierto carácter de alimento potencialmente funcional. Algunos de los ingredientes que se han adicionado son lípidos (PUFA n-3) (Pappa *et al.*, 2000; Mugerza *et al.*, 2001; 2002; 2003;

Severini *et al.*, 2003; Ansorena & Astiasará, 2004; Lureña-Martínez *et al.*, 2004; Yilmaz *et al.*, 2002; Hoz *et al.*, 2004), proteínas (de soya, maíz, trigo, suero de leche etc.) (Tsai *et al.*, 1998; Chin *et al.*, 1999; 2000; Porcella *et al.*, 2001; Feng *et al.*, 2003), prebióticos, probióticos y simbióticos (fibra, oligosacáridos, inulina, bacterias lácticas, (Pszczola, 1998; Sloan, 2000; Archer *et al.*, 2004; Cáceres *et al.*, 2004; Fernández-Ginés *et al.*, 2004; Fernández-López *et al.*, 2004). Por último otros ingredientes que se están adicionando últimamente son los antioxidantes como carotenoides, ácido ascórbico, tocoferoles, etc. (Yilmaz *et al.*, 2002; Fernández-López *et al.*, 2004; Pszczola, 1998; Hoz *et al.*, 2004).

2.5. ALIMENTOS FUNCIONALES Y REESTRUCTURADOS CÁRNICOS

En los últimos años las ciencias de la nutrición y la alimentación se han encargado de estudiar la relación que existe entre la salud y el consumo de los mismos, dando como resultado que una ingesta saludable de alimentos ayuda a mejorar e incluso a prevenir enfermedades crónicas. La alimentación saludable se basa en combinación de alimentos, nutrientes y adición de ingredientes que proveen ciertas condiciones para la salud, diseñados para diferentes situaciones fisiológicas, lo por lo que han surgido los alimentos funcionales.

La aceptación de los alimentos funcionales por parte de los consumidores varía considerablemente dependiendo su estrato social, económico, geográfico, político, cultural y sus orígenes étnicos (Zhang *et al.*, 2010). Japón fue el primer país en desarrollar alimentos funcionales, y ha establecido normas para el uso de estos (Hardy, 2000; Kwak & Jukes, 5

2001). Al menos entre 1988 y 1998 más de 1700 alimentos funcionales fueron lanzados en el mercado japonés, resultando en 14 millones de dólares en ventas para el año de 1999. Estados Unidos es el mercado más dinámico en lo referente a alimentos funcionales; el mercado de los alimentos funcionales en países europeos ha crecido constantemente, sin embargo, los consumidores de los países de Europa Central y Norte son más adeptos al consumo de este tipo de alimentos, sobre los consumidores de países del Mediterráneo que prefieren los alimentos frescos y naturales (Menrad, 2003).

Sin embargo ¿cuál es la definición de un alimento funcional?, aunque no hay una definición como tal se considera a los alimentos funcionales son aquellos que generalmente ofrecen beneficios adicionales que los alimentos convencionales y que pueden reducir el riesgo de padecer enfermedades y promover la salud óptima (Fabiansson, 2014). por su parte la FAO/OMS en el Codex Alimentarius los definen como alimentos que son elaborados o preparados para satisfacer necesidades dietéticas específicas, que existen a causa de una determinada afección, enfermedad o trastorno físico o fisiológico, además su composición deberá ser fundamentalmente diferente de la composición de los alimentos ordinarios de naturaleza análoga o alimentos convencionales (Fabiansson, 2014).

Por otro lado en china y Japón existes reglas más claras, por ejemplo en Japón los alimentos funcionales son aprobados a través de una instancia gubernamental que aprueba el proceso establecido en 1991, y deben cumplir con tres condiciones: 1. deben ser alimentos, no capsulas, tabletas o polvos y deben ser derivados de ingredientes de origen natural; 2. deben ser alimentos de la dieta para ser consumidos como parte de una dieta normal; y 3. deben tener una función específica cuando se ingieren, que sirva para regular un proceso

particular del cuerpo tal como mejorar mecanismos de defensa biológica, prevenir alguna enfermedad específica (por ejemplo enfermedades arteriales y del corazón, cáncer, hipertensión y obesidad), control de condiciones físicas y mentales o ralentizar el proceso de envejecimiento (Fabiansson, 2014).

2.5.1. Derivados cárnicos como alimentos funcionales

La carne siendo el principal ingrediente de los reestructurados cárnicos, es una excelente fuente de grasa en la dieta, especialmente de ácidos grasos saturados, los cuales están asociados a enfermedades actuales, especialmente en países desarrollados. La relación de ácidos grasos poliinsaturados n-6: n-3 también es un factor de riesgo en cánceres y enfermedades coronarias cardíacas, especialmente en la formación de trombos sanguíneos que conducen a ataques cardíacos (Ospina Meneses *et al.*, 2011).

Estudios demuestran que puede ser sustituido un porcentaje de grasa de origen animal por aceites vegetales en derivados cárnicos, como lo es el aceite de oliva que empleo Pappa *et al.* (2000) para sustituir grasa dorsal para la producción de salchichas tipo Frankfurt; también Murgueza *et al.* (2001) reemplazo graso dorsal de cerdo por aceite de oliva en la elaboración de un embutido tradicional español. Estos estudios demostraron que se podía realizar la sustitución de un porcentaje de grasa sin afectar significativamente características físicas, químicas ni sensoriales (Ospina Meneses *et al.*, 2011).

También se ha empleado la fibra como sustituto de grasa en derivados cárnicos, la fibra es adecuada para la inclusión en reestructurados cárnicos y ha sido empleada para

incrementar el rendimiento de cocción. Por lo que los reestructurados cárnicos con inclusión de diferentes ingredientes funcionales como aceites vegetales, antioxidantes, proteínas de origen vegetal y sobre todo fibras ofrecen una alternativa más en la variedad de productos que podrían ser denominados como reestructurados cárnicos funcionales.

2.6. FIBRA DIETÉTICA

La fibra alimentaria se ha considerado desde un principio como un ingrediente interesante para ser incluida en la formulación de alimentos funcionales. Su efectos beneficiosos sobre la salud son ampliamente conocidos, los cuales se basan en sus características fisicoquímicas y funcionales: disminución del índice glucémico, aumento del bolo fecal y disminución del tiempo de tránsito intestinal, aumento de la sensación de saciedad y disminución del índice calórico de la dieta, disminución del colesterol, secuestro de sustancias peligrosas para el organismos (mutagénicos y carcinogénicos), estimulación de crecimiento de la flora intestinal, etc., son algunas de las funciones saludables que la fibra realiza sobre el organismo. Heredia Moreno, A., Jiménez Araujo, A.J., Fernández-Bolaños Guzmán. J., Guillén Bejarano, R. y Rodríguez Arcos, R. (2002). Fibra alimentaria. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), RAYCAR, S.A., Madrid, España.

Se entiende como fibra dietética a aquellos polímeros de carbohidratos con diez o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por las enzimas endógenas en el intestino delgado de los seres humanos y que pertenecen a las siguientes categorías:

a. Polímeros de carbohidratos comestibles que de forma natural en los alimentos tal como se consumen,

b. Polímeros de carbohidratos, que hayan sido obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos y que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud, como lo demuestra la evidencia científica generalmente aceptada para las autoridades competentes,

c. Los polímeros sintéticos hidratos de carbono que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico beneficioso para la salud, como lo demuestra la evidencia científica generalmente aceptada para las autoridades competentes (CODEX, 2009).

La fibra dietética se define como las partes comestibles de las plantas o los carbohidratos similares que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con completa o parcial fermentación en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas (Tosch & Yada, 2010). Valenzuela y Maiz (2006) mencionan que la fibra dietética está constituida por un grupo heterogéneo de sustancias de origen vegetal que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, pero que sufren una digestión parcial o total en el colon.

Actualmente se informa de manera general a los consumidores que la fibra, como parte de los componentes de los alimentos, ayuda a tener una buena digestión y a prevenir y/o disminuir diversos desordenes metabólicos y gastrointestinales. El consumo diario de fibra dietética se ha recomendado durante muchos años, incluso en las guías de la American Heart Association y The Institute of Medicine, principalmente debido a la evidencia de las enfermedades cardiovasculares, así como otros beneficios de salud. Un reciente análisis 

que combinó 10 estudios de cohortes para relacionar las enfermedades cardiovasculares y la fibra, reveló suficiente evidencia de los beneficios de la fibra en las enfermedades cardiovasculares, por lo que muchas organizaciones médicas recomiendan aumentando la fibra en la dieta diaria (King *et al.*, 2012). Gran parte de la evidencia científica indica que las personas que consumen alimentos con alto contenido en fibra dietética (por ejemplo, cereales integrales, frutas, verduras y frijoles) tienen una menor prevalencia de factores de riesgo importantes para las enfermedades cardiovasculares, incluida la hipertensión, la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2, además estudios prospectivos señalan también una asociación inversa entre el consumo de alimentos con alto contenido de fibra y el desarrollo de enfermedad cardíaca coronaria y apoplejía (King *et al.*, 2012).

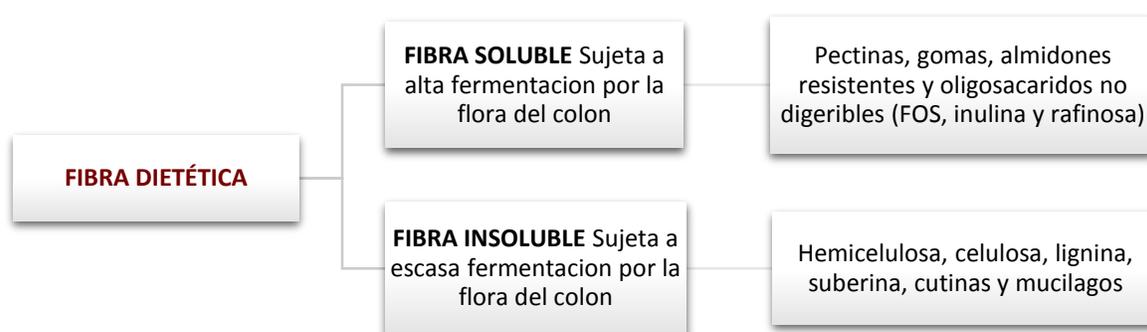
La ingesta recomendada de fibra total adecuada para los adultos es de 25 a 38 g/día (14g/1.000 Kcal/día), según el Institute of Medicine y aprobado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Para las personas de 50 años o más joven la recomendación diaria es 38 g para los hombres y 25 gramos para las mujeres, mientras que para los hombres y mujeres mayores de 50 años de edad es 3g y 21g/día respectivamente, debido a un menor consumo promedio de energía, sin embargo, el consumo promedio en la mayoría de los informes ha sido mucho menor, entre 13 y 14 g/día (King *et al.*, 2012). De acuerdo con Hernández-Carranza (2004) e I.N.N.S.Z. (2001), en México los niveles de fibra recomendados según la ingesta diaria son de 25 a 30 g de fibra dietética total por día, por otro lado, se sabe que se recomienda una ingesta de 10 g de fibra insoluble.

Legumbres, hojas comestibles y cultivos de leguminosas son una excelente fuente de fibra dietética que promueve diversos efectos benéficos fisiológicamente en la salud humana.

La fibra dietética puede ser clasificada como fibra soluble e insoluble. Ambos tipos de fibra tienen numerosos beneficios de salud, incluyendo el mantenimiento de la integridad del intestino y la salud, reducir los niveles de colesterol en la sangre, controlar los niveles de azúcar en la sangre y proporcionar un agente de carga no calórico que puede ayudar en la pérdida de peso mediante la sustitución de componentes de los alimentos calóricos tales como grasa (ver [figura 5](#)).

La fibra insoluble engloba a la celulosa, hemicelulosa y lignina. Como acciones funcionales se le atribuyen: el incremento del bolo fecal y el estímulo de la motilidad intestinal; la mayor necesidad de masticado, relevante en las modernas sociedades víctimas de la ingesta compulsiva y la obesidad (Delargy *et al.*, 1997; Howarth, 2001); el aumento de la excreción de ácidos biliares y propiedades antioxidantes e hipocolesterolemiantes (Kay *et al.*, 1980).

Figura 5. Clasificación de fibra dietética.



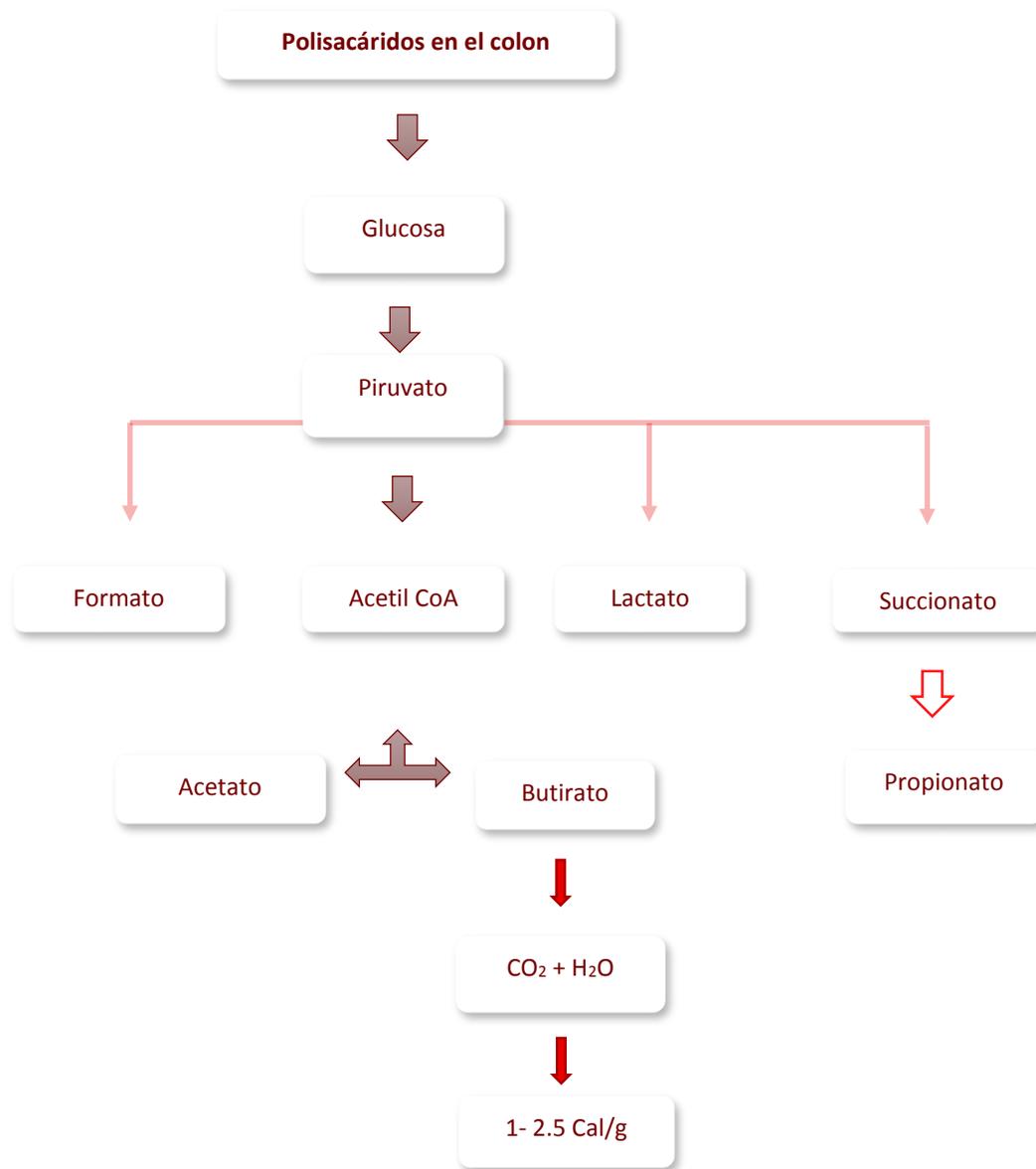
Fuente: Valenzuela & Maiz, 2006

La fibra soluble está representada fundamentalmente por pectinas, gomas, mucílagos y algunas hemicelulosas; su principal característica es su capacidad para atrapar agua y

formar geles viscosos, lo que determina su poder laxante. Asimismo, al incrementar significativamente la cantidad y consistencia del bolo fecal se consigue un efecto positivo en el caso de diarreas. Además, se produce un enlentecimiento del proceso digestivo, del tránsito y de la absorción de hidratos de carbono, así como una adicional sensación de plenitud (Delargy *et al.*, 1997; Howarth, 2001). Al igual que la fibra insoluble, disminuye la absorción de ácidos biliares y tiene actividad hipocolesterolemiante (Kay *et al.*, 1980). En cuanto al metabolismo lipídico (Kay *et al.*, 1980), parece disminuir los niveles de triglicéridos, colesterol (baja densidad, LDL) y reducir la insulinemia postprandial (Jenkins *et al.*, 2000; Chandalia *et al.*, 2000). Una característica fundamental de la fibra soluble es su capacidad para ser metabolizada por las bacterias colónicas (ver [figura 6](#)), con la consiguiente producción de gases (flatulencia, propulsión fecal) y ácidos grasos de cadena corta (Adarwi *et al.*, 1985; Cummings *et al.*, 1987) acetato, propionato y butirato. Los dos primeros pueden ser absorbidos y emplearse para obtener energía. El propionato posee una acción inhibitoria sobre la hidroximetilglutaril coenzima A reductasa, paso limitante en la síntesis del colesterol endógeno. El butirato es la principal fuente energética del colonocito y ejerce efectos tróficos sobre el mismo, así como acciones antiproliferativas. El aporte energético puede llegar a alcanzar las 300 kcal/100 g.

De acuerdo con las Dietary Guidelines for Americans (Guías Alimentarias para los estadounidenses) (2005), las fibras dietéticas son poco consumidas por la mayoría de los adultos lo que indica que la fortificación con fibra en productos cárnicos podría tener beneficios para la salud.

Figura 6. Fermentación bacteriana



Numerosos trabajos han demostrado que la fortificación con fibra en salchichas a niveles nutricionalmente significativos (2-3 g / ración) se puede lograr sin un impacto negativo en la calidad sensorial (Besbes *et al.*, 2008, Choi *et al.*, 2008, Salazar *et al.*, 2009 & Yilmaz y Gecgel, 2009). Adicionalmente del beneficio de incrementar el consumo de fibra, las fibras dietarias en productos cárnicos podrían tener otras ventajas, tales como sustitución de la

grasa, aumento de la capacidad de retención de agua y una estabilidad oxidativa mejorada cuando la fuente de fibra se asocia con antioxidantes fenólicos (Choi *et al.*, 2008 & Sayago-Ayerdi *et al.*, 2009).

2.6.1. Propiedades funcionales de la fibra

La fibra dietética presenta una funcionalidad muy variada en relación con los aspectos organolépticos, micro estructural, mecánicos/físicos y propiedades químicas de los alimentos que la contienen, como las que se resumen en la [tabla 8](#). Por este motivo, la formulación de productos con un alto contenido en fibra dietética presenta, frecuentemente, algunos retos relacionados con aspectos organolépticos y de procesado, especialmente en lo que se refiere a la textura y sabor. Por ello, se ha dedicado un considerable esfuerzo para comprender las características funcionales de la fibra en el alimento en donde se incorpora.

Las propiedades más relevantes se pueden resumir de la siguiente forma (Hernández-Carranza, 2004):

a) Las relacionadas con la hidratación

Hinchamiento

Capacidad de retención de agua

Adsorción de agua

b) Las relacionadas con la capacidad de retención de moléculas orgánicas

Capacidad de retención de lípidos

Adsorción de colesterol

Adsorción de compuestos potencialmente cancerígenos

c) Capacidad de intercambio iónico

d) Viscosidad y capacidad de formación de geles

Tabla 8. Parámetros relacionados con la funcionalidad de los alimentos y la fibra.

Funcionalidad	Parámetros
Sensorial	Cohesividad
	Dureza
	Crujencia
	Gomosidad
Mecánico/físico	Densidad y expansión
	Esfuerzo/ resistencia
	Viscosidad
Microestructural	Celularidad
	Cristalinidad y Porosidad
	Uniformidad
Funcional	Retención de agua
	Emulsificación
	Untabilidad
	Capacidad de batido

2.6.2. Usos y ventajas tecnológicas

Los usos que en la actualidad se les da a las fibras en la industria alimentaria son diversos, pero el fin último del empleo de este tipo de fibras es mejorar la calidad sensorial y textural de los alimentos que producen. Entre las ventajas tecnológicas que estas aportan están:

Fibra insoluble: Evita la aglomeración en productos y mezclas en polvo, funge como humectante, antiapelmazante y fluidizante. Alarga la vida de anaquel en productos de panificación al evitar el endurecimiento sin alterar la actividad de agua. Aumenta el rendimiento en productos que absorben agua. Mejora la estructura de los productos mediante la formación de una red tridimensional evitando el quebramiento, erosión y rompimiento. Proporciona protección a los aromas (Garduño, 2005).

Fibra soluble: formación de geles, lo que conlleva a otorgar consistencia y textura a alimentos procesados (Brownlee, 2009), además también se emplean como sustitutos de grasa.

Este tipo de compuestos se presenta en diversos productos alimenticios como las semillas, cereales, pseudocereales, etc., los cuales son de gran utilidad en el uso tecnológico en la industria. Dentro de los pseudocereales poco empleados para uso tecnológico y que presentan una cantidad considerable de este tipo de compuestos, se encuentran las semillas de chía.

La fibra como sustituto de grasa en derivados cárnicos ha sido de gran uso tecnológico al incrementar el rendimiento de cocción, debido a sus propiedades de ligazón de agua y grasa, además de mejorar la textura (Polizer *et al.*, 2015) Se han estudiado varios tipos de fibras solas o combinadas con otros ingredientes para formulaciones de productos cárnicos reducidos en grasa, finamente molidos y productos reestructurados y emulsiones cárnicas (Weiss *et al.*, 2010; Polizer *et al.*, 2015).

2.7. CHÍA

La *Salvia hispanica* L., es mejor conocida como semillas de chía o chía, en México viven más de 700 especies de la familia, de las cuales más de la mitad pertenecen al género *Salvia*. La chía es originaria del centro y sur de México, Guatemala y Nicaragua. Constituyó, junto con el maíz, el frijol y el amaranto, la dieta básica de las culturas mesoamericanas. Es una planta herbácea anual perteneciente a la familia *Lamiaceae*, junto con el lino (*Linum usitatissimum*), es una de las especies vegetales con la mayor concentración de ácidos grasos α -linolénico omega 3 conocidas hasta 2006. Se cultiva por ello para aprovechar sus semillas, que se utilizan molidas como ingrediente alimenticio (González-Jiménez, 2010). Esta planta es nativa del sur de México y norte de Guatemala. La semilla de chía junto con el maíz, el frijol y el amaranto, fueron cultivos importantes para las civilizaciones precolombinas de América, incluyendo a las poblaciones mayas y aztecas (Capitani *et al.*, 2012).

2.7.1. Características de la semilla

La semilla (ver [figura 7](#)) es rica en mucílago, fécula y aceite; tiene unos 2 mm de largo por 1,5 mm de ancho, y es ovalada, lustrosa, y de color pardo grisáceo a rojizo (Cahill, 2003).

Figura 7. Semillas de chía.



Fuente: Comunidad orgánica, 2016.

2.7.1.1. Cultivo

La planta de la chía se desarrolla en forma óptima en suelos ligeros a medios, bien drenados, no demasiado húmedos; como la mayoría de las salvias, es tolerante a la acidez y a la sequía, pero no soporta las heladas. Requiere abundante sol, y no fructifica en la sombra (Cahill, 2003). El mayor centro productor de México está en Acatic, Jalisco, de donde se exportan cantidades crecientes a Japón, Estados Unidos y Europa (González-Jiménez, 2010).

2.7.2. Composición fisicoquímica de las semillas de chía y propiedades funcionales

Aunque las semillas de chía son relevantes por el contenido de ácidos grasos omega 3, también contienen cantidad de otros componentes relevantes para la nutrición humana.

En la [tabla 9](#), se presenta el porcentaje de macro nutrientes presentes en las semillas.

Figura 8. Planta de Salvia hispánica L.



Fuente: Martínez, 2012

Tabla 9. Composición fisicoquímica de semillas de chía.

Energía	Proteína	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas
Kcal/ 100 g			%		
550	20,70	30,4	40,29	27,5	4,61

Fuente: Ayerza & Coates, 2006

La chía posee entre el 19% y el 23% de proteínas, nivel que resulta más alto que el contenido en cereales tradicionales como el trigo con (13,7%), el maíz (9,4%) o el arroz (6,5%), además a diferencia de estos cereales tradicionales, las semillas de chía no contienen gluten por lo que es recomendada para pacientes celíacos (Ayerza & Coates, 2006). Estas semillas también son buena fuente de vitaminas del complejo B, además de vitamina A. Son excelentes aportadores de minerales entre los que destacan el calcio, el fósforo, el magnesio, el potasio, el hierro, el zinc y el cobre (Ayerza & Coates, 2006).

Respecto al contenido de fibra Salgado-Cruz *et al.* (2005) reportan los datos que se presentan en la [tabla 10](#).

Tabla 10. Contenido de fibra dietética en semillas de chía. (*Salvia Hispanica L.*)

Fibra dietética total	Fibra dietética soluble	Fibra dietética insoluble
57,01 – 59,33%	49,13 – 51,8%	48,2 – 50,87%

Como en cualquier alimento, el riesgo de ser alérgico es relevante, un estudio realizado en el Reino Unido con la finalidad de determinar posibles factores alérgicos, demostraron que la chía no presentaba ningún potencial alérgico (Ayerza & Coates, 2006).

2.7.3. La chía como fuente de ácidos grasos esenciales en la nutrición humana

Los estudios epidemiológicos demuestran la relación específica entre la alimentación deficiente en nutrientes esenciales y la aparición de enfermedades degenerativas. La

prevención primaria y secundaria de dichas enfermedades pone en relieve que, si se consigue una alimentación equilibrada, estaría a favor de un enfoque más prometedor en la prevención de patologías, así como un medio mucho más eficaz para el tratamiento de las mismas.

Existe un grupo de ácidos grasos poli-insaturados que se denominan ácidos grasos esenciales (AGE), los cuales son muy importantes para la nutrición humana pero no pueden sintetizarse en el organismo humano y deben ser incorporados a partir de la dieta.

Los AGE para el hombre son: los ácidos grasos omega-3 (ácido α -linolénico y sus derivados de cadena larga) y los ácidos grasos Omega-6, cuyo precursor es el ácido linoleico.

La evidencia sugiere que los ácidos grasos Omega-3 juegan un rol importante en la membrana celular. La función de éstos ácidos grasos, es aportar mayor flexibilidad a las membranas celulares, permitiendo el movimiento de proteínas en su superficie y dentro de la bicapa lipídica.

Las cantidades necesarias de ácidos grasos Omega-3 van a depender del ciclo de vida de cada persona y de su estado fisiológico o patológico que pueden llevar a un aumento en las necesidades de ácidos grasos. Se estima en promedio que es necesaria una ingesta del 1 % de la energía total de ácidos grasos Omega-3 y un 4% de la energía total para los Omega-6. El problema radica en que el contenido de ácidos grasos Omega-3 en nuestra alimentación es muy bajo, por lo que el consumo diario no alcanza a superar el 0,5 % de la energía total (Di Sapio *et al.*, 2008).

De todas las fuentes de ácidos grasos omega-3 solo el lino (*Linum usitatissimum* L.) y la chía tienen su origen en cultivos agrícolas, ambas son especies vegetales con la mayor concentración de ácido graso α -linolénico conocida hasta la fecha. De acuerdo con Ixtaina *et al.* (2010) el contenido de aceite en semillas de chía se encuentra entre el 22 y 38 %, por otro lado, Ayerza & Coates (2006) reportan que las semillas de chía presentan entre el 29% y 33%, y que el aceite que se encuentra en mayor concentración es el ácido graso α -linolénico entre el 62 y 64% y el linoleico el 20 %. (Di Sapio, 2008). Si bien la moderna investigación de la chía se basa en su gran aporte de ácidos grasos esenciales, estos pequeños aquenios, llamados comúnmente semillas son considerados como excelentes integradores alimentarios, dada su riqueza en componentes nutricionales. La chía es el cultivo con mayor porcentaje de AGE al tener el 82 % de sus lípidos con dicha característica (Di Sapio, 2008)

2.7.4. Usos y aplicaciones

Las semillas de chía comenzaron a emplearse en la alimentación humana hace 3,500 años a.C. y se convirtió en uno de los cultivos básicos en el centro de México entre 1,500 y 900 a.C junto con el amaranto, el frijol y el maíz. Por siglos, la semilla de chía fue utilizada como alimento por los indígenas del oeste y del sur de México. Los aztecas, entre otros usos, ofrecían la chía a los dioses como parte de las ofrendas en las ceremonias religiosas (González-Jiménez, 2010).

Conocida como el alimento de caminatas, su uso como un alimento de resistencia y alta energía ha sido registrado desde los tiempos remotos de los antiguos Aztecas, cuyos guerreros subsistían con la semilla durante sus conquistas. Los indígenas del suroeste ingerían muy poco, no más de una cucharada llena cuando salían de marchas forzadas durante 24 horas (Ayerza y Coates, 2006).

Hacia el año 1600 D.C. se registraron 101 usos importantes de los cuales el 41% correspondían a los medicinales y el resto eran culinarios, artísticos y religiosos, entre otros. Las partes de la planta que se utilizaban como ingrediente en la formulación de medicamentos eran en su mayoría las semillas y en menor medida los tallos, hojas y raíces, las cuales se utilizaban principalmente para combatir las infecciones respiratorias. Entre los usos medicinales de la semilla destacaban el tratamiento contra fiebres, diarreas, estreñimiento, regulación de la secreción biliar, infecciones y obstrucciones en el ojo e infecciones respiratorias, también servía como estimulante y para proteger la piel. Como alimento, las semillas de chía se tostaban y molían hasta obtener una harina conocida con el nombre de Chianpinolli. La harina se incorporaba en las tortillas, tamales y en varias bebidas de los aztecas llamados Chianatoles. Los usos artísticos se restringieron al aceite de la semilla para pinturas, barnices, cosméticos (como emoliente) y para dar acabados brillosos a las vasijas y platos. Adicionalmente, el aceite sirvió como componente básico en la pintura para el cuerpo y rostro (Cahill, 2003).

2.7.5. Antioxidantes presentes en la chía (*Salvia hispánica* L.) y propiedades funcionales

Al desgrasar las semillas por prensa y realizar extractos de harina en agua y metanol, mostraron una fuerte actividad antioxidante, lo que explica por qué al ser una excelente fuente de ácidos grasos omega-3 y ser almacenada por los aztecas (harina y semillas) por largos periodos esta no se arranciaba o bien presentaba reacciones de oxidación lipídica.

Los antioxidantes más importantes presentes en las semillas de chía son el ácido clorogénico, el ácido cafeico, los flavonoles, la miricetina, quercetina y el kaempferol, [tabla 11](#). Estos compuestos son antioxidantes primarios y sinérgicos que contribuyen a la alta actividad antioxidante de las semillas de chía.

Dentro de los antioxidantes presentes la quercetina, mencionada anteriormente presenta un alto poder antioxidante, que impide la oxidación de los lípidos, proteínas y ADN, y sus propiedades son más efectivas que los flavonoles no-ortohidroxi. Por su parte los ácidos cafeico y clorogénico demostraron tener una alta actividad contra radicales libres y procesos oxidativos en general, inhibiendo la peroxidación de los lípidos, siendo estas propiedades de antioxidación más significativas que las del ácido ferúlico y los antioxidantes comunes como el ácido ascórbico y la vitamina E (Ayerza & Coates, 2006).

Dentro de sus propiedades funcionales la principal ventaja es la ya mencionada ayuda contra la oxidación lipídica, que en el caso de los alimentos produce sabores extraños, el típico sabor a pescado, sin embargo, en el organismo humano favorece al envejecimiento y

enfermedades degenerativas como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas, disminución del sistema inmunológico y disfunción cerebral (Ayerza & Coates, 2006).

Tabla 11. Concentración de antioxidantes encontrados en extractos de semilla de chía.

Compuestos	Concentración
	Peso molecular en g / Kg de semillas de chía
No hidrolizados	
Flavonoles	-----
Ácidos cinámicos	
<i>Ácido cafeíco</i>	$6,6 \times 10^{-3}$
<i>Ácido clorogénico</i>	$7,1 \times 10^{-3}$
Hidrolizados	
Flavonoles	
<i>Miricetina</i>	$3,1 \times 10^{-3}$
<i>Quercetina</i>	$0,2 \times 10^{-3}$
<i>Kaempferol</i>	$1,1 \times 10^{-3}$
Ácidos cinámicos	
<i>Ácido cafeíco</i>	$13,5 \times 10^{-3}$

Fuente: Ayerza & Coates, 2006

2.8. TECNOLOGÍA DE BARRERAS

La tecnología de barreras implica la utilización de diferentes técnicas de conservación, dentro de las que sobresalen, el uso de desinfectantes, tratamientos térmicos, aditivos químicos, empaques en atmósferas modificadas, almacenamiento a bajas temperaturas, entre otros, con la finalidad de reducir el uso intensivo de una técnica de conservación y de esta forma producir un menor impacto en las características sensoriales y nutricionales del alimento (Escobar Hernández *et al.*, 2014)

Las técnicas de conservación tienen como finalidad controlar el deterioro de la calidad de los alimentos. Este deterioro puede ser causado por microorganismos y/o por una variedad de reacciones físico químicas que ocurren después del sacrificio del animal. Sin embargo, la prioridad de cualquier proceso de conservación es minimizar la probabilidad de ocurrencia y de crecimiento de microorganismos deteriorativos y patógenos (FAO, 2004). Desde el punto de vista microbiológico, la conservación de alimentos consiste en exponer a los microorganismos a un medio hostil (por ejemplo, a uno o más factores adversos) para prevenir o retardar su crecimiento, disminuir su supervivencia o causar su muerte. Ejemplos de tales factores son la acidez (por ejemplo bajo pH), la limitación del agua disponible para el crecimiento (por ejemplo reducción de la actividad de agua), la presencia de conservadores, las temperaturas altas o bajas, la limitación de nutrientes, los recubrimientos comestibles, la utilización de desinfectantes, el envasado en atmósferas modificadas y controladas, las altas presiones hidrostáticas, el ultrasonido, la radiación ultravioleta, la irradiación, la Impregnación a vacío y el uso de microorganismos

competitivos. Desafortunadamente, los microorganismos han desarrollado distintos mecanismos para resistir los efectos de estos factores ambientales de estrés. Estos mecanismos, denominados mecanismos homeostáticos, actúan para mantener relativamente sin cambio los parámetros y las actividades fisiológicas claves de los microorganismos, aun cuando el medio que rodea a la célula se haya modificado y sea diferente. Para ser efectivos, los factores de conservación deben superar la resistencia microbiana homeostática (Leistner & Gould, 2002).

La estabilidad u homeostasis del medio interno (composición y volumen de los fluidos) es vital para la supervivencia y el crecimiento de los microorganismos. La tecnología de barreras no sólo se aplica a la estabilidad microbiológica, sino que se hace extensivo a la calidad total. También desde el punto de vista microbiológico, el concepto se ha tornado más amplio y se refiere no sólo a la interferencia de la homeóstasis por barreras sinérgicas o aditivas sobre un mismo microorganismo, sino a la aplicación selectiva de factores de conservación que puedan ser efectivos contra un organismo específico o un grupo de microorganismos solamente. Es así que, en los últimos años, un gran número de publicaciones en la literatura internacional se refiere a la utilización de este concepto con distintas finalidades: optimizar tecnologías tradicionales; desarrollar nuevos productos y como medida de seguridad para asegurar la calidad microbiológica de alimentos procesados (Alzamora, 1997).

Los factores más importantes que controlan la velocidad de los cambios deteriorativos y la proliferación de los microorganismos en los alimentos son la disponibilidad de agua, el pH y la temperatura (FAO, 2004). Cuando estos factores son aplicados en conjunto a un

alimento, se obtiene un efecto sinérgico, permitiendo que cada uno sea utilizado en una menor intensidad que cuando es empleado de forma independiente, esto da como resultado un alimento en el cual no se presentan cambios drásticos en su composición nutricional y en su calidad sensorial, conservando características muy similares a las del alimento fresco y con una vida útil más prolongada. Para que el concepto de barrera sea aplicado exitosamente, es necesario cuantificar la influencia de los distintos factores sobre el crecimiento microbiano. Dentro de los criterios para seleccionar los factores de conservación a combinar que aseguren la estabilidad del alimento, cabe destacar: los tipos de microorganismos que pueden estar presentes y pueden crecer, las reacciones bioquímicas y fisicoquímicas que pueden deteriorar la calidad del producto, la infraestructura disponible para la elaboración y el almacenamiento, las propiedades sensoriales, la vida útil y el tipo de envasado deseado (FAO).

Los investigadores se están centrando en las nuevas tecnologías y los avances en los conocimientos de Nutrición y Ciencia de los Alimentos para buscar la forma de obtener alimentos con las características deseadas, lo que requiere el desarrollo de nuevas formas de conservación, preparación, presentación y traslado. La Tecnología en el área de los Alimentos está realizando en la actualidad un enorme esfuerzo para el desarrollo de nuevos métodos de conservación e higienización de los mismos. Por una parte, se intentan mejorar en lo posible los actuales tratamientos térmicos buscando métodos más eficientes de calentamiento, como las microondas, la pasteurización, entre otros.

Por otro lado, se intentan combinar diversas tecnologías que permitan reducir la intensidad de los tratamientos y de esta forma, sus efectos sobre la pérdida de calidad, por ejemplo,

la adición de ácidos permite reducir la temperatura y el tiempo de esterilización de algunas conservas vegetales. Finalmente, se intentan buscar nuevos métodos de tratamiento, más específicos, que permitan destruir de forma eficaz a los microorganismos y afecten mínimamente a la calidad de los alimentos.

Las nuevas tecnologías en la conservación de alimentos van desde la aplicación de altas presiones, irradiación, ultrasonidos o la aplicación de campos electromagnéticos. En la actualidad se dispone de un amplio abanico de técnicas y procedimientos, en la [tabla 12](#) se mencionan de forma básica y sencilla algunas de estas nuevas tecnologías de conservación con un gran potencial de aplicación a los alimentos.

Tabla 12. Tecnologías de conservación con aplicación en alimentos

Tecnología	Descripción
Métodos combinados	Consisten en la combinación de obstáculos o barreras (factores inhibidores: temperatura, actividad de agua, pH, potencial redox, etc.), insuficientes por separado para proteger el alimento, que en conjunto pueden llegar a impedir o retrasar la presencia de los factores de alteración, modificando en menor medida la calidad sensorial y nutricional del alimento que los métodos tradicionales de conservación. La estabilidad microbiana y la seguridad de la mayoría de los alimentos se basan en una combinación de diversos factores de conservación (denominados obstáculos, barreras o vallas), que los microorganismos presentes en los alimentos son incapaces de superar
Altas presiones hidrostáticas (HPP, High pressure processing)	Consiste en una cámara de tratamiento, un fluido que transmite la presión (generalmente agua potable) y una o más bombas que generan presión. Es un proceso por lote y las cámaras de tratamiento tienen capacidades entre 35 y 700 L. Los alimentos envasados son introducidos en la cámara, que es cerrada, y a continuación comienza el bombeo de agua dentro de la cámara. Cuando se alcanza la presión de trabajo, el bombeo cesa y se cierran las válvulas para mantener la presión sin otro gasto energético. La presión es transmitida rápida y uniformemente a través del agua y el alimento. Cuando ha transcurrido el tiempo fijado, la presión es liberada y los envases se sacan de la cámara. Como esto es un proceso por lote, el rendimiento es relativamente limitado en comparación con otros procesos alimentarios continuos como el uso de autoclaves. La presión se

aplica al alimento de una manera isostática. Ello implica que todos los átomos y moléculas del alimento están sujetos a la misma presión, y exactamente el mismo tiempo, a diferencia de los procesos térmicos donde ocurren gradientes de temperaturas.

Pulsos eléctricos de alto voltaje (PEAV) Consiste en la aplicación intermitente de campos eléctricos de alta intensidad y corta duración a un material colocado entre dos electrodos. Estos tratamientos provocan la permeabilización de las células tanto eucariotas como procariotas sin apenas aumentar la temperatura del medio. Los efectos de los (PEAV) han sido estudiados en profundidad debido a las numerosas aplicaciones de esta tecnología en distintas áreas como la biología celular, la biotecnología, la medicina y más recientemente en la tecnología de los alimentos.

Envasado activo Se entiende como envase activo un sistema alimento/envase/entorno que actúa de forma coordinada para mejorar la salubridad y la calidad del alimento envasado y aumentar su vida útil. En general, el objetivo del envase es proteger al alimento envasado contra los agentes responsables de la alteración física, química, enzimática o microbiológica, mediante interacciones beneficiosas creadas entre el alimento y el envase. Con el envase activo se trata de corregir las deficiencias del sistema de conservación, con diversas formas de actuación, bien sobre la composición de la atmósfera interior o con sustancias que emiten o retienen gases y vapores, o bien modificando la composición y/o características del alimento, liberando sustancias de acción positiva sobre el alimento o absorbiendo/reteniendo componentes indeseables.

Envasado inteligente Se entiende por envase inteligente un envase capaz de efectuar una función inteligente como detectar, mostrar, registrar o comunicar una información sobre el estado del alimento envasado o el entorno de éste, para facilitar una toma de decisiones que permita extender la vida útil, aumentar la seguridad, mejorar la calidad o prevenir posibles problemas. El envase inteligente implica siempre el sistema completo alimento/envase/entorno, de forma que el envase analiza el sistema, procesa la información y la presenta, sin ejercer generalmente ninguna acción.

Elaboración propia

Fuente: Tinoco Martínez, 2014a; 2014b.

El procesado y conservación convencional consiste en la aplicación de una única técnica de conservación, con condiciones, que generalmente determina una intensa transformación de los alimentos, mientras los métodos combinados consisten en la aplicación de diversas técnicas o estrategias combinadas, más suaves, que en conjunto consiguen una adecuada

conservación de los alimentos, pero sin modificarlos intensamente con el fin de obtener alimentos más sanos y nutritivos, utilizar menos aditivos y conservar las cualidades sensoriales de los mismos (Tinoco Martínez, (2014)

2.8.1. Empaques y recubrimientos comestibles

La pasteurización térmica y la esterilización térmica son las dos operaciones unitarias convencionales más comunes empleadas para procesar y conservar alimentos en el mundo. El calor es responsable de la inactivación microbiana y la reducción de la actividad enzimática que se produce en los productos alimenticios sometidos a tratamiento térmico, siendo el resultado un producto seguro y cuya vida de anaquel será mucho más larga que su equivalente no procesado. El objetivo principal del tratamiento térmico es la inactivación de microorganismos patógenos y las esporas, para proporcionar a los consumidores un producto microbiológicamente seguro. Sin embargo, a pesar de los beneficios del tratamiento térmico convencional, tiene lugar una serie de cambios en el producto que altera su calidad final, por ejemplo, sabor, color, textura y aspecto general (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

2.8.1.1. Empaques

La palabra empaque y envase pueden utilizarse indistintamente. Un envase puede definirse como el producto fabricado de materiales de cualquier naturaleza, utilizado para contener,

proteger, manipular, distribuir y/o presentar mercancías, desde materias primas hasta artículos acabados, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo (Cervera, 2003).

En la actualidad, el "empaque" es una parte fundamental del producto, porque además de contenerlo, protegerlo y/o preservarlo, permite que llegue en condiciones inocuas al consumidor final.

Generalmente se habla de las innovaciones en el empaque y envasado de alimentos, principalmente mejorando, combinando o extendiendo las cuatro funciones básicas del empaquetado y envasado tradicional de alimentos (Vanderroost *et al.*, 2014):

Protección: El envasado de alimentos mantiene contenidos los alimentos, previene escapes o que se rompa y protege contra posibles contaminaciones o cambios.

Comunicación: El envasado de los alimentos contiene información importante sobre el producto y su contenido nutricional, además de las indicaciones para su preparación.

Conveniencia: El envasado de los alimentos permite a los consumidores que disfruten de los alimentos de la manera que quieran a su conveniencia. Los paquetes pueden ser diseñados de forma individual, por ejemplo, para la portabilidad y múltiples porciones individuales.

Contención: esta es la función más importante básica de un paquete, y es relevante también para facilitar el transporte y la manipulación.

