



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Química



Maestría en Ciencias Químicas

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*)

Que presenta:

L.G. Ángel Santillán Álvarez

Tutor académico

Dr. Octavio Dublán García

Tutores adjuntos

Dr. Leobardo Gómez Oliván

Dra. Leticia Xochitl López Martínez

Toluca, Mex. Julio de 2014



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

3° (EV. DE GRADO)
OFICIO NO 297/2014

Toluca, México, 20 de Junio de 2014

P. DE MAESTRIA EN CIENCIAS QUIMICAS
ÁNGEL SANTILLÁN ÁLVAREZ
FACULTAD DE QUIMICA
P R E S E N T E

La que suscribe Directora de la Facultad de Química, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, comunica a Usted que el Jurado de su Evaluación de Grado estará formado por:

Dr. Juan Orozco Villafuerte
PRESIDENTE

Dra. Leticia Xochitl López Martínez
SECRETARIO

Dr. Octavio Dublán García
PRIMER VOCAL

Dra. Imelda García Argueta
SEGUNDO VOCAL

Dra. Baciliza Quintero Salazar
TERCER VOCAL

Dra. María Dolores Hernández Navarro
SUPLENTE

Dra. Miriam Fabiola Fabela Morón
SUPLENTE

FIRMA

[Firma manuscrita]

[Firma manuscrita]

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2014, 70 Aniversario de la Autonomía ICLA-UAEM"

[Firma manuscrita]
M. en A.P. GUADALUPE OFELIA SANTAMARIA GONZALEZ
DIRECTORA



c.c.p.Archivo

www.uaemex.mx

Facultad de Química • Paseo Colón Esq. Paseo Toluca • Toluca Estado de México
Tel. y Fax: 217-5109 y 217-3890 • fquim@uaemex.mx

Índice

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. ANTECEDENTES	11
2.1. Productos cárnicos a base de proteínas de origen acuícola en el mundo	11
2.2. El surimi	11
2.3. ALIMENTOS FUNCIONALES	13
2.4. EL PESCADO	14
2.4.1. Generalidades del pescado	14
2.4.1.1. Composición del pescado	15
2.4.1.2. Tejido muscular del pescado	16
2.4.1.2.1. Proteínas en el músculo de pescado	17
2.4.1.3. Propiedades funcionales de las proteínas del músculo de pescado	18

2.4.1.3.1. Solubilidad	19
2.4.1.3.2. Capacidad de retención de agua (CRA)	19
2.4.1.3.3. Capacidad de gelificación	20
2.4.1.3.4. Capacidad emulgente	21
2.4.1.4. Valor nutrimental del pescado	22
2.4.1.5. Cambios en el músculo después de la pesca	25
2.4.1.5.1. Cambios sensoriales	25
2.4.1.5.2. Cambios autolíticos	25
2.4.1.4.5.2.1. Autolisis	27
2.5. CARPA (<i>Cyprinus carpio</i>)	29
2.5.1. Rasgos biológicos	29
2.5.2. Antecedentes históricos	29
2.5.3. Principales países productores y producción mundial	30
2.5.4. Composición nutrimental	30
2.5.5. Pesquería de carpa en México	30
2.5.6. Productos a base de carpa	31
2.6. FIBRA DIETÉTICA	32
2.6.1. Clasificación	34
2.6.2. Propiedades funcionales de la fibra	35
2.6.3. Usos y ventajas tecnológicas	36

2.7. CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.)	37
2.7.1. Características de la semilla de chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	37
2.7.1.1. Cultivo	38
2.7.1.2. Composición fisicoquímica de las semillas de chía (<i>Salvia hispánica</i> L.) y propiedades funcionales	38
2.7.2. La chía como fuente de ácidos grasos esenciales en la nutrición humana	39
2.7.3. Usos y aplicaciones de la chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	40
2.7.4. Antioxidantes presentes en la chía (<i>Salvia hispánica</i> L.) y propiedades funcionales	41
2.8. RADICALES LIBRES Y ANTIOXIDANTES	42
2.8.1 Antioxidantes naturales	43
2.8.1.1. Compuestos fenólicos	45
2.8.1.1.1. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos	46
2.8.2. Aplicación de antioxidantes naturales en alimentos	46
3. JUSTIFICACIÓN	47
4. HIPÓTESIS	48
5. OBJETIVOS	49

6. METODOLOGÍA	50
6.1. Materia prima y reactivos	50
6.1.1. Colecta y almacenamiento de la carpa	50
6.1.2. Compra y almacenamiento de las semillas de chía.	50
6.1.3. Elaboración de harina.	50
6.1.4. Reactivos	50
6.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	51
6.3. METODOLOGÍA	52
6.3.1. pH	52
6.3.2. Acidez total titulable	52
6.3.3. Capacidad de retención de agua (CRA).	52
6.3.4. Rendimiento de cocción	53
6.3.5. Medición de parámetros de color	53
6.3.6. Extracción de proteínas miofibrilares.	54
6.3.7. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	54
6.3.8. Gelificación de las proteínas	55
6.3.9. Textura (Warner-Bratzler).	55
6.3.10. Análisis del perfil de textura (TPA).	56
6.3.11. Humedad	57
6.3.12. Cenizas	57

6.3.13. Proteína cruda	57
6.3.14. Determinación de extracto etéreo	58
6.3.15. Compuestos fenólicos totales (método Folin – Ciocalteau)	59
6.3.16. Prueba de preferencia (prueba hedónica)	59
6.3.17. Análisis estadístico	60
7. ARTÍCULO	61
7.1. Carta de envío	61
7.2. Documento	62
8. REFERENCIAS	82
9. ANEXOS	94
9.1. Anexo I. Compuestos fenólicos totales de la harina de chíá	94
9.2. Anexo II. Imágenes de carpa común	94
9.3. Anexo III. Imágenes de geles con 0, 1, 4 y 8% de harina de chíá adicionada.	96
9.3. Anexo IV. Imágenes de prototipos de hamburguesa a base de geles cárnicos adicionados con 4 y 8 % de harina de chíá.	98

Índice de tablas

Tabla 1. Constituyentes principales del músculo de pescado y carne de res (en porcentaje).	16
Tabla 2. Aminoácidos esenciales en diversas fuentes de proteína (porcentaje).	18
Tabla 3. Resumen de los cambios autolíticos en pescado refrigerado o congelado.	28
Tabla 4. Composición química proximal de porción comestible de carpa común por cada 100 g de músculo.	30
Tabla 5. Parámetros relacionados con la funcionalidad de los alimentos y la fibra.	35
Tabla 6. Composición fisicoquímica de semillas de chía.	38
Tabla 7. Contenido de fibra dietética en semillas de chía.	39
Tabla 8. Concentración de antioxidantes encontrados en extractos de semilla de chía.	42
Tabla 9. Familias de compuestos fenólicos	45
Tabla 10. Compuestos fenólicos totales de las semillas de chía	94

Índice de Figuras

Figura 1. Pescados	22
Figura 2. <i>Cyprinus carpio</i> , carpa común.	29
Figura 3. Estados con mayor producción pesquera en México	31
Figura 4. Planta de <i>Salvia hispánica</i> L.	37
Figura 5. Semillas de chíá	38
Figura 6. Clasificación de los antioxidantes	44
Figura 7. Diagrama de flujo del desarrollo del experimento.	51
Figura 8. Curva típica del análisis de perfil textura (TPA)	56
Figura 9. Carpa común, y corte de músculo	94
Figura 10. Cortes cúbicos de músculo de carpa	95
Figura 11. Corte transversal de carpa común	95
Figura 12. Gel cárnico con 0% de harina de chíá	96
Figura 13. Gel cárnico con 1% de harina de chíá	96
Figura 14. Gel cárnico con 4% de harina de chíá	97
Figura 15. Gel cárnico con 8% de harina de chíá	97
Figura 16. Comparación de geles cárnicos a base de carpa común adicionados con 0, 1, 4 y 8% de harina de chíá.	98
Figura 17. Hamburguesa con 4 y 8% de harina de chíá adicionada	98

Resumen

La tendencia actual de los consumidores respecto a la salud, los ha llevado a que modifiquen sus hábitos alimenticios, y con ello que cada vez se preocupen más por los alimentos que consumen, lo que conlleva a la búsqueda de productos saludables, nutracéuticos o funcionales. Estos últimos deben cumplir con la parte de funcionalidad: nutrimental y estructural, para ser considerados funcionales. Dentro de éstos, se sabe que la chía (*Salvia hispanica* L.) ofrece grandes ventajas tecnológicas y nutrimentales, de las cuales cabe resaltar su alto contenido en fibra dietética, su contenido en ácidos grasos omega 3 y 6, y actividad antioxidante entre otros. Los carbohidratos poliméricos no almidonados, fibras, en los alimentos son muy utilizadas ya que poseen la capacidad emulgente, gelificante, espesante y como sustituto de grasa, no solo en las espumas, sino en helados, cárnicos y derivados. Por otro lado, los productos acuícolas proporcionan proteínas de alta calidad, ácidos grasos esenciales como los omegas; tal es el caso de carpa común (*Cyprinus carpio*) especie de importancia económica en el Estado de México, cuyo consumo se reduce a forma directa ya sea frita o empapelada. Esta especie así como muchas especies acuícolas, presenta un problema, la alta actividad enzimática, que degrada a la miosina, proteína principal que le da la característica de textura a los productos cárnicos, por tal razón no tiene un uso tecnológico, dado que presenta una baja capacidad de gelificación, requiriendo agentes que mejoren este aspecto como gelificantes y fibras entre otros. Por lo cual el objetivo de éste trabajo fue evaluar el 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*), para la obtención de un alimento funcional.

Abstract

The current trend of consumers regarding health, has led them to change their eating habits, and thus they are increasingly concerned about the food that they eat, which leads to the search for healthy, nutraceuticals or functional foods. These should have both part of functionality: nutritional and structural, to be considered functional food. Among these, it is known that chia (*Salvia hispanica* L.) offers great technological and nutritional advantages, of which it is worth observing its high content of fatty acids (omega 3 and 6), antioxidant activity and dietary fiber among others. Dietary fibers, are widely used in due they have emulsifier, gelling and thickener properties and as a fat substitute capacity, those attributes are in several kind of products such as: foam, ice cream, meat and its derivatives. On the other hand, the aquaculture offers products which provide high-quality protein and essential fatty acids like omega (3 or 6). The common carp (*Cyprinus carpio*) is an economically important species in the State of Mexico, whose consumption is reduced both either directly or fried papered. This species and many aquaculture species, presents a high enzyme activity, which degrades the myosin, miofibrillar protein, that gives the characteristic of texture in meat and its products, giving a low gelling capacity among other, for this reason, the muscle of this species are not used frequently in technological process, to do this, it is necessary agents and others products to improve the appearance in overall properties and characteristics. Therefore, the objective was to evaluate the effect of flour Chia (*Salvia hispanica* L.) addition on physicochemical, textural and sensorial characteristics of a restructured meat based on common carp (*Cyprinus carpio*) muscle to obtaining a functional food.

1. Introducción

Debido a la globalización y al ritmo actual de vida, los hábitos alimenticios en México, así como en el resto del mundo, han tendido al consumo de productos industrializados, comida rápida y productos “chatarra” entre otros, generando una tasa más alta de morbilidad en enfermedades crónico degenerativas, como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, etc., lo que ha despertado el interés de consumidores e investigadores por buscar alimentos saludables y/o funcionales que coadyuven a disminuir este tipo de trastornos alimenticios.

El pescado es un alimento rico en su contenido proteínico de alta calidad, también es un producto perecedero debido a su elevada actividad enzimática *in situ*, dando como consecuencia la disminución en propiedades funcionales del tipo estructural, por tal razón es poco utilizado en la industria para llevar a cabo procesos tecnológicos. Dentro de la industria cárnica, se utilizan diversos agentes, que mejoran las características, sensoriales, texturales y fisicoquímicas, siendo éstos agentes, muchas veces benéficos para la salud, como por ejemplo las fibras dietarias, las cuales son empleadas como emulgentes, gelificantes y sustitutos de grasas entre otras funciones. Las fibras dietarias pueden ser obtenidas de diversas fuentes como el agave, la achicoria, la dalia, y pseudocereales como la chía (*Salvia hispánica* L.), la cual es originaria del sur de México, que fue un cultivo principal de las antiguas culturas mesoamericanas. Una reciente evaluación de las propiedades de ésta mostró un contenido de fibra de 22g/100g y proteínas de 17g/100g, por lo que su consumo proporciona numerosos beneficios de salud. Dadas las características antes mencionadas, el ser utilizada como fibra en alimentos podría proporcionar características texturales a los alimentos subaprovechados tecnológicamente como es el caso de ciertas especies acuícolas. Se ha observado que al mezclar fibra dietaria a proteínas de pescado pueden mejorar sus propiedades estructurales, asimismo, nutrimentales, por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de harina de chía (*Salvia hispánica* L.) sobre las características fisicoquímicas, texturales y sensoriales de geles cárnicos elaborados a base de carpa común (*Cyprinus carpio*).

2. Antecedentes

2.1. PRODUCTOS CÁRNICOS A BASE DE PROTEÍNAS DE ORIGEN ACUÍCOLA EN EL MUNDO

Los productos de la pesquería a nivel mundial y en México, han tomado un gran auge por los beneficios que proveen en relación a la salud, por el aporte de proteína de buena calidad y la presencia de lípidos como los omega 3 y 6; de ahí que su consumo haya aumentado y con ello que los consumidores busquen nuevas presentaciones de cocinar y consumir este tipo de recursos acuícolas. En este sentido, investigadores, productores e industrias han desarrollado una serie de productos semi procesados y procesados de origen acuícola, solos o con mezcla de proteína de otro origen.

Dentro de estos productos se encuentran en el mercado lasagna de pescado congelada disponible en diversos países, salchichas de atún y camarones (Cárnicos Valle, 2006) comercializados en Madrid, España, salchichas a base de formulación de atún y carne de res (Faría *et al.*, 2005) en Venezuela, pates de salmón, anchoas y bacalao (Echarte *et al.*, 2004) desarrollados en España, nuggets y dedos de pescado (productos empanados) en presentación para niños comercializados en Alemania (Seafish, nd) y en la mayor parte del mundo. También se encuentran los calamares rellenos, productos de pescado picado como salchichas, pasteles, chuletas, albóndigas, pastas, y productos texturizados, además de productos amasados como kamaboko (pasta de pescado), kanikama (surimi), chikuwa (cilindro de surimi), jamón de pescado (Maqsood *et al.*, nd) de origen oriental, y de igual forma en los países escandinavos son muy comunes las albóndigas de pescado (Archer, 2001). De estos productos mencionados existe uno que presenta reconocimiento internacional, el surimi.

