

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y
ALIMENTOS**

**TESIS
PROFESIONAL**

**ELABORACIÓN DE
REESTRUCTURADOS DE
MACABIL ADICIONADOS CON
HARINA DE AMARANTO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

ALEXIS IVÁN PÉREZ PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS

DRA. GABRIELA NALLELY TREJO DÍAZ

ASESOR EXTERNO

DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ MALDONADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero 2023



AGRADECIMIENTOS

A dios, por regalarme la vida, bendecir mis días y a mi familia, por estar siempre a mi lado y guiarme durante todo momento para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles; fortaleciéndome para lograr mis sueños y objetivos, estoy seguro que con su acompañamiento alcanzare todas mis metas.

A la Dra. Gabriela Nallely Trejo Díaz, por confiar en todo momento en mi capacidad para finalizar este trabajo de investigación, gracias por apoyarme cuando requerí de su experiencia y conocimientos.

Al Dr. Miguel Ángel Martínez Maldonado, por compartir su conocimiento y orientarme durante la elaboración de este trabajo, gracias por su apoyo para la realización de una estancia en la Universidad Autónoma de Querétaro.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, en especial a la Facultad de Química, gracias por brindarme un espacio en el laboratorio especializado en análisis de alimentos; gracias a esas personas que durante mi estancia en los laboratorios compartieron su conocimiento conmigo, particularmente al Mtro. Alexandro.

A la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, mi alma mater, que me apoyo e hizo posible mi estancia en la Universidad Autónoma de Querétaro, facilitando el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros de generación, el mejor grupo y equipo; gracias por los momentos de convivencia y aprendizaje.

A ti Sayra, por tu cariño y apoyo incondicional, por compartir conmigo tus sueños y formar parte de los míos, gracias.

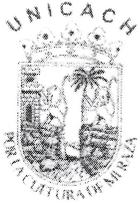
A todas esas personas que han sido parte de mi formación académica y profesional, gracias.

“Recuerda mirar hacia las estrellas y no abajo hacia tus pies; trata de darle sentido a lo que ves y pregúntate qué es lo que hace que el universo exista, sé curioso; por más dura que la vida pueda parecer, siempre hay algo que puedes hacer para llegar al éxito, lo importante es que nunca te des por vencido”.

Stephen Hawking

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con mucho cariño a mis padres, Rigoberto Pérez Clemente y Juana Isabel Pérez López, gracias por confiar siempre en mí, por nunca dejar de apoyarme, ustedes son parte fundamental de este logro, gracias por su amor, enseñanzas y consejos; y a mis hermanos, Kevin Adrian Pérez Pérez y Jimena Yamileth Pérez Pérez, gracias por compartir conmigo su cariño y amor, por siempre motivarme y llenarme de alegría, son todo para mí.



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
DIRECCION DE SERVICIOS ESCOLARES
DEPARTAMENTO DE CERTIFICACION ESCOLAR



Autorización de Impresión

Lugar y Fecha: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 29 de noviembre de 2022

C. Alexis Iván Pérez Pérez

Pasante del Programa Educativo de: Ciencia y Tecnología de Alimentos

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Elaboración de reestructurados de Macabil adicionados con harina de amaranto

En la modalidad de: Tesis profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

COORDINACIÓN
DE TITULACIÓN

Firmas

Dra. Adriana Caballero Roque

Mtro. Pedro Gerardo Trejo Flores

Dra. Gabriela Nallely Trejo Díaz



[Handwritten signatures in blue ink]

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
OBJETIVOS.....	6
GENERAL.....	6
ESPECÍFICOS.....	6
HIPÓTESIS.....	7
MARCO TEÓRICO.....	8
PESCADO.....	8
PRINCIPALES COMPONENTES Y PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL PESCADO.....	8
PROTEÍNAS EN EL MÚSCULO DE PESCADO.....	11
PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS PROTEÍNAS DEL MÚSCULO DE PESCADO.....	11
GELIFICACIÓN DE PROTEÍNAS CÁRNICAS.....	12
TIPOS DE GELIFICACIÓN.....	13
INFLUENCIA DE LA SAL EN PRODUCTOS CÁRNICOS.....	14
ESTRATEGIAS ACTUALMENTE EMPLEADAS EN LA REDUCCIÓN DE SAL.....	15
MACABIL (<i>ALBULA VULPES</i>).....	17
HABITAD.....	17
ALIMENTACIÓN DEL MACABIL.....	18
COMPORTAMIENTO.....	18
COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	18
APROVECHAMIENTO, RELEVANCIA SOCIAL Y ECONÓMICA DEL MACABIL (<i>ALBULA VULPES</i>).....	19
VALORIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA.....	20
PRODUCTOS DE MUSCULO DE PESCADO COMERCIALIZADOS EN CHIAPAS.....	21
AMARANTO, HISTORIA.....	22
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA.....	23
PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE AMARANTO EN MÉXICO.....	24
COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DEL AMARANTO.....	25
ANTIOXIDANTES PRESENTES EN AMARANTO.....	26