2.8.1.2. Empaques comestibles

Las tecnologías avanzadas de conservación de alimentos no-térmicas y térmicos, representan una nueva área de procesamiento de alimentos y se están estudiando a una escala global. Estas nuevas tecnologías son muy atractivas para ser usadas en combinación, ya sea entre ellas o con las tradicionales, buscando sinergismos para optimizar la calidad de los alimentos. Dentro de las técnicas avanzadas encontramos las microondas, las radiofrecuencias y el calentamiento óhmico; mientras que en las no térmicas encontramos altas presiones, los pulsos eléctricos, ultrasonidos, la luz ultravioleta, e plasma frío, el ozono, procesado al vacío, envasado bajo atmósferas modificadas y películas y recubrimientos comestibles (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

Una película o recubrimiento comestible puede ser definida como un empaque primario hecho de componentes comestibles (Galus & Kadzinska, 2015), una capa delgada de material comestible puede revestir directamente un alimento o se puede formar una película y ser empleada como una envoltura para el alimento sin cambiar los ingredientes originales o el método de procesar el alimento. La idea de usar películas y recubrimientos comestibles está centrada en reducir la exposición al medio ambiente del producto a conservar. Entre otras cosas, se buscan establecer barreras a la humedad, el oxígeno, así como al movimiento de solutos dentro del alimento, estos recubrimientos pueden usarse en el exterior del alimento, o bien pueden ser usados como una capa aislante entre componentes de un alimento para evitar cambios en los mismos (Galus & Kadzinska, 2015). Estos biopolímeros comestibles pueden ser particularmente considerados conservadores de alimentos, porque tienen la capacidad de mejorar la calidad global del alimento.

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua desarrollada para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Reportes que datan de los siglos XII y XIII mencionan que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua (Salgado *et al.*, 2015). Durante el Siglo XVI se practicaba en Inglaterra el “enmantecado”, que era la acción de recubrir con grasa de productos alimentarios para prevenir también la pérdida de humedad de éstos. En el Siglo XIX se emplearon películas a base de gelatina para la preservación de carnes y otros alimentos, alrededor de los años 1930 ya se encontraban comercialmente disponibles ceras parafínicas que se derretían con calor para el recubrimiento de cítricos (Nussinovich & Lurie, 1995), y en los comienzos de los años 1950 se desarrollaron emulsiones aceite-agua con cera de carnauba para el recubrimiento de frutas frescas y hortalizas (Kaplan, 1986; Kester & Fennema, 1986; Bósquez, 2003). De mediados de los 50’s a mediados de los 80’s se han realizado diversas investigaciones orientado al uso de películas y recubrimientos para extender la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados, el cual se ha reportado tanto en la literatura científica como de patente. Las ceras fueron las primeras cubiertas comestibles empleadas en frutas y en los años 1930s se disponía comercialmente de ceras de parafina derretidas en caliente para su aplicación como recubrimiento de manzanas y peras (Bósquez, 2003).

Por otro lado, aunque el envasado en atmósferas modificadas ha demostrado ser útil para mantener las cualidades sensoriales de los alimentos, su efecto sobre el crecimiento microbiano es limitado (Pastor, 2010). Cabe señalar que es complicado que las películas y

recubrimientos comestibles vayan a sustituir a los empaques no comestibles, pero puede ser el caso de que se complementen. Se entiende que la incorporación de estos dos elementos comestibles de protección, en adición a extender la vida de anaquel de los alimentos, sirven para mejorar la funcionalidad, la inocuidad, el contenido de nutrientes, las propiedades mecánicas del mismo, la incorporación de sabores, colorantes, así como de estrategias de mercadeo. Es de destacar que las películas comestibles y los recubrimientos comestibles retardan a migración de humedad, de gases, de aceites y solutos (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

Por lo que las películas y recubrimientos comestibles son una alternativa para alargar la vida útil de productos cárnicos durante su distribución y almacenamiento y que además permita la incorporación de antimicrobianos naturales es el empleo de películas y recubrimientos comestibles, estos recubrimientos permitirán alargar la vida útil de los alimentos al actuar como barrera frente al transporte de gases (vapor de agua y O₂), además, como los recubrimientos se producen a partir de compuestos naturales biodegradables, cumplen con las exigencias solicitadas por los consumidores, cada vez más preocupados por su salud y el medio ambiente, inclinándose más hacia la compra de productos libres de químicos de síntesis (Pastor, 2010).

2.8.1.2.1. Películas comestibles

Las películas comestibles son estructuras de polímeros que se forman independientemente y que permanecen separadas de cualquier intención de uso. Estas películas también se emplean como estructura de prueba para la determinación de propiedades de barrera, mecánicas, solubilidad y otras proporcionadas por un cierto material de película (Krochta & De Mulder-Johnson, 1997; Trejo, 2010), por lo que una película comestible es aquella capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como una barra, o colocada (lo que implica que debe ser preformada) sobre o entre los componentes del alimento.

2.8.1.2.2. Recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles involucran la formación del polímero directamente en la superficie del objeto que se pretende proteger o conservar. Los recubrimientos llegan a ser parte del producto y permanecerá en el mismo durante su uso y consumo. Generalmente los recubrimientos se colocan por inmersión del alimento en la disolución del recubrimiento.

En muchas aplicaciones de alimentos, la función más importante de las películas comestibles es la reducción de la pérdida de humedad, debido a que se deben mantener ciertos niveles de a_w ya que es un factor de suma importancia en la calidad y seguridad del

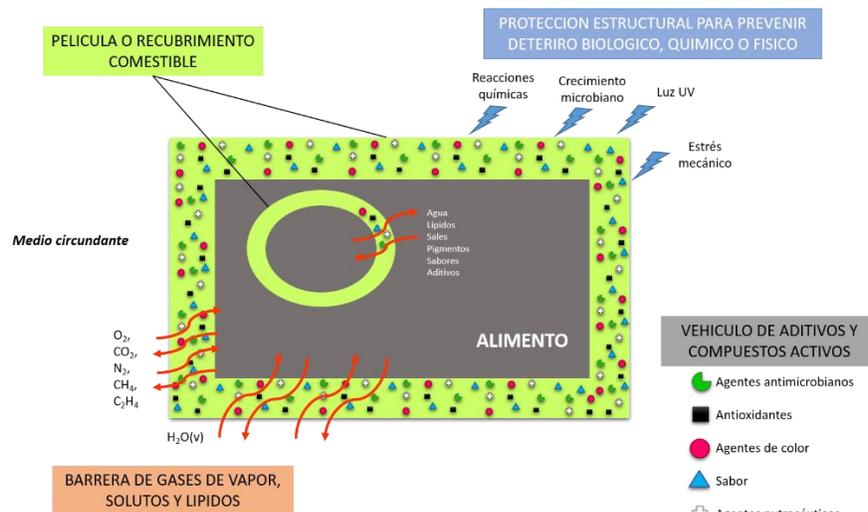
alimento. En la [tabla 13](#) y [figura 9](#) se mencionan algunas de las propiedades funcionales que desempeñan las películas comestibles aplicadas a algunos alimentos.

Tabla 13. Funciones de las películas y recubrimientos comestibles

Películas y recubrimientos comestibles
Reducir la pérdida de humedad
Reducir el transporte de gases (CO ₂ y O ₂)
Reducir la migración de aceites y grasas
Reducir el transporte de solutos
Mejorar las propiedades mecánicas y de manejo de los alimentos
Proveer integridad estructural a los alimentos
Retener los componentes volátiles
Contener aditivos

Fuente: Kester y Fennema, 1986

Figura 9. Principales funciones de películas y recubrimientos comestibles



2.8.1.3. Componentes de películas y recubrimientos comestibles

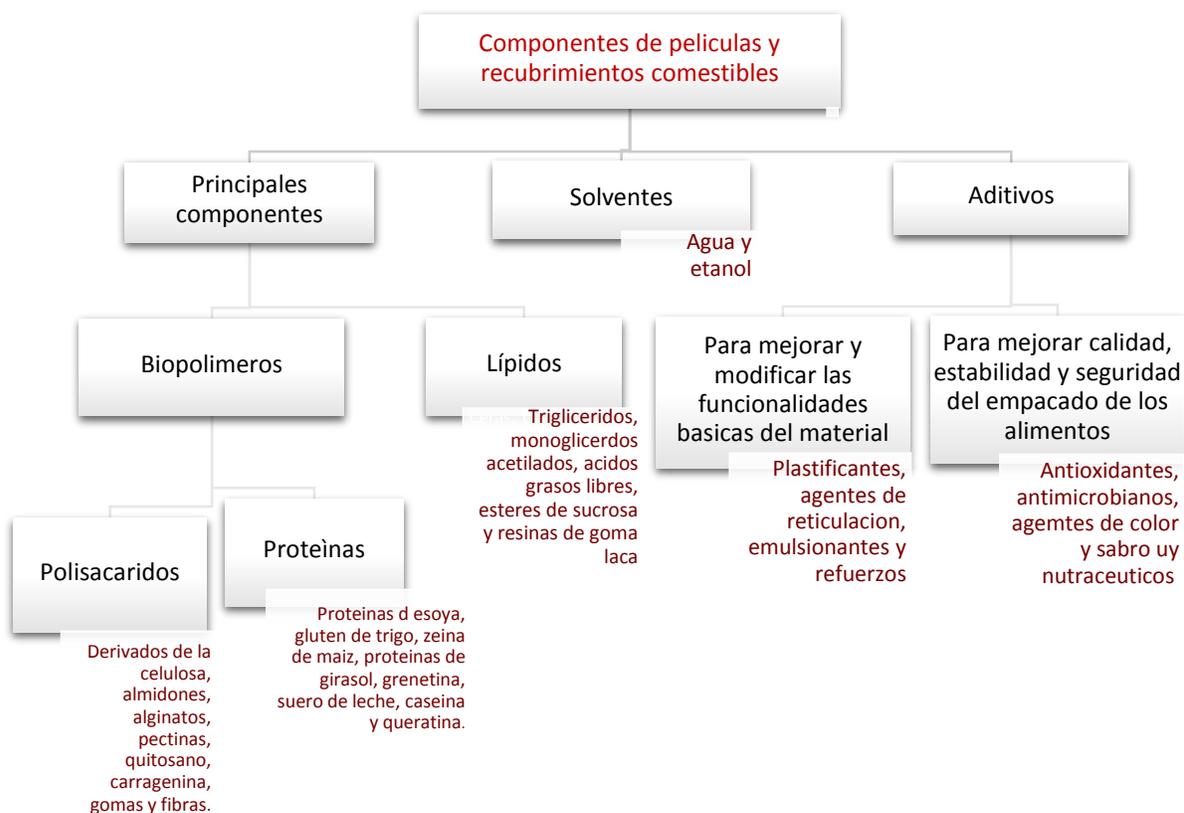
Las películas y recubrimientos comestibles generalmente son clasificados de acuerdo a su material estructural: proteínas, polisacáridos, lípidos o una mezcla de ellos (composites). La principal ventaja de la estructura polimérica como envase de alimentos es su biodegradabilidad (Galus & Kadzinska, 2015). Típicos hidrocoloides empleados en la elaboración de películas y recubrimientos son: proteínas, derivados de celulosa, alginatos, pectinas, almidones, mientras que dentro de los lípidos se encuentran las ceras y ácidos grasos (ver [figura 10](#)). Los composites pueden existir como capas dobles, una de un hidrocoloide y la otra lipídica, o como multicapa, donde estos dos tipos de componentes pueden ser incluidos en diferentes configuraciones. Además, la presencia de plastificantes reduce la fragilidad de la protección. Estos plastificantes reducen las fuerzas intermoleculares y favorecen la movilidad de las cadenas poliméricas, es decir, mejoran la flexibilidad y la posibilidad de extensión. El plastificante debe ser compatible con los componentes principales y los más comunes son los polioles, monosacáridos, disacáridos, polisacáridos, y algunos lípidos.

2.8.1.3.1. Proteínas

Las proteínas constituyen el material base de un gran parte de los recubrimientos comestibles. Su carácter eminentemente hidrófilo, debido a la presencia de grupos funcionales polares en su composición, las hace apropiadas para su aplicación en una amplia variedad de productos con superficies hidrófilas. Proporcionan buenas propiedades de

barrera frente a gases permeantes (O₂ y CO₂), pero no frente al vapor de agua (Galus & Kadzinska, 2015).

Figura 10. Composición de películas y recubrimientos comestibles



Fuente: salgado et al., 2015

Las proteínas de origen vegetal más empleadas en la elaboración de recubrimientos comestibles son las de soya, el gluten de trigo y la zeína de maíz. Las proteínas lácteas, el colágeno y la queratina están entre las proteínas de origen animal empleadas con mayor frecuencia. Por ejemplo, las proteínas lácteas como la proteína de suero de leche o el

caseinato sódico proporcionan recubrimientos transparentes e insípidos que presentan excelentes propiedades de barrera frente a oxígeno, aromas y lípidos, pero no frente a la humedad. Por otro lado, el uso de películas a base de proteínas supone un incremento del valor nutrimental del producto (Galus & Kadzinska, 2015).

2.8.1.3.1.1. Suero de leche

El suero de leche es un subproducto de la fabricación de quesos, y las proteínas de suero son definidas como aquellas proteínas que permanecen en el suero lácteo después de la coagulación de las caseínas a un pH de 4.6. Las proteínas individuales que integran la proteína de suero de leche son: beta-lactoglobulina, alfa lactoalbúmina, albúmina de suero bovino, las inmunoglobulinas y proteasas (ver [tabla 14](#)), la diferencia entre estas proteínas de suero de leche y las caseínas en que su carga neta negativa se distribuye uniformemente sobre la cadena de proteína (Dangaran *et al.*, 2009).

Los aminoácidos hidrofóbicos, polares y cargados también están distribuidos uniformemente, por lo que las proteínas se pliegan en una estructura donde los grupos hidrófobos están envueltos dentro de la molécula de proteína de suero de leche. Las interacciones de proteínas que se producen entre las cadenas determinan la formación de la red de película y sus propiedades.

Tabla 14. Proteínas del suero de leche

Proteína	Peso molecular	% en suero de leche	Características
Beta-lactoglobulina	18.368 kDa forma A 18.279 kDa forma B	48-58%	No se desnaturaliza a medida que cambia el pH, pero es termolábil. Para formar del recubrimiento hay un grupo sulfhídrido libre, cisteína 121 (CYS121) y dos enlaces disulfuro entre cisteína 66-cisteína 160 y cisteína 106-cisteína 119. Los aminoácidos más abundantes en la beta-lactoglobulina bovina son la leucina, el ácido glutámico y la lisina. En particular, la beta-lactoglobulina es baja en residuos de tirosina, lo que limita su capacidad de entrecruzamiento a través de los radicales bi-tirosina que se forman cuando las proteínas se exponen al tratamiento de irradiación.
Alfa-lactoalbúmina	14.2 kDa	13-19%	Contiene cuatro puentes disulfuro internos, tiene una baja organización de su estructura secundaria, sin embargo, el enlace del calcio con sus cuatro puentes S-S mantienen la estructura α -lactoalbúmina y la estabiliza contra la desnaturalización.
Albúmina de suero bovino	66 kDa	7%	Proteína de suero de cadena única más larga, contiene 17 enlaces S-S y un grupo tiol libre, lo que la hace que sea muy estructurado
Inmunoglobulinas		13%	Mezcla de proteínas y son muy termolábiles
Proteasas		4%	

Fuente: Dangaran *et al.* (2009), Perez- Gago, 2012

De acuerdo al proceso de obtención de la proteína de suero de leche, se clasifica como proteína concentrada (WPC) y proteína aislada (WPI) (Perez-Gago, 2012). Este tipo de 

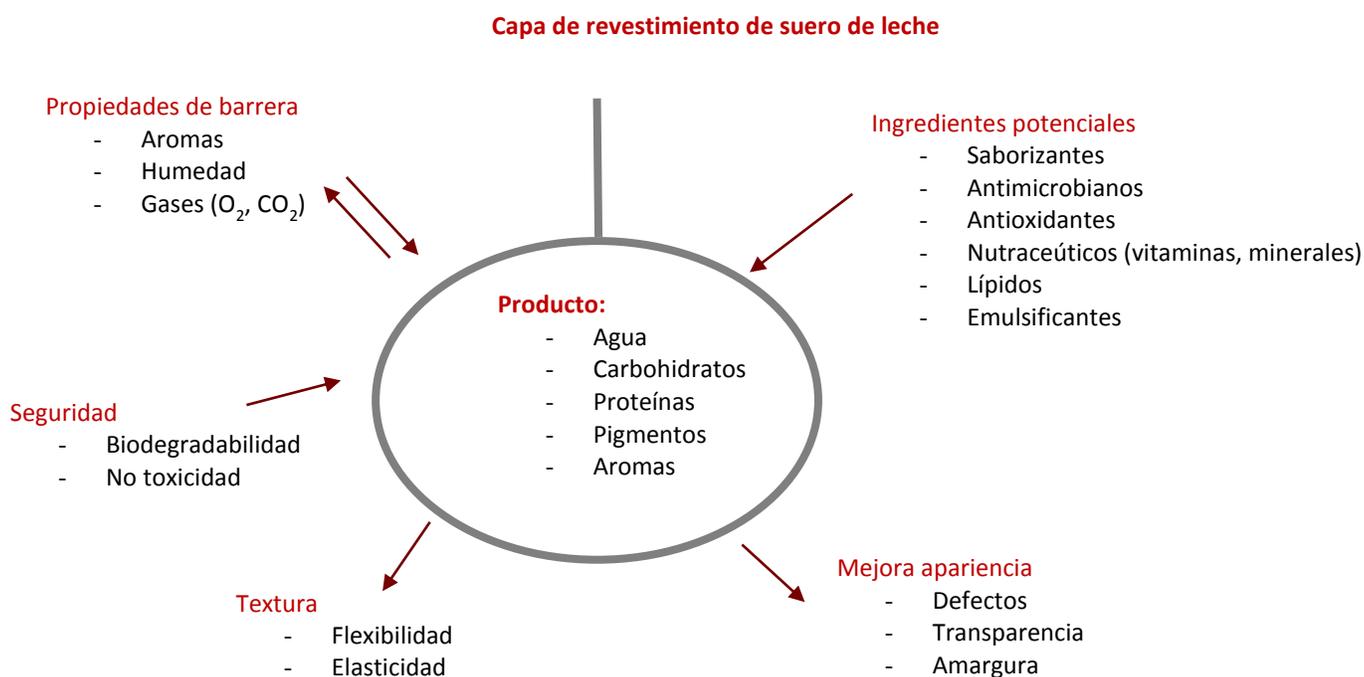
proteínas presentan un buen valor nutritivo, una solubilidad en agua que varía y funciona como agente emulsionante, haciéndola ideal para la formación de recubrimiento y películas comestibles, sin embargo, necesitan ser desnaturalizadas preliminarmente para tener disponibles los grupos sulfhidrilo (-SH) y disulfuro (S-S) encubiertos en el centro hidrofóbico de la estructura globular terciaria nativa de estas proteínas. Después la formación de enlaces disulfuro intermoleculares entre las unidades de beta lactoglobulinas comienza la generación de la red tridimensional estable.

Las películas y recubrimientos que se forman a partir de suero de leche son transparentes, proveen una excelente barrera contra el oxígeno, los aromas y los lípidos a una baja humedad relativa (ver [figura 11](#))

2.8.1.3.1.2. Grenetina

La gelatina es una proteína natural soluble en agua caracterizada por la ausencia de un olor apreciable y una configuración aleatoria de sus cadenas polipeptídicas en disolución acuosa. Se obtiene a partir de la hidrólisis parcial del colágeno; es una proteína fibrosa que se encuentra principalmente en ciertas partes de animales vertebrados e invertebrados como huesos, pieles, tejidos conectivos y tendones; y su estructura consiste en moléculas rígidas parecidas a barras que se disponen en fibras interconectadas por enlaces covalentes (Ramos *et al.*, 2016).

Figura 11. Atributos de calidad proporcionados específicamente por películas y revestimientos de proteína de suero de leche a productos alimenticios.



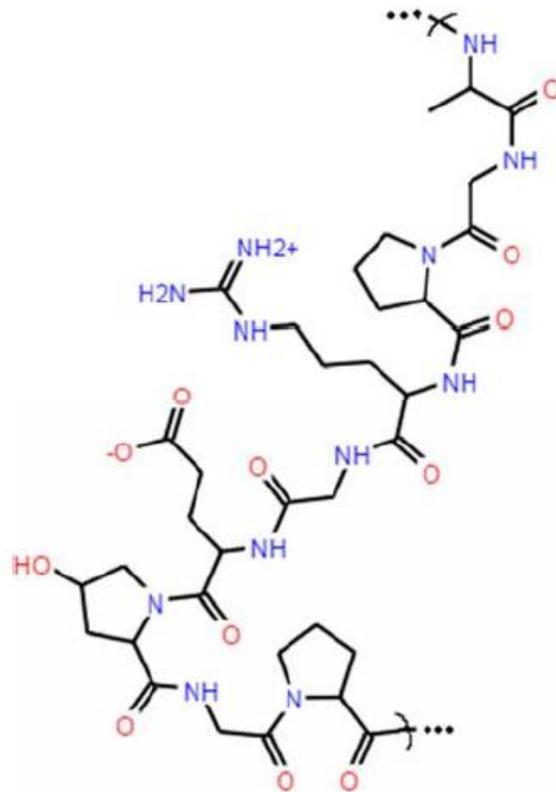
La piel de cerdo fue utilizada como materia prima para fabricar gelatina en la década de 1930 y continúa siendo el material más importante para su producción, mientras que, para otros usos como productos farmacéuticos, esta se obtiene generalmente a partir de huesos de ganado, lo que se considera un proceso de extracción más compleja y costosa. Sin embargo, en la última década la producción de gelatina de pescado ha aumentado, lo que representa más del 1,5% de la producción total de gelatina. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de la gelatina de pescado son sus propiedades reológicas, siendo menos estables que las obtenidas de fuentes de mamíferos. Además, dado que la producción de gelatina de pescado y aves de corral es todavía limitada, los productos

obtenidos son menos competitivos en precio que los de gelatinas de mamíferos (Ramos *et al.*, 2016).

La gelatina soluble se produce por la desestabilización de la triple hélice de colágeno, el grado de conversión de colágeno en gelatina depende del pretratamiento con extracción de agua caliente, temperatura, pH y tiempo de extracción. Las moléculas de colágeno intersticiales están compuestas por tres cadenas de polipéptidos entrelazadas y estabilizadas por enlaces de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas. La desestabilización se produce rompiendo hidrógeno y enlaces covalentes como resultado del tratamiento térmico, dando como resultado una transición de hélice a espiral enrollado y posterior conversión en gelatina soluble (Ramos *et al.*, 2016).

La gelatina es una mezcla polipeptídica heterogénea de α -cadenas (un polímero / cadena única), β -cadenas (dos cadenas β -covalentemente vinculadas o entrecruzadas) y γ -cadenas (tres α -cadenas covalentemente entrecruzadas). La [figura 12](#) muestra la composición típica de aminoácidos de la gelatina: Ala - Gly - Pro - Arg - Gy - Glu - 4Hyp - Gly - Pro -; Con una composición elemental de 50,5% de carbono, 25,2% de oxígeno, 17% de nitrógeno y 6,8% de hidrógeno (Ramos *et al.*, 2016).

Figura 12. Estructura de gelatina representativa según su composición típica de aminoácidos



Fuente: Ramos et al., 2016

2.8.1.3.2. Polisacáridos

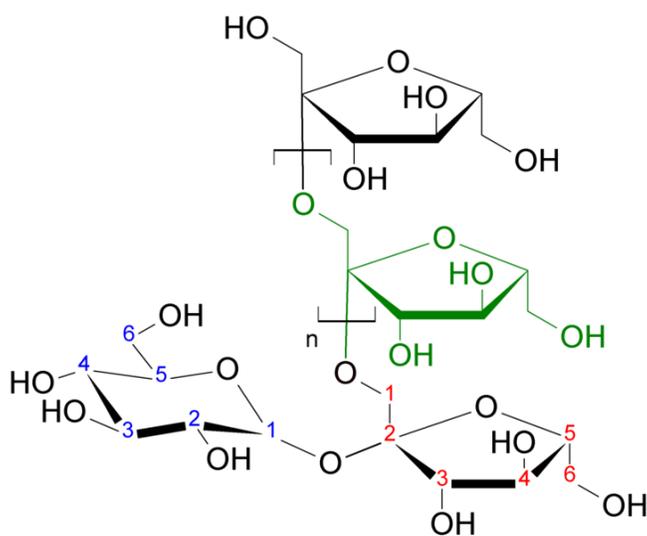
En la elaboración de alimentos son empleados con diversos fines como a formación de geles o proporcionan dureza, consistencia, viscosidad y adhesividad al producto. Estos polisacáridos son agentes hidrófilos formadores de recubrimientos con una buena resistencia mecánica, cuyas propiedades de permeabilidad a los gases resultan deseables en atmosferas modificadas; por ello aumentan la vida media del producto sin crear condiciones anaerobias. Sin embargo, debido a su naturaleza hidrófila los recubrimientos a

base de polisacáridos muestran escaso poder de barrera contra el vapor de agua, aunque suponen una barrera efectiva al intercambio de gases, grasas y aromas. Los polisacáridos más empleados en la formación de recubrimientos son almidones, alginatos, celulosa, quitosano, carragenato y pectina (ver [figura 10](#)) (Salgado *et al.*, 2015).

2.8.1.3.2.1. Inulina

Es un polímero de almacenamiento de energía polidisperso en plantas de las familias de las Compositae y Liliaceae, es un fructano que consiste casi en su totalidad en unidades de fructosa linealmente beta-1,2-unidas con una molécula de glucosa terminal unida a alfa-1-beta2 (ver [figura 13](#)). Las moléculas de inulina en las raíces de achicoria tienen un grado de polimerización de 3 a más de 60 unidades.

Figura 13. Estructura química de la inulina



Las moléculas de inulina con un grado de polimerización de 3 a 10 se denominan oligofruktosa o fructooligosacáridos. La inulina pertenece a los llamados oligosacáridos no digeribles, que son hidratos de carbono que después de la ingestión entran en el colon donde son fermentados por la microbiota. En los alimentos, sirven como fuente de fibra dietética soluble, proporcionando menos energía que los carbohidratos digeribles.

La inulina y la oligofruktosa se aíslan y se purifican de la raíz de la achicoria, de un modo comparable al de la sacarosa de la remolacha azucarera. Se usan ampliamente como ingredientes con capacidades fisicoquímicas y nutricionales específicas en una amplia gama de alimentos y bebidas. También se puede sintetizar industrialmente a partir de sacarosa usando enzimas específicas. La inulina es moderadamente soluble en agua (hasta 10% a temperatura ambiente), produciendo una disolución de baja viscosidad. A concentraciones más altas, se puede formar una red de gel microcristalino tridimensional con una estructura cremosa y una sensación en la boca similar a la grasa. La dulzura de la inulina es aproximadamente el 10% de la de la sacarosa. Al eliminar las moléculas de inulina más pequeñas, se elimina la dulzura y se mejoran las capacidades de formación de gel. La inulina tiene amplias aplicaciones como sustituto de grasas bajas en calorías en productos para untar, aderezos, productos lácteos, alimentos de panadería y helados (Schaafsma & Slavin, 2015).

2.8.1.3.3. Lípidos

Los lípidos a diferencia de las proteínas y los polisacáridos, no se adhieren a las superficies hidrófilas, esto debido a su naturaleza hidrofóbica. Por esta naturaleza de los lípidos, los recubrimientos elaborados a partir de sustancias lipídicas ofrecen buenas propiedades de barrera al vapor de agua, pero son opacas, poco flexibles y frágiles.

Por otro lado, los triglicéridos, monoglicéridos acetilados, alcoholes grasos y sucroésteres de ácidos grasos son empleados en la elaboración de recubrimientos y películas comestibles, más allá de los convencionales como ácidos grasos y ceras.

La incorporación de lípidos en los recubrimientos a base de proteínas mejora sustancialmente las propiedades de barrera al vapor de agua de éstas, aunque en función del tipo de lípido adicionado se obtienen recubrimientos con propiedades diferentes (Galus & Kadzinska, 2015).

2.8.1.3.4. Plastificantes

Estos se añaden para incrementar la flexibilidad y resistencia al corte, así como para reducir el carácter quebradizo. Actúan disminuyendo las fuerzas intermoleculares en las cadenas de polímero produciendo un descenso en la fuerza de cohesión, en la tensión y en la temperatura de transición vítrea. Los plastificantes deben ser miscibles con el polímero y, de ser posible, solubles en solvente utilizado para obtener la misma película. La

concentración de plastificante que se requiere para elaborar un recubrimiento varía de entre 10 y 60% de los sólidos de la película.

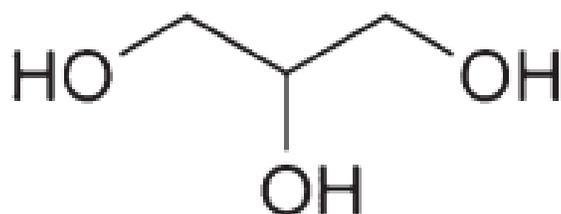
Los plastificantes comestibles más utilizados son glicerol, sorbitol, polietilenglicol, propilenglicol y sacarosa. De acuerdo a su poder plastificante se encuentran el polietilenglicol, glicerol y sorbitol. La adición de estos compuestos mejora las propiedades mecánicas de los recubrimientos a base de polisacáridos o proteínas, en función del tipo, cantidad y peso molecular del plastificante adicionado, puede disminuir la efectividad de la película como barrera al agua, gases, aromas o lípidos. El agua también actúa como plastificante en los recubrimientos formados a base de proteínas (Galus & Kadzinska, 2015).

2.8.1.3.4.1 Glicerol

También conocido como 1, 2,3, propanotriol (ver [figura 14](#)), es un producto químico que tiene una multitud de usos en los productos farmacéuticos, cosméticos y las industrias alimentarias. Se produce como un subproducto de reacciones de saponificación e hidrólisis en plantas oleoquímicas también como una reacción de transesterificación en plantas de biodiesel (Tan *et al.*, 2013). El glicerol es un líquido incoloro, inodoro y viscoso con un sabor dulce, derivado de materias primas tanto naturales como petroquímicas. El nombre glicerol (se deriva de la palabra griega para glykys " dulce ", y los términos glicerín, glicerina y glicerol tienden a usarse indistintamente en la literatura. Por otro lado, las expresiones glicerín o glicerina generalmente se refieren a una disolución comercial de glicerol en agua, cuyo componente principal es el glicerol. El glicerol en bruto tiene una pureza del 70-80% y a

menudo se concentra y purifica antes de la venta comercial a 95.5 99% de pureza (Pagliaro & Rossi, 2010).

Figura 14. Estructura del glicerol



Fuente: Pagliaro & Rossi, 2010

Es completamente soluble en agua y alcoholes, es ligeramente soluble en muchos solventes comunes como el éter y el dioxano, pero es insoluble en hidrocarburos.

En su condición pura anhidra, el glicerol tiene una gravedad específica de 1.261 g /mL, un punto de fusión de 18.2 °C y un punto de ebullición de 290 ° C bajo presión atmosférica normal. A bajas temperaturas, el glicerol puede formar cristales que se derriten a 17.9 1C. Además, el glicerol es altamente estable en condiciones normales de almacenamiento, es compatible con muchos otros materiales químicos, prácticamente no es irritante en sus diversos usos, y no tiene efectos ambientales negativos conocidos.

El glicerol contiene tres grupos hidroxilo alcohólicos hidrófilos, que son responsables de su solubilidad en agua y su naturaleza higroscópica. Es una molécula altamente flexible que forma enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares. Existen 126 posibles confórmeros de glicerol, todos los cuales han sido caracterizados en un estudio reciente usando métodos de la teoría de la densidad funcional (DFT) (Pagliaro & Rossi, 2010).

2.8.1.3.5. Conservadores

La incorporación de este tipo de compuestos a la formulación de los recubrimientos puede permitir alargar la vida útil de los productos de aplicación, dependiendo de la difusión de estos componentes a la superficie del producto. Se utilizan conservantes que pueden controlar el crecimiento de bacterias, mohos y levaduras, como el benzoato de sodio, ácido benzoico, ácido ascórbico, ácido propiónico y sorbato de potasio. Debido a que el conservante se difunde hacia el alimento, su efectividad a lo largo del tiempo es limitada (Galus & Kadzinska, 2015).

2.8.1.4. Procesos de formación de películas y recubrimientos comestibles

Para este proceso se involucra la formación de una red tridimensional estable con características aportadas por los componentes de la mezcla, para ser elaborado el biopolímeros se requieren tratamientos térmicos (calentamiento), la adición enzimas y/o

sustancias para cambiar el pH entre otras, con la finalidad de modificar estructuras moleculares del componente matriz.

Las estructuras se pueden modificar físicamente por calentamiento, radiación ultravioleta, ultrasonificación; tratamientos químicos: agentes productores de entrecruzamientos o “cross-linking”, como el formaldehído, glutaraldehído, ácido láctico, etc. o tratamientos enzimáticos como la transglutaminasa. Específicamente la modificación de proteínas puede llevar a cabo por cambios del pH de la solución formadora (Rodríguez T, 2011).

Las proteínas de suero de leche requieren la previa desnaturalización de la β -Lactoglobulina (Lg) y la α -La (alfa lactoalbúmina), a fin de exponer los grupos sulfhídrico (-SH) y disulfuro (S-S), que se encuentran encubiertos en el centro hidrofóbico de la estructura globular terciaria nativa de estas proteínas, para dar pie a la formación de enlaces disulfuro intermoleculares, principalmente entre las unidades monoméricas de β -Lg dan paso a la formación de una red tridimensional estable, conocida como matriz de la película.

Los polisacáridos actúan en la formación de películas cuando se propicia el rompimiento del polímero en segmentos y se regenera la cadena del polímero al interior de la matriz de la película o gel. Esto generalmente se logra por la evaporación de un solvente, creando enlaces hidrofílicos con hidrógeno y enlaces iónicos (Miranda et al., 2003).

2.8.1.5. Caracterización de recubrimientos comestibles

2.8.1.5.1. Propiedades de barrera

El interés principal de los recubrimientos y películas comestibles se centra en el potencial que muestran actuando como barrera al vapor de agua, oxígeno, flavor, aroma, color o aceites en alimentos o medicamentos, con lo cual se ve incrementada su calidad y vida media. Por lo que la permeabilidad que ofrecen las películas o recubrimientos comestibles a estas sustancias resulta un factor decisivo para su aplicación. La permeabilidad al vapor de agua es dependiente de la polaridad relativa del polímero, mientras que la permeabilidad de gases aumenta mucho con la humedad o presencia de lípidos en estado líquido.

Las películas proteicas como las elaboradas a base de caseinato sódico, presentan una alta permeabilidad a las sustancias polares, como el vapor de agua, y una baja permeabilidad a las sustancias no polares como el oxígeno, CO₂ y aromas. Debido a que los plastificantes, incluyendo al agua, aumentan la permeabilidad de las películas, dicha permeabilidad para sustancias polares y no polares aumenta con el contenido de plastificantes (tipo y cantidad), con la temperatura y la humedad (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

2.8.1.5.1.1. Permeabilidad al vapor de agua

Se ha comprobado que la integración de componentes lipídicos a los recubrimientos reduce el transporte de humedad que se produce, normalmente, en fase de vapor.

La permeabilidad al vapor de agua representa la cantidad de vapor que atraviesa la película o recubrimiento por unidad de tiempo y grosor de la película y diferencia de vapor de agua a través de la película, a una temperatura determinada. La presencia de poros o grietas, o pequeños agujeros en la película hace que el vapor de agua fluya directamente a través de estas zonas, de forma diferente a lo que supone la adsorción y difusión de vapor de a través de la barrera.

La transferencia de vapor de agua depende de las condiciones ambientales, como la temperatura y gradiente de humedad relativa, pudiendo analizarse bajo diferentes condiciones establecidas, aplicables a un producto específico en el que deba ejercer su poder de barrera (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

2.8.1.5.1.2. Permeabilidad a gases

Durante el transporte de gases en las películas o recubrimientos comestibles pueden ocurrir dos mecanismos: difusión capilar y difusión activa. La difusión capilar ocurre en material que son poroso o que presentan imperfecciones. La difusión activa incluye la solubilización del gas en la película, la difusión del gas a través del mismo y, finalmente la desorción al otro lado de la película. La velocidad de difusión aumenta con el tamaño y número de cavidades. Por lo tanto, la difusión activa dependerá del tamaño y polaridad del penetrante, del grado de cristalinidad en la matriz y de los enlaces y movilidad de las cadenas del polímero. Los plastificantes y otros aditivos reducen la fuerza cohesiva entre las cadenas del polímero, aumentando la movilidad de estas, y por tanto dan lugar a un incremento en la

permeabilidad debido a la interposición del plastificante en las cadenas del polímero (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

2.8.1.5.2. Propiedades mecánicas

Los factores ambientales tales como los cambios de temperatura influyen directamente en las propiedades mecánicas de las películas y recubrimientos comestibles alterando su flexibilidad. Si un recubrimiento presenta muy buenas propiedades de barrera podría llegar a ser ineficiente, si sus propiedades mecánicas no permiten mantener la integridad de la película durante su manejo, envasado y transporte. La fuerza de punción y el módulo de elasticidad, así como la tensión y el porcentaje de elongación al punto de fractura, son las propiedades mecánicas más comúnmente determinadas. La tensión de fractura expresa el estrés máximo desarrollado en la película al someterse a una prueba de extensión, mientras que el valor de elongación representa la extensibilidad de la película. La incorporación de lípidos a la matriz polimérica produce generalmente y descenso en la tensión de fractura y un descenso de la extensibilidad, asociados a la presencia de discontinuidades en la matriz que debilitan la cohesión de la matriz polimérica (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

2.8.1.5.3. Propiedades ópticas: color, transparencia y brillo

Otro factor de calidad decisivo es para la aceptación de un producto alimenticio por parte del consumidor es la apariencia o aspecto. El color, la opacidad y el brillo de los

recubrimientos también han sido estudiados, debido a que la aplicación del recubrimiento sobre el producto tiene un impacto directo sobre el aspecto final.

La caracterización de la transparencia y el color del recubrimiento comestible puede realizarse de forma muy adecuada a través de la medida del espectro de reflectancia en el intervalo de luz visible, solo sobre un fondo estándar blanco y otro negro. Estos intervalos permiten determinar mediante la aplicación de la teoría Kubelka-Munk, tanto la reflectancia para el grosor infinito (R_∞) de la película como la transmitancia interna (T_i) y los coeficientes de absorción (K) y dispersión (S) de la luz, estos últimos relacionados con el nivel de transparencia de las películas. De los valores de R_∞ pueden obtenerse las coordenadas de color $L^*a^*b^*$, el tono (h^*_{ab}), el croma (C^*_{ab}) o el índice de blancura (WI).

$$h^*_{ab} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

La medida de brillo puede realizarse con brillómetros para superficies planas a diferentes ángulos de incidencia/reflexión (20, 60 u 80°) dependiendo de la intensidad del brillo de la película, utilizando el método estándar ASTM d-523, con la película sobre una placa negra mate. El ángulo más empleado es 60° para los productos con brillo alto (mayor de 60% respecto a una placa negra pulida de alto brillo, a 60°), pero cuando el brillo es bajo, es más recomendable la medida a ángulos superiores para poder diferenciar mejor entre las muestras (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

Tanto la transparencia como el brillo están muy relacionados con la microestructura de la película, interna y superficial. Las películas compuestas (polímero más lipídico), donde no hay miscibilidad entre los componentes, presentan una fase lipídica dispersa en la matriz continua del polímero. Esto causa heterogeneidad en el índice de refracción a través de la película, provocando la dispersión de la luz, y como consecuencia se presenta una pérdida de transparencia, en función de la diferencia entre los índices de refracción y del tamaño de las partículas dispersas. A su vez las partículas ubicadas en la superficie de la película dan lugar a un determinado grado de rugosidad superficial que disminuye el brillo (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

La importancia de estudiar la microestructura de las películas se centra en que permite esclarecer tanto los diferentes mecanismos involucrados en los fenómenos de transporte molecular que puedan afectar a sus propiedades de barrera, como a la respuesta mecánica de la película y a sus propiedades ópticas (transparencia y brillo). A través de la microscopía electrónica de barrido (SEM) permite observar la distribución de los componentes en la película, mientras que la microscopía de la fuerza atómica (AFM) revela su topografía superficial, determinante del brillo.

Los ácidos grasos saturados como el mirístico y el láurico, tienden a formar estructuras micelares en forma de bicapa en la dispersión formadora de la película que crecen de tamaño durante el secado de la misma, en la obtención de la película por extensión, cristalizando finalmente en láminas de gran tamaño, dependiendo del tamaño de partícula inicial, de la viscosidad del medio y de las interacciones con el polímero. La formación de estas estructuras cristalinas, perpendiculares a la dirección de transporte, supone un gran

incremento en las propiedades de barrera de las películas, pero les imparte rigidez y pérdida de flexibilidad.

El control del tamaño de los cristales formados durante el secado de la película es crucial para optimizar sus propiedades funcionales. En este sentido, el control de las condiciones de homogeneización de los componentes en la disolución formadora de la película es fundamental para asegurar un tamaño de partícula menor en la dispersión de partida, asociado a una mayor estabilidad de la misma, y a un crecimiento más controlado durante la etapa de secado de la película. La presencia de partículas pequeñas en la película provee de propiedades mecánicas más adecuadas, un mayor brillo y transparencia y un efecto de barrera controlado, al aumentar el factor de tortuosidad al transporte de masa a la matriz (Olivas Orozco *et al.*, 2012).

2.8.1.6. Aplicación de los recubrimientos en carne y productos cárnicos

La carne se caracteriza por ser un alimento con estructura de tejidos y a menudo se trata mediante diferentes tipos de procesos tecnológicos lo cual favorece el desarrollo de microorganismos. Bacterias de las especies *Listeria monocytogenes* son especialmente inconvenientes en la industria de alimentos. Esta industria presenta una tendencia a elaborar bio-recubrimientos y la capacidad de producir proteínas de estrés en dosis de valores sutiles y de esta forma inmunizar contra dosis de sub-umbral. Los recubrimientos hidrocoloides con base en derivados de celulosa, alginatos y gomas con adición de ácidos (acético o láctico) o sustancias con actividad antimicrobiana pueden inhibir el desarrollo de

dichos microorganismos eficazmente. Películas y recubrimientos comestibles pueden ser aplicados en carne y productos cárnicos, se pueden aplicar como espumas, inmersión, rociado, cepillado o envoltura individual. La aplicación de espuma se utiliza para emulsiones, donde la carne o el producto es recubierto con espuma protectora a medida que avanza sobre rodillos (Galus & Kadzinska, 2015).

2.8.1.6.1. Bioempaques adicionados con ingredientes activos

Tradicionalmente los empaques podían actuar simplemente para contener el alimento y servir como una barrera para este, y así aislarlo del exterior. En las últimas dos décadas la tecnología e envasado de alimentos ha estado en constante evolución en respuesta a los retos que la sociedad moderna demanda. Estos desafíos incluyen alimentos más seguros y saludables, mayor vida útil, comodidad, mercados globales, legislación, autenticidad, desperdicio de alimentos y preocupación ambiental (Salgado *et al.*, 2015).

Los recubrimientos adicionados con ingredientes activos como aromas, antimicrobianos, antioxidantes y compuestos bioactivos o nutracéuticos, se pueden emplear como alternativa para conservar productos alimenticios. Los compuestos activos pueden ser adicionados directamente dentro de la matriz o pueden ser encapsulados para una mejor protección de su actividad y propiedades. Entre las sustancias con propiedades antimicrobianas y antioxidantes empleadas para evitar el deterioro de productos alimenticios se encuentran: ácido benzoico, ácido ascórbico, lisozima, sorbato de potasio,

benzoato de sodio, lactato de calcio, ascorbato de calcio y metabolitos secundarios de origen vegetal como aceites esenciales (Galus & Kadzinska, 2015).

Generalmente los compuestos activos se incorporan dentro de la matriz de hidrocoloides, pero también se presenta la formación de capas activas como estructuras emulsionadas. Estudios recientes han demostrado que los aceites esenciales de algunos productos de origen vegetal desempeñan un papel eficaz como agentes antimicrobianos, por lo que los aceites esenciales de plantas y sus componentes se están estudiando. Además estas sustancias son compatibles con las características sensoriales de muchos productos alimenticios. En general los aceites esenciales presentan actividad antimicrobiana contra microorganismos patógenos, pero su baja solubilidad en agua limita su aplicación en alimentos.

Los antioxidantes se añaden a los recubrimientos para proteger contra la rancidez oxidativa, la degradación y la decoloración de ciertos alimentos. Diversos estudios han demostrado la capacidad antioxidante de los recubrimientos, estos materiales no solo pueden mejorar la eficacia de barrera contra la humedad u otras propiedades funcionales, sino también tienen un alto potencial para llevar a ingredientes activos que pueden incrementar la vida útil de los productos alimenticios y reducir el riesgo de crecimiento de microorganismos patógenos en las superficies de los alimentos. La investigación acerca de las películas y recubrimientos comestibles se realizan cada vez más, pero los estudios específicos sobre películas con compuesto activos y su aplicación en productos alimenticios son muy limitadas, y en consecuencia su aplicación industrial todavía es incipiente (Galus & Kadzinska, 2015).