2.2. EL SURIMI

Surimi es un término de origen japonés, que se define como una pasta de proteínas miofibrilares concentradas, obtenidas de la molienda o el troceado de la musculatura de pescado que

posteriormente se somete a lixiviación con agua a baja temperatura, dicho proceso se emplea en la elaboración de imitación de productos del mar (Sotelo, Filomena & Rodríguez, 2008).

El proceso de manufactura de surimi permite emplear diversas especies acuícolas principalmente pescado, sin que sean percibidas en el producto final, no se distinguen diferencias respecto al color, aroma y sabor característico de cada especie empleada (Beltrán-Lugo, 2000).

El surimi es un producto intermedio para la elaboración productos reestructurados de pescado tales como kamaboko, albóndigas de pescado, palitos de cangrejo y otros nuevos productos (Zhang *et al.*, 2013), generalmente viene en forma de bloque y se almacena congelado (Santana, Huda & Yang, 2012).

Los japoneses comenzaron a elaborarlo hace cientos de años atrás como una forma de conservar la carne de pescado. Hoy en día, el surimi es un alimento popular no sólo en Japón sino también en muchos otros países debido a sus excepcionales propiedades texturales y de alto valor nutrimental (Santana, Huda K & Yang, 2012). El surimi de pescado magro tiene una cantidad de agua que está entre el 75 y el 84% y debe ser blanco, inodoro y sin residuos. Es un producto que no tiene nada de grasa y su porcentaje de proteína es del 12 al 17% (Armengod, Lóres & Alcuson, 2008).

En la actualidad mercado mundial de surimi se centra en Japón, país que es el mayor consumidor de este producto a nivel mundial, y en el este y sudeste de Asia el consumo se incrementa al incorporarlo como uno de sus alimentos tradicionales (Pearson & Dutson, 1997).

Se estima que alrededor de 315.800 millones de toneladas de productos de surimi fueron producidos en la región del sudeste asiático en 2005 (Pangsorn, Laong-Manee & Siriraksophon, 2007).

El surimi es considerado en Japón como un alimento saludable el cual forma parte de una dieta balanceada y buenos hábitos alimentarios, cuyo consumo y aporte nutrimental coadyuva a la prevención de enfermedades, sin embargo la importancia que tienen los buenos hábitos alimentarios sobre la salud y la calidad de vida de las personas se estableció de manera inequívoca hace varias décadas. Una correcta alimentación debe aportar los nutrientes necesarios para satisfacer las necesidades nutrimentales de cada persona. La ciencia de la nutrición ha evolucionado a partir de los conceptos clásicos, como podía ser tratar de evitar las deficiencias de nutrientes, a una nutrición “positiva” u “óptima”, centrada en la identificación de componentes biológicamente activos de los

alimentos que ofrezcan la posibilidad de mejorar las condiciones físicas y mentales, así como de reducir el riesgo de desarrollar enfermedades (Maestre, 2012).

2.3. ALIMENTOS FUNCIONALES

Los hábitos de alimentación han sido considerados como un factor importante asociado con el estado de salud. El consumo de comida “chatarra” y/o fast food ha aumentado considerablemente, con lo que se han manifestado una serie de enfermedades relacionadas con deficiencias nutrimentales, propiciando con ello que la población modifique su dieta y que surja una preocupación generalizada por los alimentos que se consumen, y los lleven una búsqueda de alimentos saludables, nutraceúticos y/o funcionales (Silveira Rodríguez *et al.*, 2003).

El concepto de alimento funcional surgió en Japón hacia la década de los 80 con la finalidad de disminuir los costos en el tratamiento de enfermedades crónicas de la población longeva, y por tanto reducir el gasto sanitario (Zaldívar, 2003), han sido descritos como aquellos alimentos que se ha demostrado satisfactoriamente que modifican de forma beneficiosa una o más funciones específicas en el cuerpo, más allá de los efectos nutrimentales adecuados de un modo relevante ya sea una mejora del estado de buena salud y/o una reducción del riesgo de padecer alguna enfermedad (Carrillo *et al.*, 2013), y éstos pueden ser definidos a partir de dos características de funcionalidad: nutrimental y estructural.

Bajo la perspectiva anterior, se han estudiado diversos alimentos que poseen compuestos que cuentan con todas las características para ser considerados como funcionales desde el punto de vista nutrimental, como es el caso de la avena, la soya, los tomates, el ajo, el brócoli, los cítricos, los arándanos, la jalea real, el té, el pescado y la carne, entre otros (Vo & Kim, 2013). Las ventas de estos alimentos han surgido de manera significativa en todo el mundo y aun mayor en Europa, donde el mercado de los alimentos funcionales está dominado por productos para la salud intestinal, los probióticos en particular son los productos lácteos con mayor éxito, con lo cual puede explicársela imagen positiva de estos productos entre los consumidores, sin embargo, a nivel mundial hay un gran inclinación por los productos acuícolas como los pescados, ya que poseen atributos únicos de calidad: alto contenido proteico y bajo contenido graso, haciendo de estos una excelente fuente proteica, así como omegas, etc., (Annunziata & Vecchio, 2013).

Respecto a la funcionalidad estructural, ésta define las características texturales de un alimento, quebradizo, fibroso, líquido, viscoso, cohesivo, adhesivo, gomoso, etc.; posee particularidades tales que lo definen en cuanto a su textura, es decir, desde la primer impresión (contacto visual y/o auditivo) y la posterior (análisis textural en la boca), todo esto aunado a su parte nutrimental. Su funcionalidad en conjunto, es decir nutrimental y estructural, promueve efectos benéficos a la salud, más allá de lo que un alimento convencional realiza en el organismo, tal efecto se observa en que ayuda a prevenir y/o reducir riesgos de padecer alguna (as) enfermedad (es) de acuerdo con Silveira Rodríguez *et al.* (2003), sin embargo este concepto no es oficial debido a que no hay legislación internacional o específica que reconozca la definición (Carrillo *et al.*, 2013).

2.4. EL PESCADO

El termino pescado se suele emplear para designar al pez comestible sacado del agua y que se utiliza como alimento, en estado fresco o previamente conservado, puede provenir de mares y océanos (agua salada), o de ríos y lagos (agua dulce) (Camarero, 2006), por lo que también se debe definir a los peces. Los peces son los únicos vertebrados acuáticos que tienen respiración branquial desde su nacimiento hasta su muerte. Por lo general tienen un cuerpo comprimido y fusiforme y cuentan para su traslación con aletas pares e impares lo que facilita su movimiento en el medio acuático (Pérez, 1982). Los peces comúnmente conocidos se clasifican como teleosteos, que son aquellos con boca perfecta y esqueleto calcificado y sus branquias se encuentra en la cavidad branquial, esto de acuerdo con Pérez (1982).

2.4.1. Generalidades del pescado

De acuerdo con la FAO (2013a) y Huss (1995) los peces son vertebrados acuáticos inferiores de sangre fría, que utilizan branquias para la obtención de oxígeno del agua y presentan aletas.

De acuerdo con Huss (1995) éstos son los vertebrados más numerosos, con al menos 20,000 especies conocidas, de las cuales el 58% se encuentran en medio marino, y generalmente este porcentaje se encuentra en aguas cálidas y templadas de plataformas continentales.

2.4.1.1. Composición del pescado

Al igual que la carne de origen terrestre, el pescado y productos pesqueros contienen agua, proteínas y otros compuestos nitrogenados, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas, esta composición química varía mucho de una especie a otra de pescado dependiendo de la edad, el sexo, el medio ambiente y la temporada.

Las proteínas y los lípidos son los componentes principales, mientras que los carbohidratos están presentes en niveles bajos (menos de 0,5 %). Su contenido en vitaminas es comparable a la de los mamíferos, exceptuando a las vitaminas A y D que se encuentran en grandes cantidades en la carne de las especies grasas, especialmente en el hígado de las especies como el bacalao y el halibut. En cuanto a los minerales, la carne de pescado es una fuente particularmente valiosa de calcio y fósforo, así como hierro, cobre y selenio. Además, los peces de agua salada contienen altos niveles de yodo (FAO, 2013a).

En función de su contenido en lípidos presenta una variación de 0,2 por ciento a 25,0 %, el pescado se clasifica en magro, semi-graso o graso. Peces que habitan a la profundidad del suelo, como el bacalao, el carbonero y merluza comúnmente son especies magras. Especies grasos incluyen especies pelágicas como el arenque, la caballa y espadín. Algunas especies almacenan lípidos en partes de los tejidos de su cuerpo en cantidades limitadas o sólo en cantidades más pequeñas que las típicas de especies grasas, y en consecuencia denominadas semi-grasas (por ejemplo, barracuda, la lisa y el tiburón).

De acuerdo con la FAO (2013a) los lípidos presentes en peces contrastan en gran medida con los lípidos de los mamíferos, los cuales presentan hasta 40 por ciento 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).

Las proteínas son el segundo constituyente más importante del pescado, 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 tiene 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 (2013a).

2.4.1.2. Tejido muscular del pescado

Al igual que el pescado completo, el tejido muscular contiene agua, proteínas y otros compuestos nitrogenados, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas y su composición química varía de una especie a otra en función de la edad, el sexo, el medio ambiente y la temporada (FAO, 2013b). La variación también 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, 2013b).

En la tabla 1, se presentan los principales componentes del músculo de pescado y su variación. La composición media del músculo de carne de res ha sido incluida para comparación.

Tabla 1. Constituyentes 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, 2013b.

2.4.1.2.1. Proteínas en el músculo de pescado

De acuerdo a la FAO (2013c) las proteínas en el tejido muscular de peces se pueden dividir en tres grupos:

- **Proteínas estructurales** (actina, miosina, tropomiosina y actomiosina), que constituyen el 70-80% del contenido total de proteína (en comparación con 40 % en los mamíferos). Estas proteínas son solubles en soluciones salinas neutras de fuerza iónica bastante alta (0,5 M).
- **Proteínas sarcoplásmicas** (mioalbúmina, globulina y enzimas) que son solubles en soluciones salinas neutras de baja fuerza iónica (<0,15 M). Esta fracción constituye el 25-30 % de la proteína.
- **Proteínas del tejido conjuntivo** (colágeno), que constituyen aproximadamente el 3% de la proteína en teleósteos y aproximadamente 10 % en elasmobranquios (en comparación con 17 % en los mamíferos).

Las proteínas estructurales conforman el aparato contráctil responsable del movimiento muscular. La composición de aminoácidos es aproximadamente similar a 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, 2013c).

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, 2013c).

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 delicada red estructural con complejidad variable en los diferentes tejidos conectivos en un patrón similar a la encontrada en los mamíferos. Sin embargo, el colágeno de pescado es mucho más termolábil y contiene menos, pero los enlaces cruzados son más lábiles que el colágeno de vertebrados de sangre caliente. Los pescados, dependiendo la especie, contienen una cantidad variable de colágeno en los tejidos del cuerpo, y se sugiere que esta variación en el contenido y

tipo de colágeno puede tener una influencia sobre las propiedades texturales del músculo de pescado. (FAO, 2013c).

Las proteínas del pescado contienen todos los aminoácidos esenciales y como la leche, los huevos y las proteínas de carne de mamíferos tienen un valor biológico muy alto (Ver tabla 2).

Tabla 2. 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, 2013c.

2.4.1.3. Propiedades funcionales de las proteínas del músculo de pescado

La calidad del pescado depende del 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 valor tecnológico depende de las proteínas (Sikorski, 1990). Las propiedades se pueden perder o malograr 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.

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.

2.4.1.3.1. Solubilidad

La solubilidad puede ser definida como el porcentaje total de proteína muscular que permanece en solución bajo condiciones específicas y que no sedimenta bajo fuerzas moderadas de centrifugación (Miranda, 2011).

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

2.4.1.3.2. Capacidad de retención de agua (CRA)

Se define como la capacidad de la estructura del músculo de 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 sensorial, 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.

2.4.1.3.3. Capacidad de gelificación

Un gel es la fase intermedia entre un sólido y un líquido, 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. Esta transformación se facilita por calor, enzimas o cationes divalentes en condiciones adecuadas (Burchard *et al.*, 1991), sin embargo, los geles pueden fracturarse y fluir bajo la acción de fuerza pequeñas (Arizmendi-Cotero, 2012).

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 sulfhidrilo-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 otros 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).

2.4.1.3.4. Capacidad emulgente

La capacidad emulgente es 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). La capacidad emulgente 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).

Este tipo de emulsiones estabilizadas por proteínas suelen ser estables por varios días, no suele observarse separación de fases en cantidades detectables en un tiempo razonable si las muestras se almacenan en condiciones atmosféricas habituales.

Los factores que afectan la estabilidad de una emulsión proteínica son el pH, las fuerza 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.

2.4.1.4. Valor nutricional del pescado

El pescado es muy nutritivo, sabroso y fácil de digerir. La FAO (2013d) 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.



Figura 1. Pescados. Fuente: Mora, 2011.

Los productos pesqueros son comparables con los productos cárnicos y productos lácteos en la calidad nutrimental. 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, 2013d). 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 baja. 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) inferiores y de lipoproteínas de alta densidad (HDL) 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). En función de la abundancia de éstos, los pescados se pueden clasificar desde el punto de vista nutritivo en:

- a. **Pescados 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 y merluza.
- b. **Pescados semigrasos:** su contenido en grasa varía entre el 2% y el 5%. En este grupo se incluye a la lubina, besugos, dorada, rodaballo y trucha.
- c. **Pescados 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). La composición y la cantidad de ácidos grasos que componen el tejido del pescado puede verse afectada por la dieta, tamaño, edad, ciclo reproductivo, salinidad, temperatura, estación y localización geográfica (Bandarra *et al.*, 1997; Shirai, 2001). 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).

2.4.1.5. Cambios en el músculo después de la pesca

Inmediatamente después de la captura del pescado se presentan varios cambios químicos y biológicos que pueden conducir a un rechazo para el consumo humano debido a su deterioro.

2.4.1.5.1. 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 varía 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 está famélico y las reservas de glucógeno se agotan, o bien si el pescado está 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).

2.4.1.5.2. Cambios autolíticos

La autólisis 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.

2.4.1.4.5.2.1. Autolisis

El rigor mortis se presenta cuando el nivel de ATP en el músculo cae a 1,0 μ 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 3.

Como hace mención la FAO (2013e) 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 de

nitrógeno proteínico[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.

Tabla 3. 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, carboxi-peptidasas	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, 2013e.

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, 2013e).

2.5. 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).

2.5.1. Rasgos biológicos

Es un pez con cuerpo alargado y comprimido, presenta 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 2). Dientes faríngeos 5:5. Color variable que va de color pardusco verdoso a amarillo dorado (FAO, 2013f).

2.5.2. 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 construídas 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, 2013f).



Figura 2. *Cyprinus carpio*, carpa común. Fuente: Kraft *et al.*, 2006.

2.5.3. 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, 2013). 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, 2013f).

2.5.4. 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 dietaria 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 4, se muestra la composición química proximal de la porción comestible de *Cyprinus carpio*:

Tabla 4. Composición química proximal de porción comestible de carpa común por cada 100 g de músculo.

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

2.5.5. Pesquería de carpa en México

Según datos de la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, (CONAPESCA) citados por Ronzón-Fernandez (2012), México ocupó en 2008 el lugar número 17 a nivel mundial en producción pesquera México cuenta con más de 300 especies de pescados y mariscos comestibles, de las

cuales, aproximadamente 200 son consumidas regionalmente, y alrededor de 100 especies comestibles se consideran comerciales y se encuentran en los diversos mercados de acuerdo a su temporada de producción.

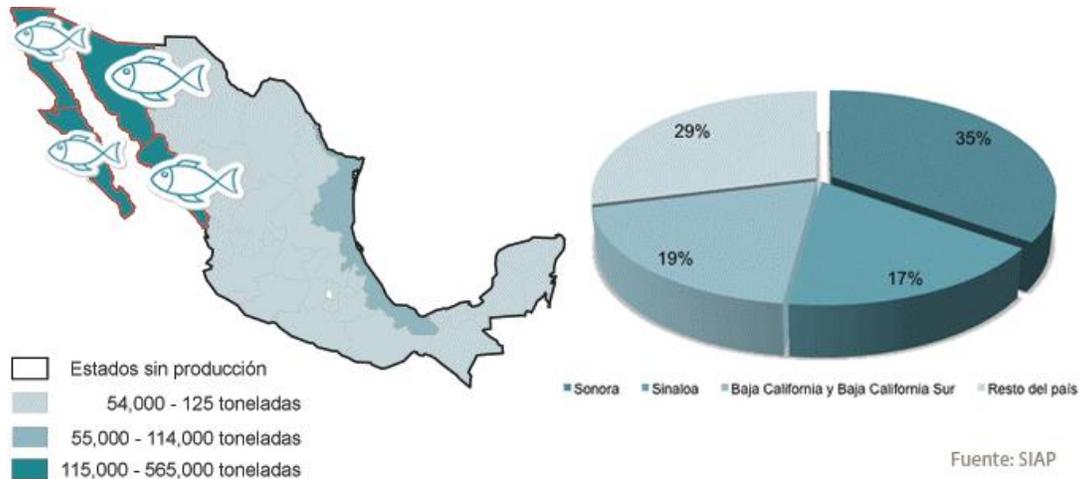


Figura 3. Estados con mayor producción pesquera en México (Fuente: SIAP.GOB.MX, 2012)

México cuenta con más de 300 especies de pescados y mariscos comestibles, de las cuales, aproximadamente 200 son consumidas regionalmente, y alrededor de 100 especies comestibles se consideran comerciales y se encuentran en los diversos mercados de acuerdo a su temporada de producción (Ronzón-Fernández, 2012), dentro de estas especies se encuentra la carpa que presenta una tasa alta de producción. Según la CONAPESCA citada por Ronzón-Fernandez (2012) el volumen promedio de la producción pesquera de carpa en toneladas del año 2006 al 2011 fue de 22,306 toneladas.

De acuerdo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2013) los estados productores de carpa común son Coahuila, Jalisco, Estado de México, Sinaloa y Tamaulipas. En el Estado de México el municipio reportado es Valle de Bravo que en el mes de junio de 2012 reportó un cultivo de 1630 kg de la especie.

2.5.6. Productos a base de carpa

Docampo *et al.* (1996) en el informe de pesca número 538 de la FAO muestra 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 carapa 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, siendo formas que no todo el consumidor gusta no habiendo alternativas.

Bajo la perspectiva que se presenta en el tema 2.4.1.3. *Propiedades funcionales de las proteínas del músculo de pescado* y el tema 2.4.1.5. *Cambios en el músculo después de la pesca*, se resume que los productos acuícolas y marinos, presentan una alta actividad enzimática que afecta de manera significativa las propiedades funcionales de las proteínas del músculo del pescado, por lo que es necesario la adición de componentes para contrarrestar efectos como la baja capacidad funcional en cuanto a la estructura como la melificación, dichos componentes como se han mencionado podrían ser proteínas de origen vegetal como la soya, gomas como la guar, xantana, algarrobo, etc., fibras como la inulina o bien compuestos como los cereales y pseudocereales que dentro de su composición además de compuestos antioxidantes, omegas y demás contenido, tienen una cantidad considerable de fibra, la cual ha sido aplicada en la industria de los alimentos como espesantes, sustitutos de grasa y gelificantes entre otros usos.

2.6. FIBRA DIETÉTICA

La fibra dietética se define como aquella mezcla de polímeros de carbohidratos con diez o más unidades monoméricas que contienen oligosacáridos y polisacáridos (celulosa, hemicelulosa, almidón, gomas, pectina, inulina, etc), 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).

Por otro lado 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 los 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 promedio, 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 es 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.

2.6.1. Clasificación

La fibra dietética se puede clasificar en dos grupos, de acuerdo a la digestibilidad en el intestino delgado:

A. Fibra dietética soluble, se disuelve en agua y es degradada por las bacterias, puede ser encontrada en alimentos como habas, maíz, avena, cebada, chicharos, coles, lentejas, zanahorias, duraznos, pasas, zarzamoras, arándanos, germen, manzanas, plátanos, gomas y algas, por nombrar algunos. Esta fibra aumenta el volumen y el contenido de agua, forma un gel en los intestinos que regula el flujo del material de desecho a través de la zona digestiva, retarda el tiempo de vaciamiento gástrico retardando la absorción de glucosa en la sangre y se existe evidencia de que baja los niveles de colesterol. No hay se han presentado efectos secundarios (Cadden, 1988).

B. Fibra dietética insoluble, este tipo de fibra no se disuelve en agua y transita a través del sistema digestivo sin modificarse. Se estima que 65 al 75% de la fibra dietética en nuestra dieta es insoluble. Esta fibra se puede encontrar en el salvado (la cubierta externa del maíz, avena, arroz, trigo, etc.), los granos enteros (maíz, cebada, arroz, trigo, avena), los cereales, las pieles comestibles de frutas, apio, etc. La fibra insoluble acelera el tránsito intestinal, aumenta el peso fecal, retarda la hidrólisis del almidón, y retrasa la absorción de la glucosa. Ayuda a la obtención de heces más suaves, más grandes. También da lugar a una frecuencia creciente de la defecación. Mientras que las heces se muevan a través del intestino, raspan las paredes intestinales y quitan materia útil, la fibra dietética juega un papel importante en la diabetes, incluyendo efectos potenciales sobre la saciedad, la obesidad y la absorción de ciertos azúcares (Cadden, 1988).

Esta última ofrece numerosos beneficios fisiológicos para la salud en los seres humanos, incluyendo la reducción de la glucosa en sangre posprandial, los niveles de colesterol preprandiales, enfermedad cardíaca coronaria, y algunos tipos de cáncer. Dado que la preocupación por la salud motiva a un gran número de consumidores a comprar alimentos ricos en fibra insoluble, el análisis de la fibra dietética atrae la atención de los científicos de alimentos (Huang *et al.*, 2013)

2.6.2. Propiedades funcionales de la fibra

La fibra dietética presenta una funcionalidad muy variada en relación con los aspectos organolépticos, microestructurales, mecánicos/físicos y propiedades químicas de los alimentos que la contienen, como las que se resumen en la tabla 5. 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.

Tabla 5. Parámetros relacionados con la funcionalidad de los alimentos y la fibra.

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

Fuente: Córdoba, 2005

Las propiedades más relevantes de la fibra dietética 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

2.6.3. 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, las fibras dietéticas, se presentan 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 pseudoceareales poco empleados para uso tecnológico y que presentan una cantidad considerable de fibra dietética, se encuentran las semillas de chía.

2.7. CHÍA (*Salvia hispanica* L.)



Figura 4. Planta de *Salvia hispanica* L. Fuente: Mashpedia.com, 2013.

La *Salvia hispanica* L., mejor conocida como semillas de chía o chía, 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. 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 de chía (*Salvia hispanica* L.)

La semilla 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 5. Semillas de chía. Fuente: Mashpedia.com, 2013.

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)

2.7.1.2. Composición fisicoquímica de las semillas de chía (*Salvia hispánica* L.) 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 6, se presenta el porcentaje de macro nutrientes presentes en las semillas.

Tabla 6. 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, 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 aportadoras de minerales entre los que destacan el calcio, el fosforo, el magnesio, el potasio, el hierro, el zinc y el cobre (Ayerza, 2006).

Respecto al contenido de fibra Salgado-Cruz *et al.* (2005) reportan los datos que se presentan en la tabla 7, respecto al contenido de fibra dietaria:

Tabla 7. Contenido de fibra dietética en semillas de chía.

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

Fuente: Salgado-Cruz *et al.*, 2005

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).

2.7.2. 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 desempeñan un papel 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, 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)

2.7.3. Usos y aplicaciones de la chía (*Salvia hispánica* L.)

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 llamadas 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).

2.7.4. 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 informantes presentes en las semillas de chía son el ácido clorogénico, el ácido cafeíco, los flavonoles, la miricetina, quercetina y el kaempferol (tabla 8). 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, 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 cafeíco 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).

Tabla 8. 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

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).

2.8. RADICALES LIBRES Y ANTIOXIDANTES

Habitualmente los electrones se encuentran en apareados, cuando un electrón pierde su duplo, el electrón que queda intenta indiscriminadamente allegar electrones de otros átomos. Los electrones pueden ser “robados” de las moléculas de las grasas y las proteínas, incluso del ADN, a los que

oxida. Esta circunstancia provoca una reacción en cadena (pues la molécula a la que le han robado el electrón busca a su vez otra molécula) que puede causar daños biológicos importantes. La pérdida de uno de los electrones que forman un duplo se conoce como oxidación. El proceso de devolver un electrón a su duplo original se conoce como reducción en acción. En cada célula de los organismos animales y humanos se lleva a cabo un constante ciclo de oxidación y reducción (Challem & Block, 2008).

El cuerpo emplea antioxidantes para reducir a los radicales libres y el daño que estos pueden causar. Los antioxidantes donan electrones a estos radicales poniendo fin a la reacción en cadena, estabilizando así al átomo que ha estado intentando encontrar una pareja para su electrón desaparejado. El organismo en sus funciones habituales como la respiración o la digestión, genera radicales libres, pero además estamos expuestos a agentes externos que también los producen, como la contaminación o algunos productos químicos que contienen el agua o los alimentos. El cuerpo humano no produce antioxidantes, otros los obtiene del exterior, a través de alimentos y otros productos. Se dice que hay estrés oxidativo cuando la exposición a los radicales libres es mayor de la que los antioxidantes pueden neutralizar (Challem & Block, 2008).

De acuerdo con Basuny *et al.* (2012), un antioxidante o eliminador de radicales libres es un compuesto que inhibe o retrasa la oxidación de sustratos incluso cuando el compuesto está presente en una concentración significativamente menor que es el sustrato oxidado. Estos eliminadores de radicales libres (antiox) ayudan en la prevención enfermedad inducida por el estrés como melanoma, trastornos cardíacos, diabetes mellitus, enfermedades inflamatorias y neurodegenerativas y cáncer. Berger *et al.* (2011) cita dos definiciones: a) Cualquier sustancia que retrasa, evita, o disminuye el daño oxidativo a una molécula diana y, b) cualquier sustancias que directamente elimina o neutraliza las especies reactivas de oxígeno (EROs) o actúa indirectamente para regular a un máximo las defensas antioxidantes o inhibir la producción de EROs. Por lo tanto, es importante la administración de compuestos con actividad antioxidante a través de la dieta con el fin de lograr el balance normal deseado (Corpas *et al.*, 2008).

2.8.1 Antioxidantes naturales

Existen antioxidantes naturales contenidos en los alimentos y también sintéticos, elaborados por la industria y adicionados a los alimentos. En particular, los antioxidantes naturales que pueden ser

hidrosolubles y liposolubles, pueden funcionar como compuestos reductores, interrumpen la cadena de formación de radicales libres, inhiben o impiden la formación de oxígenos libres e inactivan los metales pro-oxidativos. Los radicales libres se forman en el organismo mediante la respiración aeróbica y existen en diferentes formas como: anión superóxido, hidroxilos, peróxidos, y alcóxilos. Son dañinos ya que pueden reaccionar con componentes celulares importantes como el ADN o las membranas (Pokorny *et al.*, 2001).

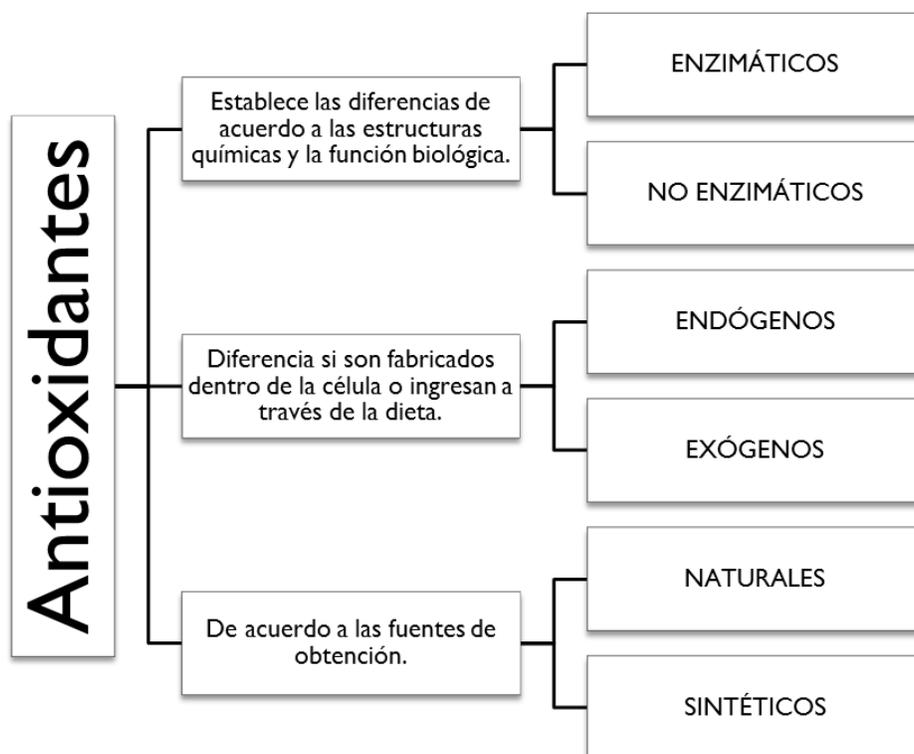


Figura 6. Clasificación de los antioxidantes (Hicks *et al.*, 2006; Criado *et al.*, 2009)

Es complejo proporcionar una definición exacta de antioxidante natural, pero de forma general el término hace referencia a aquellas sustancias con propiedades antioxidantes que se presentan o pueden ser extraídas de los tejidos de las plantas y los animales. Debido a la mala imagen adquirida y al rechazo por parte de los consumidores de los antioxidantes sintéticos, el empleo de antioxidantes naturales como aditivos alimentarios ha adquirido un gran interés en los últimos años. Este tipo de sustancia presenta una serie de ventajas sobre sus homólogos sintéticos; en primer lugar no existe una legislación restrictiva de uso en caso de que el aditivo sea un extracto y no un compuesto puro, son aceptados tanto por autoridades sanitarias como por consumidores y, en ciertos casos pueden ser empleados como colorantes o para impartir ciertos olores o sabores a los alimentos en los que se aplican. Sus mayores inconvenientes son la presencia de otras sustancias no

deseadas presentes en los extractos utilizados, el desconocimiento real de los riesgos que comportan sobre la salud o los caracteres organolépticos no deseados que pueden aportar a los alimentos. La mayoría de los compuestos son fenólicos, entre los que destacan los tocoferoles, los flavonoides y los ácidos fenólicos. El ácido ascórbico y los tocoferoles son los antioxidantes naturales más empleados comercialmente.