2.8.1.6.2. Agentes antimicrobianos para aplicaciones de envasado de alimentos

Comúnmente la contaminación microbiana es la principal razón del deterioro de los alimentos. En la actualidad los consumidores demandan alimentos que puedan tener una vida útil más largo, además de que la seguridad de los alimentos se ha convertido en la principal preocupación después de la tragedia del World Trade Center ocurrió en el año 2001. Esta preocupación generalizada comenzó al pensar que los alimentos y suministros de agua puedan ser una forma de bioterrorismo aunado a esto los brotes de microorganismos patógenos transmitidos por los alimentos ha estado ocurriendo con frecuencia sin una solución eficaz. Por lo que la tendencia actual está enfocada al desarrollo de sistemas de envasado de alimentos más innovadores que puedan inhibir la actividad de microorganismos patógenos en alimentos. Se han desarrollado diversos envases activos para satisfacer estas necesidades, por ejemplo, los envases antimicrobianos, que se encuentran dentro de la familia de los envases activos (Sung *et al.*, 2013).

Básicamente los efectos de los agentes antimicrobianos en el envasado es garantizar seguridad, extender la vida y mantener la calidad de los alimentos. Los envases antimicrobianos son capaces de inhibir el crecimiento microbiano e inhibir las enfermedades transmitidas por alimentos que potencialmente pueden contaminar los alimentos. En las últimas décadas se han desarrollado un gran número envases antimicrobianos para alimentos a partir de nuevos materiales plásticos y agentes antimicrobianos, la mayoría de estos productos han demostrado ser capaces de controlar el crecimiento de microorganismo y prolongar la vida útil de los alimentos con eficacia. Sin

embargo, solo algunos productos se encuentran disponibles en el mercado, esto puede deberse a diversas razones como las estrictas normas de seguridad e higiene, la poca aceptación de los consumidores sobre la efectividad del producto y los elevados costos.

Los materiales biodegradables previamente discutidos a partir de los cuales se elaboran los recubrimientos comestibles (proteínas, lípidos, polisacáridos) y aditivos grado alimenticio (plastificantes, agentes antimicrobianos, colorantes, aromas, etc.) son excelentes candidatos para la elaboración e recubrimientos comestibles. Con la incorporación de agentes antimicrobianos y antioxidantes en los recubrimientos, los alimentos pueden ser protegidos contra el crecimiento microbiano, la migración de humedad y la oxidación de nutrientes. En la [tabla 15](#) se muestran los estudios actuales sobre recubrimientos comestibles antimicrobianos.

Tabla 14.1. Agentes antimicrobianos incorporados dentro de recubrimientos poliméricos comestibles y no comestibles

Polímero	Antimicrobianos	Microorganismo diana	Referencias
Películas comestibles de soya	Clavo	<i>S. aureus</i> <i>E. coli</i>	Emiroglu <i>et al.</i> (2010)
	Aceite de orégano	<i>E. coli O157:H7</i>	
Películas comestibles basadas en alginatos	Aceite de ajo	<i>E. coli typhimurium</i> <i>S. aureus</i> <i>B. cereus</i>	S. Yudi, Vilas, & Sudip (2005)
Películas comestible de proteína de suero de leche	Aceite de ajo	<i>E. coli O157:H7</i> <i>S. aureus</i> <i>S. enteritidis</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>L. plantarum</i>	Seydim & Sarikus (2006)

Películas comestible de proteína de suero de leche	Aceite de orégano	<i>E. coli</i> O157:H7 <i>S. aureus</i> <i>S. enteritidis</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>L. plantarum</i> <i>E. coli</i> O157:H7 <i>S. aureus</i> <i>S. enteritidis</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>L. plantarum</i>	Seydim & Sarikus (2006)
	Aceite de romero		
Aislados de proteínas de suelo de leche	Ácido láctico (LA)	<i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> <i>Y. lipolytica</i> <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i>	Oscar et al. (2012)
	Ácido propiónico (PRO)	<i>Y. lipolytica</i> <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i>	
	Quitooligosacáridos (COS)	<i>Y. lipolytica</i> <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> <i>Y. lipolytica</i>	
	Natamicina (NA)		
Películas de polipropileno	Aceite esencial de orégano y citral	<i>E. coli</i> , <i>Salmonella enteric</i> <i>L. monocytogenes</i>	Muriel-Galet et al. (2012)
Películas basadas en proteína de leche	Aceite de orégano	<i>Pseudomonas spp.</i>	Oussalah et al., (2004)
	aceite de chile	<i>E. coli</i>	

Fuente: Sung et al., 2013

2.8.1.6.3. Efectividad de los recubrimientos antimicrobianos

Diversos estudios han demostrado que los envases antimicrobianos pueden inhibir efectivamente las bacterias diana, cuando la cantidad de agentes antimicrobianos incorporadas al recubrimiento es la adecuada. La efectividad de los envases

antimicrobianos es mayor que la de la adición directa de los agentes conservantes en los alimentos, esto debido a dos razones:

- a. La unión de los agentes antimicrobianos con el recubrimiento polimérico permite una liberación lenta de los agentes antimicrobianos y que funcionen por un tiempo más largo.
- b. Las actividades antimicrobianas de los agentes conservantes pueden presentar la inactivación (como la neutralización, hidrólisis, dilución etc.) por las matrices de y los componentes de los alimentos cuando se agregan directamente en el alimento.

Además, la incorporación directa de los agentes preservantes dentro del alimento puede reducir la calidad de mismo en sus características organolépticas y texturales. Por lo tanto, los recubrimientos antimicrobianos juegan un papel importante en la inhibición del crecimiento de bacterias diana en los alimentos, con lo que se puede mejorar la seguridad de los alimentos y prolongar su vida útil sin disminuir la calidad de los alimentos (Sung *et al.*, 2013).

2.8.1.6.4. Recubrimientos antimicrobianos adicionados con aceites esenciales y extractos de plantas.

La actividad antimicrobiana de los aceites esenciales y los extractos de plantas son bien conocidos desde hace mucho tiempo y numerosas investigaciones han sido publicadas, acerca de la actividad antimicrobiana de aceites esenciales de plantas contra los patógenos

transmitidos por alimentos. Dado que los aceites esenciales son ricos en terpenos y partículas fenólicas volátiles, ellos presentan un gran potencial para inhibir un amplio espectro de microorganismos.

Generalmente los compuestos activos de los aceites esenciales de plantas inhiben la actividad de los microorganismos a través de la perturbación de la membrana citoplasmática, lo que altera la fuerza motriz de los protones, el flujo de electrones, el transporte activo y la inhibición de síntesis de proteínas. Dentro de los aceites más empleados incorporados como sustancias activas en recubrimientos se encuentran: linalool, timol, carvacrol, aceite de clavo, cinamaldehído y aceite esencial de albahaca.

2.9. Compuestos antioxidantes y actividad antioxidante

Los términos antioxidantes y radicales libres son términos populares usados por nutriólogos y otros profesionales de la salud. En los últimos años se han desarrollado diversas investigaciones acerca del rol del estrés oxidativo en el desarrollo de numerosas y serias enfermedades, como cáncer, enfermedades cardiovasculares y enfermedades crónicas degenerativas asociadas a la edad y, acerca del valor terapéutico de los antioxidantes contra estas enfermedades (Andzi Barhe *et al.*, 2016).

Los antioxidantes son compuestos los cuales pueden inhibir o retardar la oxidación de otras moléculas inhibiendo la iniciación y/o propagación de las reacciones en cadena de los radicales libres (Andzi Barhe *et al.*, 2016).

Los radicales libres son especies químicas con uno o dos electrones no apareados en su capa más externa, que se pueden crear por diversas vías. Pueden ser por vía exógena (por ejemplo, radiación ultravioleta, la contaminación, infecciones, tabaco) o endógena. A falta de antioxidante o un exceso de producción de radicales libres pueden conducir a un desequilibrio entre el oxidante y el sistema antioxidante. Uno de los factores más importantes en la producción de radicales libres es el estrés oxidativo. El estrés oxidativo está implicado en varias enfermedades, incluyendo la diabetes, la aterosclerosis, la enfermedad de Alzheimer, enfermedad de Parkinson, glaucoma y la degeneración macular relacionada con la edad. El suministro de antioxidantes a través de la dieta es un medio simple de reducir el desarrollo de enfermedades causadas por estrés oxidativo (Andzi Barhe *et al.*, 2016).

Los antioxidantes se dividen en dos categorías principalmente que son: sintéticos y naturales. En general los antioxidantes sintéticos son compuestos de estructuras fenólicas con varios grados de sustitución alquímica, mientras que los antioxidantes naturales pueden ser: compuestos fenólicos (tocoferoles, flavonoides y ácidos fenólicos), compuestos nitrogenados (alcaloides, derivados de la clorofila, aminoácidos y aminos) o carotenoides, así como el ácido ascórbico. Los antioxidantes sintéticos como el BHA y BHT (Butil-hidroxianisol y Butil-hidroxitolueno) han sido utilizados como antioxidantes desde principios del siglo pasado. Sin embargo, se han impuesto medidas de precaución y se ha restringido su uso debido a su carcinogenicidad. Debido a esto, el interés por los antioxidantes naturales se ha incrementado considerablemente ya que la capacidad de actuar como antioxidante se ha demostrado en el laboratorio y mencionado en la literatura.

Muchos antioxidantes naturales, en especial los flavonoides, muestran un amplio intervalo de efectos biológicos incluyendo funciones antibacteriales, antivirales, antiinflamatorias, antialérgicas, antitrombóticas y vasodilatadores. Una terapia antioxidante provee una alternativa barata para el tratamiento de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo ya que se ha demostrado el efecto antioxidante de productos naturales provenientes de las plantas. La actividad antioxidante y su relación con la propiedad curativa de una gran cantidad de plantas medicinales han sido reportadas en diversas investigaciones. Existe muchos métodos para medir la capacidad antioxidante de una especie o sustancia, un método muy usado se basa en la estabilidad del radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) la cual se atribuye a la deslocalización del electrón desapareado, esta deslocalización también le otorga una coloración violeta caracterizada por una banda de absorción, en disolución etanólica, centrada alrededor de 520 nm. Cuando una disolución de DPPH entra en contacto con una sustancia que puede donar un átomo de hidrógeno o con otra especie radical (R) se produce la forma reducida DPPH-H o DPPH-R con la consecuente pérdida del color y por lo tanto la pérdida de la absorbancia (Velioglu *et al.*, 1998; Molyneux, 2004).

2.9.1. Antioxidantes en reestructurados o alimentos funcionales

La carne es el tejido muscular de los animales de matanza compuestos por agua, proteínas, lípidos, minerales y una pequeña proporción de hidratos de carbono. La carne y los reestructurados cárnicos son susceptibles al deterioro de la calidad debido a su rica composición nutrimental, este deterioro en la calidad de los reestructurados cárnicos se

debe a cambios químicos y microbiológicos. La forma más común de deterioro químico es la oxidación de lípidos de la carne. Esta oxidación lipídica es un proceso complejo y depende de la composición química del reestructurado, la luz y el acceso de oxígeno y temperatura de almacenamiento. También se ve afectada por algunos procedimientos tecnológicos a lo que se somete la carne y los reestructurados durante su procesamiento. Todo esto conlleva a la formación de otros compuestos que tienen efectos negativos sobre la calidad de los productos cárnicos y la carne provocando cambios en la calidad sensorial (color, olor y textura) y en la calidad nutricional (Manzo, Sowriappan & Shabir, 2014).

Por lo que la oxidación de lípidos puede ser reducida o inhibida por acción de antioxidantes en los reestructurados cárnicos incrementando la vida útil y la calidad de los productos.

Los antioxidantes pueden prevenir la oxidación lipídica utilizando los siguientes mecanismos:

- Prevenir la inhibición de la cadena de los radicales iniciadores
- Rompiendo la reacción en cadena
- Descomponiendo peróxidos
- Disminución de la concentración de oxígeno localizado y catalizadores de cadena inicial como: iones metálicos

El uso de antioxidantes en alimentos está controlado por leyes reguladoras en países específicos o por normas internacionales, y estos pueden ser de origen natural o sintético (Manzo, Sowriappan & Shabir, 2014).

2.9.2. Antioxidantes naturales

Antioxidantes sintéticos tales como hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno butilado (BHT), terbutil hidroquinona (TBHQ), y galato de propilo (PG) han sido ampliamente utilizados en productos cárnicos y avícolas sin embargo la demanda de antioxidantes naturales, especialmente de origen vegetal se ha incrementado en los últimos años debido a la creciente preocupación de los consumidores acerca de estos antioxidantes sintéticos debido a sus potenciales efectos toxicológicos (Manzo, Sowriappan & Shabir, 2014).

Las plantas son persistentemente una fuente generosa para suministrar al hombre con sustancias bioactivas valiosas y por lo tanto diferentes productos vegetales están siendo evaluados como antioxidantes naturales para preservar y mejorar la calidad global de carne y productos cárnicos (Tayel & El-Tras, 2012).

Estos antioxidantes naturales de las plantas, en forma de extractos, se han obtenido a partir de diferentes fuentes tales como frutas (uvas, granada, dátiles, mandarina), vegetales (brócoli, papa, moringa, la calabaza, el curry, la ortiga), hierbas y especias (té, romero, orégano, canela, salvia, tomillo, menta, jengibre, clavo de olor) y se han investigado para disminuir la oxidación de los lípidos (Manzo, Sowriappan & Shabir, 2014). Estos extractos de plantas se preparan a partir de los materiales vegetales mediante el uso de diferentes disolventes y métodos de extracción. Estos extractos son ricos en compuestos fenólicos y proporcionan una buena alternativa a los antioxidantes sintéticos. Las propiedades antioxidantes de extracto de la planta se pueden determinar por difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), ensayo de depuración de anión superóxido, ensayo de fosfomolibdato (capacidad

antioxidante total), ensayo de captación de radicales de hidrógeno, peróxido de hidrógeno actividad captadora, 2,2-azinobis-3- etilbenzotiazolina-6-sulfónico (ABTS) la actividad de captación de radicales y la reducción de potencia (Saeed, Khan & Shabbir). La actividad antioxidante de un extracto de la planta se ve afectada por el método de extracción y el disolvente utilizado, ya que el procedimiento de extracción influye fuertemente en la composición del extracto (Brewer, 2011).

Los antioxidantes naturales han sido ampliamente empleados en carne y productos cárnicos, han sido extraídos de diferentes partes de plantas como hojas, raíces, tallos, frutos, semillas y cortezas (Fernández-López *et al.*, 2003; Akarpat *et al.*, 2008; Naveena *et al.*, 2013; Alp and Aksu, 2010; Tayel & El-Tras, 2012; Devatkal *et al.*, 2014; Cao *et al.*, 2013; Banerjee *et al.*, 2012; Garrido *et al.*, 2011; Biswas *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2010; Aksu and Ozer, 2013; Rababah *et al.*, 2011; Kim, Min, *et al.*, 2013; Kim, Cho and Han, 2013; Biswas *et al.*, 2012).

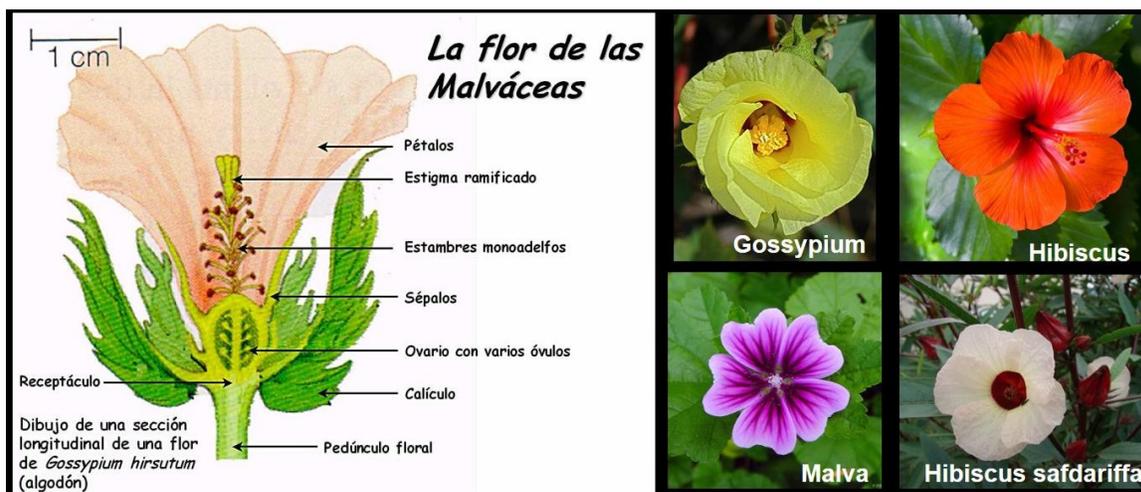
2.10. *Hibiscus sabdariffa* L.

El género *Hibiscus* (Malvaceae) incluye más de 300 especies de hierbas, arbustos o árboles anuales o perennes (Wang, *et al.*, 2012) entre ellos *Hibiscus cruentus* Bertol., *Hibiscus fraternus* L., *Hibiscus palmatilobus* Baill, *Hibiscus Sabdariffa* L. entre otros. Las dos variedades principales de *Hibiscus*, son *Hibiscus altissima* Wester, cultivada por su fibra similar al yute y la segunda es *Hibiscus sabdariffa*.

En la [figura 15](#), la última flor (*Hibiscus safdariffa* L.) se conoce comúnmente como roselle, Hibiscus, jamaica, red sorrel y en árabe Karkadeh (Ali *et al.*, 2005). Su origen es incierto mientras algunos autores mencionan que es originaria de la india o Arabia Saudí (Ismail *et al.* 2008) otros como Murdock mostró evidencia de su domesticación 4000 años antes de Cristo en el este de Sudan en África (Murdock, 1959). Actualmente además de ser cultivada en estas dos regiones se cultiva la India, Arabia Saudita, China, Malasia, Indonesia, Las Filipinas, Vietnam, Sudán, Egipto, Nigeria y México (Dung, *et al.*, 1999, Eslaminejad y Zakaria, 2011, Ismail *et al.*, 2008 & Yagoub Ael *et al.*, 2004). Esta variedad presenta un arbusto anual, tupido, erecto perteneciente a las herbáceas que puede llegar a crecer hasta 2,4 m de altura, las hojas pueden ser de 7.5 a 12.5 cm de largo, ver [figura 16](#). Las flores son soportadas por axilas de las hojas, presentan un tamaño de hasta 12.5 cm de ancho y una coloración amarilla o beige con una ojo marrón o rosa. El cáliz típicamente rojo consta de 5 grandes sépalos con un collar (epicáliz) (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

Hibiscus sabdariffa L., es relativamente fácil de cultivar en suelos bien drenados, y la mayoría puede tolerar suelos pobres. Su cultivo puede realizarse como parte de los sistemas de cultivos múltiples y puede ser utilizada como alimento y fibra. En algunas partes de mundo las semillas se usan por su aceite y la planta se utiliza por sus propiedades medicinales como por ejemplo en China, mientras que en lugares como África occidental las hojas y las semillas en polvo se utilizan en las comidas. Además, se utiliza en las industrias farmacéutica y alimentaria (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

Figura 15. Familia Malváceas (Malvaceae)



Fuente: UPV, 2016

Figura 16. Arbusto de *Hibiscus safdariffa* L.



Fuente: NTRZACATECAS, 2016

2.10.1. Uso tradicional culinario

Su uso tradicional culinario es en preparación de bebidas herbales, empleando los cálices frescos o secos, también se elaboran bebidas frías o calientes, bebidas fermentadas, vino, mermeladas, helados, chocolates. Agentes aromatizantes, budines y pasteles (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014). En Sudán y Nigeria, los cálices se hierven con el azúcar para elaborar una bebida conocida como "Karkade" o "Zoborodo" (Gibbon y Pain, 1985) misma que en México se denomina *agua de Jamaica*. En las Indias Occidentales los cálices pueden ser usados como colorante y saborizantes del ron.

Las semillas se pueden comer tostadas o molidas en las comidas, mientras que las hojas y los brotes se comen crudos o cocinados. También se pueden emplear como verdura y las semillas como sustituto de café.

2.10.2. Usos tradicionales en alimentos y bebidas locales

Sus usos como medicamentos van desde infusiones de los cálices usadas como diuréticos, hipotensores, disminuir la viscosidad de la sangre, estimular el peristaltismo intestinal, para disminuir la temperatura corporal, dolor de garganta y tos, problemas genitales entre otras (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014). Existen otros usos como tratamiento para la resaca alcohólica o inducir la lactancia.

2.10.3. Fuente de fibra

Hibiscus safdariffa es una de las especies más importantes comercialmente como planta de fibra y ha aumentado en India después de su independencia; esta fibra es usada como sustituto de yute para la elaboración de prendas de vestir, ropa de cama, redes para pescar, cuerdas entre otros artículos (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

2.10.4. Importancia hoy en día *Hibiscus safdariffa* L.

Además de su importancia como alimento o medicina tradicional en los países de su origen geográfico, la flor de *Hibiscus* está siendo negociada y utilizada en todo el mundo como un ingrediente importante en la industria que produce té y bebidas. Los Estados Unidos y Alemania son los principales mercados de los cálices secos de *Hibiscus* (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

2.10.5. Valor nutrimental

El valor nutrimental en fresco de los cálices de Jamaica ha mostrado variaciones de un estudio a otro, debido a la variedad, genética, aspectos ambientales, ecología y condiciones de cosecha de la planta. Los estudios informaron que los cálices contienen proteína (1,9 g / 100 g), grasa (0,1 g / 100 g), hidratos de carbono (12,3 g / 100 g) y fibra (2,3 g / 100 g) además de ser ricos en vitamina C (14 mg / 100 g), β -caroteno (300 mg / 100 g), calcio (1,72 mg / 100 g) y hierro (57 mg / 100 g) (Ismail *et al.*, 2008).

Las semillas contienen grasa (21,85%), proteína cruda (27,78%), hidratos de carbono (21,25%), fibra cruda (16,44%) y ceniza (6,2%). En términos de minerales, el más frecuente es el potasio ($1,329 \pm 1,47$ mg / 100 g), sodio ($659 \pm 1,58$ mg / 100 g), calcio ($647 \pm 1,21$ mg / 100 g), fósforo ($510 \pm 1,58$ mg / 100 g) y magnesio ($442,8 \pm 1,80$ mg / 100 g). Los principales ácidos grasos saturados identificados en el aceite de semilla son palmítico (20,84%) y esteárico (5,88%) ácidos y los principales ácidos grasos insaturados son linoleico (39,31%) y ácido oleico (32,06%) (Nzikou *et al.*, 2011) (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

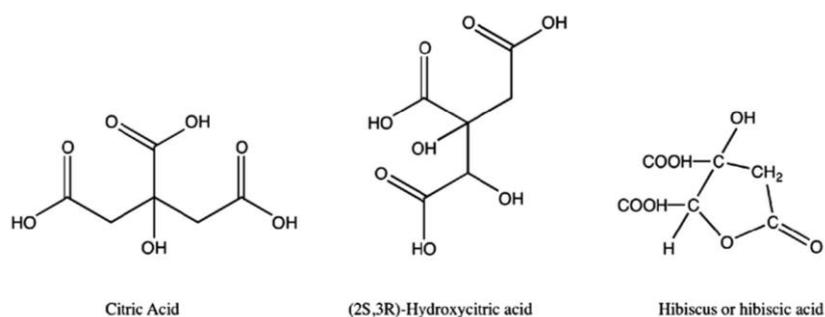
Los principales compuestos bioactivos de *Hibiscus sabdariffa* son ácidos orgánicos, antocianinas, polisacáridos y flavonoides (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014). A finales de la década de 1930 se realizan los primeros reportes de presencia de ácido cítrico y málico en extractos acuosos de cálices. El ácido ascórbico también está presente en los cálices sin embrago, su contenido varía drásticamente entre los cálices secos y los frescos. Los extractos de Jamaica contienen un alto porcentaje de ácidos orgánicos, como ácido cítrico (12-20%), ácido hidroxícítrico, ácido hibisco (13-24%), ácido málico (2-9%) y tartárico (8%) como compuestos principales, y ácido ascórbico (0.02-0.05%) y oxálico como compuestos menores.

El ácido hidroxícítrico tiene un grupo hidroxilo adicional en el segundo carbono del ácido cítrico. Este ácido tiene cuatro estereoisómeros (2S, 3S), (2R, 3R), (2S, 3R) Y (2R, 3S), en sus formas de lactona. El principal ácido orgánico encontrado en los cálices es el ácido hidroxícítrico-(2S, 3R) (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014).

Otro ácido que se encuentra presente es el denominado ácido hibiscus, que es la forma de lactona de (+) alo-ácido hidroxícitrico, que representa la mitad de un ácido cítrico con un grupo hidroxilo adicional en el segundo carbono y tiene dos diastereómeros debido a la existencia de dos centros quirales en la molécula (ver [figura 17](#)). El ácido hibiscus junto con el ácido hidroxícitrico son los principales ácidos presentes en los cálices y las hojas de la planta.

Las antocianinas son, compuestos bioactivos presentes en muchos frutos, vegetales y sus productos. Estas son responsables de la amplia gama de colores presentes en flores, pétalos, hojas, frutas y vegetales, estos colores varían con el pH, las cuales forman parte de un subgrupo dentro de los flavonoides caracterizados por una estructura C₆-C₃-C₆. Dado que las antocianinas imparten un color característico a las frutas y hortalizas, afectan a un parámetro clave en la calidad que influye en la aceptación sensorial del consumidor. Una propiedad importante de las antocianinas es su actividad antioxidante, que juega un rol importante en la prevención de enfermedades neuronales y cardiovasculares, cáncer, diabetes entre otras (Patras *et al.*, 2010).

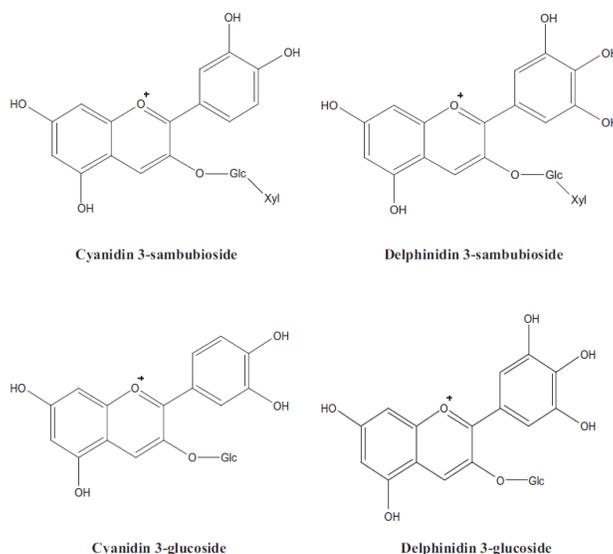
Figura 17. Ácido cítrico y sus derivados



Fuente: Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014.

En los cálices secos de la Jamaica se encuentran presentes antocianinas, las principales son las delfinidinas y cianidinas, que incluyen delfinidina-3-sambubiosido (hibiscina), cianidina-3-sambubiosido (gossipicianina), cianidina-3,5-diglucósido, entre otros (Williamson *et al.*, 2009), ver [figura 18](#). Una gran variedad de antocianinas se ha reportado en los tejidos de *H. safdariffa* L. L. como cianidina 3-rutinosido, delfinidina 3-sambubiosido, cianidina 3-sambubiosido, cianidina 3-glucosido y delfinidina 3-glucosido. Ali *et al.* (2005) y Gradinaru *et al.* (2003) reportado en Sidi *et al.* (2014), encontraron que los extractos acuosos de los cálices de *H. safdariffa* L. tienen dos componentes de las antocianinas predominantes que son: delfinidina 3-sambubiosido y cianidina 3-sambubiosido; y dos componentes menores: cianidina 3-glucosido y delfinidina 3-glucosido). Maganha *et al.* (2010) reportó que delfinidina, delfinidina 3-glucoxiloso, delfinidina 3-monoglucosido y cianidina 3,5-diglucosido fueron las antocianinas que se encuentran en mayor cantidad en *H. sabdariffa*.

Figura 18. Estructuras químicas de las principales antocianinas presentes en *Hibiscus safdariffa* L.



Por otra parte, la Jamaica también contiene polifenoles del tipo de flavonoles y flavanoles en formas simples o polimerizadas. Los flavonoides encontrados en extractos de Jamaica son: hibiscitrin (hibiscetin-3-glucósido), sabdaritrin, gossipitrin, gossitrin y otros glucósidos de gosipetina, quercetina y luteolina. Así como el ácido clorogénico, ácido protocatéuico, ácido pelargonidico, eugenol, quercetina, luteolina y los esteroides β -sitosterol y ergosterol (McKay, 2009; Williamson *et al.*, 2013).

Además de estos compuestos también se ha identificado otros como los polisacáridos que es un grupo de compuestos presentes en grandes cantidades. Por otro lado, los compuestos volátiles son los responsables del aroma de hibiscus. En un estudio realizado en 1992 se encontraron más de 25 compuestos volátiles en la composición aceite de las semillas. En otro estudio realizado por Ramírez-Rodrigues *et al.*, (2011a, b), se identificaron 32 compuestos los cuales podrían ser divididos en 5 grupos químicos: aldehídos, alcoholes, quetones, terpenos y ácidos.

En la [tabla 15](#) se muestra un resumen de los constituyentes presentes en extractos acuosos de cálices de hibiscus sabdariffa, que son relevantes para su uso en tés (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014)

Tabla 15. Resumen de constituyentes en extractos acuosos de cálices de *hibiscus safdariffa*.

Clase	Compuesto
Ácidos orgánicos	
Ácido hidroxícitrico	Ácido hibiscus glucósido
Ácido hibiscus	Ácido hibiscus 6-metil éster
Antocianinas	
Delfinidina-3-sambubiosido	
Cianidina-3-sambubiosido	
Flavonoides y ácidos fenólicos	
Ácido gálico	Quercetin-3-glucosido
Ácido clorogénico isómero I	Kaempferol-3-O-rutinosido
Ácido clorogénico isómero II	Derivado de feruol
5-Hidroximetilfurfural	Metil (AS en Metil Epigalacatequina)
Metil galato	Mirecitina
Ácido 2-O-trans-Cafeoil-hidroxícitrico	N-Feruloiltiramida
Ácido 5-cafeoilquinico	Ácido 4-Cafeoilquinico
Mirecetin-3-arabinogalatosido	Isómero de Ácido cafeoilquinico
Ácido 3-cafeoilquinico	Kaempferol-3-p-cumarilglucósido
Ácido protocatecuico	Quercetina
Ácido protocatecuico glucósido	Ácido cafeico
Ácido cumaroilquinico	Ester de galoil
Quercetin-3-rutinosido	Derivado de Ácido feruloilquinico
Quercetin-3-sambiosido	Kaempferol-3-glucosido
Ácido 5-O-Cafeoil shikimico	Derivado de quercetina
Leucósido (Kaempferol-3-O-sambubiosido)	Tiliosido

2.10.6. Capacidad antioxidante de cálices de jamaica

El interés actual en antioxidantes naturales de origen vegetal se ha convertido en imperativo, sobre todo en antioxidantes bioactivos como los polifenoles y flavonoides. Las antocianinas son un subgrupo de flavonoides que aparecen en las plantas principalmente en forma de glicósido como antocianidinas (Sindi *et al.*, 2014), por ejemplo, en los cálices de *Hibiscus safdariffa* L.

La actividad antioxidante de la Jamaica se reporta en diversos estudios tanto *in vitro* (Duh & Yen, 1997, Farombi & Fakoya, 2005 , Hirunpanich *et al.*, 2005 , Mohd-Esa *et al.*, 2010 , Sayago-Ayerdi *et al.*, 2007 , Steenkamp *et al.*, 2004 y Tseng *et al.*, 1997; Andzi Barhe & Feuya Tchouya, 2016) y en vivo (Farombi y Fakoya, 2005, Mossalam *et al.*, 2011 , Olalye & Rocha, 2007 y Usoh *et al.*, 2005) han demostrado que los extractos de jamaica tienen un efecto potente antioxidante. La actividad antioxidante del extracto se debe a su fuerte efecto de barrido de radicales libres reactivos del oxígeno (Farombi y Fakoya, 2005, Mohd-Esa *et al.*, 2010, Olalye y Rocha, 2007, Sayago-Ayerdi *et al.*, 2007, Tseng *et al.*, 1997 y Usoh *et al.*, 2005). Los efectos fueron observados tanto en extractos acuosos como extractos etanólicos de las flores de Jamaica, así como en semillas y hojas (Mohd-Esa *et al.*, 2010).

Por otro lado la alta actividad antioxidante de los extractos obtenidos de los cálices de *Hibiscus safdariffa* sugiere que el consumo diario podría ser benéfico para la salud humana. A partir de modelos animales en animales (murino) de estudios *in vitro* los investigadores han encontrado que las infusiones de *Hibiscus Safdariffa* pueden ser usadas para inhibir la oxidación de lipoproteínas de baja densidad y prevenir algunos tipos de hiperlipidemia. Además, estos extractos inducen apoptosis en células de leucemia humana, acción cardioprotectora, actividad sedante y reducción de hipertensión (Serrano-Cruz *et al.*, 2013).

2.10.7. Capacidad antimicrobiana de cálices de jamaica

Los cálices de *Hibiscus safdariffa* L., presentan una conocida actividad antimicrobiana contra *S. aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus*, *Propionibacterium acnes*,

Staphylococcus epidermidis, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, and *L. monocytogenes* (Higginbotham *et al.*, 2014).

Por otro lado, Higginbotham *et al.*, (2014) menciona que los extractos acuosos de cálices de *Hibiscus sabdariffa* fueron efectivos contra *L. monocitógenes* y *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina como un enjuague en *hot dogs*. Donde el efecto significativo bactericida se observó cuando se aplicaron altas concentraciones del extracto en los *hot dogs* seguidos de refrigeración por 24 horas. Por lo que los extractos de *H. safdariffa* L. pueden ser usados como una alternativa natural a los conservadores antimicrobianos tradicionales para prevenir el crecimiento y/o eliminación de patógenos en producto alimenticios, especialmente cuando el extracto se realiza con los cálices en agua, adicionalmente cabe mencionar que Hibiscus es considerado como un seguro por la institución norteamericana Food and Drug Administration. A su vez Borrás-Linares *et al.* (2015), proporciona resultados de pruebas antimicrobianas que muestran que extractos etanólicos de *Hibiscus safdariffa* L. tienen un alto potencial como agentes antimicrobianos contra bacterias Gram positivas y Gram negativas, las cuales presentaron una capacidad antimicrobiana similar comparando con antibióticos usados como control positivo; encontrando que los microorganismos Gram positivos más sensibles fueron *S. aureus* y *M. luteus*.

Los extractos acuosos de cálices de *Hibiscus safdariffa* y ácido protocatecuico (5 mg/mL) inhibieron el crecimiento de *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* resistentes a la meticilina. Además, extracto de Hibiscus demostró su efecto antibacterial contra *Streptococcus mutans*, bacteria

cariogénica de la cavidad oral y algunas especies *Campylobacter* (*Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli* y *Campylobacter fetus*) que contaminan carne como la de pollo, res y cerdo (Da-Costa-Rocha *et al.*, 2014.)

3. JUSTIFICACIÓN

Los alimentos de origen cárnico, como los reestructurados, frecuentemente están expuestos a la contaminación superficial, lo que conlleva a la reducción de su vida útil, por tal motivo la industria alimentaria emplea empaques de polipropileno y polietileno que pueden alargar la vida de anaquel de los productos alimentarios, sin embargo, no son comestibles ni biodegradables. Como alternativas de empaques, se han desarrollado películas y recubrimientos, elaborados a partir de biopolímeros comestibles (proteínas, polisacáridos, lípidos o una mezcla de estos) y aditivos grado alimentario, que evitan el deterioro de productos alimentarios, además de ser comestibles, inocuos, completamente biodegradables, contribuyendo a la reducción de contaminación ambiental. Se ha comprobado que los recubrimientos comestibles prolongan la vida de anaquel de los alimentos, además estos empaques pueden ser fortalecidos con agentes antimicrobianos, obteniendo con ellos alimentos inocuos por tiempos más prolongados, proporcionando alternativas de métodos de conservación. Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de biopolímeros con extractos antioxidantes sobre la vida útil de un reestructurado cárnico a base de pescado y cerdo durante su vida útil.

4. HIPÓTESIS

Si los recubrimientos comestibles extienden la vida útil de los alimentos, entonces un biopolímero enriquecido con extractos antioxidantes, tendrá efecto significativo sobre la vida útil de un restructurado cárnico a base de pescado y cerdo almacenado a bajas temperaturas.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de biopolímeros con extractos antioxidantes sobre la vida útil de un reestructurado cárnico a base de pescado y cerdo

5.2. Objetivos específicos

Evaluar y seleccionar un reestructurado cárnico base de carpa común, cerdo y carpa común-cerdo, adicionado con 8% de harina de chía.

Caracterizar un biopolímero comestible a base de suero de leche, grenetina, glicerol, inulina y extractos de *Hibiscus sabdariffa* L.

Analizar el recubrimiento comestible a los reestructurados elaborados a base de carpa común y carne cerdo

Evaluar los cambios fisicoquímicos, texturales y microbiológicos en reestructurados cárnicos almacenados a bajas temperaturas durante su vida útil.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Materia prima y reactivos.

6.1.1. Colecta y almacenamiento de carne de carpa.

Se obtuvieron filetes de carpas (*Cyprinus carpio*) del mercado de pescados y mariscos de la comunidad de San Luis Mextepec, perteneciente al municipio de Zinacantepec, Estado de México donde se comercializa la carpa común proveniente del Estado de Tamaulipas. Se transportaron al laboratorio en refrigeración a 5 °C en bolsas de polietileno selladas. Una vez ahí se almacenaron en congelación a -18° C por 24 h.

6.1.2. Colecta y almacenamiento de carne de cerdo.

Se adquirió carne magra de cerdo del mercado 16 de Septiembre de la Ciudad de Toluca la cual se transportó al laboratorio en refrigeración a 5°C y se almacenó en congelación a -18° C por 24 h.

6.1.3. Compra y almacenamiento de las semillas de chía.

Las semillas de chía se adquirieron en la central de abastos de Toluca, se compraron de un solo lote, las cuales se almacenaron en el recipiente de origen hasta que se elaboró la harina.

6.1.3.1. Elaboración de harina de chía

Las semillas de chía se molieron en un procesador de alimentos (OSTER 465, México) hasta lograr la textura de una harina gruesa, posteriormente se cernió empleando un tamiz

(Mant-inox No. 30) con un tamaño de abertura de 59 mm (0.0232 pulgadas). La harina se almacena en bolsas de polietileno a temperatura ambiente.

6.1.4. Compra y almacenamiento de plantas deshidratadas y semillas

Se realizó selección de algunas plantas y semillas para la obtención de extractos con contenido de compuestos fenólicos, las cuales fueron menta seca (*Mentha piperita* L.), té (*Camellia sinensis*), cálices de jamaica (*Hibisduş safdariffa* L.) y semillas de jamaica (*Hibisduş safdariffa* L.). Estos productos se obtuvieron de la central de abastos de Toluca, se compraron de un solo lote, los cuales se almacenaron en bolsas de polietileno hasta su uso para la elaboración de extractos a temperatura ambiente.

6.1.4.1. Elaboración de extractos acuosos

La extracción se llevó a cabo de acuerdo al protocolo modificado por Pineros-Hernandez *et al.* (2017). Se pesaron 10 g de planta seca (cálices, hojas o semillas) y se colocaron en 125 mL de agua destilada a 100° C, se dejó en reposo por 24 h. Una vez obtenidos los extractos se filtraron (medida de poro 0.45 mm) y se refrigeraron a 5° C hasta su utilización.

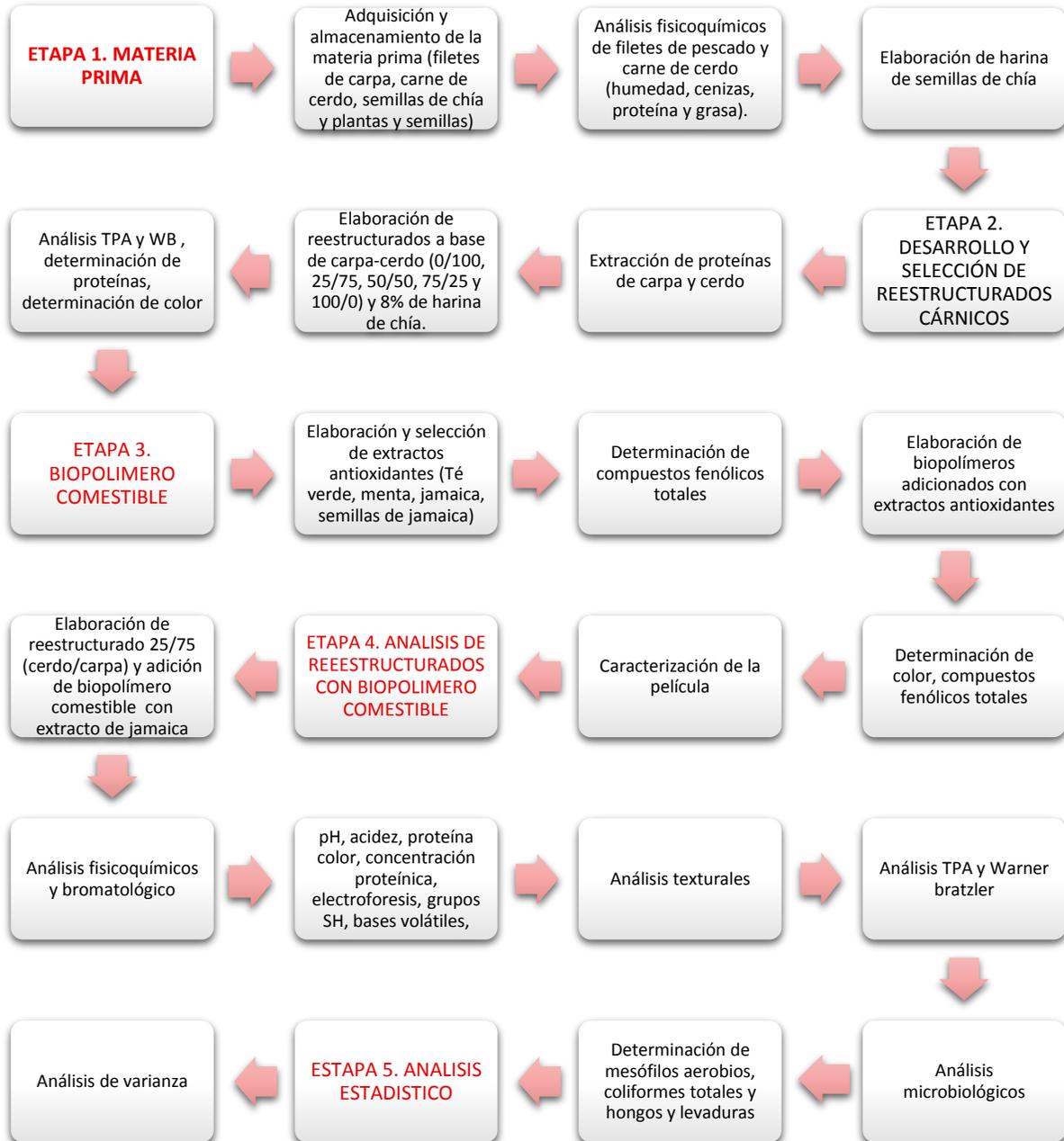
6.1.5. Reactivos

Los reactivos químicos empleados para la realización de los análisis fueron reactivos grado analítico.

6.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la [figura 19](#) se muestra el diagrama de flujo que se siguió para la el desarrollo de esta investigación.

Figura 19. Diagrama de flujo del desarrollo del experimento.



6.3. METODOLOGÍA

6.3.1. Evaluación de características fisicoquímicas de materia prima

6.3.1.1. pH

Se llevó a cabo por el método de Owen *et al.* (1982), en el cual se tomaron 10 g de músculo de carpa el cual se molió en una licuadora doméstica (OSTER 465, México) con 90 mL de agua destilada (pH=7) durante 1 min. Se filtró a través de una manta de cielo para eliminar el tejido conectivo. Se utilizó un potenciómetro *Conductronic PC 18 MS Calibrate serie 5057 digital pH-μs °C meter*, después de calibrarlo con un amortiguador de sodio y potasio a pH 4 y 7. La determinación se realizó por triplicado a una temperatura de 20°C.

6.3.1.2. Acidez total titulable

Se determinó mediante el método 16.267 de la A.O.A.C. (2000). Se pesaron 10 g de carne, la cual se colocó en un vaso de licuadora doméstica, se le añadieron 190 mL de agua destilada (pH=7) y se licuó por 1 min. Posteriormente se filtró para eliminar el tejido conectivo. El filtrado se colocó en un matraz de 250 mL y se aforó con agua destilada. Se tomaron 25 mL de esta disolución y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 150 mL. Se añadieron 75 mL de agua destilada. Se titularon con una disolución NaOH 0.01 N, usando fenolftaleína como indicador. Esta determinación se realizó por triplicado a una temperatura de 20°. El porcentaje de ácido láctico se expresó como:

$$\% \text{ ácido láctico} = \frac{V(\text{NaOH}) \times N(\text{NaOH}) \times \text{Peq}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ acidez} = \frac{(\text{mL gastados NaOH } 0.1 \text{ N})(\text{Normalidad NaOH})(\text{meq}=0.090)}{\text{g de muestra}} \times 100$$

6.3.1.3. Humedad

Se realizó de acuerdo con A.O.A.C. 15.003 (1990). El contenido de humedad, se cuantificó de la diferencia entre el peso inicial y final, de una muestra representativa sometida a una temperatura de 130° C por 24 horas.

6.3.1.4. Cenizas

Se utilizó el método de calcinación en mufla a 500° C (A.O.A.C. 15.006, 1990). En un crisol a masa constante, se colocaron 5 g de muestra; posteriormente se colocó el crisol con muestra en una parrilla y se quemó lentamente el material hasta que ya no desprendió vapores, evitando que se proyectara fuera del crisol. Se llevó el crisol a una mufla y efectuar la calcinación completa. El contenido de cenizas se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas: } \frac{CC-C}{w} (100)$$

Dónde;

CC = peso del crisol con las cenizas

C = peso del crisol vacío

w = peso de la muestra

6.3.1.5. Proteína cruda

Este análisis se realizó con base en lo reportado por Kirk (1999). Se utilizaron 0.2 g de muestra, la cual fue secada y molida. Se colocó la muestra en un tubo de digestión junto con una pastilla digestora y 4 mL de ácido sulfúrico. Y se colocó en el digestor hasta su

cambio de coloración a verde esmeralda. Se enfrió y se le colocaron 50 mL de H₂O destilada, se pasó a un matraz de bola y se le agregaron 20 mL de hidróxido de sodio al 40 %, y 8 municiones de zinc y se colocó en el destilador, hasta su cambio de coloración; en un matraz Erlenmeyer se colocaron 15 mL de ácido bórico al 4% y 4 gotas de indicador de verde de bromocresol, hasta su cambio de color de rojo a verde. Y finalmente se tituló con HCl 0.1 N.

El cálculo de la proteína se realizó empleando la siguiente ecuación:

$$\% N = \frac{14 \times N \times V \times 100}{m \times 1000}$$

$$\% \text{ Proteína} = \frac{14 \times N \times V \times 100 \times \text{factor}}{m \times 1000}$$

Donde:

N: normalidad de HCl

V: mL gastados de HCl 0.1 N

Factor: 6.25 para carne, pescado, huevo, leguminosas y proteínas en general

5.7 para cereales y derivados de la soya

6.38 para leche

5.55 para gelatina

5.95 para arroz

6.3.1.6. Determinación de extracto etéreo

Se emplea el método de Soxhlet (A.O.A.C.7.062), utilizando éter de petróleo anhidro como disolvente. Se empleó un equipo SOXHLET TECATOR. Se pesaron 3 g de muestra y transfirieron a un mortero. Se le adicionó sulfato de sodio anhidro hasta obtener una masa

seca y granulada. Se agregaron 5 g de arena de mar y se mezcló. Se transfirió la mezcla a un cartucho de extracción, al que previamente se le ha colocado una pequeña cama de algodón y se tapó con algodón. Se hizo circular por el refrigerante una corriente de agua (2 L/min) y se añadió por su extremo superior éter de petróleo para tener de 2-3 descargas del extractor. Se efectuó la extracción durante 4-6 horas. Se suspendió el calentamiento, se quitó el extractor del matraz. Terminada la extracción, se evaporó a baja temperatura el disolvente del matraz; se seca a peso constante. El cálculo se basó en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ lípidos} = \frac{a-b}{m} \times 100$$

Dónde:

a = Peso del cartucho a peso constante conteniendo la muestra deshidratada envuelta en papel filtro, o matraz con muestra seca.

b = peso del cartucho del inciso anterior llevado a peso constante o el matraz con perlas a peso constante

m = peso de la muestra seca en gramos.

6.3.2. Desarrollo y selección del reestructurado cárnico

El reestructurado cárnico se elaboró con la materia prima a la cual se realizó el análisis bromatológico y cumplió con las características fisicoquímicas óptimas de productos frescos. Para la obtención de este reestructurado cárnico, se realizó un diseño de mezclas ([tabla 16](#)), donde se varió la concentración de ambos músculos cárnicos, manteniendo constante la concentración de harina de chíá.

Tabla 16. Diseño experimental de mezclas

Mezcla	Carpa	Cerdo	Chía
	% proteína miofibrilar		% harina
A	0	100	8
B	25	75	8
C	50	50	8
D	75	25	8
E	100	0	8

6.3.2.1. Extracción de proteínas miofibrilares.

La extracción de proteínas miofibrilares se llevó a cabo mediante la técnica reportada por Ngapo, Wilkinson, Chong, & Haisman, (1992), con algunas modificaciones. Se homogenizaron 100 g de músculo de carpa con 100 mL de disolución buffer de fosfatos 25 mM, pH 7 y 0,9% de NaCl (temperatura no mayor a 4° C) y 100 g de hielo, en una licuadora (oster 465, México) para la integración completa del músculo con el buffer.

El extracto obtenido fue vertido en un vaso de precipitados de 1 L en baño de hielo, y se mantuvo en agitación continua con una varilla de vidrio durante 15 min. Posteriormente se filtró para retirar el tejido conectivo. El homogenizado fue centrifugado (Eppendorf 5810 R-centrífuga, Alemania) a 3500 rpm durante 30 min a 4° C, al precipitado obtenido se midió la concentración de proteínas por el método de biuret.

6.3.2.2. Gelificación de las proteínas.

La gelificación de proteínas se llevó a cabo de acuerdo con Arizmendi-Cotero (2012,) la concentración de proteínas de los diferentes extractos según los resultados obtenidos por el método de biuret, fue ajustada a 20 mg/mL.

Una vez ajustado el contenido de proteínas de cada extracto, fueron vertidos 20 g del extracto en frascos de 25 mm de diámetro interno y 30 mm de altura. Los frascos se colocan en un baño de agua con agitación, sometiéndolos a un calentamiento gradual de 1 °C min hasta alcanzar una temperatura interna del gel de 80° C para inducir la gelificación. Una vez alcanzada la temperatura deseada los frascos se retiraron del baño de agua y se enfriaron en un baño de hielo, posteriormente se refrigeraron a una temperatura no mayor a 4 °C.

6.3.2.3. Concentración proteica

Para la determinación de proteínas se utilizó el método biuret reportado por Dublán (2006). Utilizando tubos de ensayo se procedió a medir 1 mL de las disoluciones de proteína y se agregaron 3 mL del reactivo de biuret. Se homogeneizó y se dejó en reposo durante 30 min en la sombra sin contacto directo con la luz. Se midió la absorbancia de la muestra a una $\lambda = 540$ nm. Los datos obtenidos se relacionaron con respecto a una curva patrón de Seroalbúmina-bovina de concentración 0-10 mg/mL.

Reactivo de biuret de acuerdo a Gornall reportado en Dublán (2006) se preparó disolviendo 1.5 g de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y 6 g de tartrato de sodio y potasio

($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), se transfirió a un matraz volumétrico de 1000 mL se disolvió con 500 mL de agua destilada, se agregaron 300 mL de hidróxido de sodio 10 % y se llevó a volumen con agua destilada.

6.3.2.4. Determinación de grupos sulfhídrico totales

Se llevó a cabo el método Ellman (1959), reportado en Dublán (2006). Se mezclaron 1 mL de la disolución proteica (5 mg/mL a pH 7) y 9 mL de urea 8 M disuelta en un amortiguador de Tris-Glicina-EDTA (10,4 gL⁻¹ Tris; 6,9 gL⁻¹ Glicina; 1.2 gL⁻¹EDTA; pH 8). Se dejó reposar la mezcla a temperatura ambiente durante 30 min, se tomaron 3 mL de la mezcla y añadieron 50 µL de una disolución del reactivo 5,5'-ditio-bis-2-nitrobenzónico (4 mg.mL⁻¹ en la misma disolución amortiguadora). Se dejó reposar durante 30 min en obscuridad, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 412 nm, se transformó el valor de absorbancia empleando el coeficiente de extinción a 410 nm en espectrofotómetro. Los datos obtenidos se correlacionaron con una curva patrón de trimetilamina, de concentración de 0-1.6 mg/mL.

6.3.2.5. Electroforesis SDS-PAGE

Se empleó la técnica empleada por Laemmli (1970), reportado por Dublán (2006). Se realizó extracción de proteínas. Se mezcló en una relación 1:4 muestra: amortiguador muestra (disolución de dodecil sulfato de sodio (SDS) al 10% + mercaptoetanol al 5% + azul de

bromofenol al 0.05%+ glicerol, 0.5M Tris-HCl pH 6.8) y se calentó en un baño maría a 97 °C durante 2 min, antes de su aplicación. Se inyectaron 20 µL de muestra en cada carril de gel separador de 12% de poliacrilamida y concentrador 4%. Se inyectaron 20 µL de un marcador que contenga proteínas de interés, tratar en las mismas condiciones de la muestra. Se vertieron un amortiguador de corrida (9.0 g base tris, 43.2 g de glicina y 3.0 g de SDS se adicionaron 600 mL de agua desionizada). Para una corrida electroforética se diluyeron 60 mL de buffer con 240 mL de agua desionizada, se conectó a una fuente de poder con un voltaje de 200 y una temperatura de 4±1 °C, para evitar así el efecto Joule, utilizando un equipo de electroforesis (Cole Palmer 2857-00, USA). Una vez terminado el proceso de separación se tiñó empleando una disolución de azul de Coomassie R-250 al 0.1%, metanol 40% y ácido acético al 10% durante 30 min. Se destiño empleando una disolución al 40% de metanol y 10% de ácido acético.

6.3.2.6. Compuestos fenólicos totales (método Folin – Ciocalteu)

El método original de Folin – Ciocalteu se desarrolló en 1927, en la cual la oxidación de los fenoles por los reactivos de molibdotungstanato permite una reacción coloreada a $\lambda_{\text{máx}}$ a 745 – 750 nm. La determinación se realizó de acuerdo a Singleton y Rossi (1965) citados por González-Jiménez (2010).

Obtención de la curva tipo.

Se prepararon disoluciones de 100, 200, 300, 400 y 500 mg/L de ácido gálico o tánico. En los tubos de ensaye se adicionaron 100 L de cada una de las disoluciones anteriores, 100µL

de agua desionizada, 1 mL del reactivo de Folin Ciocalteu y 0.8 mL de una de disolución de carbonato de sodio al 7.5 %. Los tubos se agitaron y se dejan reposar durante 30 min en la oscuridad antes de tomar la lectura en el espectrofotómetro a 760 nm.

Tratamiento de la muestra.

En los tubos de ensaye se adicionaron 100 μ L de agua desionizada, 100 μ L de muestra, 1 mL del reactivo de Folin Ciocalteu y 0.8 mL de una disolución de carbonato de sodio al 7.5%. Los tubos se agitaron y se dejaron reposar durante 30 min en la oscuridad antes de leer en el espectrofotómetro, se interpoló en la curva tipo y se expresó el contenido de fenoles totales como equivalente de ácido gálico (GAE) en mg por g de muestra.

6.3.2.7. ABTS^{•+}. 2-2'-Azino-bis (3-etilenbenzotiazonilo-6-ácido sulfónico)

La actividad antioxidante de todos los extractos fue medida de acuerdo al procedimiento descrito por (Pellegrini y col., 1999). ABTS se disolvió en agua para preparar una disolución stock. El radical catiónico (ABTS^{•+}) se produjo mediante la mezcla de una alícuota de 5 mL de ABTS^{•+} (7mM) recién preparada, a la que se adicionaron 88 μ L de persulfato de potasio K₂S₂O₈ (140 mM). Ésta mezcla se mantuvo en reposo por 12 h en ausencia de luz hasta que se desarrolló un color verde oscuro. Los extractos fueron probados a una concentración de 0 a 1 mg/mL de compuestos fenólicos. Los extractos fueron diluidos con metanol hasta observar una absorbancia de 0.74 a 734 nm (Huang y col., 2005). Se transfirieron 190 μ L de cada extracto a una celda de cuarzo y el ensayo se inició cuando se le adicionó a la celda 1 mL de la disolución de ABTS^{•+} preformado y se determinó la absorbancia a 734 nm después

de 10 min de reacción. Trolox (0.02 mmol/L) se usó como control positivo de la actividad antioxidante. El porcentaje de inhibición se calculó como:

$$\%Inhibición = \left(\frac{Abs\ inicial - Abs\ final}{Abs\ inicial} \right) \times 100$$

6.3.2.8. DPPH- (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo)

La capacidad de inhibir la acción del radical DPPH[•] de los extractos fue determinada por el método de Kim y col. (2003). El radical DPPH[•] fue disuelto en etanol acuoso (etanol: agua, 80:20 v/v) para obtener una concentración final 200 nM. 100 μL de una serie de concentraciones de cada extracto (0 a 1 mg/mL de compuestos fenólicos) se adicionaron a 2.9 mL de la disolución del radical DPPH[•]. Se utilizó como control 100 μL de metanol acuoso (metanol: agua, 80:20 v/v) adicionado a 2.9 mL de la disolución del radical DPPH[•]. La mezcla fue suavemente homogenizada, posteriormente fue puesta en reposo a 25°C en la oscuridad durante 30 min. La absorbancia de las mezclas se determinó a 517 nm. Se utilizó Trolox 0.20 mM como control antioxidante. La actividad antioxidante se expresó como porcentaje de inhibición del radical. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

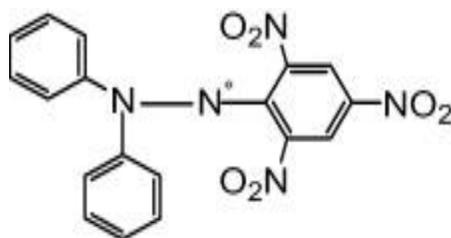


Figura 20. Estructura química del 1,1-difenil-2-picril-hidrazil radical libre (DPPH[•]) (sigmaaldrich.com, 2018)

6.3.2.9. Medición de parámetros de color

Para determinar el color de las muestras se utilizó el método citado por Pietrowski *et al.* (2011), se empleó un colorímetro portátil por reflectancia, Chroma meter CR-400 Konica Minolta, Tokio Japón; utilizando el espacio de color CIE L*a*b*. Las mediciones que se realizaron fueron: L*= luminosidad, a*= rojo - verde y, b*= amarillo - azul.

El colorímetro se calibró siguiendo el instructivo; las mediciones se realizaron sobre el músculo de pescado, geles de pescado y harina de chía, y las determinaciones se hicieron por triplicado para cada uno de los tres muestreos.

Además, se calculó el índice de blancura (IB), mediante dos determinaciones diferentes que se denominaron IB1 e IB2. El índice de blancura es un parámetro de calidad en el pescado (Park, 2000). Debido a que uno de los parámetros de calidad más importante en pescado y determinados productos derivados de la pesca es la blancura y, con el fin de predecir mejor el comportamiento de los aditivos, la blancura se ha calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$IB_1 = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

6.3.2.10. Esfuerzo al corte (navaja de Warner-Bratzler).

Se utilizó un analizador de textura, TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, New York) y el software TEXTURE EXPERT v1.2 (Stable Micro Systems, Ltd, Surrey, Inglaterra). Las muestras se gelificaron en frascos de vidrio de 2.5 cm de diámetro y 4 cm de altura,

obteniendo geles de 2 cm de alto y 1.5 cm de diámetro. Se evaluó el esfuerzo al corte por medio de la navaja Warner-Bratzler, la cual reportó la fuerza máxima para deformar la muestra a un porcentaje determinado, al aplicársele una fuerza conocida (Warner y Bratzler). Se utilizó una celda de carga de 5 Kg, con una sensibilidad de 4.5 Kg. El corte se realizó perpendicular a las fibras musculares.

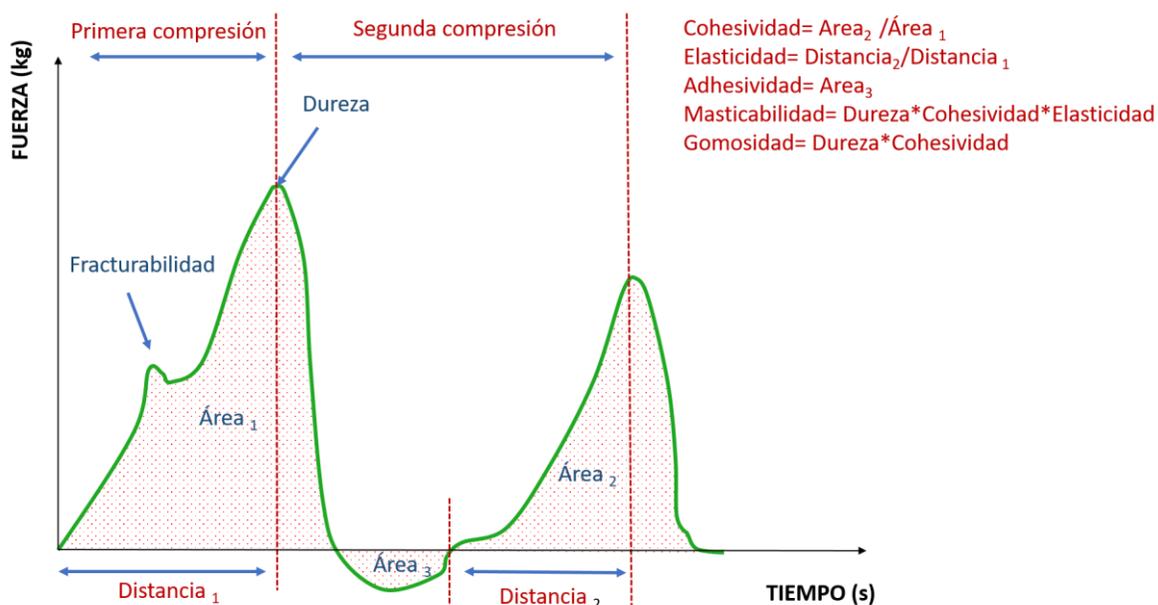
6.3.2.11. Análisis del perfil de textura (TPA).

El análisis de perfil de textura se llevó a cabo de acuerdo a Arizmendi-Cotero (2012), con la ayuda de un texturómetro TA-XT2, version 2.63, (Texture Technologie Corporation, Scarsdale, Nueva York, USA) el cual se equipó con una celda de carga de 25 N. Antes de las pruebas de textura los geles se temperizaron a temperatura ambiente (25° C, 1 hr). Se les retiró el sobrenadante, el cual fue medido, considerándose esto como agua liberada, se midieron los geles, sin ser retirados del frasco. Cada muestra se comprimió mediante un punzón cilíndrico de acrílico con 1.25 cm de diámetro. Las mediciones de textura se compusieron por dos compresiones de 50%, a una velocidad de 1 mm/s y un tiempo de reposo de 5 s entre la primera y la segunda compresión ([Figura 21](#)).

Se determinó; dureza, valor correspondiente a la fuerza máxima en la primera compresión. Elasticidad, capacidad de un cuerpo para recuperar su forma original, al ser retirada de él una fuerza deformante, calculada como el cociente entre distancia 2 y distancia 1 ($L2/L1$). Cohesividad, definida como la resistencia del producto a una segunda deformación, en relación al comportamiento que tuvo debido a la primera compresión, ($A2/A1$). Gomosidad,

fuerza necesaria para destruir un producto semisólido, es calculada como dureza*cohesividad. Adhesividad, la capacidad de un producto a adherirse a un objeto, está determinada por la energía total requerida para que el punzón se retire de la muestra después de la primera compresión.

Figura 21. Curva típica del análisis de perfil textura (TPA)



6.3.2.12. Bases volátiles totales

Las bases nitrogenadas volátiles se extrajeron en un medio alcalinizado, los componentes básicos volátiles se absorben en un receptor ácido. La concentración de BNVT se determinó mediante valoración de las bases absorbidas, considerando que 1 mL de HCl 0.01N equivale a 14 mg de nitrógeno. Un producto se considera fresco cuando el valor de BNVT es inferior

a 20 mg N/100g, valores superiores son indicativos de alteración e inadecuados para su consumo cuando se alcanzan valores superiores a 35 mg N/100g.

Se pesaron 25 g de muestra y colocar en un matraz Erlenmeyer de 200 mL con tapón esmerilado, añadiendo 100 mL de agua destilada y 2 g de MgO. Se colocaron algunas perlas de vidrio y agito manualmente el matraz durante 30 min, evitando calentar el matraz y después se filtró a través de papel filtro No. 1. Se transfirió con una pipeta 10 mL del filtrado a la base de una placa de Petri de 10 cm de diámetro, cuyos bordes deben estar recubiertos con vaselina o grasa de silicón. Se añadió al filtrado en la placa de Petri, 2 mL de una disolución saturada de carbonato de potasio, Moviendo la placa sobre la mesa de trabajo de modo que los dos líquidos en la placa se mezclaran. Se colocar 13 gotas de disolución saturada de ácido bórico en glicerina, en la parte interna de una tapa de la placa de Petri, y se cubrió la placa de Petri de modo que las gotas quedaran suspendidas. Se dejaron en reposo durante 3 horas en horno a 40 °C o 24 h a temperatura ambiente. Se transfirieron las gotas de glicerina de la tapa a un matraz Erlenmeyer de 250 mL con ayuda de 60 mL de agua a pH 5.1. Después se añadió 1 mL de disolución alcohólica de rojo de metilo al 0.5 % y 5 mL de disolución alcohólica de verde de bromo-cresol al 0.4 % y se titularon con HCl 0.01 N hasta obtener una coloración rosada. Se realizaron la determinación por triplicado y preparar un blanco sin muestra. Finalmente se calculó el contenido de bases volátiles totales empleando la siguiente formula:

$$BNVT = \frac{14(Vm - Vb)}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

Donde:

BNVT = Número de gramos de bases volátiles totales en mg N/100g muestra.

Vm = Volumen en mL de disolución de ácido clorhídrico 0.01M por muestra.

Vb = Volumen en mL de disolución de ácido clorhídrico 0.01M por muestra en blanco.

6.3.3. Obtención de biopolímero comestible con actividad antioxidante y antimicrobiana

6.3.3.1. Elaboración de extractos de plantas

Se seleccionó una variedad de plantas: menta seca (*Mentha piperita* L.), té (*Camellia sinensis*), cálices de jamaica (*Hibisdu safdariffa* L.) y semillas de jamaica (*Hibisdu safdariffa* L.), las cuales se han reportado en la literatura (Faris Shalayel *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2015; Gramza-Michałowska *et al.*, 2016; Andzi Barhe' and Feuya Tchouya, 2016.), su actividad antioxidante y antimicrobiana.

6.3.3.2. Elaboración de extractos acuosos

La extracción se llevó a cabo de acuerdo al protocolo modificado por Pineros-Hernández *et al.* (2017). Se pesaron 10 g de planta seca (cálices, hojas o semillas) se colocaron en tubos plásticos para centrifuga con una capacidad de 250 mL, los cuales fueron previamente forrados con papel aluminio, y se adicionaron 125 mL de agua destilada a 100° C, se dejó en reposo por 24 h. Una vez obtenidos los extractos se filtraron (medida de poro 0.45 mm).

Una vez obtenidos los extractos se les determinó el contenido de compuestos fenólicos totales (6.3.2.6. Compuestos fenólicos totales (método Folin – Ciocalteau)).

6.3.3.3. Elaboración de biopolímeros comestibles

La elaboración de los biopolímeros comestibles de llevo a cabo siguiendo la metodología de García-Argueta *et al.* (2012) con algunas modificaciones, siguiendo la formulación que se presenta en la tabla 17.

Tabla 17. Formulaciones de biopolímeros comestibles

Ingrediente	%
Inulina	4
Grenetina	6
Suero de leche	13
Glicerol	3
Agua	74

Se realizaron dos formulaciones modificadas con base en la formulación anterior para incorporar los extractos de plantas la A y B (ver [tabla 18](#)). En la figura 22 se observan los pasos para la elaboración de los biopolímeros.

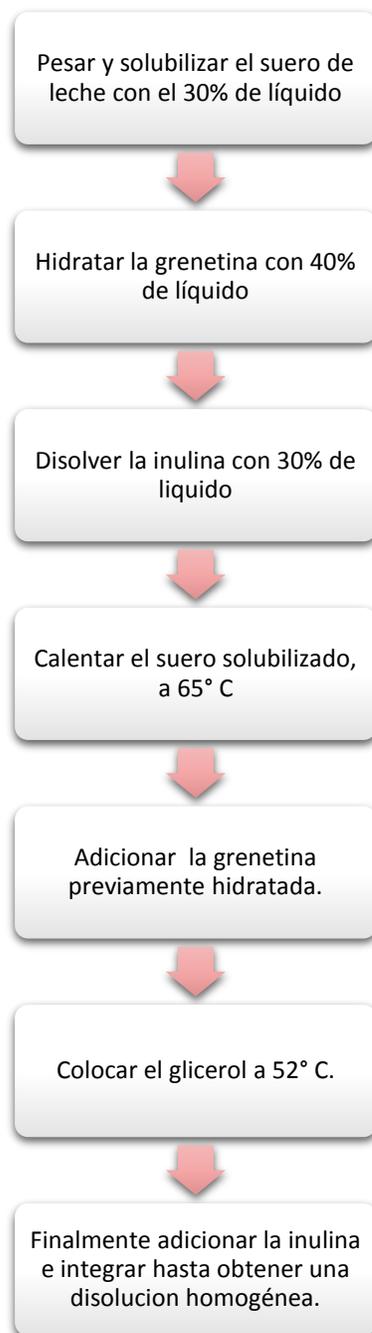
Tabla 18. Formulación de biopolímero comestible con extractos de plantas

Ingrediente	A	B
	%	
Inulina	4	4
Grenetina	6	6
Suero de leche	13	13
Glicerol	3	3
Agua	0	37
Extracto de planta	74	37

Una vez realizados los biopolímeros comestibles adicionados con extractos se realizaron las siguientes determinaciones:

- pH (metodología apartado 6.3.1.1.)
- Acidez (metodología apartado 6.3.1.2.)
- CFT (6.3.2.6.)
- Color (metodología apartado 6.3.2.9.)

Figura 22. Desarrollo de la elaboración del biopolímero



6.3.4. Elaboración de reestructurados cárnicos adicionados con extracto de jamaica

Con base en los resultados expuestos en el apartado 6.3.2. ([Tabla 16](#)), se seleccionó el reestructurado inciso “D”, que contiene 25% de músculo de cerdo, 75% músculo de carpa y 8% de harina de chíá.

Se colocaron en vasos plásticos con rosca y se llevó a cabo la gelificación, siguiendo la metodología del apartado 6.3.2.2.

Una vez llevada a cabo la gelificación, se trasladaron a refrigeración para su maduración por 24 horas. Transcurrido ese tiempo se prepararon dos biopolímeros comestibles, uno adicionado con extracto de jamaica de la formulación B ([Tabla 18](#)), la cual contiene 50% de extracto de jamaica y 50% de agua, y el segundo sin extracto de jamaica. Los reestructurados cárnicos se sacaron del recipiente de gelificación, se sumergieron en los biopolímeros y se colocaron en recipientes plásticos con tapa hermética para su almacenamiento en refrigeración y posterior análisis.

Se realizaron análisis fisicoquímicos, bromatológicos y texturales:

- pH (metodología apartado 6.3.1.1.)
- Acidez (metodología apartado 6.3.1.2.)
- Humedad (metodología apartado 6.3.1.3.)
- Proteína (metodología apartado 6.3.1.5.)
- CFT (metodología apartado 6.3.2.6.)
- Color (metodología apartado 6.3.2.9.)
- Concentración proteínica (biuret) (metodología apartado 6.3.2.3.)
- Electroforesis (metodología apartado 6.3.2.5.)
- Grupos SH (metodología apartado 6.3.2.4.)

- Bases volátiles (metodología apartado 6.3.2.12.)
- TPA (metodología apartada 6.3.2.11.)
- Esfuerzo al corte) (metodología apartado 6.3.2.10.)

Además, se realizó un análisis microbiológico siguiendo las metodologías que se describen a continuación:

6.3.5 Análisis microbiológicos

6.3.5.1. Mesófilos aeróbios.

De acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-092-SSA1-1994. Se llevaron a cabo diluciones (NOM-110-SSA1- 1994, Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico) a partir de 10 g de muestra se adiciono un volumen de 90 mL de agua peptonada llevado a una temperatura similar a la de la muestra. Se homogenizó de 1 a 2 min hasta obtener una suspensión, este tiempo no debió exceder de 2,5 min, ésta fue la dilución primaria. Se transfirió 1 mL de la dilución primaria 1 + 9 (10⁻¹), en otro recipiente conteniendo nueve veces el volumen de diluyente (agua destilada) estéril a la temperatura apropiada, evitando el contacto entre la pipeta y el diluyente. Se mezcló cuidadosamente cada tubo. La selección de las diluciones que se prepararon y de aquellas que se inocularon, dependieron del número esperado de microorganismos en la muestra. En ausencia total de información, se trabajar con las diluciones de la primera a la sexta. En cajas Petri previamente rotuladas se transfirieron 1 mL de las disoluciones tomando de las capas superiores de la suspensión. Después de inocular las diluciones de las muestras preparadas se agregaron de 12 a 15 mL de Agar Triptona-Extracto de Levadura (agar para cuenta

estándar) y mediante 6 movimientos de derecha a izquierda, 6 en el sentido de las manecillas del reloj, 6 en sentido contrario y 6 de atrás a adelante, sobre una superficie lisa y horizontal hasta lograr una completa incorporación del inóculo en el medio; cuidando de no mojar la cubierta de las cajas. Se dejó solidificar. Se Incluyó una caja sin inóculo por cada lote de medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad. El tiempo transcurrido desde el momento en que la muestra se incorporó al diluyente hasta que finalmente se adiciono el medio de cultivo a las cajas, excedió de 20 min. Se Incubo las cajas en posición invertida (la tapa hacia abajo) a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 48 ± 2 h. Se reportaron resultado de acuerdo con la norma.

6.3.5.2. Coliformes totales.

De acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-113-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. Método para la Cuenta de microorganismos Coliformes Totales en placa. Se colocaron en cajas Petri por duplicado 1 mL de la dilución primaria, se repitió el procedimiento tantas veces como diluciones decimales se requirió sembrar, se vertieron de 15 a 20 mL del medio RVBA fundido y mantenido a $45 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ en baño de agua. Se mezcló cuidadosamente el inóculo con el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis movimientos en el sentido de las manecillas del reloj, seis movimientos en el sentido contrario al de las manecillas del reloj y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa y nivelada. Permitiendo que la mezcla solidifique dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría. Se prepararon una caja control con 15 mL de medio para verificar la

esterilidad. Una vez que el medio estuvo completamente solidificado en la caja, se vertieron aproximadamente 4 mL del medio RVBA a $45 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ en la superficie del medio inoculado. Se Dejó solidificar. Se Invirtieron las placas y se colocaron en la incubadora a 35°C , durante 24 ± 2 horas. Se Reportaron resultados de acuerdo con lo especificado en la norma.

6.3.5.3. Hongos y Levaduras.

De acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-111-SSA1-1994, BIENES Y SERVICIOS. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. Colocaron por duplicado en cajas Petri previamente rotuladas 1 mL de la dilución primaria, se repitió el procedimiento tantas veces como diluciones decimales se requirieron sembrar, se vertieron de 15 a 20 mL de agar papa dextrosa acidificado, fundido y mantenido a $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en un baño de agua. El tiempo transcurrido entre la preparación de la dilución primaria y el momento en que se vertió el medio de cultivo, no excedió de 20 min. Se mezcló cuidadosamente el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis en el sentido de las manecillas del reloj, seis en el sentido contrario y seis de atrás para adelante, sobre una superficie lisa. Se Permitió que la mezcla solidificara dejando las cajas Petri reposar sobre una superficie horizontal fría. Se preparó una caja control con 15 mL de medio, para verificar la esterilidad. Se Incubaron las cajas invertidas a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Se contaron las colonias de cada placa después de 3, 4 y 5 días de incubación. Después de 5 días, se seleccionaron aquellas placas que contuvieron entre 10 y 150 colonias. Si alguna parte de la caja muestra crecimiento extendido de mohos

o si fuera difícil contar colonias bien aisladas, se consideraron los conteos de 4 días de incubación y aún de 3 días.

6.3.5.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA) ($p < 0.05$) y determinación de diferencias de medias mediante prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El análisis de los datos se realizó mediante el programa estadístico STATGRAPHICS centurión

XVI Versión 16.1.03

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Evaluación de características fisicoquímicas de la materia prima.

Todas las carpas se adquirieron de un mercado local de la comunidad de San Luis Mextepec, Estado de México. La apariencia general de las especies era buena, con una textura de músculo firme. Las muestras fueron recolectadas 24 horas post-mortem, teniendo en cuenta como fresca del pescado las siguientes características: piel firme con coloración iridiscente brillante, ojos con corneas transparentes, branquias rojo brillante, músculo translucido grisáceo, liso y brillante (Huss, 1995). Las muestras estaban limpias, deshuesadas y cortadas en filetes.

Respecto al músculo de cerdo, presentó un marmoleo moderado, la carne pálida de una coloración roja-grisácea, firmeza de intermedia a firme. En la [tabla 19](#) se muestran las características fisicoquímicas y bromatológicas de las materias primas, en el caso de la carne de carpa se encontró dentro de los parámetros establecidos como un pescado fresco de acuerdo a Huss (2004), que indica que para ser considerado un producto fresco el pH debe encontrarse en un intervalo de 6.3 a 6.9. Para el caso de la carne de cerdo el pH se encontró dentro de los límites marcados por la NMX-FF-081-2003, donde se menciona que para un producto fresco el intervalo de pH debe ser de 5.9 a 6.8. Por lo cual se consideró que ambas materias primas son productos frescos y aptos para el desarrollo del reestructurado cárnico.

Tabla 19. Análisis bromatológico de los músculos de carpa y cerdo

Parámetro	Origen del músculo	
	Carpa común	Cerdo
pH	6.49 ± 0.06	6.58 ± 0.30
Acidez	0.038 ± 0.008	0.11±0.089
Humedad	78.36±0.40	74.7±0.021
Cenizas	1.42±0.23	2.06±0.0034
Proteína	24.01±0.30	21.46±0.0156
Grasa	6.65±0.68	1.85±0.076

Por otro lado, la harina de chía presentó niveles de proteína de 23.31±0.12, los cuales se encuentran dentro de los parámetros reportados en la literatura que van de 20.01-35.32% (Segura-Campos *et al.*, 2013; Luna-Pizarro *et al.*, 2013; Capitani *et al.*, 2012), estas variaciones, se deben principalmente al lugar donde se cosecha la especie. Mientras que los valores de grasa y cenizas fueron de 34.45±0.07 y 7.24g/100 g respectivamente. Luna-Pizarro *et al.* (2013) reportó un contenido de grasa en harina de chía de 30.97± 0.57 y de cenizas 4.58±0.13, dichas diferencias observadas entre los reportado y los obtenido puede deberse a la región, temperatura, temporadas de lluvia y otras factores climáticos donde se cultiva la *Salvia hispánica* L. Respecto al contenido de compuestos fenólicos presentes en la harina de chía fue de 2.789±0.00334 mg de CFT/ g extracto seco de chía, expresados como equivalentes de ácido gálico (GAE), superiores a lo reportado por Reyes-Caudillo (2008) para dos variedades de chía provenientes de Jalisco y de Sinaloa, con valores de 0.9211 ± 0.040 y 0.8800 ± 0.008 mg de CFT/ g extracto seco de chía respectivamente.

Los atributos de color de la materia prima (músculo de carpa y cerdo y harina de chía) se muestran en la [Tabla 20](#), donde se observa que la luminosidad (L*) y el índice de blancura (IW) de la carne de cerdo son más altos respecto a la carne de carpa, debido a la coloración que presenta la carne de carpa común que se aprecia entre una coloración grisácea respecto a la carne de cerdo que se aprecia rosada.

Tabla 20. Atributos de color de materia prima

Atributo	Músculo de carpa	Músculo de cerdo	Salvia hispánica L.
L*	39.36±0.080	49.54±1.006	36.45±1.187
a*	5.282±0.102	8.61±0.36	3.49±0.082
b*	4.805±0.046	1.05±0.081	16.285±0.315
Croma	5.22± 0.02	8.67±0.38	10.96±0.29
Tonalidad	1.15±0.009	0.121±0.096	1.50±0.37
Hue	220.59± 0.14	186.95±.057	256.54±0.57
Índice de blancura	38.94±0.084	48.79±.083	34.069±1.084

7.2. Desarrollo y selección del reestructurado

Para el desarrollo del reestructurado cárnico a base de músculos de cerdo-carpa, se basó en estudios previos (Santillán-Álvarez, 2012), donde se variaron los porcentajes de harina de chía adicionada en 0%, 1%, 4% y 8%. Para la selección de la concentración ideal se variaron los porcentajes mencionados y se evaluó el contenido de CFT (mgAGE/g), observándose que es un factor concentración dependiente, es decir, a medida que se incrementó la concentración, el contenido de los CFT incrementó ($p < 0.05$), siendo mayor

en 8%, asimismo, se obtuvo un mayor contenido de fibra ($p < 0.05$) ([Tabla 21](#)), esto podría ser tecnológicamente favorecedor ya que se observó una disminución en la pérdida por cocción, esto podría deberse a que el contenido de fibra coadyuva a la retención de agua mediante enlaces entre las moléculas de carbohidrato que conforman la fibra con las proteínas del músculo, formando una red tridimensional estable.

Tabla 21. Análisis bromatológico y contenido de compuestos fenólicos totales en reestructurados de carpa común adicionados con diferentes concentraciones de harina de chía.

Reest.	Proteína	Lípidos	Fibra %	Humedad	Cenizas	Pérdida de cocción	Comp. Fenólicos totales mgAGE/g
0%	16.83 ^d ±0.06	2.43 ^a ±0.26	0.88 ^a ±0.08	79.38 ^d ±0.37	0.45 ^a ±0.01	62.52 ^a ±0.49	0.00 ^a ±0.00
1%	16.41 ^c ±0.17	5.54 ^b ±1.11	5.88 ^b ±0.10	71.54 ^c ±0.56	0.62 ^b ±0.06	70.79 ^b ±0.38	1.05 ^b ±0.17
4%	13.25 ^b ±0.03	11.06 ^c ±0.63	7.09 ^c ±0.03	67.84 ^b ±0.72	0.74 ^c ±0.02	87.37 ^c ±1.86	1.62 ^c ±0.08
8%	12.32 ^a ±0.34	14.21 ^d ±0.56	10.91 ^d ±0.03	61.48 ^a ±0.71	1.06 ^d ±0.08	91.15 ^d ±0.65	2.25 ^d ±0.14

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Al disminuir la pérdida por cocción como se mencionó anteriormente, tuvo como consecuencia el incremento de volumen de los reestructurados a medida que se incrementó el porcentaje de harina de chía ([Figura 20](#)), esto podría deberse a la adición de harina de chía, que además de mejorar características tecnológicas y evitar pérdida de agua,

otorgó una coloración café, que puede asemejarse a la de un producto integral, dicha apariencia fue agradable al panel de evaluación sensorial.

Figura 23. Reestructurados con diferente concentración de harina de chía (0%, 1%, 4% y 8%)



Con base en los resultados obtenidos del contenido de lípidos, fibra y compuestos fenólicos totales ([Tabla 21](#)), se seleccionó el reestructurado adicionado con 8% de harina de chía para poder realizar el nuevo reestructurado a base de carne de carpa común y carne de cerdo. Se realizaron 5 formulaciones modificándose el porcentaje de ambos tipos de músculo ([Tabla 22](#)) y se le determinó el contenido de proteína. No se observó diferencia significativa entre el reestructurado A y B, y sí se presentó una diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al resto de los reestructurados (C, D y E), observándose que la combinación de ambas especies a un porcentaje de 75% carpa y 25% cerdo (Reestructurado B) podría ser considerada como la mezcla idónea.

Tabla 22. Contenido de proteína de reestructurados con diferente concentración de músculo de carpa y cerdo.

Reestructurado	% de músculo empleado	% proteína
A	100 carpa - 0 cerdo	11.55 ^c ±0.57
B	75 carpa – 25 cerdo	11.72 ^c ±0.68
C	50 carpa – 50 cerdo	10.49 ^{bc} ±0.76
D	25 carpa – 75 cerdo	9.82 ^{ab} ±0.18
E	0 carpa – 100 cerdo	9.04 ^a ±0.19

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa (p<0.05)

7.2.1. Análisis de perfil de textura de los reestructurados cárnicos

La dureza y la fibrosidad son dos parámetros de textura relevantes en el ámbito industrial para su mayor aprovechamiento tecnológico, ya que de ellos depende la manipulación del producto, así como la facilidad por parte del consumidor de deglutir el alimento. En la [Tabla 23](#) se muestran los resultados de este análisis, donde se puede apreciar que existe diferencia significativa (p<0.05) para dureza y la masticabilidad en los reestructurados A y E esto podría deberse a que al incrementar la concentración de músculo de cerdo se va fortaleciendo la matriz proteica, incrementando la fuerza necesaria para la deformación de este reestructurado, ya que como se ha reportado, las carnes terrestres dentro de su composición química, está presente la hemoglobina (Moreno García, 2006), proteína que puede coadyuvar a la formación de dicha matriz, formando una mayor interacción proteína-proteína, y al tener un mayor contenido de proteínas de carpa, se podrían favorecer enlaces proteína-proteína y enlaces iónicos, dando de esta manera un gel con una mayor suavidad

necesitando una fuerza menor para la deformación de este producto, para la masticabilidad, la tendencia es similar para ambos reestructurados, ya que para el reestructurado A, la energía requerida para desintegrar a este para ser tragado es menor que el reestructurado E, ya que al tener mayor contenido de músculo de cerdo, la energía incrementa

Tabla 23. TPA reestructurados diferentes concentraciones de carne de cerdo y carne de carpa adicionados con 8% de harina de chía

	Dureza (g)	Cohesividad	Elasticidad	Fibrosidad	Resiliencia	Gomosidad (g)	Masticabilidad (g)
A	2.87 ^a ±0.33	0.38 ^a ±0.04	1.14 ^b ±0.09	21.75 ^a ±1.46	0.60 ^{ab} ±0.29	1.13 ^a ±0.25	1.30 ^a ±0.36
B	3.75 ^{ab} ±0.37	0.40 ^a ±0.02	1.16 ^b ±0.11	21.66 _a ±3.18	0.77 ^b ±0.14	1.54 ^{ab} ±0.22	1.80 ^{ab} ±0.42
C	5.10 ^b ±0.56	0.46 ^a ±0.00	0.85 ^a ±0.01	20.77 _a ±0.91	0.21 ^a ±0.04	2.37 ^b ±0.25	2.00 ^{ab} ±0.22
D	5.35 ^b ±0.07	0.48 ^a ±0.09	0.84 ^a ±0.10	23.22 _a ±2.70	0.24 ^a ±0.03	2.59 ^{bc} ±0.54	2.18 ^{ab} ±0.54
E	7.77 ^c ±1.51	0.45 ^a ±0.01	0.77 ^a ±0.04	21.49 _a ±1.31	0.25 ^a ±0.12	3.52 ^c ±0.61	2.70 ^b ±0.33

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

REEST*: A 100% carpa - 0% cerdo; B 75% carpa - 75% cerdo; C 50% carpa - 50% cerdo; D 25% carpa - 75% cerdo; E 0% carpa - 100% cerdo

Por otro lado los resultados no son similares para los reestructurados B, C y D, quienes no presentaron diferencia significativa en estos dos parámetros, lo cual nos podría decir que no importa el porcentaje de cada músculo adicionado a la mezcla, ya que la dureza y por lo tanto la masticabilidad estadísticamente hablando son iguales. Respecto a los parámetros de cohesividad y fibrosidad no se presentó diferencia significativa, en los distintos reestructurados, esto puede deberse al contenido constante del 8% de harina de chía adicionado, en donde la fibra presente podría estar dando una resistencia en los enlaces internos (proteína-fibra) coadyuvando a la formación de un producto compacto,

manteniendo estable la red tridimensional, por lo que la fuerza necesaria para cortar los productos es similar.

Los atributos de color representados por los valores triestímulos L*, a* y b* (Tabla 24) permiten reconocer físicoquímicamente la coloración de un producto, y con ellos conocer de forma general que tan claro u oscuro es el producto, y la coloración que le aporta cada tipo de músculo empleado en el reestructurado.

Tabla 24. Atributos de color de reestructurados a base de cerdo-carpa.