2.8.1.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son estructuras químicas formadas por un anillo aromático de benceno unido a uno o más grupos hidroxilo. Estos compuestos se encuentran presentes en todo el reino vegetal, siendo frecuente encontrarlos conjugados con uno o más residuos de azúcar unidos a los grupos hidroxilo, aunque en algunos casos se pueden producir uniones directas entre el azúcar y un anillo del carbono aromático. Los compuestos fenólicos se pueden clasificar en función de su estructura química básica (Harborne, 1989) como se presenta en la tabla 9. Algunas veces, pueden encontrarse unidos a ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, aminas, lípidos y otros compuestos fenólicos (Bravo & Saura-Calixto, 1998).

Tabla 9. Familias de compuestos fenólicos

Numero de átomos de carbono	Esqueleto	Clase
6	C ₆	Fenoles simples
7	C ₆ - C ₁	Ácidos fenólicos
8	C ₆ - C ₂	Acetofenonas, ácido fenil Acético
9	C ₆ - C ₃	Ácido hidroxicinámico, coumarinas, isocoumarinas, poliprenos
10	C ₆ - C ₄	Naftoquinonoas
13	C ₆ - C ₁ - C ₆	Xantonas
14	C ₆ - C ₂ - C ₆	Estilbenos, antroquinonas
15	C ₆ - C ₃ - C ₆	Flavonoides, isoflavonoides
18	(C ₆ - C ₃) ₂	Lignanós, neolignanós
30	(C ₆ - C ₃ - C ₆) ₂	Biflavonoides
N	(C ₆ - C ₃) _n	Ligninas
	(C ₆) _n	Catecolamina
	(C ₆ - C ₃ - C ₆) _n	Taninos condensados

Fuente: Harborne, 1989.

Los compuestos polifenólicos constituyen uno de los grupos de antioxidantes más abundantes y ampliamente distribuidos, con más de 8000 estructuras polifenólicas conocidas (Dreosti, 2000). Son los productos del metabolismo secundario de las plantas y se encuentran en raíces, tallos, troncos, hojas y frutos, donde ejercen una función protectora ante la radiación UV u otras situaciones de estrés (Parr & Bolwell, 2000).

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos se basa en su capacidad secuestradora de radicales libres (scavengers), quelatante de iones metálicos y donadora de electrones (Moller & Loft, 2002). Su estructura química es la ideal para reaccionar con los radicales libres y formar un radical intermedio más estable y menos reactivo, ya que la presencia de anillos aromáticos y grupos hidroxilo permite que se deslocalicen los electrones (Sang *et al.*, 2001).

2.8.1.1.1. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos

A lo largo de los años, algunos beneficios han sido atribuidos a los compuestos fenólicos, y un gran número de estudios han sugerido que el consumo de frutas y verduras pueden reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de cáncer, potencialmente a través de la actividad biológica de los compuestos fenólicos así como de las vitaminas como antioxidantes (Proteggente *et al.* 2002). Por lo que los polifenoles pueden prevenir a la oxidación lipídica, la mutación del ADN y el daño del tejido. El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos parece estar relacionado con su capacidad para quelar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres, aunque en ocasiones también pueden promover reacciones de oxidación *in vitro* (Decker, 1997).

2.8.2. Aplicación de antioxidantes naturales en alimentos

Debido a la función de los antioxidantes, (por ejemplo, los polifenoles), hoy en día los extractos de frutas, hierbas, verduras, cereales y otros materiales vegetales ricos en compuestos antioxidantes, están generando gran interés en la industria de alimentos (Cruz, 2008; Wada *et al.*, 2002). Por lo que se pretende con esta investigación proponer una alternativa de consumo de esta especie acuícola en forma de un producto gelificado, tipo surimi.

3. *Justificación*

La búsqueda de alimentos funcionales ha despertado el interés de investigadores por obtener, crear o reestructurar productos alimenticios que mejoren la salud o prevengan enfermedades al organismo. Las semillas de chía aportan características funcionales como estructurales y nutrimentales, tales como la fibra dietética que combate la obesidad, previene enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo II, de igual manera, posee antioxidantes y proteínas. Asimismo, la carpa común presenta características nutrimentales de gran valor para el ser humano, pero debido a su alta actividad enzimática provoca una disminución en las propiedades texturales tales como la capacidad de gelificación, por lo que es necesario utilizar un agente coadyuvante como la fibra para contrarrestar este fenómeno.

Por lo cual el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el efecto que tiene la 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*), para la obtención final de un alimento funcional, el cual pueda tener una utilidad de uso tecnológico, al alargar la vida de anaquel de éste gel y con ello proporcionar a la comunidad que consume la carpa común una forma distinta de consumo más allá de la tradicional forma frita o empapelada. Aunado a que con la adición de la chía, se incrementaran los niveles de omegas 3 y 6 obteniendo un producto funcional de alto nivel nutrimental.

4. *Hipótesis*

Si la fibra adicionada a los alimentos mejoran las propiedades funcionales de éstos, entonces, la chía (*Salvia hispanica* L) tendrá un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales en un gel cárnico a base de carpa común (*Cyprinus carpio*).

5. Objetivos

5.1. General

Evaluar el efecto de adición de harina de chía (*Salvia hispanica* L.) sobre las características fisicoquímicas, texturales y sensoriales de un gel cárnico elaborado a base de carne de carpa común (*Cyprinus carpio*)

5.2. Específicos

- Determinar parámetros fisicoquímicos de la carpa común (pH, acidez, CRA, color y capacidad de gelificación)
- Analizar texturalmente la carne de carpa (Análisis Warner Bratzler)
- Analizar bromatológicamente a las semillas de chía (CHO's, proteínas, cenizas, lípidos y humedad)
- Extraer proteínas de carpa y desarrollar un gel.
- Adicionar diferentes concentraciones de harina de chía al gel desarrollado.
- Evaluar el efecto de la adición de harina de chía sobre las características fisicoquímicas (pH, acidez, CRA y color), texturales (TPA) y sensoriales (prueba preferencia) de un gel cárnico a base de carpa común.
- Seleccionar gel cárnico con características fisicoquímicas, texturales y sensoriales óptimas para consumo humano.
- Elaboración de un producto prototipo a base del gel seleccionado.

6. Metodología

6.1. Materia prima y reactivos.

6.1.1. Colecta y almacenamiento de la carpa.

Las carpas (*Cyprinus carpio*) se obtuvieron de la comunidad comercial San Luis Mextepec, perteneciente al municipio de Zinacantepec, 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 lavaron, deshuesaron, prepararon y se almacenaron en congelación hasta el análisis de la muestra.

6.1.2. Compra y almacenamiento de las semillas de chía.

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

6.1.3. Elaboración de harina.

Las semillas de chía se molieron en una licuadora (OSTER 465, México) hasta lograr la textura de una harina gruesa. La harina se almaceno en bolsas de polietileno.

6.1.4. Reactivos

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

6.2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la figura 7 se muestra el diagrama de flujo que se siguió para la el desarrollo de esta investigación.

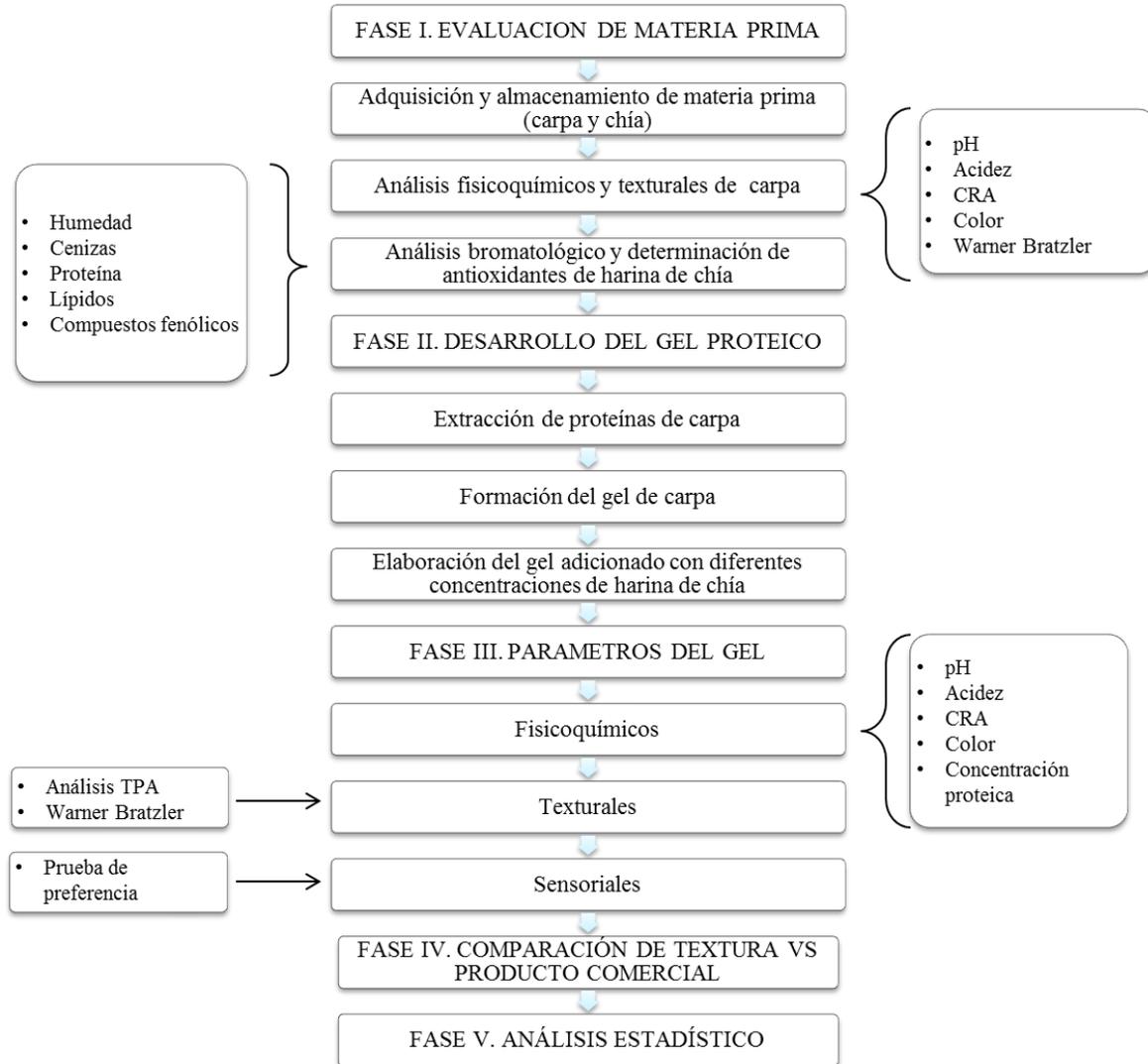


Figura 7. Diagrama de flujo del desarrollo del experimento.

6.3. METODOLOGÍA

6.3.1. 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 durante 1 min. Se filtrará 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.

6.3.2. 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 colocaron en un vaso de licuadora doméstica, se añadió 190 mL de agua destilada 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 solución y se colocaron en un matraz erlenmeyer de 150 mL. Se añadieron 75 mL de agua destilada. Se titularon con una solución NaOH 0.01 N, usando fenolftaleína como indicador. Esta determinación se realizó por triplicado. El porcentaje de ácido láctico se expresó como:

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

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

6.3.3. Capacidad de retención de agua (CRA).

La evaluación de la (CRA) se realizó mediante el método Honikel & Hamm (1983) reportado por Dublán-García et al. (2006), consistió en tomar 20 g de músculo y se picaron. Se colocaron 5 g por separado en tubos de centrifuga y se añadieron 8 mL de una disolución de NaCl 0,6 M, se agitaron con una varilla de vidrio durante 1 minuto en baño de hielo y se dejó reposar durante 30 minutos. Pasado este tiempo se agitó nuevamente durante 1 minuto, y se centrifugó por 20 minutos a 3500

rpm y una temperatura de 4 °C una centrífuga Eppendorf 5810R (15Amp Version, USA). Se decantó el sobrenadante de los tubos y se midió el volumen. Se reportó el volumen de NaCl retenido en 100 g de muestra. Se llevaron a cabo cuatro repeticiones en todos los casos.

6.3.4. Rendimiento de cocción

Se determinó el rendimiento a la cocción utilizando el método reportado por Estevez *et al.* (2005). Se pesaron 15 gramos de mezcla (carpa-chía) para cada una de las concentraciones (0%, 1%, 4% y 8%) y se colocaron en tubos de ensayo previamente pesados. Los tubos con las muestras fueron sometidos a tratamiento térmico por 20 minutos a una temperatura de 70° C. el agua y los fluidos exudativos fueron separados y desechados y los tubos con las muestras fueron pesados nuevamente. El rendimiento del proceso está dado por el peso antes y después del tratamiento térmico de cada muestra en el tubo.

6.3.5. 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 musculo de pescado, geles de pescado y harina de chíá, 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 ambas fórmulas.