Reestruct.	L*	a*	b*	Croma	Hue	IW
A	60.73 ^{ab} ±0.14	3.15 ^a ±0.08	11.12 ^a ±0.36	11.55 ^{ab} ±0.37	254.18 ^a ±0.24	59.06 ^{ab} ±0.09
B	59.69 ^a ±0.64	3.43 ^a ±0.29	10.81 ^a ±0.49	11.34 ^a ±0.52	252.37 ^a ±1.15	58.12 ^a ±0.65
C	62.28 ^{bc} ±0.60	2.88 ^a ±0.70	10.40 ^a ±0.69	10.81 ^a ±0.68	254.46 ^a ±3.76	60.76 ^{bc} ±0.73
D	63.24 ^c ±1.27	2.84 ^a ±0.21	11.34 ^{ab} ±0.27	11.69 ^{ab} ±0.31	255.95 ^a ±0.72	61.42 ^c ±1.23
E	61.19 ^{abc} ±0.71	2.93 ^a ±0.29	12.41 ^b ±0.27	12.76 ^b ±0.32	256.72 ^a ±1.09	59.14 ^{ab} ±0.75

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa (p<0.05)

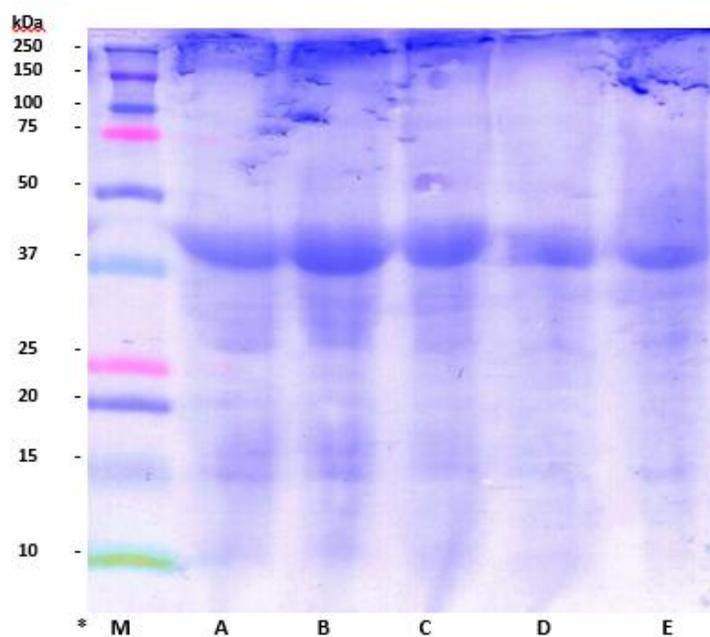
REEST: A 100% carpa - 0% cerdo; B 75% carpa - 25% cerdo; C 50% carpa - 50% cerdo; D 25% carpa - 75% cerdo; E 0% carpa - 100% cerdo*

La luminosidad no presentó diferencia significativa para los reestructurados A y B que contienen el mayor contenido de carne de carpa, pero sí se presentó diferencia significativa (p<0.05) para los reestructurados C y D, quienes en su contenido hay un incremento de músculo de cerdo. Para el reestructurado E no se presentó diferencia con respecto a los demás productos. Los valores para el estímulo a* que da coloración que va de rojo a verde, no presentó diferencia significativa en los diferentes reestructurados, sin embargo, respecto al estímulo b* hay una diferencia significativa (p<0.05) para el reestructurado E,

mostrando una tendencia a un color café oscuro, observándose que la combinación de ambas especies a un porcentaje de 75% carpa y 25% cerdo más 8% de harina de chía (Reestructurado B) podría ser considerada como la mezcla idónea ya que la coloración se asemeja a una hamburguesa comercial a base de carne de res.

En la [figura 24](#), se observa el perfil de pesos moleculares de cada uno de los reestructurados, en donde se observa que la miosina para las muestras ABC está presente, pero en la muestra B a una mayor concentración. La disminución de la banda de 250 kDa, podría deberse a una desnaturalización de la proteína durante el proceso de gelificación, no siendo así para las muestras B y C, las cuales mantienen una concentración de miosina, esto podría deberse a que la harina de chía, está estabilizando a la proteína.

Figura 24. Reestructurados diferentes porcentajes de carne de cerdo y carne de carpa adicionados con 8% de harina de chía



* M marcador; A cerdo 0%-carpa 100%; B cerdo 25%-carpa 75%; C cerdo 50%- carpa 50%; D cerdo 75%- carpa 25; E cerdo 100%- carpa 0%.

En las muestras D y E, la miosina desapareció por completo, formando nuevos péptidos de bajo peso molecular, además de que la actina también disminuyó conforme incrementó la concentración de carne de cerdo, lo que nos podría decir que ésta proteína tiende a una mayor desnaturalización a la temperatura del tratamiento. Lo que se puede observar es que el perfil proteico de la muestra B es la que a pesar del tratamiento térmico sigue manteniendo una integridad en la miosina, por lo que podría coadyuvar a un procesamiento tecnológico, ya que la miosina es una de las principales proteínas responsables de la funcionalidad de los productos cárnicos.

De acuerdo a una evaluación sensorial realizada a 80 jueces no entrenados, utilizando una escala hedónica, se observó que el reestructurado cárnico B (25% cerdo-75% carpa adicionado con 8% harina se chía) obtuvo un mayor puntaje en los parámetros generales de aceptabilidad ([Figura 25](#)), A=7.64 ± 0.24, B=8.18 ± 0.307, C=7.64 ± 0.20, D=7.82 ± 0.21 y E=8.09 ± 0.25.

Figura 25. Reestructurado cárnico B (75% carpa-25% cerdo adicionado con 8% harina se chía)



Con base en los resultados presentados anteriormente (textura, color, parámetros fisicoquímicos y evaluación sensorial, se consideró que el reestructurado B, presentó las características idóneas para su selección.

7.3. Obtención del biopolímero comestible con actividad antioxidante y antimicrobiana

7.3.1. Características fisicoquímicas de extractos de plantas y biopolímeros comestibles

Para la evaluación de los biopolímeros comestibles, se utilizó el reestructurado B. Se determinó el pH y el contenido de CFT de los extractos de diferentes plantas ([Tabla 25](#)), donde se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el pH de las muestras, no siendo así en los extractos de cálices de jamaica fresca y jamaica liofilizada, lo cual podría indicar que el tratamiento de liofilización en el extracto no tiene ningún efecto sobre el pH del extracto y, que podría utilizarse indistintamente el extracto de cálices frescos o la jamaica liofilizada.

Por otra parte en relación a los contenidos de CFT de los extractos acuosos de las diversas plantas, se observó diferencia significativa ($p < 0.05$) para las cinco muestras (ver [Tabla 25](#)), siendo los extractos semillas de jamaica y el té verde, los que presentan mayor contenido de CFT, sin embargo, el costo de éstos son más elevados.

Para el pH de los biopolímeros A adicionados con extractos de plantas presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), cálices, jamaica, y té verde, no siendo así para menta y

semillas de jamaica. En el caso de los biopolímeros B, que solo tenían el 50% de extracto adicionado, las cinco muestras presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) ([Tabla 25](#)), siendo el biopolímero con extracto de Jamaica fresca quien presentó el pH más bajo, esto podría ser benéfico ya que al ser un pH bajo podría inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos.

Tabla 25. pH y contenido de compuestos fenólicos totales de extractos de plantas y película adicionadas con extractos

Planta	Extractos	pH		Compuestos fenólicos totales mgAGE/g			
		Biopolímero		Extractos	Biopolímero		
		A	B		A	B	
Cálices de jamaica fresca	2.72a±0	4.31a±0.01	3.48a±0.005	294.09c±2.81	295.56b±7.81	380.00b±3.29	
Jamaica liofilizado	2.75a±0.03	5.18b±0.03	4.54b±0.005	26.18a±2.56	194.33a±14.65	161.24a±6.62	
Menta	6.23c±0.04	6.01c±0.005	5.66c±0.01	70.22b±0.73	392.13c±7.24	158.32a±9.86	
Semillas de Jamaica	6.75d±0.03	6.28c±0.12	5.93d±0.02	580.01e±2.58	414.79c±6.57	563.72c±29.46	
Té verde	5.78b±0.01	5.9±d0.02	5.70e±0.02	537.19d±3.60	406.76c±11.75	641.58d±6.21	

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

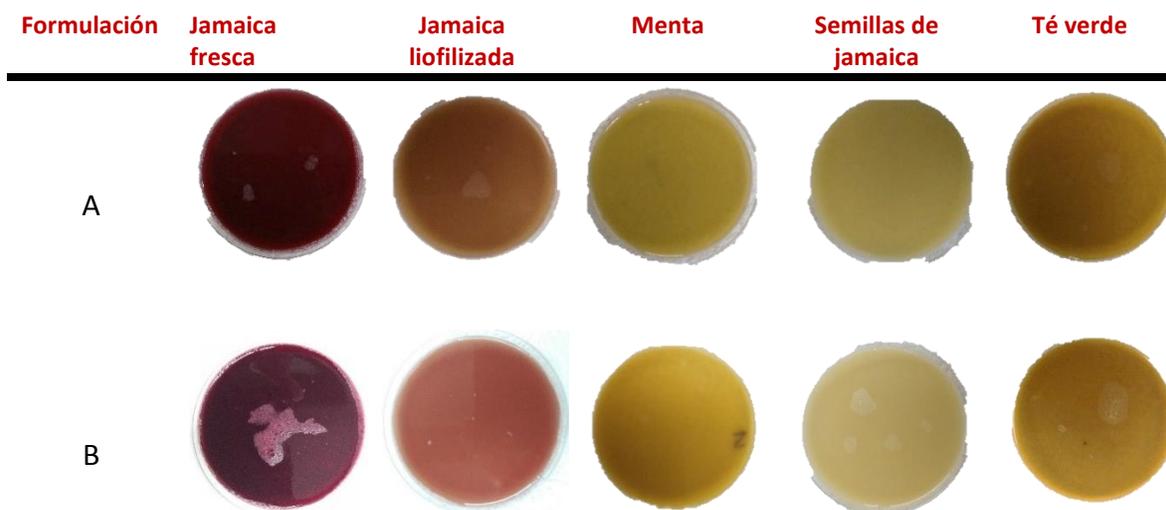
Respecto al contenido de compuestos fenólicos totales en los biopolímeros formulación A, existe diferencia significativa ($p < 0.05$), siendo que, para el caso de la menta, semillas de jamaica y té verde presentaron un mayor contenido de compuestos fenólicos de 392.13 y 414.79 mgAGE/g respectivamente. En cuanto a los contenidos de CFT de los biopolímeros

formulación B, presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) siendo el té verde quien presentó el contenido de CFT más elevado (641.58 ± 6.21 mgAGE/g).

Se puede observar que, a pesar de los resultados obtenidos para ambos biopolímeros, los CFT son mayoritariamente los que contenían extracto de menta y té verde, sin embargo, los costos de éstos son elevados, y esto representaría un incremento en los costos de producción o aplicación, en este sentido los cálices de jamaica fresca, son económicos y de fácil adquisición.

En la [figura 26](#) se observan las coloraciones que adquirieron cada uno de los biopolímeros al adicionarle el extracto en formulación A y B, donde se observó una colocación más saturada en los que fueron adicionados con 100% de extracto respecto a los que solo se les colocó el 50%.

Figura 26. Biopolímeros formulaciones A y B con extractos de diversas plantas



El biopolímero seleccionado por funcionalidad y costos fue el adicionado con extracto de jamaica fresca en formulación B, ya que no hubo una diferencia significativa en el contenido CFT en la formulación A y B, lo cual podría reducir costos al emplear solo el 50% de extracto de jamaica para su elaboración, aunado a que la elaboración de extracto de jamaica es más económica, debido a que los costos de las otras plantas son más elevados. Por otro lado, la acidez del biopolímero formulación B presentó un pH bajo, lo que podría coadyuvar para impedir el crecimiento microbiano.

Respecto al biopolímero, las mejores características potencialmente antimicrobianas y de costos de producción las presentó el biopolímero adicionado con extracto de cálices de jamaica fresca.

En la [figura 27](#) se observan los biopolímeros control y adicionado con jamaica, donde visualmente se aprecia la diferencia de coloración, esta debido a la adición del extracto de jamaica, que otorga la coloración roja.

Los parámetros de color los biopolímeros control y adicionado con jamaica se muestran en la [Tabla 26](#) donde el parámetro L^* que representa que tan claro u oscuro puede ser el biopolímero presentó un valor de 41.43 ± 0.36 para el control y 16.82 ± 0.35 para el adicionado con jamaica con una diferencia significativa ($p < 0.05$), una tendencia esperada ya que los cálices de jamaica al ser colocados en agua para realizar el extracto acuoso otorgaron una coloración roja oscura o vino. Este valor de L^* se reafirma con el índice de blancura, el cual presenta diferencia significativa ($p < 0.05$) con valores de 37.62 ± 0.33 para el control, el cual es visiblemente más claro y 15.02 ± 0.31 para el adicionado con jamaica.

Figura 27. Biopolímero control y biopolímeros con extracto de jamaica.

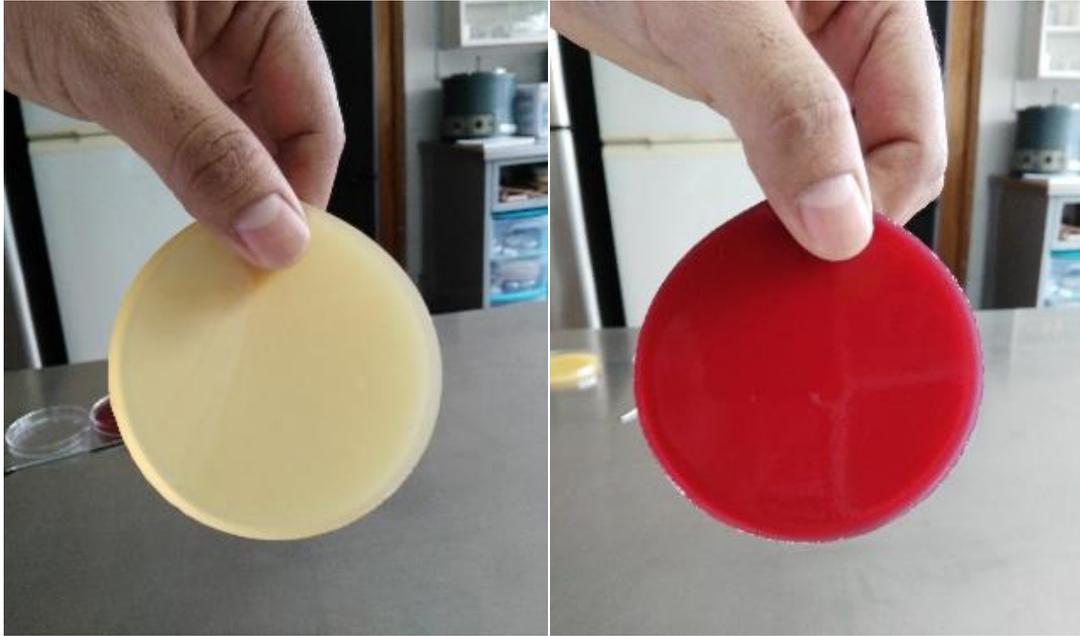


Tabla 26. Parámetros de color del biopolímero control y biopolímero con jamaica.

Biopolímero	L*	a*	b*	IW	Hue	Croma
Control	41.43 ^b ±0.36	1.24 ^a ±0.11	21.43 ^b ±0.096	37.62 ^b ±0.33	1.51 ^b ±0.005	21.46 ^b ±0.09
Con extracto	16.82 ^a ±0.35	14.90 ^b ±0.25	9.00 ^a ±0.085	15.02 ^a ±0.31	0.54 ^a ±0.006	17.41 ^a ±0.24

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

7.3.2. Caracterización de biopolímero comestible

La caracterización de los biopolímeros se realizó para tres muestras, el biopolímero control (B0) constituido por grenetina, glicerol, inulina, suero de leche y agua, el biopolímero B50 (con un 50% de extracto de jamaica sustituyendo el agua) y el biopolímero B100 (con un contenido de 100% de extracto de jamaica sustituyendo al agua). De las mezclas de los componentes se tomaron alícuotas de 4.5 mL y se depositaron en cajas Petri plásticas. Después fueron incubadas y almacenadas con una humedad relativa de 50% a $30 \pm 2^\circ\text{C}$ for 24 h antes de ser analizadas.

7.3.2.1. Grosor de los biopolímeros

El grosor de los biopolímeros incorporados con diversas concentraciones de extracto de *Hibiscus sabdariffa* L. (EHs) se muestran en la [tabla 27](#). El grosor de los biopolímeros se encuentra dentro de un intervalo de 29.60 a 34.20 mm. Las tres muestras (B0, B50y B100) presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

7.3.2.2. pH

De acuerdo a Caro Velarde *et al.* (2012), el valor de pH de los cálices de *Hibiscus Saffdariffa* L. se encuentra en un intervalo de 2.42 a 3.06, y este valor está relacionado con el contenido de antocianinas, los cálices con más antocianinas son menos ácidos. El pH de las muestras se encuentran en la [tabla 27](#), donde se puede observar que al incrementar el porcentaje de EHs el biopolímero es más ácido respecto al control y las diferencias significativas ($p < 0.05$) son evidentes. Con estos resultados se podría decir que es mejor emplear la muestra B50 que de acuerdo con Caro Velarde *et al.* (2012), siendo menos ácida, podría presentar un mayor contenido de antocianinas, que otorgan la capacidad antioxidante de la jamaica.

7.3.2.3. Contenido de humedad y contenido de compuestos fenólicos totales

En la [tabla 27](#) se observa el % de humedad donde no se observa diferencia significativa entre las muestras, lo que representa que los tres biopolímeros fueron analizados bajo las mismas condiciones de tratamiento. Respecto al contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) las tres muestras presentan diferencias significativas.

Tabla 27. Grosor, pH, humedad y CFT de biopolímeros con EHs.

Muestra	Grosor	pH*	% humedad	Compuestos fenólicos totales (mgAGE/g)
B0	0.296±0.026 ^a	6.33±0.011 ^c	87.61±0.33 ^a	0 ^c
B50	0.320±0.055 ^b	4.70±0.005 ^b	87.38±0.35 ^a	295.56 ^b ±7.81 ^b
B100	0.342±0.039 ^c	3.98±0.005 ^a	87.23±0.33 ^a	380.00 ^b ±3.29 ^a

B0: biopolímero control, B50: biopolímero con 50% de EHs, B100: biopolímero con 100% de EHs
Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

* Temperatura de 20 °C

7.3.2.4. Densidad de superficie, solubilidad del biopolímero en agua, capacidad de absorción de agua y permeabilidad.

En la [tabla 28](#) se puede observar que las muestras B0, B50 y B100 no presentaron diferencias significativas en la densidad de la superficie, la misma situación se presenta para la solubilidad del biopolímero en agua, lo que representa que las tres muestras se solubilizan de igual manera. Los resultados para la prueba de capacidad de absorción de agua, presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) para B0, B50 y B100, donde se manifiesta que B0 es la muestra que más agua puede absorber con un resultado de 25.87%, lo que podría significar que el EHs ayuda a disminuir el porcentaje de agua absorbida, ya que medida que incrementa el contenido de EHs el % de agua absorbida disminuye. Y finalmente los resultados de permeabilidad muestran la misma tendencia que la densidad de superficie y la solubilidad del biopolímero en agua, no hay diferencia significativa lo que podría decirse que el contenido de EHs en la matriz proteínica no afecta la permeabilidad de gases, debido a que esto está determinado por el contenido de glicerol que en las tres muestras es el mismo.

Tabla 28. Características de permeabilidad de biopolímeros

Muestra	Densidad de superficie	Solubilidad de biopolímero en agua	Capacidad de absorción de agua	Permeabilidad g/m s Pa
B0	442.76±3.93 ^a	38.4809±3.41 ^a	25.87±1.31 ^c	9.45E-11±3.40E-12 ^a
B50	436.90±12.38 ^a	36.05±1.307 ^a	16.01±1.50 ^b	9.08E-11±1.15E-11 ^a
B100	451.10±2.55 ^a	34.237±1.03 ^a	11.38±0.98 ^a	1.02E-10±4.89E-12 ^a

B0: biopolímero control

B50: biopolímero con 50% de EHs

B100: biopolímero con 100% de EHs

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

7.3.2.5. Parámetros de color de biopolímeros con EHs

Los parámetros de color confirman las diferencias aparentemente visibles de color que se muestran en la [figura 28](#). En la [tabla 29](#) se muestran los resultados para los parámetros de color (L^* , a^* y b^*). El parámetro de luminosidad presenta diferencias significativas, siendo B100 el valor más bajo, que representa una coloración más oscura, respecto a B0 con el valor más alto, que es el color más claro. Los valores de los parámetros a^* y b^* indican la rojez (a^*) y la amarillez (b^*), es decir el color café incrementa al incrementar el contenido de EHs en los biopolímeros.

Figura 28. Color aparente de los biopolímeros con EHs

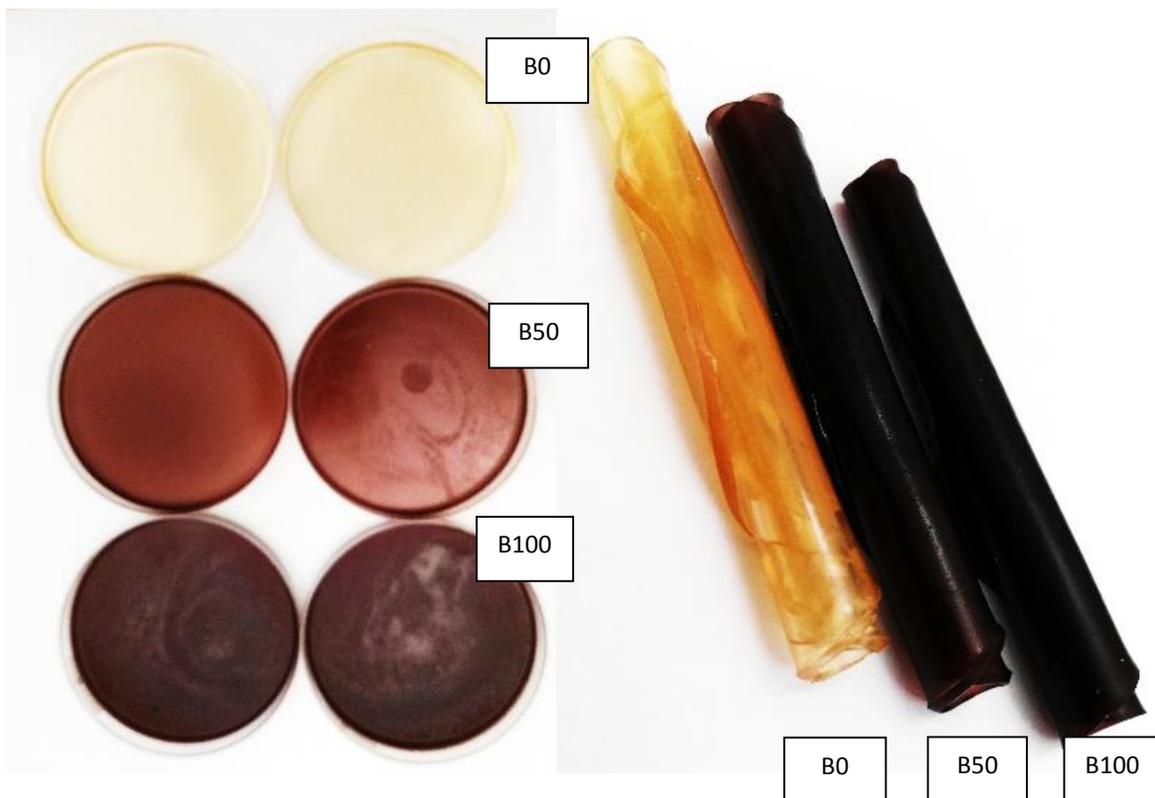


Tabla 29. Parámetros de color de biopolímeros con EHs

	L*	a*	b*	Tonalidad	Cromaticidad
B0	88.33±0.38 ^c	-1.24±0.13 ^a	6.79±0.61 ^b	-1.39±0.0040 ^a	6.90±0.633 ^a
B50	67.06±0.28 ^b	9.51±0.05 ^b	7.69±0.03 ^b	0.68±0.0033 ^c	12.23±0.052 ^b
B100	52.84±1.04 ^a	22.00±0.47 ^c	4.28±0.24 ^a	0.192±0.0115 ^b	22.41±0.469 ^c

Los valores se expresan como medias ± desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativa ($p > 0.05$).

7.4. Reestructurado adicionado con biopolímero con extracto de Jamaica

En la [tabla 30](#) se muestra el contenido de proteínico del reestructurado control, es decir aquel que no tiene biopolímero como película comestible, respecto a los dos reestructurados con biopolímero, donde se observa que no hubo diferencia significativa en el contenido, esto podría deberse a que el biopolímero fue aplicado en una película muy delgada y el contenido de los compuestos como la grenetina no está afectando el valor final del contenido proteínico. Por otro lado, las cenizas tampoco presentan diferencia significativa, sin embargo, los resultados del porcentaje de humedad presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) para el reestructurado con película control, el cual presentó un porcentaje de humedad de 75.67%.

Tabla 30. Análisis bromatológico de reestructurados con biopolímeros comestibles

Reestructurado	% proteína	% humedad	% cenizas
RC	14.14 ^a ±1.55	80.61 ^c ±1.47	0.74 ^a ±0.014
RBC	13.94 ^a ±0.01	75.67 ^a ±0.16	0.70 ^a ±0.06
RBJ	14.38 ^a ±0.18	82.28 ^c ±1.40	0.67 ^a ±0.10

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

RC= control, RBC= reestructurado con biopolímero sin jamaica, RBJ= reestructurado con biopolímero con jamaica

7.5. Análisis del pH

El pH es un parámetro determina en la frescura y calidad de productos acuícolas, éste incrementa como el tiempo de almacenamiento progresa debido usualmente a la disociación del ácido carbónico (Volpe *et al.*, 2015) o bien al crecimiento microbiano. En la [Tabla 31](#) se muestran los resultados de pH de los reestructurados analizados. Los cuales al inicio del estudio (día 1) fueron RC= 6.93 RBC=6.98 y RBJ= 7.09; los resultados son similares al reportado por Hosseini-Shekarabi *et al.* (2014) quienes elaboraron un surimi a base de black mouth croaker con un valor de pH de 7.13.

Tabla 31. pH de reestructurados con biopolímeros respecto al tiempo

Tiempo días	pH*		
	RC	RBC	RBJ
D1	6.932 ^{fA} ±0.006	6.989 ^{dAB} ±0.013	7.098 ^{eB} ±0.021
D5	6.725 ^{eA} ±0.003	6.972 ^{dB} ±0.005	6.984 ^{dB} ±0.005
D7	6.563 ^{dA} ±0.012	6.969 ^{dB} ±0.006	6.992 ^{dB} ±0.002
D9	6.488 ^{cdA} ±0.007	6.851 ^{cB} ±0.003	6.876 ^{cB} ±0.022
D12	6.430 ^{bcA} ±0.005	6.786 ^{cB} ±0.006	6.847 ^{cB} ±0.013
D15	6.345 ^{bA} ±0.005	6.757 ^{cC} ±0.009	6.678 ^{bB} ±0.019
D19	6.183 ^{aA} ±0.006	6.602 ^{bB} ±0.001	6.646 ^{bB} ±0.002
D23	6.169 ^{aA} ±0.004	6.404 ^{aB} ±0.003	6.585 ^{aC} ±0.018

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica.

Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

* Temperatura de 20 °C

Los reestructurados RC y RBJ presentaron diferencias significativas al inicio del estudio ($p < 0.05$). Durante el tiempo de almacenamiento (23 días) las tres muestras presentaron una

disminución significativa en el valor del pH ($p < 0.05$), siendo la muestra RC quien presentó una mayor disminución en un 11% respecto a la muestra RBJ con un 7.2%.

Polizer *et al.* (2015), encontraron valores de pH entre 5.48- 5.81 en la evaluación de nuggets de pollo en los cuales se sustituyó grasa o carne por fibra de chicharos, dichos valores aumentaron al sustituir la grasa y la carne por músculo de pollo, efecto contrario al encontrado en este estudio, debido a que los componentes de los biopolímeros, así como el extracto de jamaica adicionado, podría haber causado la disminución del pH de los reestructurados. Kumar *et al.* (2010) reportaron resultados controvertidos en el análisis de los valores de pH de nuggets de pollo producidas con harina de soja y la piel plátano (1 a 5%), donde no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

7.6. Análisis del color

El color es una característica de valoración física relacionada con la calidad de los alimentos, que puede arrojar información sobre su identidad o la intensidad del sabor, que se ha comprobado que asume un rol decisivo sobre la experiencia de los consumidores al saborear un alimento (Mathias-Retting & Ah-Hen, 2014). Los valores medios de los componentes de color (L^* , a^* y b^*) de los reestructurados se muestran en la [Tabla 32](#). Los resultados expresados para el parámetro L^* indican que la luminosidad disminuyó significativamente ($p < 0.05$) en los tres tratamientos (RC, RBC y RBJ) al final del tiempo de muestreo (día 23), Silva-Ríos *et al.* (2013) realizaron estudios sobre trucha arcoíris almacenada a bajas temperaturas donde observaron el mismo fenómeno de disminución

en el parámetro L* de 88.99-77.13 en un intervalo de días menor (de 1 a 9 días), sin embargo, los reestructurados RBC y RBJ que fueron recubiertos con biopolímero no presentan una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ellos al finalizar el tiempo de almacenamiento. Yang *et al.* (2014), elaboraron surimi a base de carpa herbívora obteniendo valores de entre 82.25 a 81.26, valores por arriba de los obtenidos en este estudio, debido a que los reestructurados presentan un 8% de harina de chía que disminuye la luminosidad de la muestra. Rodríguez-Turienzo *et al.* (2011) colocaron un recubrimiento comestible a base de suero de leche con diversas concentraciones de glicerol y sorbitol sobre filetes de salmón almacenados en refrigeración, observándose que durante el periodo de almacenamiento que al colocar la película e incrementar el porcentaje de sus componentes el valor de L* disminuía, es decir, se hizo más oscuro, lo que coincide con este estudio, lo cual podría sugerir si el uso de recubrimientos comestibles en carne y productos cárnicos disminuye L* haciéndolos más opacos.

El color rojo pardusco de las carnes cocidas está principalmente determinado por la presencia de hemocromos de globina desnaturalizada formados como resultado de las altas temperaturas (Akcan *et al.*, 2017), esto debido al porcentaje (25%) de carne de cerdo de la formulación de los reestructurados, además de presencia de chía y el color rojo de los extractos de jamaica.

Tabla 32. Color de reestructurados cárnicos con biopolímero comestible

Tiempo (Días)	L*			a*			b*		
	RC	RBC	RBJ	RC	RBC	RBJ	RC	RBJ	RBC
D1	64.97 ^{cC} ±0.49	64.32 ^{dB} ±0.21	61.80 ^{dA} ±0.25	1.58 ^{aB} ±0.21	1.28 ^{aA} ±0.03	2.21 ^{aC} ±0.07	13.42 ^{aB} ±0.96	14.01 ^{aC} ±0.49	13.22 ^{aA} ±0.05
D5	64.86 ^{cC} ±0.44	62.91 ^{cB} ±2.30	61.81 ^{dA} ±0.22	1.87 ^{bB} ±0.13	1.34 ^{bA} ±0.02	2.24 ^{abC} ±0.04	13.46 ^{abA} ±0.27	14.07 ^{aB} ±0.85	13.47 ^{bA} ±0.05
D7	63.63 ^{bC} ±2.56	62.89 ^{cB} ±1.45	61.72 ^{dA} ±0.80	2.06 ^{cB} ±0.18	1.5 ^{cA} ±0.29	2.24 ^{abC} ±0.04	13.53 ^{abcA} ±0.21	14.25 ^{bB} ±0.22	13.57 ^{cA} ±0.23
D9	63.34 ^{bC} ±2.61	62.64 ^{cB} ±0.22	61.06 ^{cA} ±1.89	2.09 ^{dB} ±0.14	1.56 ^{dA} ±0.25	2.27 ^{dbc} ±0.06	13.60 ^{bca} ±0.60	14.51 ^{cB} ±0.16	13.57 ^{cA} ±0.18
D12	63.18 ^{bC} ±1.27	62.02 ^{bB} ±1.12	60.92 ^{cA} ±1.88	2.12 ^{dB} ±0.29	1.62 ^{eA} ±0.18	2.41 ^{cC} ±0.03	13.68 ^{cdA} ±0.49	14.66 ^{cB} ±0.40	13.62 ^{cA} ±0.29
D15	63.04 ^{bC} ±0.74	61.57 ^{bB} ±0.88	60.86 ^{cA} ±1.26	2.23 ^{eB} ±0.08	1.63 ^{eA} ±0.12	2.48 ^{dC} ±0.19	13.78 ^{dA} ±0.19	14.94 ^{dB} ±0.24	13.78 ^{dA} ±0.96
D19	62.96 ^{bC} ±0.55	61.56 ^{bB} ±1.40	60.57 ^{bA} ±0.84	2.26 ^{eB} ±0.31	1.67 ^{fA} ±0.07	2.54 ^{eC} ±0.26	14.09 ^{eB} ±0.87	15.19 ^{eC} ±0.23	13.80 ^{dA} ±0.38
D23	61.47 ^{ab} ±1.52	60.21 ^{aA} ±0.87	59.73 ^{aA} ±1.73	2.47 ^{fB} ±0.26	1.92 ^{gA} ±0.16	2.58 ^{fC} ±0.25	14.44 ^{fB} ±0.47	15.52 ^{fC} ±0.27	13.92 ^{eA} ±0.59

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica.

Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

El enrojecimiento de las muestras, determinado por el parámetro a^* también presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras RC, RBC y RBJ desde el inicio, con valores de $RC=1.58$, $RBC=1.28$ y $RBJ = 2.21$ hasta el día 23 (final) con valores de $RC=2.47$, $RBC= 1.92$ y $RBJ = 2.58$ donde se observó un incremento significativo para este valor de a^* , misma situación que presenta Akcan *et al.* (2017) en albóndigas cocidas adicionadas con recubrimiento comestible a base de suero de leche adicionada con laurel y salvia, donde obtuvo valores de 4.99 al inicio, que después se incrementaron hasta 5.41. En estudios con carpa herbívora donde se elaboraron surimis con diferentes tiempos de pre incubación se obtuvieron valores para a^* de -1.407 a -0.798 (Yang *et al.*, 2014), lo que representa que sus muestras tendían al color verde, mientras que las nuestras al tener valores positivos tendieron a la coloración rojiza.

En el caso del parámetro b^* se muestra el mismo fenómeno que ocurrió en el parámetro a^* donde el amarillamiento de los tres restructurados (RC, RBC y RBJ) presentaron una diferencia significativa con el paso del tiempo de almacenamiento esto por muestra y entre las muestras. Yang *et al.* (2014) al estudiar surimi de carpa herbívora obtuvo valores para este parámetro de 10.82 hasta 11.20, lo que significa que sus muestras presentaron un color menos amarillo, y las nuestra con valores superiores a los 13, tendieron a una coloración más amarilla.

La [Tabla 33](#), sitúa los resultados del Índice de blancura (IW por sus siglas en inglés), este parámetro determina que tan blanca u oscura es la muestra, y está íntimamente relacionado con la precepción de calidad de los consumidores. RC, RBC y RBJ al inicio del estudio presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ellos, debido a que dos de ellos

tienen biopolímeros comestibles (RBC y RBJ) y RBJ fue adicionado con extracto de *Hibiscus sabdariffa* que confiere una coloración rojiza que visiblemente hace ligeramente más oscuro al reestructurado. Los tres reestructurados presentan disminución significativa ($p < 0.05$) del índice blancura entre el día 1 y día 23 de almacenamiento, siendo RC la muestra que disminuyó en un 5.9% respecto a las muestras con biopolímero. Al finalizar el almacenamiento en el día 23. RBC y RBJ no presentan diferencia significativa entre el valor de IW, lo que podría indicar que el biopolímero con y sin extracto de *Hibiscus sabdariffa* está protegiendo de esta pérdida de blancura, no siendo así para RC que presentan diferencia significativa y podría deberse a que no está recubierto. En un estudio realizado con sardina y mackarel donde elaboraron kamaboko se obtuvieron IW con valores de 60.17 para sardina y 57.80 para mackarel (Chaijan *et al.* 2004), donde se observa que los valores que los reestructurados a base de carpa y cerdo adicionados con chíá en el inicio de su almacenamiento son similares a los valores que presenta el kamaboko de sardina, lo que nos indica la similitud de blancura, y los valores del día 23 de almacenamiento son similares al calor del kamaboko de mackarel, ambas especies no son pescados blancos.

Otros estudios al analizar surimi a base de carpa herbívora mostraron valores que van de 79.16 a 78.13, este valor disminuyó al incrementar el porcentaje de almidón adicionado (Yang *et al.* 2014), sin embargo, estos valores mencionados son superiores a los obtenidos en este estudio, debido a que el surimi de carpa herbívora fue adicionado con almidón que aporta una coloración más blanquecina, y los reestructurados de esta investigación fueron adicionados con harina de chíá, además de que dos muestras presentan un biopolímero comestible, lo que les confiere una coloración menos blanca. Freitas *et al.* (2015) extrajeron

la proteína de dos especies de pescado (músculo de anchoa y músculo de lobina obteniendo valores de índice de blancura de 69.87 y 73.63 respectivamente, valores superiores a los obtenidos.

Tabla 33. Atributos de color en reestructurados adicionados con biopolímeros comestibles

TIEMPO (Días)	IW		
	RC	RBC	RBJ
D1	62.47 ^{aC} ±0.63	61.65 ^{eB} ±1.31	59.51 ^{dA} ±0.24
D5	62.42 ^{aC} ±0.43	60.30 ^{dB} ±2.37	59.44 ^{dA} ±0.20
D7	61.13 ^{cC} ±0.12	60.22 ^{dB} ±0.29	59.32 ^{dA} ±1.76
D9	60.84 ^{bCC} ±0.15	59.89 ^{dB} ±1.17	58.69 ^{CA} ±1.25
D12	60.66 ^{bCC} ±0.50	59.25 ^{CB} ±1.48	58.54 ^{CA} ±1.89
D15	60.49 ^{bCC} ±0.86	58.73 ^{bCB} ±0.91	58.43 ^{CA} ±1.47
D19	60.31 ^{BB} ±0.73	58.63 ^{BA} ±0.80	58.14 ^{BA} ±0.88
D23	58.78 ^{AB} ±0.45	57.25 ^{AA} ±0.28	57.31 ^{AA} ±0.87

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica. Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa (p<0.05) Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa (p<0.05)

7.7. Análisis de humedad

En la [Tabla 34](#) se muestran el contenido de humedad en los reestructurados RC, RBC y RBJ. El contenido de humedad al inicio para los tres reestructurados fue de RC=84.07, RBC=84.07 y RBJ=84.18 no presenta una diferencia significativa (p <0.05). El % de humedad de RC, RBC y RBJ disminuyó estadísticamente (p <0.05) entre los días de muestreo (1-23 días). Los resultados obtenidos en el día 23 de muestreo fueron para RC=80.20, RBC=80.62 y

RBJ=81.46 presentando diferencia significativa ($p < 0.05$), Chaijan *et al.* (2004) trabajaron con músculo ordinario de sardina y mackarel y obtuvieron resultado similares a los del día 23 para las muestras del presente estudio, sardina= 81.57 y caballa= 79.37, lo que nos indica que los reestructurados de este estudio al finalizar los días de almacenamiento a bajas temperaturas, presentan un porcentaje de humedad muy similar al de un pescado fresco tipo sardina y caballa. Freitas *et al.* (2015), extrajeron proteína de dos tipos de pescado, por un proceso similar al nuestro y obtuvieron valores de humedad de 75.10 % para músculo de anchoa y 79.88 para músculo de lobina, estos resultados son inferiores a los obtenidos en este estudio.

Tabla 34. % Humedad de reestructurados con biopolímeros comestibles

TIEMPO (Días)	% de humedad		
	RC	RBC	RBJ
D1	84.07 ^{gA} ±0.06	84.07 ^{dA} ±0.28	84.18 ^{eA} ±0.52
D5	83.27 ^{fA} ±0.43	83.63 ^{dAB} ±0.35	84.05 ^{eB} ±0.39
D7	82.75 ^{eA} ±0.13	83.61 ^{dB} ±0.09	84.01 ^{eB} ±0.46
D9	82.20 ^{dA} ±0.45	82.71 ^{cB} ±0.47	83.4 ^{dC} ±0.54
D12	82.16 ^{cdA} ±0.12	82.19 ^{bcA} ±0.42	82.57 ^{cA} ±0.68
D15	81.68 ^{cA} ±2.29	82.02 ^{bB} ±0.25	82.19 ^{bB} ±0.47
D19	81.07 ^{bA} ±0.64	81.67 ^{bB} ±1.10	82.12 ^{bB} ±0.45
D23	80.20 ^{aA} ±0.71	80.62 ^{aB} ±0.43	81.46 ^{aC} ±0.70

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica.
 Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)
 Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

7.8. Análisis de acidez

La acidez expresada como porcentaje de ácido láctico en los reestructurados con biopolímeros se muestra en la [Tabla 35](#) en donde se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el porcentaje de ácido láctico presente en las tres muestras en el día 1 de muestreo con valores de RC=0.29, RBC= 0.27 y para RBJ=0.19, misma tendencia se muestra transcurrido el tiempo de almacenamiento (23 días), presentando valores significativamente diferentes ($p < 0.05$) al final del análisis con valores RC=0.37, RBC= 0.33 y para RBJ=0.24.

Tabla 35. Acidez de reestructurados cárnicos con biopolímeros comestibles analizados

TIEMPO (Días)	% Acidez		
	RC	RBC	RBJ
D1	0.29aC±0.001	0.27 aB ±0.02	0.19 aA ±0.01
D5	0.29 aB±0.008	0.28 aB ±0.02	0.20 abA±0.01
D7	0.29 abB±0.051	0.29 abB±0.02	0.21 cA±0.005
D9	0.31 bC±0.005	0.289 abB±0.01	0.21 bcA ±0.01
D12	0.31 bC±0.044	0.3 bcB ±0.01	0.21 cA ±0.00
D15	0.33 cC±0.013	0.3 bcB ±0.01	0.22 dA ±0.01
D19	0.35 dC±0.049	0.31 cB ±0.02	0.219 dA±0.01
D23	0.37 eC±0.018	0.33 dB ±0.01	0.24 eA ±0.01

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica.
 Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)
 Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

7.9. Resultados de contenido de bases volátiles

La calidad de un pescado y de sus subproductos se altera como consecuencia de la combinación de ciertas reacciones químicas, la actividad enzimática endógena y por el crecimiento microbiano, al deteriorarse aparecen compuestos volátiles generalmente en los últimos estadios del deterioro, por lo que la presentación de estas bases volátiles es mínima durante los primeros días de almacenamiento (FAO, 1999). En [Tabla 36](#) se reportan los resultados del contenido de BVT en las tres muestras, donde se observa que al inicio del estudio (día 1) no hay una diferencia significativa entre el contenido de BVT con valores de RC=0.0120, RBC=0.0119 y RBJ=0.0115, sin embargo, existe un aumento significativo ($p < 0.05$) para la muestra RC en el día 23 respecto al inicio (día 1).

Tabla 36. Contenido de bases volátiles totales en reestructurados

Tiempo	RC	RBC	RBJ
	mg de BVT/g		
D1	0.0120 ^{aA} ± 0.0078	0.0119 ^{aA} ± 0.0011	0.0115 ^{aA} ± 0.0087
D5	0.0166 ^{bB} ± 0.0005	0.0123 ^{aA} ± 0.0001	0.0118 ^{aA} ± 0.0005
D7	0.0260 ^{cB} ± 0.0006	0.0126 ^{aA} ± 0.0012	0.0120 ^{aA} ± 0.0006
D9	0.0371 ^{dC} ± 0.0003	0.0156 ^{bB} ± 0.0005	0.0123 ^{aA} ± 0.0004
D12	0.0399 ^{deC} ± 0.0023	0.0183 ^{cB} ± 0.0005	0.0139 ^{bA} ± 0.0005
D15	0.0433 ^{efB} ± 0.0000	0.0203 ^{dA} ± 0.0013	0.0182 ^{cA} ± 0.0006
D19	0.0459 ^{fgC} ± 0.0002	0.0262 ^{eB} ± 0.0470	0.0214 ^{dA} ± 0.0005
D23	0.0475 ^{hC} ± 0.0002	0.0316 ^{fB} ± 0.0241	0.0275 ^{eA} ± 0.0003

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica. Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Yeannes *et al.* (2008) realizaron estudios sobre anchoas durante en procesos de marinado y obtuvieron valores de 116.40 a 59.57 mg/100g, valores superiores a los obtenidos en este estudio, esta variación posiblemente debido al origen marino de las muestras del estudio mencionado, contra el origen acuícola de la carpa común. En otro estudio realizado por Gutiérrez Guzmán *et al.* (2015) donde analizaron tilapia durante almacenamiento en refrigeración obtuvieron resultados de 28.75 a 31.14 TVBN (g N/100 g pescado).

7.10. Resultados de contenido de grupos sulfhídricos

Los sulfhídricos (-SH) son importantes para mantener la estructura de las proteínas nativas, además de desarrollar un papel importante en la formación de estructuras relativamente rígidas como los geles , al mismo tiempo que los cambios de estos grupos en las proteína musculares influyen mucho en el sabor y la textura de los productos cárnicos (Beveridge *et al.*, 1984; Beveridge *et al.*, 1974) además de que la mayoría de los grupos SH están unidos a las proteínas miofibrilares insolubles en agua y la textura de la carne está influenciada por la formación de grupos SS durante el calentamiento (Hofmann & Hamm, 1978). En la [Tabla 37](#), se muestran los resultados de contenido de grupos sulfhídricos (G-SH) a lo largo de los 23 días de análisis de las muestras.

Las tres muestras presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de G-SH entre el día 1 y el día 23 de análisis. Al realizar la comparación al inicio del análisis (día 1) RC muestra un valor de 4.88 siendo diferente significativamente ($p < 0.05$) respecto a RBC=4.71 y RBJ=4.75. Por otro lado, al finalizar los días de análisis (día 23) RC, RBC y RBJ son

estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), siendo RBJ el que presenta el mayor contenido de G-SH con un valor de 3.34.

Tabla 37. Contenido de grupos sulfhídricos

Tiempo	mmol SH/g proteína		
	RC	RBC	RBJ
D1	4.88 ^{fB} ± 0.51	4.71 ^{fA} ± 0.11	4.75 ^{fA} ± 0.49
D5	3.85 ^{eA} ± 0.54	4.46 ^{eB} ± 0.08	4.52 ^{eB} ± 0.23
D7	3.69 ^{eA} ± 0.55	4.32 ^{deB} ± 0.58	4.48 ^{deC} ± 0.05
D9	2.99 ^{dA} ± 0.46	4.19 ^{dB} ± 0.15	4.34 ^{dC} ± 0.20
D12	2.53 ^{cA} ± 0.77	3.71 ^{cB} ± 0.17	3.87 ^{cB} ± 0.31
D15	2.43 ^{bcA} ± 0.56	3.35 ^{bB} ± 0.15	3.56 ^{bC} ± 0.38
D19	2.22 ^{bA} ± 0.83	3.14 ^{ab} ± 0.20	3.45 ^{abC} ± 0.16
D23	1.01 ^{aA} ± 0.08	3.02 ^{ab} ± 0.22	3.34 ^{aC} ± 0.14

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica. Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

7.11. Resultados TPA y esfuerzo al corte

El análisis del perfil de textura (TPA) imita las condiciones a las cuales se somete un alimento durante el proceso de masticación, su relevancia es debido a que la textura es un atributo de calidad que las industrias de los alimentos, tanto en frescos como procesados, evalúan para conocer la aceptabilidad y la calidad, dentro de las características principales sobresale la dureza. Los parámetros de compresión obtenidos con TPA han empleado en carne cocida como índices para determinar la calidad del producto terminado (Torres González *et al.*,

2015). Las propiedades de textura de los reestructurados con biopolímeros comestibles estudiados se muestran en [Tabla 38](#), donde debido a las reacciones de entrecruzamiento entre harina de chíá-proteína, harina-harina, proteína-proteína y el recubrimiento adicionado se requiere más fuerza para romper el gel; el parámetro de dureza al inicio del estudio (día 1) no presenta diferencias significativas entre la muestra RC y RBC, no siendo así al compararla con RBJ, que es significativamente mayor ($p < 0.05$). Al finalizar la prueba (día 23) las tres muestras (RC, RBC y RBJ) son significativamente diferentes ($p < 0.05$) entre ellas. Y finalmente respecto a la dureza RC, RBC y RBJ son diferentes significativamente ($p < 0.05$) de forma individual al comprar los resultados del día 1 con el día 23, donde se observa que RC (día 1)= 1005 y RC (día 23)=566; RBC (día 1)= 998 y RBC (día 23)=805; RBJ (día 1)= 1047 y RBJ (día 23)=859.01. Estudios como el de Yang *et al.* (2014) muestra resultados inferiores para surimi elaborado a base de grass carp adicionada con diferentes concentraciones de almidón con valores que van de los 160 a 250. Álvarez *et al.* (1999) realizó pruebas sobre la degradación de geles de surimi de sardina obtenido valores de 7.38 N(752g) a 50 grados y 6.51N (663g) a 60 grados a 30 min, resultados similares a la dureza obtenida en este estudio al final del almacenamiento.

Tabla 38. Análisis de perfil de textura (TPA) reestructurados cárnicos con película comestible

Muestra	Dureza		Gomosidad		Masticabilidad	
	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)
RC	1005.95 ^{ab} ±12.84	566.56 ^{aA} ±11.85	465.77 ^{abB} ±4.42	169.83 ^{aA} ±8.78	439.22 ^{bB} ±27.00a	182.70 ^{aA} ±2.94
RBC	998.97 ^{ab} ±154.78	805.76 ^{bA} ±90.01	450.19 ^{ab} ±7.22	316.15 ^{bA} ±4.80	383.71 ^{ab} ±76.40	307.61 ^{bA} ±89.45
RBJ	1047.62 ^{bb} ±147.004	859.01 ^{cA} ±104.60	474.32 ^{bb} ±6.25	350.66 ^{cA} ±6.55	405.91 ^{ab} ±76.73	301.23 ^{bA} ±68.82

Muestra	Resiliencia		Cohesividad		Elasticidad		Fibrosidad	
	Inicio (Día 1)	Final(Día23)	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)
RC	0.161 ^{bb} ±0.036	0.137 ^{aA} ±0.035	0.466 ^{ab} ±0.038	0.294 ^{aA} ±0.030	0.942 ^{bA} ±0.039	1.064 ^{cb} ±0.179	7.438 ^{aA} ±0.409	9.129 ^{cb} ±0.478
RBC	0.153 ^{aA} ±0.0036	0.450 ^{bb} ±0.337	0.453 ^{ab} ±0.007	0.381 ^{bA} ±0.012	0.865 ^{aA} ±0.057	0.991 ^{bb} ±0.177	8.863 ^{bb} ±0.559	8.171 ^{aA} ±0.398
RBJ	0.151 ^{aA} ±0.024	0.603 ^{cb} ±0.434	0.456 ^{ab} ±0.035	0.400 ^{cA} ±0.007	0.872 ^{aA} ±0.039	0.865 ^{aA} ±0.025	8.843 ^{bb} ±0.357	8.362 ^{bA} ±0.455

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica.
 Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)
 Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

La masticabilidad es la cantidad de mordidas que se requieren para romper un alimento hasta un tamaño de partícula listo para deglutir y se puede definir como la energía que se requiere para masticar un alimento sólido y transformarlo a un estado listo para ser tragado (Torres González *et al.*, 2015). Los resultados obtenidos de este parámetro para RBC y RBJ al inicio (día 1) y final de la prueba (día 23) no son estadísticamente diferentes por lo que podría presumirse que los biopolímeros comestibles aplicados están contribuyendo a disminuir el valor de masticabilidad, sin embargo, el RC presenta diferencias estadísticas ($p < 0.05$) respecto a RBC y RBJ, que al no tener recubrimiento el valor de masticabilidad (día 1 análisis), sin embargo el descenso del valor de RC al comparar día 1 y día 23 es disminuyo estadísticamente diferente ($p < 0.05$).

La fibrosidad para el RC presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) en los valores obtenidos al inicio (día 1) al compararse con RBC y RBJ, los cuales no fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) en este momento del análisis. Sin embargo, el último día de análisis (día 23) las tres muestras presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con valores de RC=9.1, RBC=8.1 y RBJ=8.3.

La prueba de cizalla Warner Braztler es el método cuantitativo más usado que mide la fuerza en (lb o kg), es decir la resistencia del producto a ser cortado y sirve para determinar la terneza de una carne o producto cárnico, esta se define como la facilidad con la que la carne se puede cortar. A mayor valor de fuerza de corte la terneza es menor. En los resultados mostrados en la [Tabla 39](#), los reestructurados con biopolímeros (RBC y RBJ) al día 1 no presentan diferencia significativa ($p < 0.05$), lo que podría deberse a la aplicación del biopolímero, donde RC presenta un valor de 0.642, significativamente ($p < 0.05$) menor. En el día 23 de prueba (final) RBJ disminuyo significativamente

($p < 0.05$) solamente un 11.8% en el esfuerzo al corte al compararse con RC que disminuyó 27.3% y RBC con una disminución de 26.3. Fogaça *et al.* (2013) analizó muestras de surimi de tilapia obteniendo un valor de resistencia al corte (WB) de 17.2 kPa (0.175 gf/cm²) valor inferior al obtenido para las tres muestras BC, BRC y BRJ que presentan valores por debajo de 0.672 Kg/m². En otro estudio donde se evaluaron salchichas adicionales con diversos vegetales tales como chile, zanahoria, espinacas y hongos, Syuhairah *et al.* (2016) obtuvieron valores la WB de en un intervalo de 0.36-1.80 kg, donde ellos observaron que al incrementar el porcentaje de vegetal adicionado el esfuerzo al corte (WB) fue disminuyendo. En otro estudio donde se extrajeron las proteínas de dos tipos de pescado en músculo de anchoa y músculo de pescadilla se observaron resultados muy diferentes entre ellos, 1.4 N (142.76 gf) para anchoas y 21.53N (2194.44gf) para pescadilla, de acuerdo a los autores esto puede deberse a la habilidad de formación de gel debido al origen de una y otra proteína, así como la integridad de la proteína y los enlaces formados durante el tratamiento térmico.

Tabla 39. Análisis de esfuerzo al corte (WB) reestructurados cárnicos con película comestible

Muestra	WB (Kgf/cm ²)	
	Inicio (Día 1)	Final (Día 23)
RC	0.642 ^{ab} ±30.58	0.402 ^{aA} ±49.29
RBC	0.667 ^{bb} ±32.35	0.491 ^{bA} ±60.74
RBJ	0.672 ^{bb} ±72.78	0.592 ^{cA} ±53.3

RC: reestructurado control; RBC: reestructurado con biopolímero control; RBJ: reestructurado con biopolímero adicionado con Jamaica.

Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

7.12. Características de cocción

El rendimiento de la carne reestructurada durante la cocción se muestra en la [Tabla 40](#). A partir de los datos presentados en la tabla se puede inferir que todos los reestructurados cárnicos tuvieron una reducción de diámetro que está directamente relacionada con la cantidad de agua que se pierde durante la cocción. El reestructurado control (C) mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$), y presentó el valor más alto de pérdida por cocción y, como consecuencia, la reducción de diámetro fue mayor, estos resultados concuerdan con Angiolillo *et al.* (2015), donde ellos realizaron hamburguesas de res adicionadas con fructooligosacáridos, inulina y avena, y obtuvieron resultados similares. Este reestructurado no tenía biopolímero comestible lo que pudo dar lugar a estos resultados. Por el contrario, los dos reestructurados adicionados con biopolímero comestible con y sin extracto de jamaica presentaron un valor de reducción de diámetro y pérdida de cocción más bajo, muy probablemente debido a las propiedades de la fibra de harina de chía en combinación con la adición de biopolímeros comestibles lo que coadyuvo a retener el agua durante la cocción. Los reestructurados adicionados con biopolímeros comestibles expusieron los valores más altos para el rendimiento de cocción, lo que sugiere que la fibra tiene la capacidad de crear puentes de hidrógeno con el agua y de esta manera, se podría retener la humedad y mantener la carne se seque durante la cocción, además del efecto protector del biopolímero, que podría coadyuvar para evitar que el reestructurado pierda humedad, esto debido a la capacidad del suero de leche presente en el biopolímero que tiene la capacidad de enlazar moléculas de agua junto con la fibra.

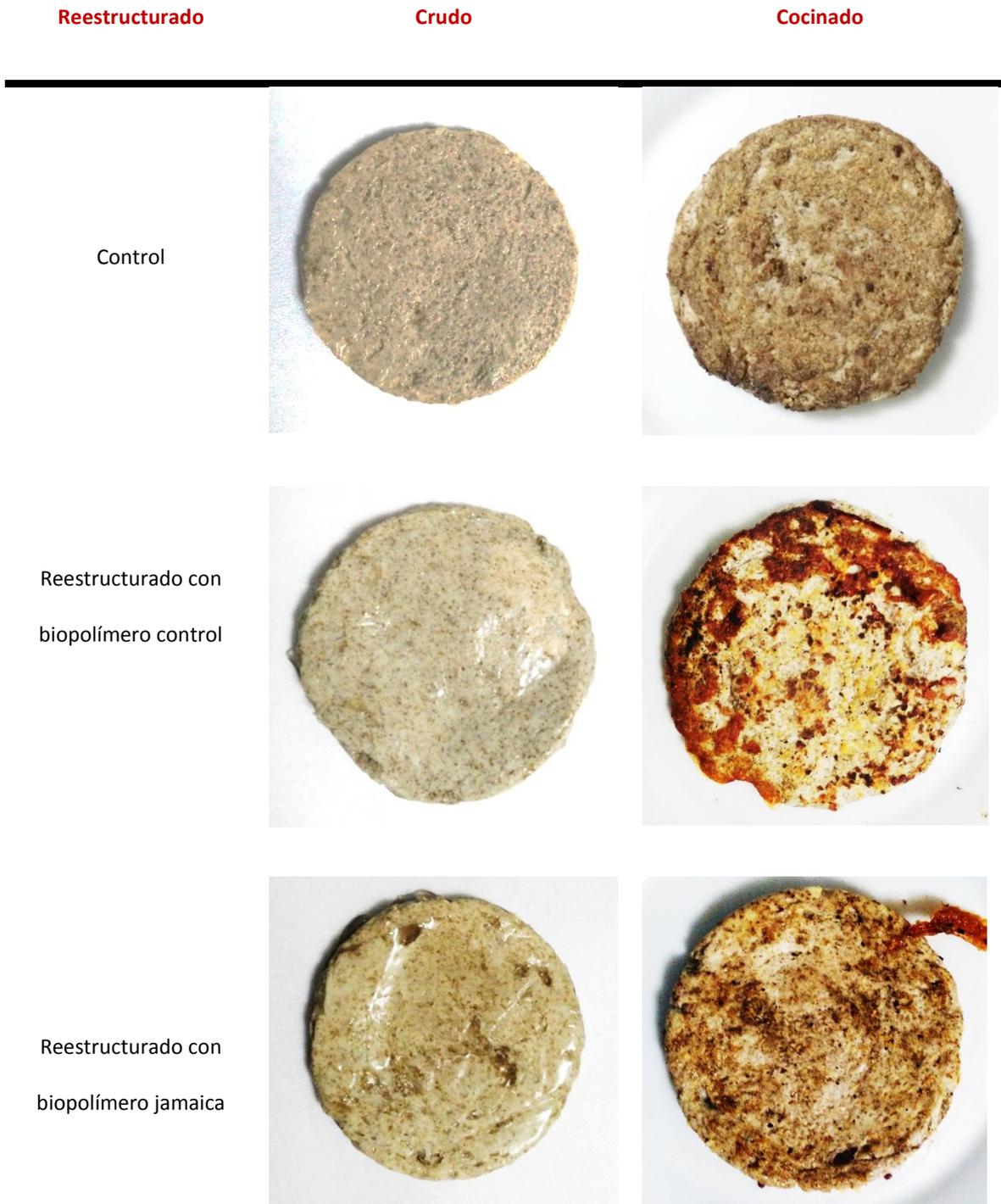
Tabla 40. Rendimiento, reducción de diámetro y pérdida por cocción de reestructurados con biopolímeros

Reestructurado	Rendimiento de cocción	Reducción de diámetro %	Pérdida por cocción
RC	74.1 ^a ±0.76	11.86 ^b ±1.22	25.88 ^b ±0.76
RBC	82.80 ^b ±0.59	7.23 ^a ±0.83	17.19 ^a ±0.59
RBJ	84.59 ^b ±0.89	8.66 ^a ±0.65	15.40 ^a ±0.89

Promedios en la misma columna con diferente letra presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Estos resultados están concuerdan otros trabajos sobre reestructurados cárnicos que contienen fibras (Angiolillo *et al.*, 2015; Trout *et al.*, 1992). La capacidad de la fibra y el biopolímero comestible para retener el agua y mejorar el rendimiento de cocción de estos reestructurados los hizo más jugosos y mejora de las características de cocción de los reestructurados con biopolímeros comestibles investigados. En la [Figura 29](#) se pueden apreciar los reestructurados en crudo y una vez que fueron cocinados.

Figura 29. Reestructurados cárnicos con y sin biopolímeros crudos y cocinados.



7.13. Análisis electroforético con geles de concentración estándar (SDS-PAGE)

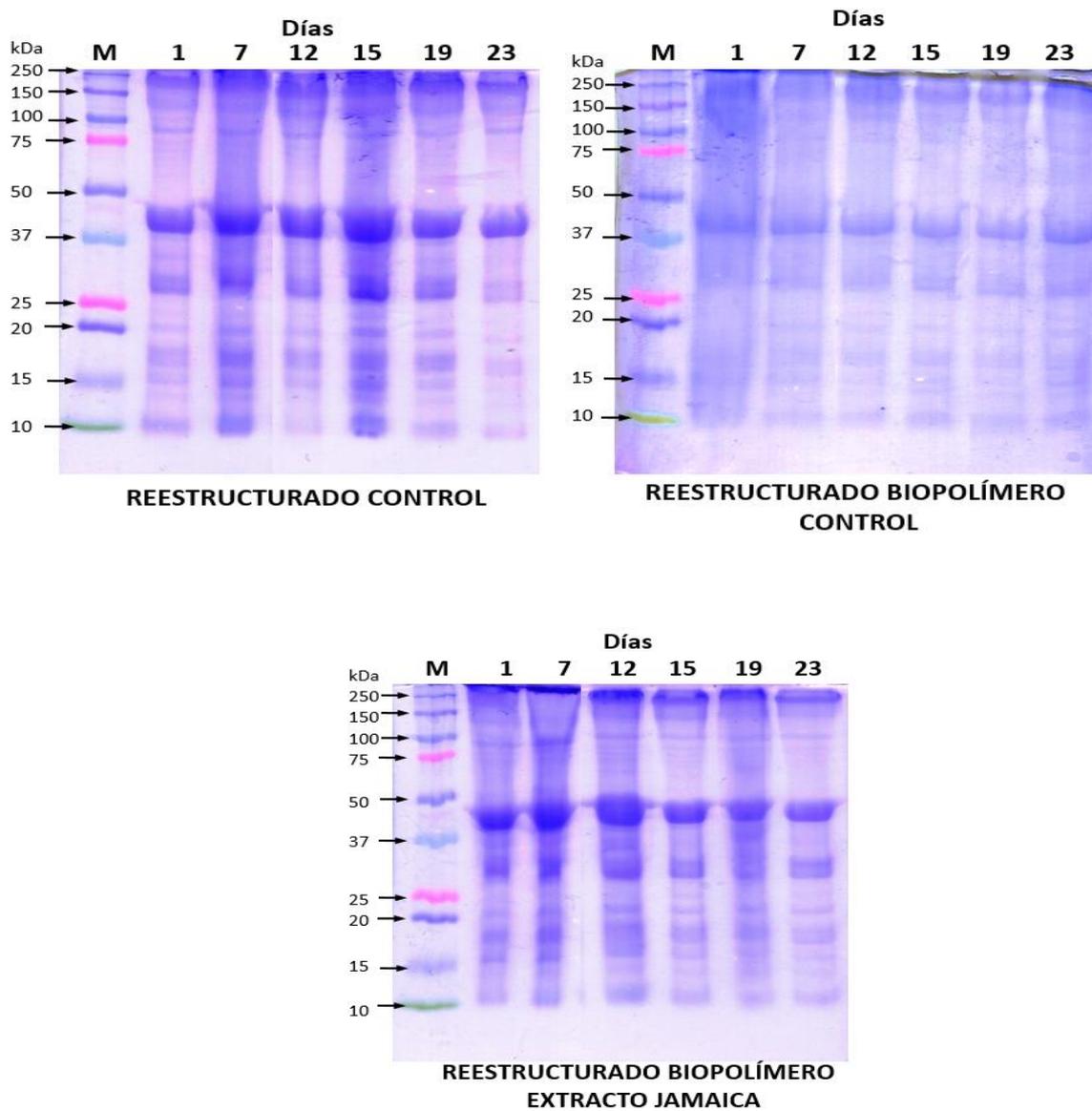
El análisis electroforético es una técnica que tiene como objetivo la separación de moléculas de proteínas en una mezcla a través de un campo eléctrico. Estas proteínas migran a una velocidad que está determinada por su relación carga-masa. Esta electroforesis se realiza bajo condiciones desnaturalizantes puesto que el dodecilsulfato de sodio (SDS) un detergente aniónico, rompe los enlaces que mantienen la conformación nativa de la proteína y otorga carga negativa, con ello se homogenizan las proteínas de la muestra y todas migrarán hacia el polo positivo, y sólo se separarán por tamaño.

El principio de la electroforesis consiste en la migración proporcional de las moléculas a través de un gel u otro tipo de matriz porosa, según su peso molecular o tamaño; movimiento generado por el campo eléctrico (Lodish *et al.*, 2005).

En la [figura 30](#) se muestran los geles con las muestras de los reestructurados, donde se puede observar que al transcurrir el tiempo de almacenamiento para el caso del reestructurado control (RC) la presencia de una tercer banda de aproximadamente de 180 KDa, misma banda que aparece en las muestras con recubrimiento de los días 12 al 23, lo que podría decir que existe una ligera degradación de la miosina al transcurrir el tiempo de almacenamiento, logrando el recubrimiento disminuir esta degradación. Para las muestras que contienen recubrimiento con extracto, se observan solo 2 bandas lo que podría decirse que el recubrimiento con el extracto logra disminuir el efecto de degradación quizá por acción enzimática o microbiana. En todos los casos se observa la

aparición de bandas de bajo peso molecular, proceso de degradación común que se lleva a cabo durante el almacenamiento. Lo que se podría decir es que ambos recubrimientos sin y con logran tener un buen efecto protector durante el tiempo de almacenamiento, pero con el recubrimiento adicionado con extracto no se observó hasta el final del almacenamiento.

Figura 30. Electroforesis en geles de poliacrilamida en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE)



7.14. Análisis microbiológico

En la [gráfica 6 y tabla 41](#) y [gráfica 7 y tabla 42](#) se puede observar que los tratamientos con biopolímeros tuvieron un efecto inhibitor ($p < 0.05$) durante el tiempo de almacenamiento no habiendo diferencia significativa al final del almacenamiento para ambos recubrimientos, no siendo así con el control el cual presentó crecimiento microbiano desde los primeros días de almacenamiento.

Gráfica 6. UFC/g para hongos y levaduras

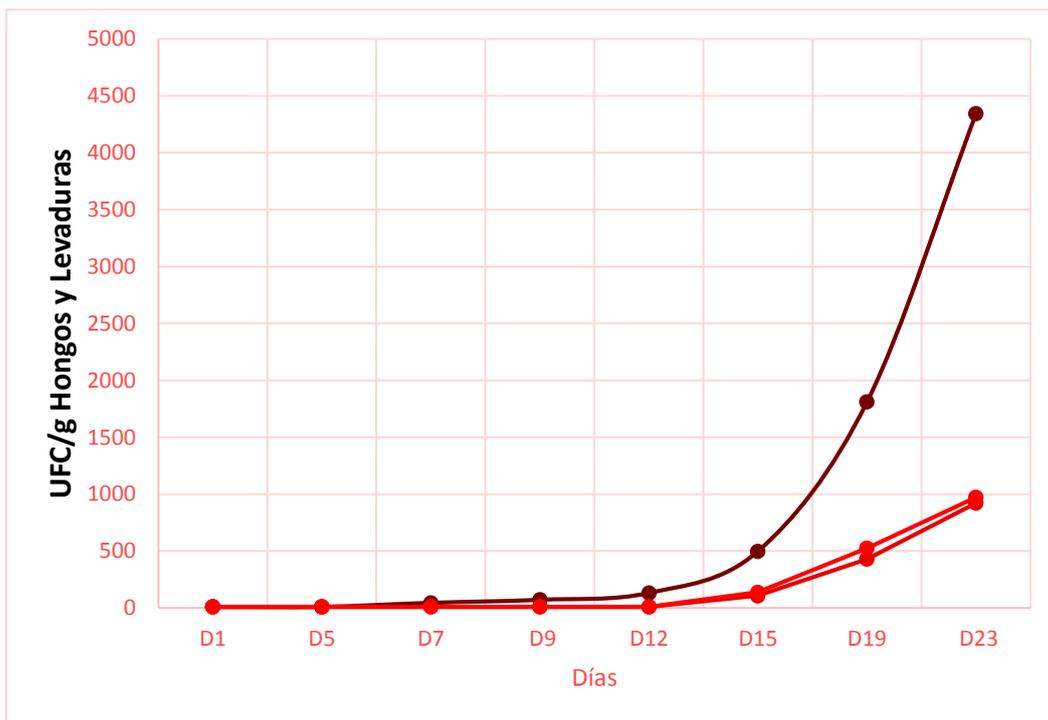


Tabla 41. UFC/g para hongos y levaduras

Hongos y levaduras

<i>Días</i>	<i>RC</i>	<i>RBC</i> UFC/g	<i>RBJ</i>
D1	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E
D5	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E
D7	45 ^{aB} ±2	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E
D9	72 ^{aB} ±4	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E
D12	132 ^{aB} ±8	10 ^{aA} ±0 V.E	10 ^{aA} ±0 V.E
D15	499 ^{bC} ±9	107 ^{bA} ±21	138 ^{bB} ±6
D19	1811 ^{cC} ±12	429 ^{cA} ±62	525 ^{cB} ±22
D23	4344 ^{dB} ±33	922 ^{dA} ±76	972 ^{dA} ±41

Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa (p<0.05)

Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa (p<0.05)

Los biopolímeros, al ser una matriz conformada por los diversos polímeros (suero de leche, inulina, gretina y glicerol), además del extracto de *Hibiscus sabdariffa* para RBJ, podrían estar actuando como inhibidores microbianos en parte por la presencia del suero de leche, ya que algunas investigaciones hacen referencia que puede funcionar como un antimicrobiano, esto aunado a que la Jamaica presenta en su composición antocianinas las cuales son catalogados como antimicrobianos, asimismo, probablemente el bajo pH de la jamaica, como lo reportan Fernandes *et al.* (2017), Abdallah (2016), Borrás-Linares *et al.* (2015), Da-Costa-Rocha *et al.* (2014), Bokaeian *et al.* (2014), Martínez-Flores *et al.* (2002). Por lo que el uso de estos biopolímeros como un coadyuvante para la conservación de alimentos podría tener un uso potencial para su conservación,

ya que, al ser de fuentes naturales, no impactaría al medio ambiente, dado que son compuestos biodegradables.

Gráfica 7. UFC/g para mesófilos

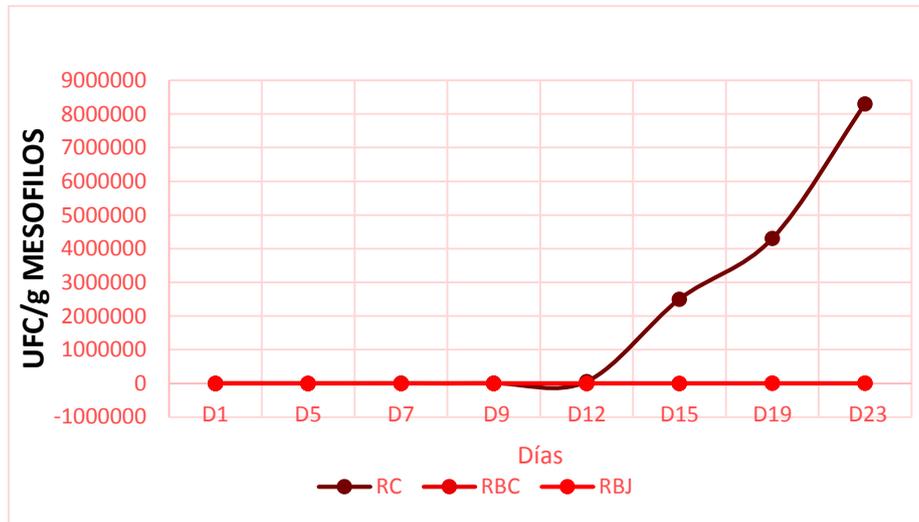


Tabla 42. UFC/g para mesófilos

Días	Mesófilos		
	RC	RBC UFC/g	RBJ
D1	10 ^{aA} ± 0 V.E	10 ^{aA} ± 0 V.E	10 ^{aA} ± 0 V.E
D5	10 ^{aA} ± 0 V.E	10 ^{aA} ± 0 V.E	10 ^{aA} ± 0 V.E
D7	1286 ^{aB} ± 41	10 ^{aA} ± 0 V.E	10 ^{aA} ± 0 V.E
D9	3904 ^{aB} ± 19	10 ^{aA} ± 0 V.E	10 ^{aA} ± 0 V.E
D12	54700 ^{aB} ± 29	140 ^{abA} ± 6	63 ^{bA} ± 2
D15	2.50E+06 ^{bB} ± 24	255 ^{bA} ± 8	224 ^{cA} ± 15
D19	4.30E+06 ^{cB} ± 50	1139 ^{cA} ± 21	923 ^{dA} ± 12
D23	8.3E+06 ^{dAB} ± 95	1347 ^{dA} ± 32	982 ^{eA} ± 28

Promedios en la misma columna con diferente letra minúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Promedios en la misma fila con diferente letra mayúscula presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

8. Conclusiones

Este estudio demuestra que el desarrollo de biopolímeros a base de subproductos naturales, pueden formar redes tridimensionales, las cuales pueden servir como vehículos para diversos compuestos, en este caso antioxidantes y antimicrobianos de hibiscus, los cuales tuvieron un efecto benéfico en un restructurado cárnico, ya que mantuvo estable las propiedades fisicoquímicas, texturales y microbiológicas por largo periodo de almacenamiento en refrigeración a 5°C (hasta 23 días), por lo que el uso de estos biopolímeros como un coadyuvante para la conservación de alimentos podría tener un uso potencial para su conservación, ya que al ser de fuentes naturales, no impactaría al medio ambiente, dado que son compuestos biodegradables.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abdallah, E.M. (2016). Antibacterial activity of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces against hospital isolates of multidrug resistant *Acinetobacter baumannii*. *Journal of Acute Disease*, 5(6) 512–516.
- Abdel-Aal, E.S.M. and Hucl, P. (1999). A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats. *Cereal Chemistry*, 76(3), 350-354.
- Adarwi, M.S.M and Newsholm, E.U. (1985). Fuel utilization in colonocytes of the rat. *Biochem J*, 231 (1), 713-20.
- Akarpat, A., Turhan, S., and Ustun, N.S. (2008). Effects of hot-water extracts from myrtle, rosemary, nettle and lemon balm leaves on lipid oxidation and color of beef patties during frozen storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 32 (1), 117–132.
- Akcan, T., Estevez, M. and Serdaroglu, M. (2017). Antioxidant protection of cooked meatballs during frozen storage by whey protein edible films with phytochemicals from *Laurus nobilis* L. and *Salvia officinalis*, *LWT - Food Science and Technology* 77 (1) 323 -331
- Aksu, M.I. and Ozer, H. (2013). Effects of lyophilized water extract of *Satureja hortensis* on the shelf life and quality properties of ground beef. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37 (1), 777–783.
- Ali, B.H., Al Wabel, N. and Blunden, G. (2005). Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: a review. *Phytotherapy Research*, 19 (5), 369–375.
- Alp, E. and Aksu, M.I. (2010). Effects of water extract of *Urtica dioica* L. and modified atmosphere packaging on the shelf life of ground beef. *Meat Science*, 86 (1), 468–473.

- Álvarez, C., Couso, I. and Tejada, M. (1999). Thermal gel degradation (Modori) in sardine surimi gels. *Journal Food Science* 64(4): 633–637
- Alzamora, S. (1997). Preservación I. Alimentos conservados por factores combinados. En: Temas en Tecnología de Alimentos. Ed. Aguilera J. M.; Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 45-88.
- Andzi Barhe, T. and Feuya Tchouya, G.R. (2016). Review: Comparative study of the anti-oxidant activity of the total polyphenols extracted from *Hibiscus Sabdariffa* L., *Glycine max* L. Merr., yellow tea and red wine through reaction with DPPH free radicals. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(1), 1–8.
- Andzi Barhe', T. and Feuya Tchouya, G.R. (2016). Review: Comparative study of the anti-oxidant activity of the total polyphenols extracted from *Hibiscus Sabdariffa* L., *Glycine max* L. Merr., yellow tea and red wine through reaction with DPPH free radicals. *Arabian Journal of Chemistry*, 9 (1), 1–8.
- Angiolillo, L., Conte, A. and Del Nobile, M.A. (2015). Technological strategies to produce functional meat burgers. *LWT - Food Science and Technology*, 62 (1) 697-703.
- Ansorena, D. and Astiasarán, I. (2004). Effect of storage and packing on fatty acid composition and oxidation in dry fermented sausages made with added olive oil and antioxidants. *Meat Science*, 67(1), 237-244.
- Archer, B. J., Johnson, S. K., Devereux, H. M. and Baxter, A. (2004). Effect of replacement by inulin or lupin-kernel fibre on sausage patty acceptability, post-meal perceptions of satiety and food intake in meat. *The British Journal of Nutrition*, 91: 591- 599.
- Arihara, K. (2004). Functional foods. In *Encyclopedia of Meat Sciences*. Jensen, W.; Devine, C. and Dikemann, M. (Eds.). Vol. I, pp. 492-499. London, UK: Elsevier Science Ltd.

- Arizmendi-Cotero, D. (2012). Efecto de antioxidantes de zarzamora (*Rubus spp*) y mezclas de proteínas de tres especies acuáticas, sobre las características fisicoquímicas y texturales de un gel prototipo tipo surimi (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México. Mexico.
- Ayerza, R. and Coates, W. (2006). Chía: redescubriendo un alimento de los aztecas. 1st edn. Buenos Aires: Nuevo Extremo, S.A.
- Baillie, R. A., Takada, R., Nakamura, M. and Clarke, S. D. (1999). Coordinate induction of peroxisomal acyl-CoA oxidase and UCP-3 by dietary fish oil: a mechanism for decreased body fat deposition. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 60 (5-6), 351-356.
- Banerjee, R., Verma, A.K., Das, A.K., Rajkumar, V., Shewalkar, A.A. and Narkhede, V. (2012). Antioxidant effects of broccoli powder extract in goat meat nuggets. *Meat Science*, 91 (1), 179–184.
- Bertullo, V.H. (1948). Inspección Sanitaria del Pescado. Ministerio de Ganadería y Agricultura. Dirección de Ganadería. Imprenta Artigas S.C. Montevideo. pp. 54-66.
- Besbes, S., Attia, H., Deroanne, C., Makni, S. and Blecker, C. (2008). Partial replacement of meat by pea fiber and wheat fiber: effect on the chemical composition, cooking characteristics and sensory properties of beef burgers. *Journal of Food Quality*, 31 (4), 480–489.
- Beveridge, T., Jones, L., and Tung, M.A. (1984). Progel y formación de gel y reversibilidad de gelificación de geles de proteína de suero, soja y albúmina. *J. Agric. Comida Chem.*, 32 (2), 307-313
- Fogaça, F.H.S., Trinca, L.A., Bombo, A.J. and Sant'ana, L.S. (2013). Optimization of the surimi production from mechanically recovered fish meat (MRFM) using response surface methodology, *Journal of Food Quality* 36 (1) 209–216
- Beveridge, T., Toma, S.J. and Nakai, S. (1974). Determination of SH- and SS- groups in some food proteins using Ellman's reagent. *Journal of food science*, 39(1) 49-51

- Billman, G. E., Hallaq, H and Leaf, A. (1994). Prevention of ischemia-induced ventricular fibrillation by omega 3 fatty acids. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 91 (10), 4427-4430.
- Biswas, A.K., Charli, M.K. and Sahoo, J. (2012). Antioxidant potential of curry (*Murraya koenigii* L.) and mint (*Mentha spicata*) leaf extracts and their effect on colour and oxidative stability of raw ground pork meat during refrigeration storage. *Food Chemistry*, 133 (1), 467–472.
- Bokaeian, M., Sheikh, M., Shahi, Z. and Saeidi, S. (2014). Antimicrobial activity of *Hibiscus sabdariffa* L. extract against human pathogen, *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(2), 433-439.
- Boles, J. A. and Shand, P. J. (1999). Effects of raw binder system meat cut and prior freezing on restructured beef. *Meat Science*. 53 (4), 233-239.
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Romana, D., Palmeros-Suárez, P.A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., Fernández-Gutiérrez, A., Gómez-Leyvac, J.F. and Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69 (1) 385–394.
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Romana, D., Palmeros-Suárez, P.A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., Fernández-Gutiérrez, A., Gómez-Leyvac, J.F. and Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69 (1) 385–394.
- Bósquez Molina E. (2003). Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón

persa (*Citrus latifolia* Tanaka) (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Metropolitana. México.

Brewer, M.S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10 (4), 221–247.

Briefing , B. (1999). n-3 Fatty Acids and Health. London: British Nutrition Foundation.

Brown, A. J., Roberts, D. C. K. and Truswell, A. S.(1989). Fatty acid composition of Australian marine finfish: A review. *Food Australia*, 41, 655–666.

Burcharles, C., Davdin, J.D., Denoyer, C., Girard, J.P, Goutefongea, R. Laroche, M., Maillard, T. y Ramihone, M. (1991). Tecnología de la carne y de los productos carnicos. España: Acribia. 269-273, 283-285.

Cáceres, E., García, M. L., Toro, J. and Selgas, M. D. (2004). The effect of fructooligosacharides on the sensory characteristics of cooked sausages. *Meat Science*, 68, 87-96.

Cahill, J. (2003). Ethnobotany of Chía, *Salvia hispánica* L. (Lamiaceae). *Economic Botany*, 57(4), 604-618.

Camarero, T. J. (2006). Manual didáctico de cocina. Tomo II. España: Innovación y Cualificación, S.L. p. 553.

Cambero, M. I., López, M. O., García de Fernando, G. D., de la Hoz, L. and Ordoñez, J. A. (1991). Restructured meats II. Manufacture and marketing. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 31 (4), 447-458.

Cao, Y., Gu, W. , Zhang, J., Chu, V, Ye, X., Hu, Y. and Chen, V. (2013). Effects of chitosan, aqueous extract of ginger, onion and garlic on quality and shelf life of stewed-pork during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 141 (1), 1655–1660.

- Capitani, M.I, Spotorno, V., Nolasco, S.M. and Tomás, M.C. (2012). Physicochemical and functional characterization of by-products from chía (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT-Food Science and Technology*, 45 (1), 94-102.
- Caro Velarde, F.J., Machuca Sánchez, M.L. and Flores Berrios (2012). El cultivo de jamaica en Nayarit. 2da edición, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México.
- Cassens, R. G. (1999). Contribution of meat to human health. In: Proceeding 45th International Congress of Meat Science and Technology. Vol. II, pp. 642-648. Yokohama. Japón.
- Castro-Gonzalez, M.I., Maafs-Rodríguez, A.G and Perez-Gil Romo, F. (2012). Evaluación de diez especies de pescado para su inclusión como parte de la dieta renal, por su contenido de proteína, fósforo y ácidos grasos. *Archivos latinoamericanos de nutrición, Órgano Oficial de la Soiedad Latinoamericana de Nutrición*, 62 (2), 127-136.
- Cervera Fantoni, A.L. (2003). Envase y embalaje: la venta silenciosa (2da edic). Madrid: ESIC.
- Chaijan, M., Benjakul, S., Visessanguan, W. and Faustman, C. (2004). Characteristics and gel properties of muscles from sardine (*Sardinella gibbosa*) and mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) caught in Thailand, *Food Research International* 37 (1) 1021–103.
- Chandalia, M., Garg, A., Lutjohan, D., Von Bergmannn, K., Grundy, S.M. and Brinkley, L.J. (2000). Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *N Engl J Med*, 342(19), 1392-8.
- Chin, K. B., Keeton, J. T., Longnecker, M. T. and Lamkey, J. W. (1999). Utilization of soy protein isolate and konjac bleds in a low-fat bologna (model system). *Meat Science*, 53, 45-57.
- Chin, K. B., Keeton, J. T., Miller, R.K., Longnecker, M. T. and Lamkey, J. W. (2000). Evaluation of konjac bleds and soy protein isolate as fat replacements in low-fat bologna. *Journal of Food Science*, 65 (5), 756-763.

- Choi, Y., Choi, J., Han, D., Kim, H., Lee, M., Lee, E., Lee, E., Jeong, J., Paik, H. and Kim, C. (2008). Effects of rice bran fiber on quality of low-fat tteokgalbi. *Food Science and Biotechnology*, 17 (5),959–964.
- Chow, C. K. (2007). Fatty acids in foods and their health implication. 3th edn. USA: CRC Press, 1045.
- Cobiac, L. (2000). Could red meat be a functional food of the future? In Marketing/ Communication Workshop, 6-7. International Meat Secretariat and hosted by The Meat and Livestock Commission, PO Box 44, Winterhill House, Winterhill, Milton Keynes MK6 1AX, UK.
- Codex (2009). Report on the 30th session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. ALINORM 09/32/26, Appendix II (p. 46). [Online] Available from <www.codexalimentarius.org/input/download/report/710/al32_26e.pdf> Rome: Codex Alimentarius Commission. [08 august 2016]
- Comisión Europea (2016) Carpa [online] Available from <http://ec.europa.eu/fisheries/marine_species/farmed_fish_and_shellfish/carp/index_es.htm> [27 july 2016]
- Comunidad orgánica (2016). Mitos y realidades del consumo de chía. Comunidad orgánica.com [online] Available from <<http://www.comunidadorganica.com/mitos-y-realidades-del-consumo-de-chia/>> [08 august 2016]
- Córdoba, S.A. (2005). Caracterizacion de propiedades relacionadas con la textura de suspensiones de fibras alimentarias (Tesis doctoral). Universidad Politecnica de Valencia. España.
- Cummings, J.H., Pomare, E.W., Branch, W.J., Naylor, C.P.E. and MacFarlane G.T. (1987). Short chain fatty acids in human large intestine, portal, hepatic and venous blood. *Gut*, 28, 1221-27.

- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I. and Heinrich, M. (2014) Review Hibiscus sabdariffa L. – A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry* 165 (1) 424–443
- Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Paschal, I. and Heinrich, M. (2014). Hibiscus sabdariffa L. – A phytochemical and pharmacological review. *Food Chemistry*, 165(1), 424–443.
- Dangaran, K., Tomasula, P.M. and Qi, P. (2009). Edible Films and Coatings for Food Applications. Chapter 2 Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 31-32
- Decker, E.A. and Parque, Y. (2010). Healthier meat products as functional foods. Número especial: 56º Congreso Internacional de la Carne de Ciencia y Tecnología (ICoMST 56a). *Meat Science*, 86 (1), 49-55.
- Delargy, H.J., O’Sullivan, K.R., Fletcher, R.J. and Blundell, J.E. (1997). Effects of amount and type of dietary fiber (soluble and insoluble) on short term control of appetite. *Int J Food Sci Nutr*, 48(1), 67-77.
- Devatkal, S.K., Thorat, P. and Manjunatha, M. (2014). Effect of vacuum packaging and pomegranate peel extract on quality aspects of ground goat meat and nuggets. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2685-2691.
- Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H. and Severin, C. (2008) Chía: importante antioxidante vegetal. *Agromensajes de la Facultad*. [online] 24(4) Available from <<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/3AM24.htm>> [19 July 2016]
- Dietary guidelines for Americans (2005). U.S. Department of Health and Human Services, and U.S. Department of Agriculture. [online] Available from <<http://www.health.gov/dietaryguidelines/dga2005/document/>> [19 July 2016]

- Docampo, S., Lezcano, M. y Diaz V. (1996) Desarrollo de productos de especies provenientes de la acuicultura. FAO, Informe de Pesca N° 538 Suplemento. [online] Available from <http://books.google.com.mx/books?id=_gBBihLDYY0Candprintsec=frontcoverandhl=esandsource=gbs_ge_summary_randcad=0#v=onepageandqandf=false> [27 July 2016]
- Dong, S. X., and Holley, A. R. (2011). Factors Influencing Gel Formation by Myofibrillar Proteins in Muscle Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* , 10, 33-51.
- Dublán, G.O. (2006). Evaluación de los cambios estructurales y fisicoquímicos del manto de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) durante el almacenamiento en refrigeración o congelación (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Duh, P.D. and Yen, V. (1997). Antioxidative activity of three herbal water extracts. *Food Chemistry*, 60 (4), 639–645.
- Dung, N.X., Khiên, P.V., Nhuân, D.D., Hoid, T.M., Band, N.K., Leclercq, P.A., Muselli, A., Bighellif, A. and Casanova, J. (1999). Composition of the seed oil of *Hibiscus abelmoschus* L. (Malvaceae) growing in Vietnam. *Journal of Essential Oil Research*, 11 (4), 447–452.
- Emiroglu, Z. K., Yemis, G. P., Coskun, B. K., and Candogan, K. (2010). Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. *Meat Science*, 86, 283-288.
- Escobar Hernández, A., Márquez Cardozo, C.J., Restrepo Florez, C.E. and Pérez Córdoba, L.J. (2014). Application of Barrier Technology for the Conservation of Minimally Processed Vegetables Mixtures. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 67(1), 7237-7245.
- Eslaminejad, T. and Zakaria, M. (2011). Morphological characteristics and pathogenicity of fungi associated with Roselle (*Hibiscus Sabdariffa*) diseases in Penang Malaysia. *Microbial Pathogenesis*, 51 (5), 325–337.