IB1 es un índice que fue desarrollado para determinar la blancura en la industria de los detergentes, pero que actualmente se emplea en la industria alimentaria para evaluar la blancura de los alimentos. Se calcula mediante la fórmula (Navarro, 2005):

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

El otro índice de blancura (IB₂) se emplea para el estudio del pescado y la clara de huevo. En pescado es muy útil para estudiar la blancura del surimi y así determinar si existe o no presencia de pescado azul, ya que la grasa modifica el valor de las coordenadas de color (Park, 2000), y por ende este índice, a pesar de que no tiene en cuenta la coordenada a*. En este caso, se utiliza para estimar la blancura de la carne de merluza y así poder comparar el efecto de los distintos ingredientes en la pasta de merluza. Fue calculado de acuerdo a la fórmula de Hunter & Harold (1987):

$$IB_2 = L^* - 3b^*$$

Ambos índices de blancura, no son específicos del pescado blanco así Jafarpour *et al.* (2008) lo han utilizados para evaluar tratamientos tecnológicos tanto en pescado blancos como en pescado “rosados”.

6.3.6. 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 gr de hielo, en una licuadora (oster 465, México) para la integración completa del musculo con él 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 minutos. Posteriormente se filtró para retirar el tejido conectivo. El homogenizado fue centrifugado (Eppendorf 5810 R-centrífuga, Alemania) a 3500 rpm durante 30 minutos a 4° C, al precipitado obtenido se midió la concentración de proteínas por el método de biuret.

6.3.7. Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Se pesaron entre 10 y 15 mg en una cápsula la cual fue colocada en el porta muestra para ser sometida a la temperatura; como referencia se utilizó una cápsula con aire. A continuación se procedió a explorar la muestra utilizando una razón de calor de 10°C/min a un flujo energético de 0,1 a 0,2 mcal/seg. Se utilizó el calorímetro diferencial de barrido (DSC) Metler Toledo, el cual fue calibrado entre 10 y 100°C. Se calcularon las temperaturas máximas de desnaturalización y las áreas de las endotermas. El método de medición para la determinación de los termogramas se basó en lo descrito por Hastings *et al.* (Schubring, 2007).

6.3.8. 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.

6.3.9. Textura (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.

6.3.10. 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 una 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 segundos entre la primera y la segunda compresión (Figura 8).

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.

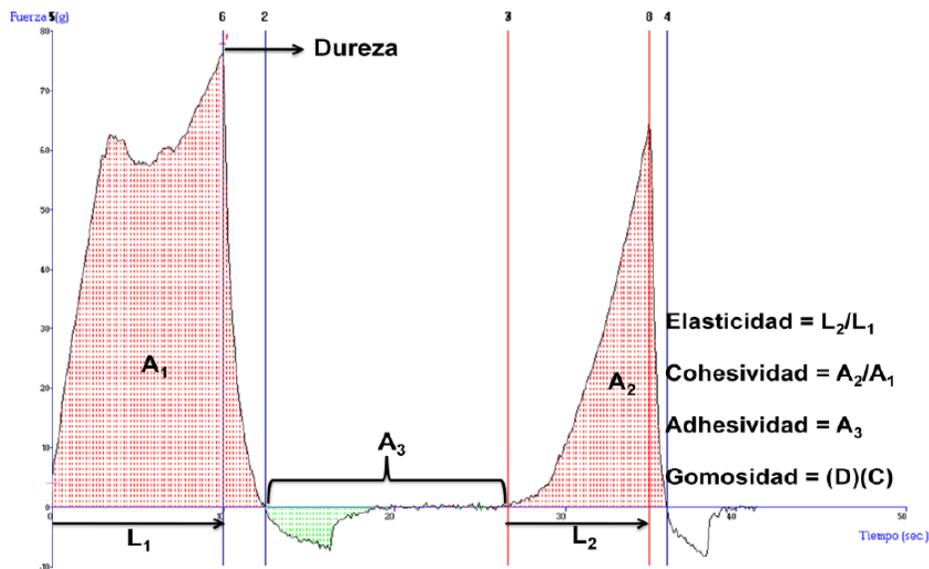


Figura 8. Curva típica del análisis de perfil textura (TPA)

6.3.11. Humedad

Se realizó de acuerdo con A.O.A.C. 14.003 (1990). El contenido de humedad, se cuantifica de la diferencia entre el peso inicial y final, de una muestra representativa sometida a una temperatura de 130° C por 24 horas.

6.3.12. Cenizas

Se utilizó el método de calcinación en mufla a 500° C (A.O.A.C. 14.006, 1990). En un crisol a masa constante, se colocaron 5 g de muestra; posteriormente se situó el crisol con muestra en una parrilla y se quemó lentamente el material hasta que ya no desprendió humos, 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

6.3.13. Proteína cruda

Este análisis se realizó con base en lo reportado por Kirk (1999). Se hizo un ajuste a la técnica macro-Kjeldahl, la cual se adaptó a las necesidades; 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 empelando 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

6.3.14. Determinación de extracto etéreo

Se empleó 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.

6.3.15. 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 soluciones 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 soluciones anteriores, 100 μ L de agua desionizada, 1 mL del reactivo de Folin Ciocalteu y 0.8 mL de una de solución de carbonato de sodio al 7.5 %. Los tubos se agitaron y se dejan reposar durante 30 minutos 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 solución de carbonato de sodio al 7.5%. Los tubos se agitaron y se dejaron reposar durante 30 minutos 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.

6.3.16. Prueba de preferencia (prueba hedónica)

La evaluación sensorial se realizó con la participación de 53 jueces no entrenados, 33 hombres y 15 mujeres, con un rango de edad entre 18 a 23 años. De acuerdo con la AMSA (1995) se recomienda un tamaño de panel de consumidores de al menos 50 personas. Los panelistas fueron estudiantes no entrenados, reclutados en el campus de la Universidad Autónoma del estado de México. Todos tenían conocimiento previo en las pruebas de preferencia/aceptabilidad de la carne de pescado y eran consumidores habituales de pescado. Los geles (forma de hamburguesa) de carpa común estaban cocinados con sal y especias, hervidos en bolsas individuales de HDPE, a una temperatura interna final de 80°C. Después de hervidos se cortaron de inmediato en el mismo tamaño y se codificaron con números aleatorios de tres dígitos. Se pidió a los panelistas clasificar las muestras en orden de preferencia siendo 1 el más preferido y 3 el menos preferido.

6.3.17. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA) para probar las siguientes hipótesis:

La hipótesis nula es que todas las medias son iguales:

$$H_0 = M_1 = M_2 = M_3 \dots$$

Vs.

La hipótesis alternativa (H_a) es al menos una media es diferente de las demás.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) si el p value (p) es < 0.05 .

En los casos que procedió, para saber cuál de las medias es diferente se aplicó la **prueba de Tukey**, que se basa en realizar la comparación de medias par por par.

Ejemplo:

$$H_0: M_1 = M_2 \\ VS$$



Se rechaza a la H_0 si el valor de $p < 0.05$

H_a: $M_1 \neq M_2$

H_o: $M_1 = M_3$

VS

H_a: $M_1 \neq M_3$

El análisis de los datos se realizó mediante el programa estadístico SPSS versión 18.

7. Artículo

7.1. Carta de envío

De: Journal of Functional Foods <fshahidi@mun.ca>
Enviado: lunes, 09 de junio de 2014 15:14
Para: octavio_dublan@yahoo.com.mx; Octavio Dublan Garcia
Asunto: Submission Confirmation

Dear Dr. OCTAVIO DUBLÁN-GARCÍA,

We have received your article "Physicochemical and sensory characteristics of restructured common carp (*Cyprinus carpio*) with added chia seed (*Salvia hispanica* L) as a functional food base" for consideration for publication in Journal of Functional Foods.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

To track the status of your paper, please do the following:

1. Go to this URL: <http://ees.elsevier.com/jff/>
2. Enter these login details:
Your username is: octavio_dublan@yahoo.com.mx
If you need to retrieve password details, please go to:
http://ees.elsevier.com/jff/automail_query.asp
3. Click [Author Login]
This takes you to the Author Main Menu.
4. Click [Submissions Being Processed]

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
Journal of Functional Foods

7.2. Documento

Physicochemical and sensory characteristics of restructured common carp (*Cyprinus carpio*) with added chia seed (*Salvia hispanica* L) as a functional food base

Santillán-Álvarez Ángel, Dublán-García Octavio*, Gómez-Oliván Leobardo M. & López-Martínez Leticia X.

*Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Avenida Paseo Tollocan S/N, Toluca
50180 Estado de México, México*

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 (Corey & Kaplan, 2014); therefore, obesity is now regarded as a growing epidemic around the world. According to the World Health Organization (WHO, 2014) 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.

Since the early 1980s, in Mexico, the odds of being overweight and obese have tripled: 39.05 % of the population is overweight, and 32.15 % is obese, which equates to seven out of 10 Mexicans between the ages of 30 and 60 years (INSP, 2012). According to United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF, 2014), the country is first in the world for childhood obesity, second for adults after the United States, and first in the case of women (FAO, 2013)

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 (WHO, 2012); 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 (Isken et al., 2010) and, in turn, comorbid cardiovascular disease complications. In this regard, there are various food products contributing to the dietary required amount or a portion of the necessary fibre. A food product's functionality regarding dietary fibre may have several benefits, such as adjuvant texture, an increased volume of products low in sugar, fat substitutes, added colour and natural antioxidant activity ((Viuda-Martos *et al.*, 2010; Ramírez-Santiago *et al.*, 2010). 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 (Yangilar, 2013). Examples of these soluble fibres derived from grains and the fractions of various fruit are (Bollinger, 2001; Rodriguez et al, 2006) pectins (Rodriguez et al., 2006), beta-glucans, beet cellulose fibre (Nelson, 2001), polydextrose (Mitchell, 2001), 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 (Waszkowiak et al, 2001; Bilaska et al, 2002; Makala & Olkiewicz, 2004; Jiménez-Colmenero et al., 2005; Hoogenkamp, 2007; Waszkowiak and Szymandera-Buszka, 2008). 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 (Sudha, Baskaran & Leelavathi 2007). 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 (Reyes-Caudillo, Tecante & Valdivia -López, 2008). 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 (Reyes-Caudillo Tecante & Valdivia -López, 2008). Several authors (Sánchez-Alonso, Haji-Maleki & Borderías 2007a; Sánchez-Alonso, Solas and Borderías, 2007b; Sánchez-González et al.2009; Cardoso et al., 2011; Cardoso, Mendes Ribeiro, 2012; Debusca et al.,2013; Debusca et al., 2014) 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 surimi pollock (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 (FAO, 2014; Agüeria et al, 2010), 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, 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 develop a restructured meat as a functional food based on the common carp (*Cyprinus carpio*) with added chia flour (CSF) (*Salvia hispanica* L.) and to evaluate the physicochemical and sensory characteristics.

2. Materials and methods

2.1. Samples

Four 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. Physicochemical analysis

2.2.1. Water-holding capacity (WHC)

The evaluation of WHC was described according to Dublán-García *et al.* (2006). 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.

2.2.2. pH

Ten grams of common carp muscle was blended with 90 mL of distilled water for 1 min, and the connective tissue was removed with cheesecloth, as described by Owen *et al.* (1982). The supernatant was collected, and the pH was measured on a digital pH meter (Conductronic pH 120, New York City, New York). All determinations were performed in triplicate.

2.2.3. Titratable acidity

The titratable acidity was determined by the AOAC, 1990, Part 942.15 method.

2.3. 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 (Navarro, 2005):

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

From the coordinates, the hue (H^*) and chroma (C^*) were calculated as follows (López-Vargas *et al.*, 2014):

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

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

2.4. Proximal analysis

Protein was analysed by the Kjeldahl method, the ether extract by the Soxhlet method (AOAC, 2000), the moisture by AOAC.14,003 (1990), ash by the method of calcination in a muffle furnace at 500°C (AOAC 14 006, 1990), and the neutral detergent fibre by AOAC (1997) using an ANKOM mark 200 Fiber Analyzer (Ankom Technology Corp., Fairport, NY).

2.5 Myofibrillar protein (MP)

MP was prepared from the common carp muscle according to Ngapo *et al.* (1992), 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.

2.6. Preparation of the protein mixture: common carp-chia 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.

2.7. Gelation of proteins

The gelation of proteins was performed according to Klettner (1995): 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 °C min⁻¹ until reaching an internal temperature of 80 °C to induce gelation (Paredi, Davidovich, & Crupkin, 1999). The vials were subsequently removed from the water bath and cooled in an ice bath at a temperature below 4 °C.

2.8. Cooking loss% of the restructured common carp

The cooking loss of the restructured meat was determined according to Estevez, Windows & Cava (2005). 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.

2.9. 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, 2007.

2.10. 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 (1995) 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 HDPE 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.

2.11. 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 (2004), which indicates that it is a fresh product for processing, with a value of 6.49 ± 0.06 ; additionally, FAO (2003) established that marine and aquatic species should be in the range of 6.3 to 6.9. Herrera, Bolaños & Lutz (2003) mentioned that the pH ranges from 6.6-7.5 for decomposing fish and is 7.5 for more decomposed fish. Agüeria, (2010) mentions 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 (Sikorski, Kolakowska, & Burt, 1990). However, the values for the samples used were within the parameters established for freshness by Huss, Ababouch, & Gram. (2004).

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%. Authors such as Cardoso and Mendes (2013); Alasvand-Zarasvand et al. (2011); and Ramirez-Suarez et al. (2008) 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 the L decrease (Table 1) with respect to that of other species. Examples have been reported, such as L=57.8 for catfish fillets (Desai et al., 2014); L=41.55 for Atlantic salmon (Ojagh et al., 2011); L=54.4 for Atlantic halibut fillets, as observed by Roth et al. (2009); L=85.2 for jumbos squid (*Dosidicus gigas*) (Ramirez-Suarez et al., 2008); and L=43.09 for fillets of Arctic trout (*Salvelinus alpinus*), as observed by Ginés et al. (2004). In contrast, for carp species, Sequeira-Munoz et al. (2006) 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*, 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 (ML) than males (Markaida and Sosa-Nishizaki, 2001); and/or c) different fishing areas. These results agree with those of Ezquerro-Brauer et al. (2002).

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

The chemical-composition data indicate that the fresh carp has a high protein content (24.01 ± 0.30) and a low fat content (6.65 ± 0.68). The moisture and ash contents were 78.36 ± 0.40 and 1.42 ± 0.23 , respectively. This proximal composition may vary according to the species. For example, for tuna (*Thunnus alalunga*), the water, protein and lipid contents were 71-72.2, 25.2-28.1 and 0.61-4.1, respectively, and for salmon (*Salmo salar*), they were 67-77, 21.5-22.3 and 0.3-15.9 (Briones-Labarca et al., 2012; Gómez-Estaca et al., 2009; Ramírez-Suárez et al., 2008; Huss, 2004).