- Fabiansson, S.U. (2014). Safety of Food and Beverages: Safety Consideration in Developing Functional Foods. *Encyclopedia of Food Safety*, (3), 422–426.
- Faris Shalayela, M.H., Morad Asaada, A., Ansar Qureshib, M. and Babiker Elhusseinc, A. (2016). Anti-bacterial activity of peppermint (*Mentha piperita*) extracts against some emerging multi-drug resistant human bacterial pathogens. *Journal of Herbal Medicine*, 6 (2),
- Farombi, E.O. and Fakoya, A. (2005). Free radical scavenging and antigenotoxic activities of natural phenolic compounds in dried flowers of *Hibiscus sabdariffa* L. *Molecular Nutrition and Food Research*, 49 (12), 1120–1128.
- Fellegrini, N., Ke, R., Yang, M. and Rice-Evans C. (1999). Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2, 2'-azinobis (3-ethylbenzothiazolyne-6-sulfonic acid radical cation decolorization assay. *Methods in Enzymology*, 299 (1), 379-389.
- Feng, J.; Xiong, Y. L. and Mikel, W. B. (2003). Textural properties of pork frankfurters containing thermally/enzymatically modified soy proteins. *Journal of Food Science*, 68(1), 1220-1224.
- Fennema, O. R., Parkin, K. L., and Domodaran, S. (2010). *Química de los alimentos*. 3a edn. España: Acribia
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J.A., Saraiva, J.A. and Ramalhosa, E. (2017). Review Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties
- Fernández Ginés, J. M.; Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, E.; Sendra, E; Pérez Álvarez, J. A. (2004). Lemon albedo as a new source of dietary fiber: application to bologna sausages. *Meat Science*, 67, 7-13.

- Fernández-López, J., Fernández-Ginés, J. M., Alerón-Carbonell, L., Sayas-Barberá, E., Sendra, E. and Pérez-Álvarez, J. A. (2004). Application of functional citrus by-products to meat products. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 176-185.
- Fernandez-Lopez, J., Sevilla, L., Sayas-Barbera, E., Navarro, C., Marin, F. and Perez-Alvarez, J.A. (2003). Evaluation of the antioxidant potential of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extracts in cooked pork meat. *Journal of Food Science*, 68 (1), 660–664.
- Fideicomisos Instituidos en Relacion con la Agricultura, FIRA (2015). Carne de Porcino 2015, Panorama Agroalimentario. [online] available from <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61951/Panorama_Agroalimentario_Carne_Porcino_2015.pdf> [01 august 2016]
- FMDIABETES.ORG (2015). Fundacion Mexicana de Diabetes A.C. [online] available from <<http://fmdiabetes.org/consumir-pescado-podria-reducir-el-riesgo-de-depresion/>> [27 july 2016]
- Foegeding, E. A. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. Food Chemistry 3rd ed. (Fennema, O.R.) 880-942. New York, E. U.: Marcel Dekker.
- Foegeding, E.A. and Hamman, D.D. (1992). Physicochemical aspects of muscle tissue behavior. Capitulo 8.In: Physical Chemistry of Foods. Eds. Schwartzberg, H.G. and Hartel, R.W. New York: Marcel Dekker. 423-441.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016a). Fisheries and Aquaculture topics. Composition of fish. Topics Fact Sheets. Text by Lahsen Ababouch. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online] available from <<http://www.fao.org/fishery/topic/12318/en>> [27 July 2016]
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016b). Fisheries and Aquaculture topics. Main elements of fish muscle. Topics Fact Sheets. Text by Lahsen Ababouch.

In:FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Available from <<http://www.fao.org/fishery/topic/14825/en>> [27 July 2016]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016c). Fisheries and Aquaculture topics. Proteins from fish and fish products. Topics Fact Sheets. Text by Lahsen Ababouch. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online] available <form <http://www.fao.org/fishery/topic/14869/en>> [27 July 2016]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016d). Fisheries and Aquaculture topics. Nutritional elements of fish. Topics Fact Sheets. Text by Lahsen Ababouch. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online] Available from <<http://www.fao.org/fishery/topic/12319/en>> [27 July 2016]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016e). Fisheries and Aquaculture topics. Post-harvest changes in fish. Topics Fact Sheets. Text by Lahsen Ababouch. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online] Available from <<http://www.fao.org/fishery/topic/12320/en>> [27 July 2016]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016f). Programa de información de especies acuáticas. Cyprinus carpio. Programa de información de especies acuáticas. Texto de Peteri, A. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Disponible en <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/es> [27 July 2016]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2004). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. Manual de capacitación. [online] Available from <<http://www.fao.org/docrep/008/y5771s/y5771s02.htm#bm2.2>>[08 august 2016]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015a). La carne y productos cárnicos. En Departamento de Agricultura y protección del consumidor, producción y

sanidad animal. [Online] Available from <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html> [Accessed 18 august 2015].

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015b). Composición de la carne. En Departamento de Agricultura y protección del consumidor, producción y sanidad animal. [Online] Available from http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html [Accessed 18 august 2015].

Freitas, I. R., Cortez-Vega, W. R. and Prentice, C. (2015). Evaluation of properties of protein recovered from fish muscles by acid solubilization process. *International Food Research Journal* 22(3): 1067-1073. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1999). "El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad". FAO DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA 348. Editado por H.H. Huss, Laboratorio Tecnológico Ministerio de Pesca Dinamarca, 1998. [online] Available from <<http://www.fao.org/docrep/V7180S/V7180S00.HTM>> [14 november 2017]

Galus, S. and Kadzinska, J. (2015). Review: Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science and Technology*, 45 (1), 273-283.

Gao, L., Oomah, B. D., and Mazza, G. (2002). Wheat quality: antioxidant activity wheat millstreams. In P. Ng, and C. W. Wrigley (Eds.), *Wheat quality elucidation*. St. Paul, MN: AACC International, AACC Press. pp. 233

García-Argueta, I., Dublán-García. O., Quintero-Salazar. B., Dominguez-Lopez. A., Gómez-Oliván, L.M. and Salem. A.F. (2013). Effect of lactic acid bacteria on the textural properties of an edible film based on whey, inulin and gelatin. *African Journal of Biotechnology*, 12(19), 2659-2669.

- Garrido, M.D., Auqui, M., Marti, N. and Linares, M.B. (2011). Effect of two different red grape pomace extracts obtained under different extraction systems on meat quality of pork burgers. *LWT — Food Science and Technology*, 44 (1), 2238–2243.
- Gäspérin, L., Čepin, S. and Žlender, B. (2002). The Role of Meat Products as Functional Food. *Tehnolojia mesa*, 43 (3-6), 186-199.
- Gibbon, D. and Pain, A. (1985). Crops of the drier regions of the tropics. (1st Ed.) English Language Book Society, Longman, England.
- Gil, A. (2010) .Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Tomo II. 2nd edn. España: Panamericana
- Gonzalez-Jimenez, F.E. (2010). Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de chía (*Salvia hispanica* L.), mediante electroforesis capilar (Tesis de maestría). Instituto Politecnico Nacional. Mexico.
- Gramza-Michałowska, A., Kobus-Cisowska, J., Kmiecik, D., Korczak, J., Helak, B., Dziedzic, K. and Górecka, D. (2016). Antioxidative potential, nutritional value and sensory profiles of confectionery fortified with green and yellow tea leaves (*Camellia sinensis*). *Food Chemistry*, 211(1), 448–454.
- Gray, I., Reddy, S. K., Price, J. F., Mandegere, A. and Wilkens, W. F. (1982). Inhibition of N-nitrosamines in bacon. *Food Technology*, 36: 39-45.
- Greener, D.I. and Fennema, O. (1989). Evaluation of Edible Bilayer Films for Use as Moisture Barriers for Food. *J. Food Sci.*, 54, 1400-1406.
- Gutiérrez Guzmán, N., Fernández Segovia, I., Fuentes López, A., Ruiz Rico, M., Barat Baviera, J. M. (2015). Physico-Chemical and microbiological changes in commercial tilapia (*Oreochromis niloticus*) during cold storage. *Vitae*, 22(2) 140-147

- Han, J.H. (2014). Edible Films and Coatings: A Review. *Innovations in Food Packaging*, 2da ed. Academic press. 213-255
- Hardy, G. (2000). Nutraceuticals and functional foods: Introduction and meaning. *Nutrition*, 16, 688–697.
- Henderson, R. J. and Tocher, D. R. (1987). The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in Lipid Research*. 26, 281–347.
- Heredia Moreno, A., Jiménez Araujo, A.J., Fernández-Bolaños Gusmán. J., Guillén Bejarano, R. y Rodríguez Arcos, R. (2002). Fibra alimentaria. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), RAYCAR, S.A., Madrid, España.
- Hernández-Carranza, P. (2004). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de yogurt bajo en grasa enriquecido con fibra y calcio de yogurt (Tesis de maestría). Universidad de las Americas Puebla. México.
- Herrera-Vázquez, S.E., Dublán-García, O., López-Martínez, L.X. y Gómez-Oliván, L.M. (2015). Caracterización de una película comestible a base de suero de leche, inulina, gretetina y glicerol. XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. 13 al 15 de mayo de 2015. León, Guanajuato, México.
- Higginbotham, K.L., Burris, K.P., Zivanovic, S., Davidson, P.M. and Stewart, N. (2014). Aqueous extracts of Hibiscus sabdariffa calyces as an antimicrobial rinse on hot dogs against *Listeria monocytogenes* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Food Control*, 40 (1) 274-277.
- Higgs, J. D. (2000). The changing nature of red meat: 20 years of improving nutritional quality. *Trends in Food Science and Technology*, 11(3), 85-95.

- Higgs, J. D. and Mulvihill, B. (2002). The nutritional quality of meat. Meat processing. Improving quality. Kerry, J.; Kerry, J. and Ledward, D. (Eds.). Pp. 65-104. Woodhead Publishing Limited. England.
- Hirunpanich, V., Utaipat, A., Morales, N.P., Bunyaphatsara, N., Sato, H., Herunsalee, A. and Suthisang, C. (2005). Antioxidant effects of aqueous extracts from dried calyx of *Hibiscus sabdariffa* Linn. (Roselle) in vitro using rat low-density lipoprotein (LDL). *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28 (3), 481–484.
- Hofmann, K. and Hamm, R. (1978), Sulfhydryl and Disulfide Groups in Meats. *Advances in Food Research*, 24 (1) 1-111
- Honda, K., Suzuki, M., Numata, M., Nakamura, T., Futamura, Y., Kanamura, Y. and Nagaoka, S. (1999). Effect of dietary protein hydrolyzate in livestock products on the plasma and liver lipid components in rats. *Proceedings in 45th International Congress of Meat Science and Technology*, 2: 698-699.
- Hopkins, D.L. (1981). Protein quality in humans: Assessment and in vitro estimation. Eds. C.E. Bodwell, J.S. Adkins y D.T. Hopkins. Avi Publ. Co., pp. 169-194. Westport, Connecticut.
- Hosseini-Shekarabi, S. P., Hosseini, S. E., Soltani, M., Kamali, A., and Valinassab, T. (2014). A Comparative Study on Physicochemical and Sensory Characteristics of Minced Fish and Surimi from Black Mouth Croaker (*Atrubucca nibe*). *J. Agr. Sci. Tech.* (1) 16, 1289-1300
- Howarth, N.C., Saltzman, E. and Roberts, S.B. (2001). Dietary fiber and weight regulation. *Nutr Rev*, 59(5), 129-39.
- Hoz, L., D'Arrigo, M., Cambero, I. and Ordóñez, J. A. (2004). Development of an n-3 fatty acid and α -tocopherol enriched dry fermented sausage. *Meat Science*, 67, 485-495.
- Huss, H.H. (1995) Quality and quality changes in fresh fish. [online] Available from <<http://www.fao.org/docrep/V7180E/V7180E00.HTM>> Roma: FAO. [27 July 2016]

- ICTIOTERM.ES (2016). Base de datos terminológicos y de identificación de especies pesqueras de las costas de andalucía [online] available from <http://www.ictioterm.es/nombre_cientifico.php?nc=277> [27 july 2016]
- Ismail, A., Ikram, E.H.K. and Nazri, H.S.M. (2008). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seeds nutritional composition protein quality and health benefits. *Food*, 2 (1), 1–16.
- Ixtaina, V.Y., Vega, A., Nolasco, S.M., Tomas, M.C., Gimeno, M., Barzana, E. and Tecante, A. (2010) Supercritical carbon dioxide extraction of oil from Mexican chia seed (*Salvia hispanica* L.): characterization and process optimization. *Journal Supercritical Fluids*, 55, 192–199.
- Iyare, E.E., Adegoke, O.A and Nwagha, U.I. (2010). Mechanism of the decreased food consumption and weight gain in rats following consumption of aqueous extract of the calyx of *Hibiscus sabdariffa* during pregnancy. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, (1)185-188.
- Jenkins, D.J., Axelsen, M., Kendall, C.W., Agustín, L.S., Vuksan, V. and Smith, U. (2000). Dietary fiber, lente carbohydrates and the insulin-resistant diseases. *Br J Nutr*, 83(1), 157S-63S.
- Kaplan, H.J. (1986). Washing, Waxing and Color Adding. En *Fresh Citrus Fruits*. W.F. Wardowski, S. Nagy y W. Grierson, eds., Westport, CT: AVI Publishing Co., pp. 379.
- Kay, R.M. and Truswell, A.S. (1980). Dietary fiber: effects on plasma and biliary acids in man. In: Spiller GA, Kay RM, ed. *Medical aspects of dietary fiber*. New York: plenum Press (3) 77, 153-73.
- Kester, J. J. and Fennema, O. R. (1986). Edible films and coatings: A review. *Food Technology*, 40(12), 47-59.
- Kim, I. S., Yang, M. R., Lee, O. H., and Kang, S. N. (2011). Antioxidant activities of hot water extracts from various spices. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(6): 4120-4131.

- Kim, S.J., Cho, A.R. and 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.
- Kim, S.J., Min, S.C., Shin, H.J., Lee, Y.J., Cho, A.R., Kim, S.Y. and Han, J. (2013). Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef. *Meat Science*, 93 (1), 715–722.
- King, D.E., Mainous, A.G. and Lambourne, C.A. (2012) Trends in Dietary Fiber Intake in the United States, 1999-2008. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112 (5), 642-648.
- Kumar, V., Biswas, A. K., Chatli, M. K., Sahoo, J. (2010). Effect of banana and soybean hull flours on vacuum packaged chicken nuggets during refrigeration storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 46 (1),122-129.
- Kwak, N. S., and Jukes, D. J. (2001). Functional foods. Part 1. The development of a regulatory concept. *Food Control*, 12, 99–107.
- Lee, S.H., Choe, J.H., Choi, Y.M., Jung, K.C., Rhee, M.S., Hong, K.C., Lee, S.K., Ryu, Y.C, Kim, B.C (2012). The influence of pork quality traits and muscle fiber characteristics on the eating quality of pork from various breeds. *Meat*, 90(2), 284–291.
- Leitsner, L. and Gould, G.W. (2002). Hurdle technologies: Combination treatments for food stability, safety and quality. New York, USA: KluwerAcademic/PlenumPublishers.
- Lodish H, Berk A, Matsudaira P, Kaiser C, Krieger M, Scott M, Zipursky L, Darnell J. *Biologia Celular y Molecular*. Quinta edición. Panamericana. Argentina. 2005, 87p
- Lovegrove, J. A., Clohessy, A., Milon, H. and Williams, C. M., (2000). Modest doses of Beta-glucan do not reduce concentrations of potentially atherogenic lipoproteins. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72 (1), 49-55.
- Lovell, R. T.(1991). Nutrition of aquaculture species. *Journal of animal science*, 69 (10), 4193-4200.

- Luna Pizarro, P., Lopes Almeida, E., Cristina Sammán, N. and Kil Chang, Y. (2013). Evaluation of whole chia (*Salvia hispánica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake. *LWT-Food Science and Technology*, 54 (1) 73-79.
- Lureña-Martinez, M. A.; Vivar-Quintana, A. M. and Revilla, I. (2004). Effect of locust bean/xanthan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frackfurters. *Meat Science*, 68: 383-389.
- Lynch, A., Ferry, J.P., O'Sullivan, M. G., Lawlor, J. B. P., Buckley, D. J. and Morrissey, P. A. (2000). Distribution of alpha-tocopherol in beef muscles following dietary alpha-tocopherol acetate supplementation. *Meat Science*, 56 (2), 211-214.
- Maganha, E. G., Halmenschlager, R. D., Rosa, R. M., Henriques, J. A. P., Ramos, A., and Saffi, J. (2010). Pharmacological evidences for the extracts and secondary metabolites from plants of the genus *Hibiscus*. *Food Chemistry*, 118(1), 1–10.
- Mandigo, R. W. (1988). Restructured meats. In "Developments in Meat Science-4. Lawrie, R. (Ed.). pp. 297-315. Elsevier, New York.
- Manzoor, A.S., Sowriappan. J.D.B. and Shabir, A. M. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98 (1), 21–33.
- Martín, L. (2002). Composición química de la carne. Métodos de análisis. In Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos. Martín and Macias. (Eds.). Vol 1. Capítulo, 15. 313-328.
- Martínez, R. (2012). La chía maravillosa. Verdelicias.com [online] Available from <<http://www.verdelicias.com/2012/08/la-chia-maravillosa.html>> [08 august 2016]
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M. y Tuñón, M. J. (2002). Revisión Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutr. Hosp.* 17 (6) 271-278
- Mathias-Retting, K. and Ah-Hen, K. (2014). Color in food as a measurable quality criterion. *Agro Sur*, 42(2), 39-48.

- McKay, D. (2009). Can hibiscus tea lower blood pressure? *AfroFood Industry Hi-Tech*, 20 (6), 40–42.
- McKenna, M. J., Morton, J., Selig, S. E. and Snow, R. J. (1999). Creatine supplementation increases muscle total creatine but not maximal intermittent exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 87, 2244-2252.
- Menrad, K. (2003). Market and marketing of functional food in Europe. *Journal of Food Engineering*, 56, 181–188.
- Mohd-Esa, N., Hern, F.S., Ismail, A. and Yee, C.L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food Chemistry*, 122 (4), 1055–1060.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrilhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity, Songklanakarin. *Journal of Science and Technology*, 26 (2), 211-219.
- Moreno Garcia, B. (2006). Higiene e inspección de carnes. Vol.1. Ediciones Diaz de Santos, Mexico.
- Moreno, G.B. (2003). Higiene e inspección de carnes II.1st edn. España: Díaz de Santos.
- Mossalam, H.H., Aty, O.A.A.E., Morgan, E.N., Youssaf, S.M.S., and Mackawy, A.M.H. (2011). Biochemical and ultra structure studies of the antioxidant effect of aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* on the Nephrotoxicity Induced by organophosphorous pesticide (Malathion) on the adult albino rats. *Life Science Journal*, 8 (5), pp. 561–574.
- Muguerza, E., Ansorena, D., Bloukas, J. G. and Astiasarán, I. (2003). Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on the lipid oxidation and volatile compounds of greek dry fermented sausages. *Journal of Food Science*, 68 (4), 1531-1536.

- Muguerza, E., Fista, G., Ansorena, D., Astiasarán, I. and Bloukas, J. G. (2002). Effect of fat level and partial replacement of pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 61, 397-404.
- Muguerza, E., Gimeno, O., Ansorena, D., Bloukas, J.G. and Astiasarán, I. (2001). Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of Chorizo de Pamplona-a traditional Spanish fermented sausage. *Meat Science*, 59 (1),251-258.
- Murdock, G.P. (1959) Africa, its peoples and their culture history. McGraw-Hill, New York
- Muriel-Galet, V., Cerisuelo, J. P., Lopez-Carballo, G., Lara, M., Gavara, R., and Hernandez-Munoz, P. (2012). Development of antimicrobial films for microbiological control of packaged salad. *International Journal of Food Microbiology*, 157, 195-201.
- Naveena, B.M., Vaithyanathan, S., Muthukumar, M., Sen, A.R. Kumar, Y.P. Kiran, M. Shaju, V.A. and Chandran, K.M. (2013). Relationship between the solubility, dosage and antioxidant capacity of carnosic acid in raw and cooked ground buffalo meat patties and chicken patties. *Meat Science*, 95 (1), 195–202
- NMX-FF-081-2003. Productos pecuarios. Carne de porcino en canal - calidad de la carne - clasificación (Cancela A LA NMX-FF-081-1993- SCFI). Pork products. Carcasses pork flesh. Grading. Normas mexicanas dirección general de normas.
- NOM-027-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- NTRZACATECAS (2016). Identifican compuestos de la flor de jamaica para tratar hipertensión. [online] Available from <<http://ntrzacatecas.com/2016/02/09/identifican-compuestos-de-la-flor-de-jamaica-para-tratar-hipertension/>> [11 august 2016]

- Nussinovitch, A. y Lurie, S. (1995). Edible Coatings for Fruits and Vegetables. *Postharvest News and Information*, 6: 53N-57N.
- Nzikou, J.M., Bouanga-Kalou, G., Matos, L., Ganongo-Po, F.B., Mboungou-Mboussi, P.S., Moutoula, F.E., Panyoo-Akdowa, E., Silou, T.H. and Desobry, S. (2011). Characteristics and nutritional evaluation of seed oil from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in Congo-Brazzaville. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 3 (2), 141–146.
- Olalye, M.T. and Rocha, J.B. (2007). Commonly used tropical medicinal plants exhibit distinct in vitro antioxidant activities against hepatotoxins in rat liver. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 58 (6), 433–438.
- Olivas Orozco, G.I., Gonzalez-Agilar, G.A., Martín-Belloso, O. y Soliva-Fortuny, R. (2012). Películas y recubrimientos comestibles: Propiedades y aplicaciones en alimentos. Ed. Clave. Hermosillo, Sonora. Mexico.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (1999). El pescado fresco: Su calidad y cambios en su calidad. [online] available from <<http://www.fao.org/docrep/V7180S/V7180S00.HTM>> [27 July 2016]
- Organización Mundial de la Salud. (OMS) (2003). Diet, Nutrition and Prevention of chronic diseases. WHO Technical report Series 916.
- Ospina Meneses, S.M., Restrepo Molina, D.A. and López Vargas, J.H. (2011). Derivados cárnicos como alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigación*, 8 (2), 163-172.
- Otten, W., Laizzo, P. A. and Eichinger, H. M. (1997). Effects of a high n-3 fatty acid diet on membrane lipid composition of heart and skeletal muscle in normal swine and in swine with the genetic mutation for malignant hyperthermia. *J. Lipid Res.* 38 (10), 2023-2034.
- Oussalah, M., Caillet, S., Salmieri, S., Saucier, L., and Loicroix, M. (2004). Antimicrobial and antimicrobial effect of milk based protein-based film containing essential oils for the

preservatives of whole beef muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 5598-5605.

Pagliari M, Rossi M (2010) Glycerol: properties and production. In: Pagliaro M, Rossi M (eds) *The future of glycerol*, 2nd edn. The Royal Society of Chemistry, London, pp 1–28

Pappa, I. C., Bloukas, J. G. and Arvanitoyannis, I. S. (2000). Optimization of salt, olive oil and pectine level for low-fat frankfurters produced by replacing pork backfat with olive oil. *Meat Science*, 56 (1), 81-88.

Pastor Navarro, C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. España.

Patras, A., Brunton, N.P., O'Donnell, C., and Tiwari (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3–11

Peet, M. and Stokes, C.(2005). Omega-3 Fatty Acids in the Treatment of Psychiatric Disorders. *Drugs*. 65 (8), 1051-1059.

Peréz- Gago, M. and Krotcha J.M. (2005). Emulsion and By-layer Edible Films. In: *Innovation in Food Packaging*. J.H. Han (Ed.), San Diego, CA: Elsevier Academic Press, pp. 384-402.

Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., Lopez-C ordoba, A. and Goyanes, S. (2017). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 63 (1) 488-495.

Polizer, Y.J., Pompeu, D. and Hirano, M.H. (2015). Development and evaluation of chicken nuggets with partial replacement of meat and fat by pea fibre. *Brazilian Journal of Food Tenhnology*, 18 (1), 62-69.

- Porcella, M. I., Sánchez, G., Vaudagna, S. R., Zanelli, M. L., Descalzo, A.M., Meichtri, L. H., Gallinger, M. M. and Lasta, J. A. (2001). Soy protein isolate added to vacuum-packaged chorizos: effect on drip loss, quality characteristics and stability during refrigerated storage. *Meat Science*, 57, 437-443.
- Price, J.F. and Schweigert, B.S. (1994). *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. Ed. Acribia, Zaragoza.
- Pszczola, D. E. (1998). Addressing functional problems in fortified foods. *Food Technology*, 52(1), 38-46.
- Rababah, T.M., Ereifej, K.I., Alhamad, M.N., Al-Qudah, K.M., Rousan, L.M., Al-Mahasneh, M.A., Al-u'datt, M.H. and Yang, W. (2011). Effects of green tea and grape seed and TBHQ on physicochemical properties of Baladi goat meats. *International Journal of Food Properties*, 14 (1), 1208–1216.
- Ramos, M., Valdés, A., Beltrán, A. and Garrigós, M.C.(2016). Review: Gelatin-Based Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Coatings*, 6 (1), 41.
- Ramos, O.L., Baptista, S., Soares, J.C., Fernandes, J., Pocas, F., Pintado and Malcata, X. (2012). Features and performance of edible films, obtained from whey protein isolate formulated with antimicrobial compounds. *Food Research International*, 45(1), 351-361.
- Resurreccion, A. V. A. (2003). Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science*, 66, 11-20.
- Reyes-Caudillo E., Tecante, A. y Valdivia-López, M.A. (2008). Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chemistry*, 107 (1) 656–663.

- Risso, S., Fernández, S., Ureta, D., Cordoba, O., Balzaretti, V. and Sánchez, E. (2000). Estudio de la composición de la carne de palometa. *La Industria Cárnica Latinoamericana*, 118 (1), 40-45.
- Rodriguez-Turienzo, L., Cobos, A., Moreno, V., Caride, A., Vieites, J.M. and Diaz, O. (2011). Whey protein-based coatings on frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*): Influence of the plasticiser and the moment of coating on quality preservation. *Food Chemistry*, 128 (1) 187–194.
- Romans, J. R., Costello, W. J., Carlson, C. W., Greaser, M. L. and Jones, K. W. (1994). *The meat we eat*. Danville, IL: Interstate Publisher, Inc.
- Rubio Lozano, M.S., Braña Varela, D., Méndez Medina, R.D. and Delgado Suárez, E. (2015). Composición de la Carne Mexicana. [online] Available from <<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Documents/MANUALES%20INIFAP/17.%20Composici%C3%B3n%20de%20la%20Carne%20Mexicana%20Baja%20Res.pdf>> [21 Jun. 2015]
- Saeed, N., Khan, M.R. and Shabbir, M. (2012). Antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid contents of whole plant extracts *Torilis leptophylla* L. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12:221.
- Sagarpa.gob.mx, (2015). Crece consumo per cápita de carne de cerdo: Confederación de Porcicultores Mexicanos. [Online] Available from <<http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B942.asp>> [21 Jun. 2015]
- Salazar, P., Garcia, M.L. and Selgas, M.D. (2009). Short-chain fructooligosaccharides as potential functional ingredient in dry fermented sausages with different fat levels. *International Journal of Food Science and Technology*, 44 (6), 1100–1107.
- Salgado, P. Ortiz, C.M., Musso, Y.S., Di Giorgio, L. and Mauri, A.N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5(1), 86–92.

- Salgado-Cruz, M. P., Cedillo-López D. and Beltrán Orozco M.C. (2005). Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chía (*Salvia hispanica*) y de la fibra dietética obtenida de la misma. VII Congreso Nacional de Ciencia de Alimentos y III Foro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos [online] Available from <<http://www.google.com.mx/url?sa=t&drct=j&dq=vii+congreso+nacional+de+www.respyn.uanl.mx%2Fespeciales%2F...13...%2FCNA53.pdfde+los+alimentos&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CC8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.respyn.uanl.mx%2Fespeciales%2F2005%2Fee-13-2005%2Fdocumentos%2FCNA53.pdf&ei=HQdrUbPMHYi89QT1t4HIBA&usg=AFQjCNGMbN3KKFIoXai-aeDSRPY5TLTgWQ>> [08 august 2016]
- Sano, T., Noguchi, S. F., Matsumoto, J. J., and Tsuchiya, T. (1989). Role of F-actin in thermal gelation of fish actomyosin. *Journal of Food Science*, 54(1), 800-804.
- Santillan-Alvarez, A. (2012). Efecto de la adición de harina de chía (*Salvia hispanica* L.) sobre las características fisicoquímicas, texturales y sensoriales de un gel cárnico a base de carne de carpa común (*Cyprinus carpio*). (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México. Mexico.
- Sayago-Ayerdi, S.G., Arranz, S., Serrano, J. and Goni, I. (2007). Dietary fiber content and associated antioxidant compounds in Roselle flower (*Hibiscus sabdariffa* L.) beverage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (19), 7886–7890.
- Sayago-Ayerdi, S.G., Brenes, A. and Goni, I. (2009). Effect of grape antioxidant dietary fiber on the lipid oxidation of raw and cooked chicken hamburgers. *LWT-Food Science and Technology*, 42(5), 971–976.
- Schaafsma, G. and Slavin, J.L. (2015). Significance of Inulin Fructans in the Human Diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14 (1) 37-47

- Schmidt, S., Canigova, M. and Sevcova, J. (1987). Properties of oils from pressed fruit seeds. *Bulletin-Potravinarskeho-Vyskumu*, 26 (3/4), 289-297.
- Segura-Campos, M.R., Salazar-Vega, I.M., Chel-Guerrero, L.A. and Betancut-Ancona, D.A. (2013). Biological potential of chia (*Salvia hispánica* L.) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods. *LWT-Food Science and Technology*, 50 (1) 723-731.
- Serrano-Cruz, M.R., Villanueva-Carvajal, A., Morales Rosales, E.J., Ramírez Dávila, J.F. and Dominguez-Lopez, A. (2013). Controlled release and antioxidant activity of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract encapsulated in mixtures of carboxymethyl cellulose, whey protein and pectin. *LWT - Food Science and Technology*, 50 (1), 554-561.
- Seydim, A. C., and Sarikus, G. (2006). Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International*, 39(1) , 639-644.
- Sikorski, Z.E. (1990) Tecnología de los productos del mar: Recursos, composición nutritiva y conservación. 1st edn. España:Acribia.
- Silva-Ríos, A., Dublán-García, O., Quintero-Salazar, B., Domínguez- López, A., Gómez-Oliván, L.M., López-Martínez, L.X. and Salem, A.Z.M. (2013). Evaluation of physicochemical, functional and textural properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored at low temperatures. *African Journal of Biotechnology*, 12(32) 5087-5096.
- Sin embargo.mx (2015). Ciudad danesa ordena que la carne de cerdo sea obligatoria. [online] Available from <<http://www.sinembargo.mx/21-01-2016/1603880>> [01 august 2016]
- Sindi, H.A., Marshall, L.J. and Morgan, M.R.A. (2014). Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of Hibiscus Sabdariffa. *Food Chemistry*, 164 (1) 23–29.
- Singh, R., Shushni, M.A.M. and Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of Mentha piperita L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8 (3), 322–328.

- Sloan, A. E. (2000). The top ten functional foods trends. *Food Technology*, 54(1), 33-62.
- Spuch, A.R. y Judis, M.A. (2004) Estudio de la calidad nutricional y susceptibilidad oxidativa de *Ciprinus carpio* cultivados en la region centrochaqueña. [online] Available from <<http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/8-Exactas/E-075.pdf>> Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. [01 august 2016]
- Stansby, M. E. and Hall, A. S. (1967). Chemical composition of commercially important fish of the USA. *Fish Ind Res*, 3(1), 29-34.
- Steenkamp, V., Fernandes, A.C. and Van Rensburg, C.E.J. (2004). Antioxidant scavenging potential of South African export herbal teas. *South African Journal of Botany*, 70 (4), 660–663.
- Sun, X.D. and Holley, R.A. (2012). Antimicrobial and Antioxidative Strategies to Reduce Pathogens and Extend the Shelf Life of Fresh Red Meats. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11 (1), 340-354.
- Sung, S., Sin, L.T., Tee, T.T, Bee, S., Rahmatb, A.R., Rahmanb, W.A.W.A., Tan, A. and Vikhramana, M. (2013). Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 33 (1), 110-123.
- Syuhairah, A., Huda, N., Syahariza, Z.A. and Fazilah, A. (2016). Research article effects of vegetable incorporation on physical and sensory characteristics of sausages, *Asian Journal Poultry Science*, 10 (3) 117-125.
- Tan, H.W., Abdul Aziz, A.R. and Aroua, M.K. (2013). Glycerol production and its applications as a raw material: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27 (1) 118–127
- Tarrant, P. V. (1998). Some research advance and future priorities in research for the meat industry. *Meat Science*, 49 (Suppl. 1), S1-S16.

- Tayel, A.A. and El-Tras, W.F. (2012). Plant extracts as potent biopreservatives for salmonella typhimurium control and quality enhancement in ground beef. *Journal of Food Safety*, 32(1), 115–121.
- Teixeira, A. and Rodrigues, S. (2013). Pork Meat Quality of Preto Alentejano and Commercial Largewhite Landrace Cross. *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (11), 1961–1971.
- Tinoco Martinez, G. (2014a). Nuevas tecnologías de conservación de los alimentos. *Entorno ganadero*, Febrero-Marzo, 64-71. [online] Available from <<http://bmeditores.mx/wp-content/uploads/2014/03/Ganadero-64-baja.pdf>> [08 august 2016]
- Tinoco Martinez, G. (2014b) Nuevas tecnologías de conservación de los alimentos. *Entorno ganadero*, Abril-Mayo, 54-60. [online] Available from < <http://bmeditores.mx/wp-content/uploads/2014/04/Ganadero-65-baja2.pdf>> [08 august 2016]
- Torres González, J.D., González Morelos, K.J. and Acevedo Correa, D. (2015) Análisis Del Perfil De Textura En Frutas, Productos Cárnicos Y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2), 64-72.
- Tosh, S.M. and Yad, S. (2010). Review: Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43 (1), 450–460.
- Trout, E. S., Hunt, M. C., Johnson, D. E., Clans, J. R., Castner, C. L., and Kropf, D. H. (1992). Characteristics of low fat ground beef, containing texture modifying ingredients. *Journal of Food Science*, 57 (1), 19-24.
- Tsai, S. J., Unklesbay, N., Unklesbay, K. and Clarke, A. (1998). Textural properties of restructured beef products with five binders at four isothermal temperatures. *Journal of Food Quality*, 21 (5), 397-410.
- Tseng, T.H., Kao, E.S., Chu, C.Y., Chou, F.P., Lin Wu, H.W. and Wang, C.J. (1997). Protective effects of dried flower extracts of *Hibiscus sabdariffa* L. against oxidative stress in rat primary hepatocytes. *Food and Chemical Toxicology*, 35 (12), 1159–1164.

- Universidad Politecnica de Valencia (UPV) (2016). Parte IV: Tema 20 (4a). Familia Malváceas (Malvaceae). [online] Available from <<http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas%20angiospermas/Dil%3%A9nidas/Malv%3%A1ceas/malv%3%A1ceas.htm>> [11 august 2016]
- USDA, U.S. (2004). Agriculture Food Research. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 17. [online] Available from <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR17/reports/sr17fg13.pdf>> [27 july 2016]
- Usoh, I.F., Akpan, E.J., Etim, E.O. and Farombi, E.O. (2005). Antioxidant actions of dried flower extracts of *Hibiscus sabdariffa* L. on sodium arsenite – Induced oxidative stress in rats. *Pakistan Journal of Nutrition*, 4 (3), 135–141.
- Valenzuela, A. and Maiz, A. (2006) Role of dietary fiber in enteral nutrition. *Revista chilena de nutrición*, 33(2), 342-351.
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F. and De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science and Technology*, 39 (1), 47-62.
- Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. y Oomah, B. D. (1998). Actividad Antioxidante y Fenoles totales y frutas selectas, vegetales y productos de grano. *Journal Agric Food Chem*.
- Volpe, M.G., Siano, F., Paolucci, M., Sacco, A., Sorrentino, A., Malinconico, M. and Varricchio, E. (2015). Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT - Food Science and Technology* 60 (1), 615-622
- Wang, L., Morris, B. Tonnis, B., Davis, J. and Pederson, G.A. (2012). Assessment of oil content and fatty acid composition variability in two economically important *Hibiscus* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (26), 6620–6626.

- Weiss, J., Gibis, M., Schuh, V. and Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86 (1), 196-213.
- Williamson, E.M., Driver, S.B. and Baxter, K. (2013). *Stockley's herbal medicines interactions: a guide to the interactions of herbal medicines, dietary supplements and nutraceuticals with conventional medicines*. Pharmaceutical Press, London
- Wood, J.D., Nute, G.R., Richardson, R.I., Whittington, F.M., Southwood, Plastow, O., Mansbridge, R., da Costa, N. and Chang, K.C. (2004). Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Science*, 67 (1), 651–667.
- Yagoub Ael, G., Mohamed, B.E., Ahmed, A.H. and El Tinay, A.H. (2004). Study on furundu, a traditional Sudanese fermented roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed: Effect on in vitro protein digestibility, chemical composition, and functional properties of the total proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (20), 6143–6150.
- Yang, Z., Wang, W., Wang, H. and Ye, Q. (2014). Effects of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties of surimi gel from grass carp (*Ctenopharynxodon idellus*). *Food Chemistry* 145 (1) 212–219
- Yeannes, M.I. and Casales, M.R. (2008). Modifications in the chemical compounds and sensorial attributes of *Engraulis anchoita* fillet during marinating process. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(4): 798-803
- Yilmaz, I. and Gecgel, U. (2009). Effect of inulin addition on physico-chemical and sensory characteristics of meatballs. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 46 (5), 473–476.
- Yilmaz, I., Simsek, O. and Isikli, M. (2002). Fatty acid composition and quality characteristics of low-fat cooked sausages made with beef and chicken meat, tomato juice and sunflower oil. *Meat Science*, 62(1), 253-258.

- Yu, J., Ahmedna, M. and Goktepe, I. (2010). Potential of peanut skin phenolic extract as antioxidative and antibacterial agent in cooked and raw ground beef. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 (1), 1337–1344.
- Yudi, P., Vilas, S., and Sudip, R. (2005). Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. *Food Research International*, 38(1), 267-272.
- Zarzuelo Zurita A. (2001) Fibra. En: Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC). Guías Alimentarias para la Población Española. 1a. Ed. Madrid: IMandC, S.A., 277-87.
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera H., Lee, E. J. and Ahn, D.U. (2010). Improving functional value of meat products. Special Issue: 56th International Congress of Meat Science and Technology (56th ICoMST), 15-20 August 2010, Jeju, Korea. *Meat Science*, 86 (1), 15–31.
- Zhou, G.H., Xu, X.L. and Liu, V. (2010). Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Science*, 86 (1), 119–128.

10. ANEXOS

10.1 .INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carne de cerdo	24
Figura 2. Esquema general de gelificación de proteínas	38
Figura 3. Pescados	41
Figura 4. Cyprinus carpio, carpa común	52
Figura 5. Clasificación de fibra dietética.	65
Figura 6. Fermentación bacteriana	67
Figura 7. Semillas de chía.	72
Figura 8. Planta de <i>Salvia hispánica</i> L	73
Figura 9. Principales funciones de películas y recubrimientos comestibles	91
Figura 10: Composición de películas y recubrimientos comestibles	93
Figura 11. Atributos de calidad proporcionados específicamente por películas y revestimientos de proteína de suero de leche a productos alimenticios.	97
Figura 12. Estructura de gelatina representativa según su composición típica de aminoácidos	99
Figura 13. Estructura química de la inulina	100
Figura 14. Estructura del glicerol	104
Figura 15. Familia Malváceas	126
Figura 16. Arbusto de <i>Hibiscus safdariffa</i> L.	126

Figura 17. Ácido cítrico y sus derivados	130
Figura 18. Estructuras químicas de las principales antocianinas presentes en <i>Hibiscus safdariffa</i> L	131
Figura 19. Diagrama de flujo del desarrollo del experimento.	142
Figura 20. Estructura química del 1,1-difenil-2-picril-hidrazil radical libre (DPPH°).	152
Figura 21. Curva típica del análisis de perfil textura (TPA)	155
Figura 22. Desarrollo de la elaboración del biopolímero	160
Figura 23. Reestructurados con diferente concentración de harina de chía (0%, 1%, 4% y 8%)	170
Figura 24. Reestructurados diferentes porcentajes de carne de cerdo y carne de carpa adicionados con 8% de harina de chía	174
Figura 25. Reestructurado cárnico B (75% carpa-25% cerdo adicionado con 8% harina de chía)	175
Figura 26. Biopolímeros formulaciones A y B con extractos de diversas plantas	178
Figura 27. Biopolímero control y biopolímeros con extracto de jamaica	180
Figura 28. Color aparente de los biopolímeros con EHs	184
Figura 29. Reestructurados cárnicos con y sin biopolímeros crudos y cocinados.	204
Figura 30. Electroforesis en geles de poliacrilamida en condiciones desnaturizantes (SDS-PAGE)	206

10.2. INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Producción mundial de carne de porcino, 2005-2015 (Miles de toneladas métricas)	25
Gráfica 2. Consumo mundial de carne de porcino, 2005-2015 (Miles de toneladas métricas)	26
Gráfica 3. Consumo per cápita de carne de cerdo, 2014 (Kilogramos por persona por año)	27
Gráfica 4. Principales estados productores de carne de cerdo 2013-2015 (miles de toneladas de carne en canal)	27
Gráfica 5. Consumo per cápita de carne en México, 1990-2015 (Kilogramos por persona por año)	28
Gráfica 6. UFC/g para hongos y levaduras	207
Gráfica 7. UFC/g para mesófilos	209

10.3. INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutrimental de las carnes y otras fuentes de alimento por 100 g.	18
Tabla 2. Contenido en aminoácidos (g/100 g de músculo) de las proteínas cárnicas de distintas especies (USDA, 2004).	19
Tabla 3. Ejemplos de derivados proteicos, que poseen efectos fisiológicos beneficios para la salud.	21
Tabla 4. Componentes principales del músculo de pescado y carne de res (en porcentaje).	32
Tabla 5. Aminoácidos esenciales en diversas fuentes de proteína (porcentaje).	35
Tabla 6. Resumen de los cambios autolíticos en pescado refrigerado o congelado.	50
Tabla 7. Composición química proximal de porción comestible de carpa común por cada 100 g de músculo	53
Tabla 8. Parámetros relacionados con la funcionalidad de los alimentos y la fibra.	69
Tabla 9. Composición fisicoquímica de semillas de chía.	73
Tabla 10. Contenido de fibra dietética en semillas de chía.	74
Tabla 11. Concentración de antioxidantes encontrados en extractos de semilla de chía.	79
Tabla 12. Tecnologías de conservación con aplicación en alimentos	83
Tabla 13. Funciones de las películas y recubrimientos comestibles	91
Tabla 14. Proteínas del suero de leche	95

Tabla 14.1. Agentes antimicrobianos incorporados dentro de recubrimientos poliméricos comestibles y no comestibles	116
Tabla 15. Resumen de constituyentes in extractos acuosos de cálices de <i>Hibiscus safdariffa</i> .	133
Tabla 16. Diseño experimental de mezclas	147
Tabla 17. Formulaciones de biopolímeros comestibles	158
Tabla 18. Formulación de biopolímero comestible con extractos de plantas	159
Tabla 19. Análisis bromatológico de los músculos de carpa y cerdo	167
Tabla 20. Atributos de color de materia prima	168
Tabla 21. Análisis bromatológico y contenido de compuestos fenólicos totales en reestructurados de carpa común adicionados con diferentes concentraciones de harina de chía	169
Tabla 22. Contenido de proteína de reestructurados con diferente concentración de músculo de carpa y cerdo.	171
Tabla 23. TPA reestructurados diferentes concentraciones de carne de cerdo y carne de carpa adicionados con 8% de harina de chía	172
Tabla 24. Atributos de color de reestructurados a base de cerdo-carpa.	173
Tabla 25. pH y contenido de compuestos fenólicos totales de extractos de plantas y película adicionadas con extractos	177
Tabla 26. Parámetros de color del biopolímero control y biopolímero con jamaica.	181

Tabla 27. Grosor, pH, humedad y CFT de biopolímeros con EHs.	182
Tabla 28. Características de permeabilidad de biopolímeros	183
Tabla 29. Parámetros de color de biopolímeros con EHs	185
Tabla 30. Análisis bromatológico de reestructurados con biopolímeros comestibles	185
Tabla 31. pH de reestructurados con biopolímeros respecto al tiempo	186
Tabla 32. Color de reestructurados cárnicos con biopolímero comestible	189
Tabla 33. Atributos de color en reestructurados adicionados con biopolímeros comestibles	192
Tabla 34. % Humedad de reestructurados con biopolímeros comestibles	193
Tabla 35. Acidez de reestructurados cárnicos con biopolímeros comestibles analizados	194
Tabla 36 Contenido de Bases volátiles en reestructurados y reestructurados con biopolímeros comestibles sin y con Jamaica	195
Tabla 37. Contenido de grupos sulfhídricos	197
Tabla 38. Análisis de perfil de textura (TPA) reestructurados cárnicos con película comestible	199
Tabla 39. Análisis de esfuerzo al corte (WB) reestructurados cárnicos con película comestible	201
Tabla 40. Rendimiento, reducción de diámetro y pérdida por cocción de reestructurados con biopolímeros	203
Tabla 41. UFC/g para hongos y levaduras	208

Effect of Chia Seed on Physicochemical and Sensory Characteristics of Common Carp Restructured as Functional Food

Ángel Santillán-Álvarez¹, Octavio Dublán-García¹, Leticia Xóchitl López-Martínez², Baciliza Quintero-Salazar³, Leobardo Manuel Gómez-Oliván¹, Daniel Díaz-Bandera¹, María Dolores Hernández-Navarro¹

1. Department of Food Science and Toxicology, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Edo de México. CP 50000.

2. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Culiacán, Sinaloa, México. C.P 80110.

3. Department of Food Science, Facultad de Turismo y Gastronomía, Carretera Toluca-Atlacomulco Km. 14.5, Tlachaloya, Toluca, Edo de México. CP 50200.

Abstract: Physicochemical and sensory characteristics of restructured meat of common carp (*Cyprinus carpio*) fortified with 0-8 g/100 g of chia seed flour (CSF) was evaluated. It had a higher nutritional value (higher fibre content and protein retention) ($p < 0.05$) and better cooking characteristics (higher cooking yield and moisture retention) ($p < 0.05$) than the control (restructured meat of common carp without CSF). The colour (a^* , b^*) increased; lightness and whiteness index decrease ($p < 0.05$). Hardness increase ($p < 0.05$) occurred because of CSF addition. Differential scanning calorimetry showed that fibre fortification did not interfere with the thermal transitions of the restructured meat. No significant differences were detected with the preference test scores of 4% or 8% CSF compared with the control. Restructured (4%-8% CSF) had a higher content of fibre and fat, which could be linoleic and linolenic acid, and an increase in the content of protein compared with those of commercial products, among, had 1.62 and 2.25 mgAGE/g. Therefore, the restructured properties of common carp were governed by CSF addition.

Key words: Protein gel; common carp; chia seeds; restructured meat; physicochemical properties.

1. Introduction

Obesity is a chronic disorder with multiple causes that may affect an individual in isolation or act collectively at the population level. Virtually all obese people develop symptoms of chronic disease by the age of 40, and the majority will require medical intervention for obesity-related disease before they are 60 [1]; therefore, obesity is now regarded as a growing epidemic around the world. According to the World Health Organization [2] one billion adults are overweight, and more than 300 million people are obese. Without a population-level, multisectoral and multidisciplinary approach to curb the problem, this figure will surpass 1.5 billion by 2015. Altogether, there are more than 42 million children under five who are overweight globally.

According to United Nations International Children's Emergency Fund [3, 4], Mexico is first in the world for childhood obesity, second for adults after the United States, and first in the case of women [2]. Among the causes of these diseases is the intake of energy-dense foods rich in fats, salt and carbohydrates and low in vitamins, minerals and fibre, coupled with a decline in physical activity and a sedentary rhythm of life. Obesity and overweight are preventable by performing regular physical activity, balancing the energy content consumed, limiting the intake of sugars and total fat and increasing the consumption of fruits, vegetables, legumes, whole grains and nuts [2]; all these actions translate into a higher intake of fibre.

Studies show that increased consumption of foods rich in insoluble fibre is strongly associated with reduced diabetes [5], in this regard, there are various food products contributing with a required amount, which may have several benefits, such as adjuvant texture, an increased volume of products low in sugar,

fat substitutes, added colour and natural antioxidant activity [6]. In addition to contributing to the improvement of the textural features, a fibre-providing food product can improve the sensory appeal and shelf life of food, due to its ability to retain water and form gels and to mimic fat, texturing and thickening effects [7]. Examples of these soluble fibres derived from grains and the fractions of various fruit are pectins [8], beta-glucans, beet cellulose fibre [9], polydextrose [10], etc. Dietary fibre linked with soy proteins by their functional properties has been widely utilised in various branches of the food industry, including the meat industry [11]. Potato skins, a byproduct of the industry of potatoes shells, are rich in fibre and also have been used as a source of dietary fibre in breadmaking [12]. The seeds of *Salvia hispanica* L., better known as chia, are a pseudocereal rich in soluble and insoluble fibre, and they contain 25% to 35 % polyunsaturated fatty acids, antioxidants, such as cinnamic, chlorogenic and caffeic acid, and the flavonoids myricetin, quercetin and kaempferol [13]. Thus, it is an excellent ingredient for dieters because it has beneficial effects, such as reducing blood cholesterol and blood glucose and modifying insulinaemic responses, as well as changes in the function of the intestine and antioxidant activity [13]. Several authors [14-17] have added various types of fibre, such as wheat to hake and mackerel, dietary fibre wheat to surimi giant squid, pea fibre to surimi, carrageenan and komjac carrageenan-flour in bass, Solka-Floc (cellulose fibre) in surimipollock (*Alaska pollock*) and powdered cellulose dietary fibre to obtain restructured meat based on seafood or aquaculture species. Among these, the common carp is a species underutilised around the world [18], but it presents significant nutritional characteristics. So far, there have not been any reports on the use of the chia seed as a source of fibre for the production of restructured meat from this species, so the use of these two products could be an alternative for consumption,

Corresponding author: Octavio Dublán-García, professor, research field: food science.

taking advantage of a fishing product that is infrequently marketed because of its size, due to its content of thorns or the abundance of large fish that are already processed and contribute to health. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of chia flour (CSF) (*Salvia hispanica* L.) on physicochemical and sensory characteristics of developed restructured meat of common carp (*Cyprinus carpio*) as a functional food based.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

Ten carp (*Cyprinus carpio*) with weights of 1.5 kg were obtained from the San Luis Mextepec business community, State of Mexico, Mexico, and they were transported to the laboratory under refrigeration at 5 °C in high-density polyethylene bags (HDPB). Afterward, they were washed, eviscerated and stored at 4 °C until further use. Chia seeds were purchased from the central supply of Toluca, Mexico, and they were ground to achieve the texture of flour, after which the chia flour was stored in HDPB.

2.2 Methods

The methods used in this study are described below:

2.2.1 Physicochemical analysis

2.2.1.1 Water-holding capacity (WHC).

The evaluation of WHC was described according to Dublán et al. [19]. Five grams of common carp muscle were homogenised with 8 mL of 0.6-M NaCl. The homogenate was placed in an ice bath and stirred with a glass rod for 1 min. The tubes were left on ice for 30 min, stirred again for 1 min and centrifuged at 8000 x g for 15 min. The supernatant volume was measured.

WHC was reported by the difference as millilitres of 0.6-M NaCl held/100 g of muscle. All determinations were performed in triplicate.

2.2.1.2 pH

pH values were determined using a Hanna Instruments potentiometer (pH 210, Italia Srl). Ten grams of muscle were ground in 90 mL distilled water for 1 min. After filtration of the mixture, the pH value was determined [20].

2.2.1.3 Titratable acidity

The titratable acidity was determined by the A.O.A.C. [21], Part 942.15 method.

2.2.1.4 Colour

The colour of the common carp muscle, CSF and restructured meat was determined using a Chroma Meter CR-400 colorimeter, according to the CIELAB model. We obtained the values of L^* , a^* and b^* as estimates of the luminosity (L^*) on a scale from 0 to 100 and indicators of red-green (a^*) and yellow-blue (b^*). These measurements were used to calculate the whiteness of the gels according to the equation:

$$\text{Whiteness} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}.$$

From the coordinates, the hue (H^*) and chroma (C^*) were calculated as follows [22]:

$$\text{Hue} = \tan^{-1} b^* / a^*$$

$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}.$$

2.2.1.5 Proximal analysis

Protein was analysed by the Kjeldahl method, the ether extract by the Soxhlet method [23], the moisture by A.O.A.C.14,003 [21], ash by the method of calcination in a muffle furnace at 500°C [21], and the neutral detergent fibre by A.O.A.C. [24] using an ANKOM mark 200 FiberAnalyzer (Ankom Technology Corp., Fairport, NY).

2.2.2 Myofibrillar protein (MP)

MP was prepared from the common carp muscle according to Ngapo et al. [25], with slight modifications. One hundred grams of common carp muscle were homogenised by blending for 10 min with ice-cold distilled water 1:1:1 (w/w/v) and then were magnetically stirred for 10 min in an ice bath. The myofibril suspension was filtered through two layers of cheesecloth to remove connective tissues, stirred and filtered twice. The muscle homogenate was centrifuged at $3000 \times g$ at 4°C for 25 min, and the supernatant was discarded. Part of the myofibril pellet was placed into a capped glass and stored to immediately begin gel formation. The protein concentration of the myofibril pellet was determined using the biuret method.

2.2.3 Preparation of the protein mixture: common carp-chia seed flour (CSF)

For each 100 g of myofibrillar protein extracted from the carp, various percentages of CSF, including 0%, 1%, 4% and 8%, were added. The samples were mixed until incorporation and subsequent gelation.

2.2.4 Gelation of proteins

The gelation of proteins was performed according to Klettner [26]: 30 g of the mixture (carp-chia) with the four different concentrations of flour chia were added

to bottles with an internal diameter of 25 mm and a height of 50 mm. The vials were placed into a shaking water bath and gradually heated at a rate of $1 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ until reaching an internal temperature of 80 °C to induce gelation [27]. The vials were subsequently removed from the water bath and cooled in an ice bath at a temperature below 4 °C.

2.2.5 Cooking loss% of the restructured common carp

The cooking loss of the restructured meat was determined according to Estevez et al. [28]. Fifteen grams of the mixture (carp-chia) for each of the concentrations (0%, 1%, 4% and 8%) were placed in previously weighed test tubes. The tubes were subjected to a heat treatment for 20 min at 80°C. Water and the exuded fluids were separated and discarded, and the tubes with the sample were weighed again. The process yield is given by the weight before and after the heat treatment of each sample in the tube.

2.2.6 Differential scanning calorimetry (DSC)

The samples weighed between 10 and 15 mg in a capsule that was placed into the sample holder to be subjected to heating; additionally, a reference air capsule was used. Then, the samples were scanned using a heating rate of 10 °C/min at an energy flow of 0.1 to 0.2 mcal / sec. A differential scanning calorimeter (DSC) from Mettler Toledo, which was calibrated between 10 and 100 °C, was used, and the endotherm areas were calculated. The measurement method for the determination of the thermograms is based on that described by Schubring [29].

2.2.7 Quantification of phenolic compounds

For samples Folin Ciocalteu method which involves placing 100 μL of extract in test tubes previously covered with foil, add 650 μL of purified water in each tube was applied also added a 375 μl 1 N solution of Folin-Ciocalteu and 1875 μL of sodium carbonate solution 20%. It was allowed to react for 2 h in the dark. After this time the absorbance was measured in a spectrophotometer at 750 nm [31]. All this was done in triplicate and results are expressed as mg gallic acid / g, based on a standard curve prepared with this reagent.

2.2.8 Consumer test

The consumer evaluation consisted of 53 untrained judges, including 33 males and 15 females, ranging in age from 18 to 23 years. The AMSA [30] recommends a consumer panel size of at least 50 individuals. The panellists were untrained students recruited from the campus of the University Autonomous of Mexico State. All were already involved in fish meat preference/acceptability tests and were regular consumers of fish meat. The restructured (burger shape) from the muscles of *Cyprinus carpio* were cooked with salt or spices and were boiled in individual bags of HDPB to a final internal temperature of 80 °C. The cooking temperature was monitored by an iron/constantan thermocouple placed in the geometric centre of each restructured sample. After boiling, the burgers were immediately cut into equal sizes and coded with a three-digit random number. The burger samples from the four common carp samples with 0, 1, 4 and 8% were given to the panellists in a predetermined, balanced order and were evaluated in a preference-ranking test. The panellists were asked to rank the samples in order of preference, with 1 being the most preferred and 3

being the least preferred. The evaluation took place in individual booths in a sensory testing laboratory under controlled conditions. Between each sample, the panellists were instructed to rinse their mouths with water served at room temperature.

2.2.9 Statistical Analysis

The data were subjected to analysis of variance and Tukey multiple-range tests ($p < 0.05$), using SPSS 8.0 for Windows software (SPSS 1997).

3. Results and Discussion

3.1 pH and acidity in the common carp muscle

The pH was within the range designated by Huss et al. [32], which indicates that it is a fresh product for processing, with a value of 6.49 ± 0.06 ; additionally, established that marine and aquatic species should be in the range of 6.3 to 6.9, and that the pH ranges from 6.6-7.5 for decomposing fish and is 7.5 for more decomposed fish and that the average pH of a carp is 6.21; the acidity has a value of 0.038 ± 0.008 because lactic acid, generated in anoxic conditions from glycogen, is the main factor lowering the post-mortem pH in the fish muscles. However, the values for the samples used were within the parameters established for freshness by Huss et al. [32].

3.2 Water-holding capacity of common carp muscle

The WHC values represent the percentage of water retained in each meat sample after centrifugation. In this sense, the muscle of *Cyprinus carpio* had a value of 63.75%. Cardoso and Mendes [33] have reported values of WHC for various species, such as ostrich at 40.34%, beef at 37.30-37.40%, squid at 75 to 85% and *Argyrosomus regius* at 69.5%, respectively, to indicate that it is fresh raw material. The difference between

the values for WHC could be due to the chemical composition, origin and state of maturity of each species. Taking into account the values of pH and acidity, the common carp can be considered a species with good quality parameters for processing.

3.3 Common carp muscle colour

The colour of carp muscle has a dark tone because the blood present in it makes a low L (Table 1) (39.36 ± 0.080) with respect to that of other species. Examples have been reported, such as $L=57.8$ for catfish fillets [34]; $L=54.4$ for Atlantic halibut fillets, as observed by Roth et al. [35]. In contrast, for carp species, Sequeira et al. [36] observed $L=41.7$. This variation in the brightness is due to the species, the origin and the type of habitat present. Additionally, there are variations in a^* and b^* (5.28 ± 0.11 and 4.81 ± 0.04 , respectively), depending on the species. The differences can be related to a) the fishing season, which in turn can be correlated with the physiological stage of the specimens (mature vs. youth); b) sex, as it is well established that females are bigger in mantle length than males; and/or c) different fishing areas.

3.4 Proximal composition of common carp (*Cyprinus carpio*)

The chemical-composition data indicate that the fresh carp has high protein content (24.01 ± 0.30) and a low fat content (2.43 ± 0.26). The moisture and ash contents were 79.48 ± 0.37 and 0.45 ± 0.01 , respectively. This proximal composition may vary according to the species. For example, for tuna (*Thunnusalalunga*), the water, protein and lipid contents were 71-72.2, 25.2-28.1 and 0.61-4.1, respectively, and for salmon (*Salmosalar*), they were

67-77, 21.5-22.3 and 0.3-15.9 [37]. The common carp in this study has a composition below that of tuna protein and above those of other species; additionally, the fat content is between those of several species. It should be noted that, according to Mráz et al. [38], the lipids of the common carp are mainly composed of a high content of omega-3 fatty acids, especially eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), making it possible to say that this type of meat provides these types of compounds.

3.5 Proximate analysis and colour of CSF

In this study, chia flour presented protein levels (23.31 ± 0.12) that are within the parameters outlined in the literature, ranging from 20.01-35.32% [39, 40]. The values obtained for lipids (34.45 ± 0.07) also correspond to the range reported in the literature; ranging from 29.56-34.88 g/100 g. Luna et al. [40] and Segura et al. [39] have reported values of 27.57, 32.84, 23.81 and 23.35 g/100 g, according to various extraction methods. Finally, the ash was 7.24 g/100 g, coinciding with the result of Capitani et al. [41]; however, content of 6.51 g/100 g and 4.58 g/100 g was reported by Luna et al. [40]. The chia used in this study is produced within the parameters reported by the literature. The difference observed in the values may be due to the region, temperature, rainfall and months of growth and the extraction methods [41]. The colours obtained in CSF shown that the IW and L^* (34.06 ± 1.08 and 36.45 ± 1.18 , respectively) are low, due to the dark colour that presents the CSF. a^* (3.49 ± 0.08) has a tendency to red and b^* (16.28 ± 0.31) to yellow, so that the combination has a tendency to brown.

3.6 Gellification of common carp muscle

The restructured sample obtained was a surimi based on common carp: irreversible heat-induced protein denaturation or a protein endothermic transition is necessary for the initiation of surimi gelation because sarcoplasmic proteins are removed during the surimi manufacturing. The hardness obtained for the common carp muscle proteins restructured after the gelation process was 5.67 ± 0.41 N, which is a low hardness value, compared with those of other species such as sea bass (*Sea bass*) with a hardness of 10.3 N. For Alaska pollock surimi gels, Tabilo and Barbosa [42] found a hardness of 13.15 N. Compared with the values for seafood-product species, the hardness of the restructured carp sample is higher (1 N), which may indicate that the species under study could be used for the production of restructured and surimi products. Several authors have performed the integration of adjuvants to obtain surimi or restructured products, providing specific functionality and structural or nutritional contributions [7, 43].

3.7 Effect of CSF on the hardness of restructured common carp

The results of gel strength are shown in Table 2. Adding CSF at 1, 4 and 8% showed a significant difference ($p < 0.05$) in this parameter with respect to the control (0% w/w CSF). This could indicate that a greater concentration of CSF increases the hardness ($p < 0.05$). Similar results were observed by Debusca et al. [17] when cellulose fibre (4 and 8%) was added. This could be due to the crosslinking reactions of CSF-protein, CSF-CSF and protein-protein, which would require more force and energy to break down the gel system. Park et al. [44] reported a similar result that, as the level of the added potato starch increased, the

breaking strength of the thermal gel of salted squid paste increased, and the starch-reinforced gel became firm and less elastic.

3.8 Cooking loss % of the restructured common carp

The changes in the cooking loss of restructured CSF spiked with (0, 1, 4 and 8%) are shown in Table 2, showing a significant difference ($p < 0.05$) in the cooking loss between the flour-added and the control groups (0% w/w CSF). A low cooking performance was observed for the control, and the highest yield was observed for the sample with 8% (Figure 1). The results indicate that the different concentrations of CSF influence the yield because it can prevent water loss during cooking ($p < 0.05$) (Table 2), which provides a protective effect on the product stability with respect to that of the control, thus increasing the concentration of CSF and decreasing the content of free water, suggesting that the water-retention capacity of the restructured gels increased with the addition of CSF; this result coincides with that reported by Yang et al. [43] when 0, 2, 4, 6 and 8% of rice starch was added for the preparation of gels with proteins of grass carp. Additionally, the high water-absorbing ability or the hydrophilic group interacting with free water may have altered the bound water, which was not easily extracted. The same mechanism could work in the case of CSF. The statistical analysis shows an inverse linear relationship between the % yield and the hardness (positive) and with the content of free water (negative), which could predict the effect of the addition of various concentrations of CSF.

3.9 Colour of the restructured common carp

In Table 3, the tristimulus values L^* , a^* and b^* are shown. The whiteness index was significantly reduced

($p < 0.05$), increasing the concentration of CSF, which could be due to the low value of CSF L^* ($L^* = 36.45$), which, when combined with the carp protein, caused a decrease in colour; the IW decrease is correlated with a decrease in L^* ($p < 0.05$). Similar results were reported by Debusca et al. [7], by increasing the concentration of cellulose fibres in Alaskan pollock surimi; by Xiong et al. [45], who observed a decrease in IW by adding konjac glucomannan. Thus, the IW is correlated with a decrease in L^* . A reduction in b^* of 1% is correlated with a decrease in the IW* because b^* gives a yellow colour, which contributes to the effect of the whiteness of the product; however, by adding up to 1% of CSF, b^* increases ($p < 0.05$), retaining a decrease in IW ($p < 0.05$). a^* decreased significantly ($p < 0.05$) by adding 1% CSF, indicating that the product becomes darker, tending to a brown colour, but with increasing concentration chia above 1%, a^* increased significantly ($p < 0.05$), indicating a slight darkening in the product obtained, that took on a dark-brown coloration. This could be a disadvantage for the product, but the colour obtained resembles an integral-type product (Fig. 1). The results of the whiteness obtained in this study and other studies [14, 7] show different values of L^* , a^* and b^* because of the meat species and the type of fibre used; however, all of these studies show similar trends in IW and L^* when different types of fibre were added. The chroma (C^*) increased slightly with the addition of 1% CSF, which was significant ($p < 0.05$). From the point of view of colour, CSF could be added to restructured burger with no significant modification in this parameter at other concentrations. The hue (H^*) decreased with the addition of CSF ($p < 0.05$) at various concentrations, but it slightly increased when additives were added, and no significant differences were observed between the control and these samples.

3.10 Differential scanning calorimetry (DSC)

Heat-induced irreversible protein denaturation or a protein endothermic transition is necessary for the initiation of surimi gelation. Because sarcoplasmic proteins are removed during surimi manufacturing, the proteins present in the restructured gel in the present study were mainly the myofibrillar proteins actin and myosin. DSC was employed to determine if fibre has an effect on the endothermic transition of the restructured gel. Figure 2 shows that fibre does not interfere with heat-induced protein denaturation, a prerequisite for restructured products such as surimi gelation. Several authors [7, 14] have reported that fibre is chemically inert and does not participate in protein denaturation. The fibre does not interfere with the thermal transition/denaturation of products such as surimi myosin or actin, and it improved the textural properties.

3.11 Proximal analysis of restructured gel at various CSF concentrations

After the proximal-analysis results were observed for each of the samples (Table 4), there were significant difference ($p < 0.05$) in the protein of each restructured from 0 to 8% of CSF. With the two restructured samples (4 and 8%), burger products were developed, and they were compared with commercial products (Table 5). The products obtained in this study contain a higher percentage of protein than commercial products and also an increase in the dietary fibre and fat. The increase of fat in the burgers with 4 and 8% CSF could be because chia seed oil has approximately 250-390 g/kg fresh matter (FM) [46]. The fatty acids (FA) of chia oil are highly unsaturated, and their main components are linoleic (LA, C18: 2n-6, 188 g/kg of the total FA) and linolenic acid (ALA, C18: 3n-3; 641

g/kg of the total FA). The meal is high in protein and fibre, and it can be used as animal and human food [47]. Furthermore, several authors have reported that rat diets that included chia have induced a dramatic decrease in triglycerides and an increase in HDL cholesterol; additionally, Brissette et al. [48] observed in clinical data that the consumption of *Salvia hispanica* L. seeds may increase satiety and aid weight loss in type 2 diabetes mellitus (T2DM). Thus, they may be useful for body-weight regulation in overweight/obese individuals with type 2 diabetes mellitus (T2DM). The results of total phenolics content (TPC) presented in Table 5 indicated that TPC were higher in both products prepared with 8% and 4% of CSF (2.25 mg/g GAE and 1.62 mg/g GAE) respectively, compared to the commercial products. The consumption of this type can not only be restructured for alternative uses of underutilised aquaculture products such as common carp, but it can also be supplemented with chia seeds, which may be consumed in a normal diet to produce the aforementioned effects.

3.12 Consumer tests

The results of the consumer tests are summarised in Table 6. The preference test indicated that the restructured samples with 4% chia seed flour were the most preferred (rank sum = 98), followed by the restructured samples with 8% chia seed flour (rank sum = 94) and those with 0% chia seed flour (rank sum = 124). The data analysis found significant differences between product ranks ($p < 0.05$). In this case, the consumers were capable of significantly differentiating between the restructured meats from the 0% CSF groups that reached the highest rank sum. Because the meat from the 0% CSF group was the least preferred, this suggests that the two samples were

essentially identical in terms of preference. According to this result, the preference among both samples showed no significant difference. This could be used as the basis for the development of a restructured meat as a functional food type.

Table 1. Colour (L*, a* and b*), chroma, tone, hue and IW of muscle common carp and chia seed flour (*Salvia hispanica* L.) (CSF).

Property	Common Carp Muscle	Salvia hispanica L.
Lightness (L*)	39.36±0.080	36.45±1.187
Redness (a*)	5.282±0.102	3.49±0.082
Yellowness (b*)	4.805±0.046	16.285±0.315
Chroma (C*)	5.22±0.02	10.96±0.29
Tone	1.15±0.009	1.50±0.37
Hue (H*)	220.59±0.14	256.54±0.57
IW	38.94±0.084	34.069±1.084

Table 2. Percentage cooking loss, water loss and hardness at various CSF concentrations.

Restructured with CSF	% Cooking loss	Water loss	Hardness
0%	62.521±0.495 ^a	5.63±0.11 ^b	5.67±0.41 ^a
1%	70.797±0.386 ^b	4.43±0.40 ^b	6.3±0.60 ^b
4%	87.376±1.866 ^c	2.16±0.90 ^a	7.76±0.28 ^b
8%	91.155±0.651 ^d	1.40±0.17 ^a	9.69±1.09 ^c

Means in the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

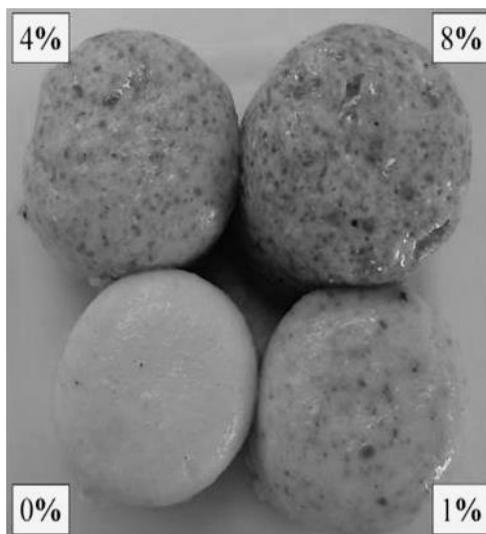


Figure 1. Restructured gels at various CSF concentration 0%, 1%, 4% and 8%.

Restructured		Table 3. Colour, chroma, hue and whiteness index restructured gel at various CSF concentrations.					
		L*	a*	b*	Croma	Hue	IW
Without additives	0%	79.30±0.72 ^f	1.79±0.35 ^b	10.63±0.08 ^{cd}	259.40±0.36 ^a	15.46±0.30 ^d	70.82±0.13 ^f
	1%	73.36±0.83 ^e	0.47±0.10 ^a	8.59±0.30 ^a	263.94±0.79 ^c	12.74±0.13 ^b	63.85±0.50 ^e
	4%	67.58±0.20 ^d	1.36±0.11 ^{ab}	9.78±0.16 ^b	260.35±1.08 ^{ab}	12.96±0.25 ^b	58.17±0.44 ^d
	8%	64.08±0.64 ^{cd}	1.74±0.31 ^b	10.16±0.57 ^{bc}	260.64±0.85 ^{ab}	13.80±0.15 ^{bc}	51.77±0.30 ^b
With additives*	* 8%	57.14±1.52 ^a	3.31±1.11 ^c	10.83±0.20 ^d	258.92±0.92 ^a	14.61±0.64 ^{cd}	48.59±0.97 ^a
	* 4%	59.08±2.45 ^{ab}	1.82±0.61 ^b	11.69±0.19 ^e	262.24±1.04 ^{bc}	14.98±0.96 ^d	52.48±0.10 ^b

* (onion, garlic, salt, black pepper, parsley and dry chile)

Means in the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

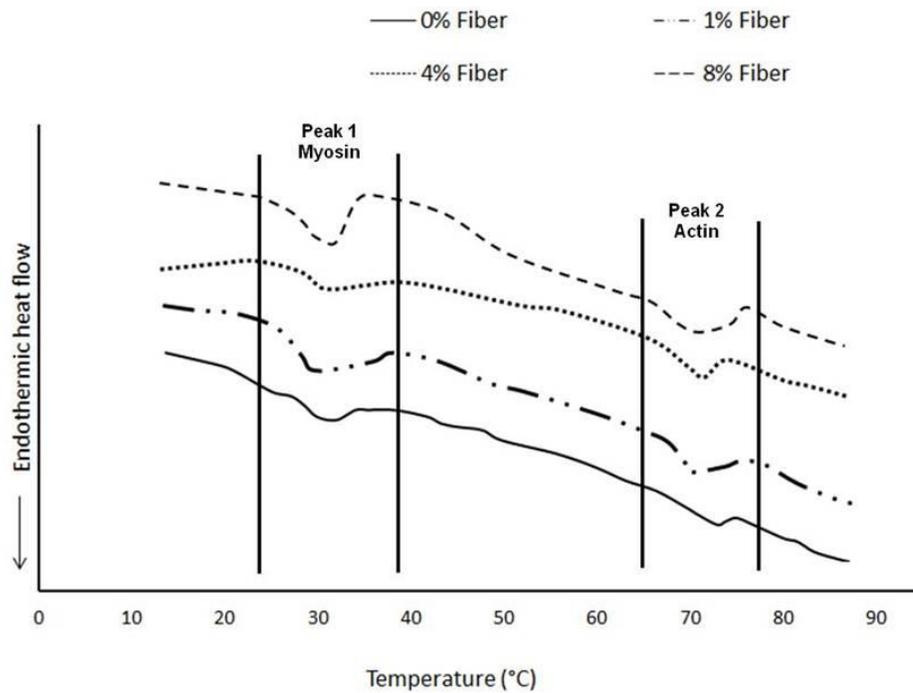


Figure 2. Differential scanning calorimetry (DSC) thermogram of restructured gel with different levels of added CSF

Table 4. Proximal analysis of the restructured gel at various CSF concentration.

Gel	%Protein	%Lipid	%Fibre	%Moisture	%Ash
0%	16.83±0.06 ^d	2.43±0.26 ^a	0.88±0.086 ^a	79.38±0.37 ^d	0.45±0.01 ^a
1%	16.41±0.17 ^c	5.54±1.11 ^b	5.88±0.10 ^b	71.54±0.56 ^c	0.62±0.06 ^b
4%	13.25±0.03 ^b	11.06±0.63 ^c	7.09±0.036 ^c	67.84±0.72 ^b	0.74±0.02 ^c
8%	12.32±0.34 ^a	14.21±0.56 ^d	10.91±0.034 ^d	61.48±0.71 ^a	1.06±0.08 ^d

Means in the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

Table 5. Comparison of proximal analysis of restructured samples, obtained with commercial products.

Gel	%Protein	%Lipid	%Fibre	%Moisture	%Ash	mgAGE/g
¹ Commercial sausage	11.77±0.06 ^c	11.76±.14 ^e	0.06±.03 ^a	72.94±0.11 ^{de}	3.47±0.07 ^g	-
² Commercial sausage	10.65±0.07 ^b	10.39±.09 ^c	2.39±.07 ^c	73.28±0.14 ^e	3.28±0.08 ^{fg}	-
³ Commercial ham	11.93±0.07 ^c	1.87±.07 ^a	-	82.86±0.22 ^g	3.34±0.13 ^g	-
⁴ Commercial ham	12.87±0.09 ^e	2.23±.07 ^a	0.79±.01 ^b	81.01±0.25 ^f	3.11±0.11 ^f	-
⁵ Commercial burger	7.26±0.06 ^a	12.97±.14 ^f	4.63±.12 ^d	72.96±0.19 ^{de}	2.18±0.04 ^e	-
⁶ Commercial burger	13.34±0.1 ^f	17.53±.35 ^h	0.07±.02 ^a	68.91±0.34 ^c	0.01±0.01 ^a	-
⁷ Restructured common carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	16.83±0.06 ^g	2.43±0.26 ^b	7.82±0.46 ^f	72.46±0.37 ^d	0.46±0.01 ^a	-
⁸ Burger 4% CSF	13.25±0.03 ^f	11.06±0.63 ^d	7.09±1.56 ^e	67.84±0.72 ^b	0.75±0.02 ^c	1.62±0.08 ^a
⁹ Burger 8% CSF	12.32±0.34 ^d	14.21±0.56 ^g	10.91±1.04 ^g	61.48±0.71 ^a	1.07±0.08 ^d	2.25±0.05 ^b

1, 2, 4, 4 Turkey; 5 chicken; 6 soy protein; beef; 7, 8 and 9 restructured gel with 0, 4 and 8 CSF %, respectively.

Table 6. Preferences for the restructured gel expressed as rank sums and preference %.

Restructured	Rank sums	Preference means for groups	Preference (%)
Most preferred 8% CSF	94	1.77 ^a	49 ^a
4% CSF	98	1.84 ^a	51 ^a
Least preferred 0% CSF	124	2.33 ^b	-

Means in the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

4. Conclusion

This study demonstrated that dietary fibre from CSF has positive effect on physicochemical and sensory characteristics of common carp restructured and can be used to fortify this kind of products based on aquaculture or marine species, so, populations who have an insufficient dietary fibre intake, with this healthful and beneficial product could cover part of it. The fortification of restructured meat with the dietary fibre contained in CSF up to 4 g/100 g improved the hardness, cooking yield and fibre content, maintaining a similar protein content to that of commercial products. DSC showed that CSF did not interfere with the thermal transitions of the restructured proteins. The colour properties were affected by the fortification, resulting in a wholemeal colour product. Total phenolic compounds are present, which are supplied by the CSF. The scores for preferences in the tested groups were significantly higher than those for the control samples. These results are promising for the future implications of manufacturing and marketing of restructured gel from aquaculture or seafood, which are untapped species fortified with dietary fibre that have possible health benefits. Although the results are encouraging, an assessment of the storage stability is recommended.

Acknowledgement

Ángel Santillán-Álvarez thanks the National Council of Science and Technology (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Mexico) for a PhD scholarship.

References

- [1] Corey K.E, and Kaplan L.M. 2014. "Obesity and Liver Disease: The Epidemic of the Twenty-First Century." *Clinic in Liver Disease* 18(1): 1-18.
- [2] World Health Organization, WHO 2014. "Obesity and overweight [online] available from <www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/ [28 March 2016]."
- [3] National Institute of Public Health (INSP). 2012. National health and nutrition survey national results, Mexico: Available from: http://ensanut.insp.mx/doctos/ENSANUT2012_Sint_Ejec-24oct.pdf.
- [4] United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF). Mexico: health and nutrition (UNICEF) 2015 (In Spanish). Available from: <http://www.unicef.org/mexico/spanish/17047.htm>.
- [5] Isken F., Klaus S., Osterhoff M., Pfeiffer A.F., and Weickert M.O. 2010. "Effects of long-term soluble vs. insoluble dietary fiber intake on high-fat diet-induced obesity in C57BL/6J mice." *The Journal of Nutritional Biochemistry* 21(4): 278-284.
- [6] Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernández-López J., and Pérez-Álvarez J. A. 2010. "Effect of orange dietary fibre, oregano essential oil and packaging conditions on shelf-life of bologna sausages." *Food Control* 21(4): 436-443.
- [7] Yangilar F. 2013. "The Application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review." *Journal of Food and Nutrition Research* 1(3): 13-23
- [8] Rodríguez R. A. J., Fernández-Bolaños J., Guillén R., and Heredia A. 2006. "Dietary fibre from vegetable products as a source of functional ingredients." *Trends in Food Sciences and Technology* 17(1): 3-15.
- [9] Nelson A. L. 2001. "High-fiber ingredients: Eagan press handbook series." St Paul, MN: Eagan Press. *American Association of Cereal Chemists* (pp.29-44) USA.
- [10] Mitchell H. L. 2001. "Fibre-enriched beverages and Litesse Registered." *Soft Drinks International* 25-27.
- [11] Waszkowiak K., and Szymandera-Buszka K. 2008. "The application of wheat fibre and soy isolate impregnated with iodine salts to fortify processed meats." *Meat Science* 80(4): 1340-1344.

- [12] Sudha M.L., Baskaran V., and Leelavathi K. 2007. "Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making." *Food Chemistry* 104(2): 686-692.
- [13] Reyes-Caudillo E., Tecante, A., and Valdivia-López, M.A. 2008. "Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds." *Food Chemistry* 107(2): 656-663.
- [14] Sánchez-Alonso I., Haji-Maleki R., and Borderias J. 2007. "Wheat fiber as a functional ingredient in restructured fish products." *Food Chemistry* 100(3): 1037-1043.
- [15] Sánchez-González, I., Rodríguez-Casado, A., Careche, M., and Carmona, P. 2009. "Raman analysis of surimi gelation by addition of wheat dietary fibre." *Food Chemistry* 112: 162-168.
- [16] Cardoso, C., Mendes, R., Vaz-Pires, P., and Nunes, M.L. 2011. "Production of high quality gels from sea bass: Effect of MTGase and dietary fibre." *LWT - Food Science and Technology* 44: 1282-1290.
- [17] Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Matak, E., and Jaczynski, J. 2014. "Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber." *Food Chemistry* 148: 70-76.
- [18] FAO. Cultured Aquatic Species Information Programme, *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2014 (In Spanish). Available from: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/es#
- [19] Dublán-García, O., Cruz-Camarillo, R., Guerrero-Legarreta, I., and Ponce-Alquicira, E. 2006. "Effect of refrigerated storage on proteolytic activity and physicochemical and microstructural properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle." *Muscle Foods* 17: 291-310.
- [20] NMX-F-317-S-1978. pH determination in foods (in Spanish).
- [21] AOAC Official method 1990. Association of Official Analytical Chemist. Washington DC, USA: AOAC International.
- [22] López-Vargas, J.H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J.A., and Viuda-Martos, M. 2014. "Quality characteristics of pork burger added with albedo-fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products." *Meat Science* 97: 270-276.
- [23] AOAC Official method 2000. Food Composition, Additives, Natural Contaminants. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- [24] AOAC Official method 1997. Fiber (Acid detergent) and lignin in animal feed. Arlington, TX, USA: AOAC International.
- [25] Ngapo, T., Wilkinson, B., Chong, R., and Haisman, D. 1992. "Gelation of bovine myofibrillar protein induced by 1,5Gluconolactone." 38th International Congress of Meat Science and Technology, Clermont-Ferrand, Francia. 1095-1098.
- [26] Klettner, P. G. 1994. "Meat and meat products. Measuring texture and consistency with testing machines." *Die Fleischwirtschaft* 74: 842-844.
- [27] Paredi, M.E., Davidovich, L.A., and Crupkin, M. 1999. "Thermally induced gelation of squid (*Illex argentinus*) actomyosin. Influence of sexual maturation stage." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 3592-3595.
- [28] Estevez, M., Ventanas, S., and Cava, R. 2005. "Physicochemical properties and oxidative stability of liver paté as affected by fat content." *Food Chemistry* 92: 449-457.
- [29] Schubring, R. 2007. "DSC measurements on sharks." *Thermochimica Acta* 458: 124-31.
- [30] AMSA. American meat science association and national livestock and meat board. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. 1995, Chicago, IL: AMSA.
- [31] Singh, R.P., Murthy, K.N.C., and Jayaprakasha, G.K. 2002. "Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models" *Journal of Agricultural of Food Chemistry* 50: 81-86.
- [32] Huss, H.H., Ababouch, L., and Gram, L. 2004. "Assessment and management of seafood safety and quality. FAO Fisheries" Technical Paper No. 444. Food and Agriculture Organisation. Rome.
- [33] Cardoso, C., and Mendes, R. 2013. "The effect of linseed and psyllium fibre on the gelling properties of unwashed mince from farmed meagre (*Argyrosomus regius*)." *International Journal of Food Science and Technology* 48: 2023-2033.
- [34] Desai, M.A., Joseph, P., Suman, S.P., Silva, J.L., Kim, T., and Schilling, M.W. 2014. "Proteome basis of red color defect in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) filets." *LWT-Food Science and Technology* 57: 141-148.
- [35] Roth, B., Foss, A., and Imsland, A.K. 2009. "Relationship between muscle pH and flesh color of Atlantic halibut." *Journal Food Science* 74: S123-5.

- [36] Sequeira-Munoz, A., Chevalier, D., LeBail, A., Ramaswamy, H.S., and Simpson, B.K. 2006. "Physicochemical changes induced in carp (*Cyprinus carpio*) fillets by high pressure processing at low temperature." *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 7: 13-18.
- [37] Briones-Labarca, V., Perez-Won, M., Zamarca, M., Aguilera-Radic, J.M., and Tabilo-Munizaga, G. 2012. "Effects of high hydrostatic pressure on microstructure, texture, colour and biochemical changes of red abalone (*Haliotis rufecens*) during cold storage time." *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 13: 42-50.
- [38] Mráz, J., Máchová, J., Kozák, P., and Pickova, J. 2012. "Lipid content and composition in common carp-optimization of n-3 fatty acids in different pond production systems." *Journal of Applied Ichthyology* 28: 238-244.
- [39] Segura-Campos, M.R., Salazar-Vega, I.M., Chel-Guerrero, L.A., and Betancut-Ancona, D.A. 2013. "Biological potential of chia (*Salvia hispanica* L.) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods." *LWT-Food Science and Technology* 50: 723-731.
- [40] Luna-Pizarro, P., Lopes Almeida, E., Cristina Sammán, N., and Kil Chang, Y. 2013. "Evaluation of whole chia (*Salvia hispanica* L.) flour and hydrogenated vegetable fat in pound cake." *LWT-Food Science and Technology* 54: 73-79.
- [41] Capitani, M.I., Sportono, V., Nolasco, S.M., and Tomás, M.C. 2012. "Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina." *LWT-Food Science and Technology* 45: 94-102.
- [42] Tabilo-Munizaga G., and Barbosa-Canovas G.V. 2004. "Color and textural parameters of pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white." *Journal of Food Research International* 37: 767-775.
- [43] Yang, Z., Wang, W., Wang, H., and Ye, Q. 2014. "Effects of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties of surimi gel from grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)." *Food Chemistry* 145: 212-219.
- [44] Park, S., Cho, S., Kimura, M., Nozawa, H., and Seki, N. 2005. "Effects of microbial transglutaminase and starch on the thermal gelation of salted squid muscle paste." *Fisheries Science* 71: 896-903.
- [45] Xiong, G., Cheng, W., Ye, L., Du, X., Zhou, M., Lin, L., Geng, S., Chen, M., Corke, H., and Cai, Y. 2009. "Effects of konjacglucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)." *Food Chemistry* 116: 413-418.
- [46] Ayerza, R. 1995. "Oil Content and Fatty Acid Composition of Chia (*Salvia hispanica*L.) from Five Northwestern Locations in Argentina." *Journal of the American Oil Chemists' Society* 72: 1079-1081.
- [47] Peiretti, P.G., and Gai, F. 2009. "Fatty acid and nutritive quality of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds and plant during growth." *Animal Feed Science and Technology* 148: 267-275.
- [48] Brisette, C.E., Jenkins, A.L., Choleva, L., and Vuksan, V. 2013. "The effect of *Salvia hispanica* L. seeds on weight loss in overweight and obese individuals with type 2 Diabetes mellitus." *Canadian Journal of Diabetes* 37: S61.

10.5. Confirmación de recibido de segundo artículo

----- Mensaje reenviado -----

De: Food Control <eesserver@eesmail.elsevier.com>

Para: "octavio_dublan@yahoo.com.mx" <octavio_dublan@yahoo.com.mx>; "odublang@uaemex.mx" <odublang@uaemex.mx>

Enviado: viernes, 01 de diciembre de 2017 22:05:01 GMT-5

Asunto: Submission Confirmation

Dear Dr. Octavio Dublán-García,

Your submission entitled "Effect of biofilm added with Hibiscus saffdariffa L. on physicochemical, textural and microbiological properties of meat restructured based on Cyprinus carpio during shelf-life." has been received by Food Control

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <https://ees.elsevier.com/foodcont/>.

Your username is: octavio_dublan@yahoo.com.mx

If you need to retrieve password details,

please go to: http://ees.elsevier.com/foodcont/automail_query.asp

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System

Food Control

For further assistance, please visit our customer support site at <http://help.elsevier.com/app/answers/list/p/7923> Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

10.6. Certificado de estancia doctoral en el extranjero

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Si certifica che:

il sig. Ángel Santillán Álvarez
nato il 19/02/1982 a Toluca (Messico)

proveniente dall'Università Autonoma dello Stato del Messico, ha svolto un periodo di studio nell'ambito del dottorato di ricerca dal 1 ottobre 2016 al 20 Luglio 2017 presso il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II. L'attività di ricerca ha previsto lo sviluppo e la caratterizzazione di film attivi a base di biopolimeri. L'attività di ricerca è stata supervisionata dalla Prof.ssa Elena Torrieri.

This is to certify that

Mr Ángel Santillán Álvarez
born on February 19, 1982 in Toluca (Mexico)

From the Autonomous University of the State of Mexico has been working at Department of Agricultural Science of the University of Naples Federico II as visiting PhD student from October 1st, 2016 to July 20th, 2017. The research activity has been focused on the development and the characterization of active edible films based on biopolymers, under the supervision of Prof. Elena Torrieri

Portici, 20/07/2017



Il Direttore del Dipartimento
Prof. Matteo Toritto