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 of those of several species. It should be noted that, according to Mráz et al. (2012), 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% (Segura-Campos et al., 2013; Luna-Pizarro et al., 2013; Capitani et al., 2012; Martinez et al., 2012). 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. Vázquez-Ovando et al. (2009); Capitani et al. (2012); Luna-Pizarro et al. (2013) and Segura-Campos et al. (2013) 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. (2012); however, Vázquez-Ovando et al. (2009) reported a content of 6.51 g/100 g, and Luna-Pizarro et al. (2013) reported 4.58 g/100 g. 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 (Busilacchi et al., 2013) of growth and the extraction methods (Capitani et al., 2012).

The colours obtained in CSF are shown in Table 1, in which the IW and L* are low, due to the dark colour that presents the CSF. a* has a tendency to red and b* 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 (Cardoso et al., 2011). For Alaska pollock surimi gels, Tabilo-Munizaga & Barbosa-Canovas (2004) found a hardness of 13.15 N, which is similar to that of other products such as tilapia red (5.25N) (Mahawanich, Lekhavichitr & Duangmal, 2010). Compared with the values for seafood-product species, the hardness of the restructured carp sample is higher (1 N) (Herranz et al., 2012), 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 (Debusca et al, 2014; Yang et al, 2014; Sánchez Alonso et al, 2007c).

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; however, in 1 and 4% there are no significant differences, but there are for 4 and 8% ($p < 0.05$). Similar results were observed by Debusca et al. (2014) 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. (2005) 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. (2014) when 0, 2, 4, 6 and 8% of rice starch was added for the preparation of gels with proteins of grass carp. Jung, Kim & Yoo (2007) reported that adding acetylated rice starch improved the freeze-thaw stability and reduced the expressible moisture contents of surimi gels. 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. (2014), by increasing the concentration of cellulose fibres in Alaskan pollock surimi; by Xiong et al. (2009), who observed a decrease in IW by adding konjac glucomannan; and by Sánchez-Alonso et al. (2007c), who observed a decrease in the IW when giant-squid surimi was fortified with wheat flour. 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 (Sánchez- Alonso et al, 2007c; Debusca et al., 2014) 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 (Debusca *et al.*, 2014; Sánchez-Alonso *et al.*, 2007c) 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 was no significant difference in the protein restructured with 4 and 8 % of CSF. With these two restructured samples (4 and 8%), burger products were developed (Fig. 3), 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) (Ayerza, 1995). 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 (Peiretti and Gai, 2009). Furthermore, several authors have reported that rat diets that included chia have induced a dramatic decrease in triglycerides and an increase in HDL cholesterol (Ayerza and Coates, 2005); additionally, Brissette et al. (2013) 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 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.

4. Conclusion

This study demonstrated that dietary fibre from CSF can be used to fortify restructured meat from common carp. Most populations have an insufficient intake of this healthful and beneficial nutrient. 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. 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.

ACKNOWLEDGEMENTS

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

References

1. A.O.A.C. (1990). *Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C.
2. A.O.A.C. (2000) "Official methods of Analysis of A.O.A.C. Internacional: Food Composition, Additives, Natural Contaminants. Gaithersburg, Maryland. EE.UU.
3. A.O.A.C-Association of Official Analytical Chemists (1997). Fiber (Acid detergent) and lignin in animal feed, AOAC Official Method 973.18. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 16th edition, 4, 28-29, AOAC International, Arlington.
4. Agüeria, D., Granato, A., Tabera, A. and Sanzano, P. (2010). Productos pesqueros reestructurados. Elaboración de nuggets a partir de carpa común (*Cyprinus carpio*) y tomate. *La Industria Cárnica Latinoamericana*, 168 (1) 54.
5. Alasvand Zarasvand, S., Kadivar, M., Aminlari, M. and Shekarforoush, S.S. (2012). A comparative study of physico-chemical and functional properties, and ultrastructure of ostrich meat and beef during aging. *CyTA - Journal of Food*, 10 (3) 201-209.
6. AMSA (1995). American meat science association & national livestock and meat board. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. Chicago, IL: AMSA.
7. 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 (9) 1079-1081.
8. Ayerza, R. and Coates, W. (2005). Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat. *Nutrition Research*, 25 (1) 995 – 1003.
9. Bilska, A., Kryzstofiak, K., Sęk, P. and Uchman, W. (2002). Influence of the use of the Vitacel preparation on the quality of "lunch meat" sausages". *Acta Scientiarum Polonorum -Technologia Alimentaria*, 1 (1) 47-53.
10. Bollinger, H. (2001). Functional drinks with dietary fibre. *Fruit Process*, 12 (1) 252-254.
11. 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 (1) 42–50.
12. Brissette, 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 (4) S61.

13. Busilacchi, H.; Quiroga, M.; Bueno, M.; Di Sapio, O.; Flores, V. and Severin, C. (2013). Evaluación de *Salvia hispanica* L. Cultivada en el Sur de Santa Fe (República Argentina). *Cultivos Tropicales*, 34 (4) 55-59.
14. 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(1) 94-102.
15. 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 (10) 2023 – 2033.
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 (1) 1282 – 1290.
17. Cardoso, C., Ribeiro, B. and Mendes, R. (2012). Effects of dietary fibre and microbial transglutaminase addition on the rheological and textural properties of protein gels from different fish species. *Journal of Food Engineering*, 113 (1) 520–526.
18. 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.
19. 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 (1) 70–76.
20. Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Partington, S. and Jaczynski, J. (2013). Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute. *Food Chemistry*, 141 (1) 201–208.
21. 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 (1), 141-148.
22. Dublan-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 (3), 291-310.
23. Estevez, M., Ventanas, S. and Cava, R. (2005). Physicochemical properties and oxidative stability of liver paté as affected by fat content. *Journal of Food Chemistry*, 92, 449-457.
24. FAO (1999) El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Documento Técnico de Pesca 348 In: Depositos de documentos de la FAO [en línea]. Roma. Available from <http://www.fao.org/docrep/v7180s/v7180s05.htm#4.1_principales_constituyentes> [13 february 2014].
25. FAO (2014) 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]. Roma. Available from <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/es#tcNA00D9> [24 January 2014].
26. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013) The State of Food And Agriculture [online] available from <<http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e.pdf>> [10 January 2014]
27. Ginés, R., Valdimarsdottir, T., Sveinsdottir, K. and Thorarensen, H. (2004). Effects of rearing temperature and strain on sensory characteristics, texture, colour and fat of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Food Quality and Preference*, 15 (1) 177-185.
28. Gómez-Estaca, J, López-Caballero, M.E., Gómez-Guillén, M.C., López de Lacey, A. y Montero, P. (2009). High pressure technology as a tool to obtain high quality carpaccio and carpaccio-like products from fish. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10 (2) 148–154.

29. Herranz, B., Tovar, C.A., Solo-de-Saldívar, B. and Borderías A.J. (2012). Effect of alkalis on konjac glucomannan gels for use as potential gelling agents in restructured seafoods products. *Food Hydrocolloids*, 27 (1) 145-153.
30. Herrera, C.H., Bolaños, N. y Lutz, G. (2003). Química de alimentos. Ed. De la Universidad de Costa Rica: San José de Costa Rica, p 84.
31. Hoogenkamp, H. (2007). The soy industry's love-hate relationship with meat. *Meat International*, 17 (2) 8-11.
32. Huss, H.H. (1999). El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad. FAO Documento Técnico de Pesca 348 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Ministerio de pesca: Dinamarca.
33. 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.
34. Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) (2012). Encuesta nacional de salud y nutrición resultados nacionales 2012: síntesis ejecutiva. [online] available from <http://ensanut.insp.mx/doctos/ENSANUT2012_Sint_Ejec-24oct.pdf> [10 January 2014]
35. Isken, F., Klaus, S., Osterhoff, M., Pfeiffer, A.F.H. y 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.
36. Jiménez-Colmenero, F., Ayo, M. J. and Carballo, J. (2005). Physicochemical properties of low sodium frankfurter with added walnut: Effect of transglutaminase combined with caseinate, KCl and dietary fibre as salt replacers. *Meat Science*, 6 (4) 781-788.
37. Klettner, P. G. (1994). Meat and meat products. Measuring texture and consistency with testing machines. *Die Fleischwirtschaft*, 74 (8), 842-844.
38. 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 (1) 270–276.
39. 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 (1) 73-79.
40. Mahawanich, T., Lekhavichitr, J. and Duangmal, K. (2010). Gel properties of red tilapia surimi: effects of setting condition, fish freshness and frozen storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 (1) 1777–1786.
41. Makala, H. and Olkiewicz, M. (2004). Role of selected wheat and oat cellulose preparations in binding water in finely comminuted model meat products. *Acta Agrophysica*, 4 (1) 85-96.
42. Markaida, U. and Sosa-Nishizaki, O. (2001). Reproductive biology of jumbo squid *Dosidicus gigas* in the Gulf of California, 1995–1997. *Fisheries Research*, 54 (1) 63–82.
43. Martínez, M.L., Marín, M.A., Salgado Faller, C.M., Revol, J., Penci, M.C. and Ribotta P.D. (2012). Chia (*Salvia hispanica* L.) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 47 (1) 78-82.
44. Mitchell, H. L. (2001). Fibre-enriched beverages and Litesse Registered. *Soft Drinks International*, 25-27.
45. 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. Issue Journal of Applied Ichthyology. *Journal of Applied Ichthyology*, 28 (2) 238–244.

46. Navarro, C. (2005). Optimización del proceso de obtención de geles cárnicos a partir de carne de ave mecánicamente recuperada. [Tesis inédita Doctoral]. Alicante España: Universidad Miguel Hernández. [online] Available from <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/694/1/OPTIMIZACI%C3%93N%20DEL%20PROCESO%20DE%20BTENCI%C3%93N%20DE%20GELES%20C%81RNICOS%20A%20PA.pdf> [24 april 2013].
47. Nelson, A. L. (2001). High-fiber ingredients: Eagan press handbook series. St Paul, MN: Eagan Press. American Association of Cereal Chemists, USA. pp 29-44.
48. Ocaño-Higuera, V.M., Maeda-Martínez, A.N., Márquez-Ríos, E., Canizales-Rodríguez, D.F., Castillo-Yáñez, J.F., Ruíz-Bustos, R., Graciano-Verdugo, A.Z. and Plascencia-Jatomea, M. (2011). Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods. *Food Chemistry*, 125 (1) 49-54.
49. Ojagh, S.M., Nuñez-Flores, R., Lopez-Caballero, M.E., Montero, M.P. and Gomez-Guillen, M.C. (2011). Lessening of high-pressure-induced changes in Atlantic salmon muscle by the combined use of a fish gelatin-lignin film. *Food Chemistry*, 125(1) 595-606.
50. Organización Mundial de la Salud, OMS (2012). Obesidad y sobrepeso: nota descriptiva N°311 [online] available from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/> [19 January 2014].
51. Organización Mundial de la Salud, OMS (2014) 10 datos sobre la obesidad [online] available from <http://www.who.int/features/factfiles/obesity/facts/es/index1.html> [10 January 2014].
52. 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 (1) 896-903.
53. 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 (2) 267-275.
54. Ramirez-Santiago C., Ramos-Solis, L., Lobato-Calleros, C., Peña-Valdivia, C., Vernon-Carter, E. J. and Alvarez-Ramírez, J. (2010). Enrichment of stirred yogurt with soluble dietary fiber from *Pachyrhizus erosus* L. Urban: Effect on syneresis, microstructure and rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 101 (1) 229-235.
55. Ramirez-Suarez, J.C., Ibarra-León, L.R., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sanchez, M.E., Garcia-Sanchez, G. and Carvallo-Ruiz, G. (2008). Physicochemical and functional changes in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle during ice storage. *Food Chemistry*, 111 (1) 586-591.
56. 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.
57. Rodríguez, R. A. J., Fernández-Bolaños J., Guillén R. y Heredia A. (2006). Dietary fibre from vegetable products as a source of functional ingredients. *Trends in Food Sciences and Technology*, 17 (1) 3-15.
58. Roth, B., Foss, A. and Imsland, A.K. (2009). Relationship between muscle pH and flesh color of Atlantic halibut. *Journal Food Science*, 74(3):S123-5.
59. Sánchez-Alonso, I., Haji-Maleki, R. and Borderías J. (2007a). Wheat fiber as a functional ingredient in restructured fish products. *Food Chemistry*, 100 (1) 1037-1043.
60. Sánchez-Alonso, I., Solas, M.T., Borderías, A.J. (2007b). Technological implications of addition of wheat dietary fibre to giant squid (*Dosidicus gigas*) surimi gels. *Journal of Food Engineering*, 81 (2) 404-411.
61. 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 (1) 162-168.
62. Schubring R. (2007). DSC measurements on sharks. *Thermochimica Acta*. 458 (1) 124-31.

63. 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.
64. 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 (1) 13–18.
65. Silva-Ríos, A., Dublán-García, O., Quintero-Salazar, B., Dominguez-Lopez, A., Gómez-Oliván, L.M López-Martínez, L.X. y Abdel-Fattah, S. (2013) Evaluation of physicochemical, functional and textural properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored at low temperatures. *African Journal of Biotechnology*, 12 (13) 5087-5096.
66. Tabilo-Munizaga G, Barbosa-Canovas GV (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 (1)767-775.
67. United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF) (2014). Mexico: salud y nutrición. [online] available from <<http://www.unicef.org/mexico/spanish/17047.htm>> [10 January 2014].
68. Van Soest, P.J. (1967). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds: determination of plant cell wall constituents. *Journal of the AOAC*, 50 (1) 50-55.
69. Vazquez-Ovando, A., Rosado-Rubio, G., Chel-Guerrero, L. and Betancur-Ancona, D. (2009). Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispánica* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 42 (1) 168-173.
70. 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.
71. 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 (1) 1340-1344.
72. Waszkowiak, K., Górecka, D. and Janitz, W. (2001). Wpływ preparatu błonnika pszennego na jakość sensoryczną potraw miesnych (Influence of wheat dietary fiber on the quality of meat dishes). *Żywność*, 28 (3) 53-61.
73. Xiong, G., Cheng, W., Ye, L., Du, X., Zhou, M., Lin, L., Geng, S., Chen, M., Corke, H. and Cai, Y. (2009). Effects of konjac glucomannan on physicochemical properties of myofibrillar protein and surimi gels from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Food Chemistry*, 116 (1) 413–418.
74. XiongJung, Y. H., Kim, W. W., and Yoo, B. (2007). Effect of acetylated rice starch on rheological properties of surimi sol and gel. *Food Science and Biotechnology*, 16, 817–821.
75. 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 (1) 212–219.
76. 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.

Tables and Figures

Table 1. Color (L*, a*, b*), chroma, Ton, Hue, IW of muscle common carp and chia seed flour (*Salvia hispánica* L.) (CSF).

Property	Common Carp Muscle	<i>Salvia hispánica</i> 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
Tonalidad	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 y hardness at different 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)

Table 3. Colour, Cromo, Hue and whiteness index restructured gel at different CSF concentration

Resctructured	L*	a*	b*	Croma	Hue	IW
Without						
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
additives						
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±0.575 ^{bc}	260.64±0.85 ^{ab}	13.80±0.15 ^{bc}	51.77±0.30 ^b
With						
* 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±0.107 ^b

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

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

Table 4. Proximal analysis of restructured gel at different CSF concentration

Gel	%Protein	%Lipid	%Fiber	%Moisture	%Ash
0%	16.872±0.063 ^a	2.512±0.266 ^a	7.847±0.468 ^a	86.610±0.374 ^b	0.464±0.004 ^a
1%	16.443±0.17 ^b	5.630±1.116 ^b	5.984±0.301 ^a	86.225±0.566 ^b	0.644±0.066 ^b
4%	13.488±0.03 ^c	11.094±0.630 ^c	7.060±1.562 ^a	85.105±0.720 ^b	0.739±0.020 ^b
8%	12.306±0.34 ^c	14.235±0.569 ^d	10.958±1.042 ^b	82.998±0.718 ^a	1.006±0.088 ^c

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

Table 5. Comparison of Proximal analysis restructured obtained with commercial products

Gel	%Protein	%Lipid	%Fiber	%Moisture	%Ash
¹ Comercial Sausage	11.8	11.8	0.04	66.29±0.16	3.45±0.02
² Comercial Sausage	10.65	10.48	2.41	70.01±0.012	3.28±0.00
³ Comercial ham	12.01	1.92	0	74.35±2.60	3.38±0.10
⁴ Comercial ham	12.96	2.31	0.78	70.01±0.41	3.19±0.04
⁵ Comercial Burger	7.31	12.83	4.61	59.54±3.39	2.14±0.03
⁶ Comercial Burger	13.4	17.9	0.09	-	-
⁷ Restructured Common carp (<i>Cyprinus carpio</i>)	16.87	2.51	7.84	86.61±0.37	0.46±0.00
⁸ Burger 4% CSF	13.48	11.09	7.06	85.10±0.72	0.73±0.02
⁹ Burger 8% CSF	12.30	14.23	10.95	82.99±0.71	1.00±0.08

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 of restructured 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)



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

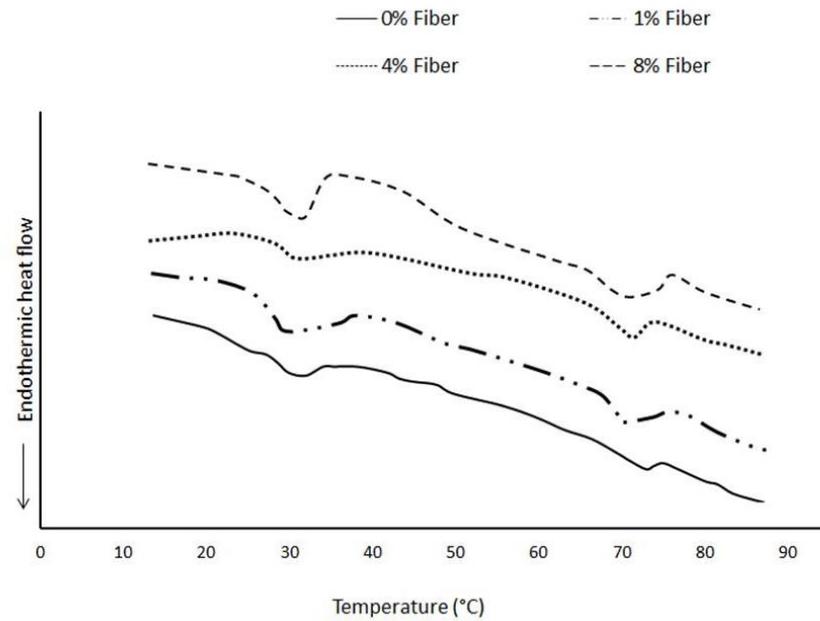


Figure 2. Differential scanning calorimetry (DSC) thermogram of restructured gel with different levels of added CSF



Figure 3. Burgers based on 4 and 8% CSF.

8. Referencias

- A.O.A.C. (1990). *Methods of Analysis* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist. Washington, D.C.
- A.O.A.C. (2000) *Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists.* Washington, D.C. E.U.A.
- Agren, J., Muje, P., Hänninen, O., Herranen, J. & Penttilä, I. (1987) Seasonal variations of lipid fatty acids of boreal freshwater fish species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 88 (3), 905-909.
- Agüeria, D., Granato, A., Tabera, A. and Sanzano, P. (2010). Productos pesqueros reestructurados. Elaboración de nuggets a partir de carpa común (*Cyprinus carpio*) y tomate. *La Industria Cárnica Latinoamericana*, 168 (1) 54.
- Alasvand Zarasvand, S., Kadivar, M., Aminlari, M. and Shekarforoush, S.S. (2012). A comparative study of physico-chemical and functional properties, and ultrastructure of ostrich meat and beef during aging. *CyTA - Journal of Food*, 10 (3) 201-209.
- AMSA (1995). American meat science association & national livestock and meat board. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. Chicago, IL: AMSA.
- Annunziata, A. and Vecchio, R. (2013). Consumer perception of functional foods: A conjoint analysis with probiotics. *Food Quality and Preference*, **28**(1), 348-355.
- Archer, M. (2001) *Fish waste production in the United Kingdom: the qualities produced and opportunities for better utilisation* [online] available from <<http://www.seafish.org/media/Publications/SR537.pdf>> [28 febrero 2013]
- 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 inédita de maestría] Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Armengod, G. J, Lóres, G. A and Alcuson, M. G. (2008) *El surimi*. [online] Available from <<http://www.esbertus.com/blog/wp-content/uploads/2008/12/Surimi.pdf>> [28 febrero 2013]
- Ayerza, R. & Coates, W. (2006). *Chia: redescubriendo un alimento de los aztecas*. 1st edn. Buenos Aires: Nuevo Extremo, S.A.

- Baillie, R. A., Takada, R., Nakamura, M. & 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.
- Bandarra, N. M., Batista, I., Nunes, M. L., Empis, J. M. & Christie, W. W. (1997). Seasonal changes in lipid composition of sardine (*Sardina pilchardus*). *Journal of Food Science*. 62, (1), 40-42.
- Bandarra, N., Campos, R., Batista, I., Nunes, M. & Empis, J. (1999) Antioxidant synergy of tocopherol and phospholipids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 76(8), 905-913.
- Basuny, A.M.M., Arafat, S.M. & El-Marzooq, M.A. (2012) Antioxidant and Antihyperlipidemic activities of anthocyanins from eggplant peels. *Journal of Pharma Research & Reviews*. 2(3), 50-57
- Beltrán-Lugo M.I. (2000) *Evaluación y comparación de la calidad reologica de surimis de cinco especies ícticas potencialmente aprovechables del golfo de California*[Tesis inédita de maestría] La paz, Baja California Mexico: Instituto Politecnico Nacional.
- Berger, R.G., Lunkenbein, S., Ströhle, A. & Hahn, A. (2012) Antioxidants in Food: Mere Myth or Magic Medicine?. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 52(2), 162-171.
- Billman, G. E., Hallaq, H & 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.
- Bravo, L. & Saura-Calixto, F. (1998) Characterization of Dietary Fiber and the In Vitro Indigestible Fraction of Grape Pomace. *American Journal of. Enology and. Viticulture.*, 49(2) 135-141.
- Briefing , B. (1999). *n-3 Fatty Acids and Health*. London: British Nutrition Foundation.
- Briones-Labarca, V., Perez-Won, M., Zamarcá, 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 (1) 42–50.
- Brown, A. J., Roberts, D. C. K. & Truswell, A. S.(1989). Fatty acid composition of Australian marine finfish: A review. *Food Australia.*, 41, 655–666.
- Brownlee, I.A. (2009) The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*. 1-13-

- Burchard, 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
- Cadden, E. (1988). Moisture sorption characteristics of several foods fibers. *Journal Food Science*. 53(4), 1150-1155.
- 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
- Capitani, M.I, Spotorno, V., Nolasco, S.M. y Tomás, M.C. (2012) Physicochemical and functional characterization of by-products from chía (*Salvia hispánica* L.) seeds of Argentina. *LWT-Food Science and Technology*.45 (1), 94-102
- Capitani, M.I., Sportono, V., Nolasco, S.M. and Tomás, M.C. (2012). Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispánica* L.) seeds of Argentina. *LWT-Food Science and Technology*, 45(1) 94-102.
- 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 (10) 2023 – 2033.
- 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 (1) 1282 – 1290.
- Cárnicos Valle (2006) *Especificaciones de productos* [online] available from <<http://www.carnicavalle.com/fichas/Ficha%20Salchicas%20de%20pescado.pdf>> [28 marzo 2013]
- Carrillo, E., Prado-Gascó, V., Fiszman, S. and Varela, P. (2013). Why buying functional foods? Understanding spending behavior through structural equation modelling. *Food Research International*, 50(1), 361-368.
- Castro-Gonzalez, M.I., Maafs-Rodriguez, A.G y 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* [online] Available from <<http://www.alanrevista.org/ediciones/2012/2/?i=art4>> [01 april 2013]
- Cejas, J. R., Almansa, E., Villamandos, J. E., Badía, P., Bolaños, A. & Lorenzo, A. (2003) Lipid and fatty acid composition of ovaries from wild fish and ovaries and eggs from captive fish of white sea bream (*Diplodus sargus*). *Aquaculture*. 216 (1-4), 299-313.

- Chaijan, M., Panpipat, W., & Benjakul, S. (2010). Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand. *Food Chemistry* (121), 85-92.
- Challem, J. and Block, M. (2008) *Antioxidantes naturales: como reducir el riesgo de cancer, Alzheimer y enfermedades cardiovasculares*. 1 edn. Madrid: Nowtilus.
- Chow, C. K. (2007). *Fatty acids in foods and their health implication*. 3th edn. USA: CRC Press, 1045.
- 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. [10 april 2013]
- Comisión Europea (2013) *Carpa* [online] Available from <http://ec.europa.eu/fisheries/marine_species/farmed_fish_and_shellfish/carp/index_es.htm> [30 marzo 2013]
- Córdoba, S.A. (2005) Caracterización de propiedades relacionadas con la textura de suspensiones de fibras alimentarias. [Tesis inédita de doctorado] Valencia: Universidad Politecnica de Valencia. [online] Available from <<http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1900/tesisUPV2296.pdf>> [10 april 2013]
- Corpas, F. J., Del Río, L. A. y Palma, J. M. (2008). Antioxidantes vegetales y su influencia en la dieta. *Guía de las Mejores Frutas y Hortalizas (Ediciones de Horticultura, S.L.)*. [Online]. 203, 147-157 Available from: <http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh203/70_75.pdf> [16 april 2013].
- Cruz, N. (2008). Compuestos polifenólicos de la chíá: efecto del método de extracción y temperatura sobre la estabilidad antioxidante. [Tesis de licenciatura]. México. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 6-33.
- 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 (1) 70–76.
- 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 (1) 70–76.
- Decker, E.A.(1997). Phenolics: prooxidants or antioxidants?. *Nutritional Reviews*. 55 (1): 396-398
- Di Sapio, O., Bueno, M., Busilacchi, H. & Severin, C. (2008) Chíá: importante antioxidante vegetal. *Agromensajes de la Facultad*. [online] 24(4) Available from <<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/24/3AM24.htm>>[14 april 2013]

- 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=_gBBihLDYY0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> [01 april 2013]
- 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.
- Dreosti, I. E. (2000). Antioxidant polyphenols in tea, cocoa, and wine. *Nutrition*, 16, (7-8), 692-694.
- Dublan, G. O., Cruz, C. R., Guerrero, L. I., and Ponce, A. 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.
- 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 inédita Doctoral]. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Echarte, M., Conchillo, A., Ansorena, D. and Astiasarán I. (2004) 'Evaluation of the nutritional aspects and cholesterol oxidation products of pork liver and fish pates'. *Food chemistry* 86 (1) 47-53
- Estevez, M., Ventanas, S. and Cava, R. (2005). Physicochemical properties and oxidative stability of liver paté as affected by fat content. *Journal of Food Chemistry*, 92, 449-457.
- FAO (1999) Fao documento técnico de pesca 348. El pescado fresco: Su calidad y cambios en su calidad.
- FAO (2013) *Glossary of aquaculture* [online] Available from <http://www.fao.org/fi/glossary/aquaculture/spec-term-n.asp?lang=en&id_lang=TERMS_E&id_glo=16334> [30 marzo 2013]
- FAO (2013a) 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>> [30 March 2013]
- FAO (2013b) 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>> [31 March 2013]
- FAO (2013c) 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>> [30 March 2013]

- FAO (2013d) 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>> [31 March 2013]
- FAO (2013e) 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>> [31 March 2013]
- FAO (2013f) 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> [31 March 2013]
- Faría, J. F., García, A. C., García, A., Izquierdo, P., Uzcátegui-Bracho, S. y Allara, M (2005) 'Formulación de salchichas con atún y carne: vida útil y aceptabilidad'. *Revista Científica* [en línea] XV: 272-278. Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95915311>>[28 de marzo de 2013]
- Fennema, O. R., Parkin, K. L., y Domodaran, S. (2010). *Química de los alimentos* 3a edn. España: Acribia.
- Foegeding, E. A. (1996). Characteristics of edible muscle tissues. *Food Chemistry* 3rd ed. (Fennema, O.R.) 880-942. New York, E. U.: Marcel Dekker.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013) The State of Food And Agriculture [online] available from <<http://www.fao.org/docrep/018/i3300e/i3300e.pdf>> [10 January 2014]
- Garduño, L.A. (2005) Fibras dietéticas: beneficios para la salud y oportunidades de negocio en México. *Mundo alimentario*. 4-19 [online] Available from <http://www.alimentariaonline.com/media/MA004_fibrasWSF.pdf>[10 april 2013]
- Gil, A. (2010) *Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos*. Tomo II. 2nd edn. España: Panamericana
- Gómez-Estaca, J, López-Caballero, M.E., Gómez-Guillén, M.C., López de Lacey, A. y Montero, P. (2009). High pressure technology as a tool to obtain high quality carpaccio and carpaccio-like products from fish. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10 (2) 148–154.
- Gonzalez-Jimenez, F.E. (2010) *Caracterización de compuestos fenólicos presentes en la semilla y aceite de chía (Salvia hispanica L.), mediante electroforesis capilar*. [Tesis inédita de maestría] México, D.F.: Instituto Nacional Politecnico.

- Harborne, J. B., (1989) *Methods in plant Biochemistry I: Plant phenolics*. UK: Academic Press London.
- Henderson, R. J. & Tocher, D. R. (1987) The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Progress in Lipid Research*. 26, 281–347.
- Hernández-Carranza, P. (2004). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de yogurt bajo en grasa enriquecido con fibra y calcio de yogurt. [Tesis inédita de maestría] Cholula, Puebla: Universidad de las Americas Puebla.
- Herrera, C.H., Bolaños, N. y Lutz, G. (2003). Química de alimentos. Ed. De la Universidad de Costa Rica: San José de Costa Rica, p 84.
- Huang, Z., Ye, R., Chen, J. And Xu, F., (2013). An improved method for rapid quantitative analysis of the insoluble dietary fiber in common cereals and some sorts of beans. *Journal of cereal science*.
- Hunter, R. S. & Harold, R.W. (1987). *The Measurement of Appearance*. Wiley, New York. 3-68.
- Huss, H.H. (1995) *Quality and quality changes in fresh fish* [online] Roma: FAO. Available from <<http://www.fao.org/docrep/V7180E/V7180E00.HTM>> [30 March 2013]
- 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.
- 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.
- I.N.N.S.Z. (2001). Ingestión diaria recomendada de energía, proteiana, vitaminas y minerales para la población mexicana. Cuadernos de nutrición. 24 (1), 38 Mexico: Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubiran.
- Ixtaina, V.Y., Vega, A., Nolasco, S.M., Tomas, M.C., Gimeno, M., Barzana, E. & 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.
- Jafarpour, A., Sherkat, F., Leonard, B. & Gorczyca E. M.. (2008) Colour improvement of common carp (*Cyprinus carpio*) fillets by hydrogen peroxide for surimi production, *Int. J. Food Sci. Tech*. 43, 1602–1609.
- King, D.E., Mainous, A.G. & 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

- Kirk, R. (1999). *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. pp. 549, 550, 555. México :Compañía editorial continental.
- Kraft, C.E., Carlson, D.M. & Carlson, M. (2006) *Inland fishes of New York*. [online] Available from <<http://fish.dnr.cornell.edu/nyfish/fish.html>> [14 may 2013].
- Lovegrove, J. A., Clohessy, A., Milon, H. & 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.
- Maestre, D.R.(2012) Mecanismos implicados en la acción antioxidante de polifenoles naturales en productos de la pesca y acuicultura. [Tesis inédita de doctorado] La Coruña: Universidad de Santiago de Compostela. [online] Available from <<http://dspace.usc.es/handle/10347/5086>> [16 april 2013]
- Mahawanich, T., Lekhavichitr, J. and Duangmal, K. (2010). Gel properties of red tilapia surimi: effects of setting condition, fish freshness and frozen storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 45 (1) 1777–1786.
- Maqsood, S., Singh, P., Hassan, S.A. and Bilal W.G. (nod) *Various fish and fish products being produced in fish processing industries and their value addition* [online] available from<<http://aquafind.com/articles/Value-Added-Fish-Process.php>> [28 febrero 2013]
- Martínez, M.L., Marín, M.A., Salgado Faller, C.M., Revol, J., Penci, M.C. and Ribotta P.D. (2012). Chia (*Salvia hispánica L.*) oil extraction: Study of processing parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 47 (1) 78-82.
- Mashpedia.com (2013). *Salvia hispanica*. [online] Available from <http://es.mashpedia.com/Salvia_hispanica> [14 may 2013].
- Miranda, S. (2011) *Caracterización fisicoquímica, funcional y estructural de 7 productos marinos de importancia económica en México* [Tesis de Licenciatura]. México: Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química. 8-22
- Moller, P. & Loft, S.(2002) Oxidative DNA damage in human white blood cells in dietary antioxidant intervention studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 76 (2), 303-310.

- Mora, R.D. (2011) Nutrición y salud en línea. [11 dec 2011] available <<http://nutricionysalud-enlinea.blogspot.mx/2011/12/pescado-vitamina-b12-y-capacidad.html>> [14 may 2013]
- Moreno, G.B. (2003) *Higiene e inspección de carnes II*. 1st edn. España: Díaz de Santos.
- 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. Issue Journal of Applied Ichthyology. *Journal of Applied Ichthyology*, 28 (2) 238–244.
- Navarro, C. (2005) *Optimización del Proceso de Obtención de Geles Cárnicos a Partir de Carne de Ave Mecánicamente Recuperada*. [Tesis inedita Doctoral]. Alicante España: Universidad Miguel Hernández. [online] Available from <<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/694/1/OPTIMIZACION%20DEL%20PROCESO%20DE%20OBTENCION%20DE%20GELES%20CARNICOS%20A%20PA.pdf>> [24 april 2013]
- Otten, W., Iazzo, P. A. & 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.
- Owen, P., Graeme-Cook, K. A., Crowe, B. A, & Condon, C. (1982). *Bacterial membranes: preparative techniques and criteria of purity*. County Clare, Ireland: Elsevier/North-Holland Scientific Publishers.
- Pangorn, S., Laong-Manee, P. and Siriraksophon, S. (2007) *Status of surimi industry in the Southeast Asia*. Thailand: Southeast Asian Fisheries Development Center [online] Available from <http://map.seafdec.org/downloads/pdf/publication-surimimile/Report_Status%20of%20Surimi_Part1_final_ed2.pdf> [30 marzo 2013]
- Park, J. W. (2000). *Ingredient technology and formulation development*, pp 343–391 en *Surimi and Surimi Seafood*, J. W. Park, Edt., Marcel Dekker Inc., New York
- 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 (1) 896-903.
- Parr, A. J. & Bolwell, G. P. (2000) Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80 (7), 985-1012.
- Pearson, A.M. and Dutson, T.R. (1997) *Production and processing of healthy meat, poultry and fish products* [online]. London, UK: Chapman & Hall; 1997 [citdo 2013 febrero 28]. Disponible en: <http://books.google.com.mx/books?id=diLA6IVcuZEC&pg=PA344&lpg=PA344&dq=W>

- [urld+surimi+market+outlook+INFOFISH-INT&source=bl&ots=BaS8x0xiYc&sig=D0jXBL1dVDTaeR3JIFUHIx27lv0&hl=es&sa=X&ei=SyowUeifI8qWyAHW14GQAg&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=World%20surimi%20market%20outlook%20INFOFISH-INT&f=false](http://www.infofish-int.com/urld+surimi+market+outlook+INFOFISH-INT&source=bl&ots=BaS8x0xiYc&sig=D0jXBL1dVDTaeR3JIFUHIx27lv0&hl=es&sa=X&ei=SyowUeifI8qWyAHW14GQAg&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=World%20surimi%20market%20outlook%20INFOFISH-INT&f=false)
- Peet, M. & Stokes, C.(2005).Omega-3 Fatty Acids in the Treatment of Psychiatric Disorders. *Drugs*. 65 (8), 1051-1059.
- Pérez, S. L.A. (1982) Piscicultura: ecología, explotación, higiene. México: Ed. El manual moderno S.A. de C.V. p. 15
- Pietrowski, B.N., Tahergorabi, R., Matak, K.E., Tou, J.C. & Jaczynski, J. (2011). Chemical properties of surimi seafood nutrified with ω -3 rich oils. *Food Chemistry*. 129(3), 912-9.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., & Gordon M. (2001). *Antioxidants in food: practical applications*. 147-158. England: CRC Press Inc.
- Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Paganga G., Van Buren L., Wagner E., Wiseman, S., Van de Put, F., Dacombe, C. and Rice-Evans, C.A. (2002). The oxidants activity of a regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free radicals Research*. 36 (2): 217-233.
- Ramirez-Suarez, J.C., Ibarra-León, L.R., Pacheco-Aguilar, R., Lugo-Sanchez, M.E., Garcia-Sanchez, G. and Carvallo-Ruiz, G. (2008). Physicochemical and functional changes in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle during ice storage. *Food Chemistry*, 111 (1) 586-591.
- Risso,S., Fernández,S. , Ureta, D. , Cordoba,O. , Balzaretti,V. y Sánchez, E. (2000). Estudio de la Composición de la Carne de Palometa. *La Industria Cárnica Latinoamericana*. 118, 40-45.
- Ronzón-Fernandez, S. (2012) La acuicultura, frente al siglo XXI. *Claridades Agropecuarias*. [online] 228, 12-13 Available from <<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/228/ca228.pdf>> [01 april 2013]
- SAGARPA (2013) Consulta especifica por especie. [online] Available from <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion> [01 april 2013]
- Salgado-Cruz, M. P., Cedillo-López D. y Beltrán Orozco M.C. (2005) Estudio de las propiedades funcionales de la semilla de chíá (*Salvia hispánica*) yde la fibra dietaria obtenida de la misma. *VII Congreso Nacional de Ciencia de Alimentos yIII Foro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos* [online] Available from <<http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=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=AFQjC
NGMbN3KKFioXai-aeDSRPY5TLTgWQ>[14 april 2013]
- Sánchez-Alonso, I., Solas, M.T., Borderías, A.J. (2007b). Technological implications of addition of wheat dietary fibre to giant squid (*Dosidicus gigas*) surimi gels. *Journal of Food Engineering*, 81 (2) 404-411
- Sang, S., Lapsley, K., Rosen, R. T. & Ho, C.-T. (2001) New Prenylated Benzoic Acid and Other Constituents from Almond Hulls (*Prunus amygdalus Batsch*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50 (3), 607-609.
- Sano, T., Noguchi, S. F., Matsumoto, J. J., & Tsuchiya, T. (1989). Role of F-actin in thermal gelation of fish actomyosin. *Journal of Food Science* (54), 800-804.
- Santana, P., Huda, N. and Yang T.A. (2012) Technology for production of surimi powder and potential of applications. *International Food Research Journal*. 19(4) 1313-1323
- Schubring R. (2007). DSC measurements on sharks. *Thermochimica Acta*. 458 (1) 124–31.
- Seafish (n.d.) *Seafood export profiles Germany* [online] available from <http://www.seafish.org/media/Publications/ExPro_germany_SEP.pdf> [28febrero 2013]
- Segura-Campos, M. R., Salazar-Vega, I. M., Chel-Guerrero, L. A. & Betancur-Ancona, D. A. (2013) 'Biological potential of chía (*Salvia hispanica* L.) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods'. *LWT - Food Science and Technology* 50, 723-731
- Shirai, N., Suzuki, H., Toukairin, S. & Wada, S. (2001). Spawning and season affect lipid content and fatty acid composition of ovary and liver in Japanese catfish (*Silurus asotus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 129 (1), 185-195.
- SIAP.GOB.MX. (2012) El mar y la pesca en México. *SIAPrendes: donde, cómo, cuándo, cuántos alimentos produce México*. [online] Available from. <<http://www.siap.gob.mx/publicaciones/siaprendes/014.html>> [01 april 2013].
- Sikorski, Z.E. (1990) *Tecnología de los productos del mar: Recursos, composición nutritiva y conservación*. 1st edn. España:Acribia.
- Silveira Rodríguez, M.B., Monereo Megías, S. y Molina Baena, B. (2003) Alimentos funcionales y nutrición óptima ¿Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública* 77(3):317-31
- Sotelo, D. I., Filomena, A. A. y Rodríguez, P. J. (2008) Evaluación de las propiedades del cajaro (*Phractocephalus hemiliopterus*) como potencial para la obtención de surimi y productos

- derivados. *Revista MVZ Córdoba* [en línea] 13: 1456-1463. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69311442004>> [28 de marzo de 2013]
- Spuch, A.R. y Judis, M.A. (2004) Estudio de la calidada nutricional y susceptibilidad oxidativa de *Ciprinus carpio* cultivados en la region centrochaqueña. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004*.
- Stansby, M. E. & Hall, A. S. (1967). Chemical composition of commercially important fish of the USA. *Fish Ind Res*, 3, 29-34.
- Valenzuela, B.A. y Maiz, G.A. (2006) El rol de la fibra dietética en la nutrición enteral. *Rev. chil. nutr.* [online] 33(2) 342-351 Available from. <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182006000400002&lng=es> [01 april 2013].
- Vo, T. and Kim, S. (2013) Fucoidans as a natural bioactive ingredient for functional foods. *Journal of Functional Foods*. 5(1), 16-27.
- Wada, L. y Ou, B. (2002). Antioxidant Activity and Phenolic Content of Oregon Caneberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(12), 3495-3500
- Zaldivar, P. (2003). Las frutas y hortalizas como alimentos funcionales. *Contactos*. 47, 12-19.
- Zhang, F., Fang, L., Wang, C., Shi, L., Chang, T., Yang, H. and Cui, M. (2013) Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi-beef gels with microbial transglutaminase. *Meat Science* 93 (3) 533-537.

9. Anexos

9.1. Anexo I. Compuestos fenólicos totales de la harina de chíá

Tabla 10. Compuestos fenólicos totales de las semillas de chíá

Extracción	mg Compuestos Fenólicos / g extracto seco de chíá
A 12 horas etanol/agua	3.432±0.454 ^b
B 12 horas etanol/agua	3.236±0.324 ^b
C 3 horas en agua	2.456±0.033 ^a

9.2. Anexo II. Imágenes de carpa común



Figura 9. Carpa común, y corte de músculo



Figura 10. Cortes cúbicos de músculo de carpa



Figura 11. Corte transversal de carpa comun

9.3. Anexo III. Imágenes de geles con 0, 1, 4 y 8% de harina de chía adicionada.



Figura 12. Gel cárnico con 0% de harina de chía



Figura 13. Gel cárnico con 1% de harina de chía



Figura 14. Gel cárnico con 4% de harina de chía



Figura 15. Gel cárnico con 8% de harina de chía



Figura 16. Comparación de geles cárnicos a base de carpa comun adicionados con 0, 1, 4 y 8% de harina de chíá.

9.3. Anexo IV. Imágenes de prototipos de hamburguesa a base de geles cárnicos adicionados con 4 y 8 % de harina de chíá.



Figura 17. Hamburguesa con 4 y 8% de harina de chíá adicionada