COMPUESTOS FENÓLICOS.....	28
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS	29
ALIMENTOS FUNCIONALES Y NUTRACÉUTICOS.....	29
ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA	30
AGUA EXTRAÍBLE Y CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA	32
PERDIDA Y RENDIMIENTO POR COCCIÓN.....	32
ANTECEDENTES	33
Productos cárnicos a base de proteínas de origen acuícola en el mundo.....	33
Productos a base de musculo macabil	33
Antecedentes sobre investigaciones que relacionan el uso del amaranto en productos cárnicos.....	34
METODOLOGÍA	36
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	36
MUESTRA	36
SITIO EXPERIMENTAL	36
VARIABLES.....	37
ELABORACIÓN DE LOS REESTRUCTURADOS	37
DIAGRAMA DE FLUJO	38
DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS A UTILIZAR.....	39
Preparación de los geles para el análisis de perfil de textura (TPA).....	39
Análisis de perfil de textura (TPA).....	39
Capacidad de retención de agua (CRA)	39
Pérdida por cocción.....	39
Fenoles totales y capacidad antioxidante.....	39
DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	40
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	40
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA DE LOS REESTRUCTURADOS DE MACABIL ADICIONADOS CON HARINA DE AMARANTO.....	42
Dureza	42
Cohesividad.....	44

Elasticidad.....	45
Masticabilidad.....	47
ANÁLISIS FÍSICOS	49
Capacidad de retención de agua.....	49
Pérdida por cocción.....	51
FENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	53
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS DOCUMENTALES	60
ANEXOS.....	73
ANEXO 1. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA.....	74
ANEXO 2. ANÁLISIS FÍSICOS.....	74
ANEXO 3. FENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	76
ANEXO 4. CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA FENOLES TOTALES Y DPPH	80
ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de la fabricación de geles a partir de surimi (Borderías y Pérez, 1996).	14
Figura 2. Macabil (<i>Albula vulpes</i>) (Froese y Pauly, 2020).	17
Figura 3. Distribución del macabí (<i>Albula vulpes</i>) en México (Enciclovida, 2018)	18
Figura 4. Productos a base de pescado en Chiapas.	22
Figura 5. Inflorescencia de <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L., <i>Amaranthus cruentus</i> L. y <i>Amaranthus caudatus</i> L., en orden respectivo de izquierda a derecha (González-Luna et al., 2015).	23
Figura 6. Diagrama de secciones transversales y longitudinales de granos de amaranto (Tovar-Pérez et al., 2019).	24
Figura 8. Grafica general del análisis del perfil de textura (Hleap y Velasco, 2010).	31
Figura 9. Semilla de amaranto.	36
Figura 10. Reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>) adicionados con harina de amaranto.	41
Figura 11. Análisis de dureza en los reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	42
Figura 12. Análisis de cohesividad en los reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	44
Figura 13. Análisis de elasticidad en los reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	45
Figura 14. Análisis de masticabilidad en los reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	47
Figura 15. Análisis de capacidad de retención de agua en los reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	49
Figura 16. Análisis de pérdida de agua por cocción en los reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los peces.	8
Tabla 2. Constituyentes del músculo del pescado.....	9
Tabla 3. Aminoácidos esenciales (porcentaje) constituyentes de varias proteínas.	9
Tabla 4. Clasificación de las proteínas del pescado.....	11
Tabla 5. Principales estrategias utilizadas para la sustitución y/o reducción de la sal en productos cárnicos.....	16
Tabla 6. Composición proximal de macabil (<i>Albula vulpes</i>) comparado con abadejo de Alaska.	19
Tabla 7. Volumen de producción por entidad.....	24
Tabla 8. Composición química de los granos de diferentes especies de amaranto	26
Tabla 9. Propiedades nutraceuticas del amaranto	28
Tabla 10. Variables dependientes e independientes.....	37
Tabla 11. Diseño de experimentos	40
Tabla 12. Fenoles totales y capacidad antioxidante en reestructurados de macabil (<i>Albula vulpes</i>)	53

INTRODUCCIÓN

El pescado pertenece a un grupo de alimentos de importancia nutricional, ya que aporta beneficios para la salud como un aporte equilibrado de proteínas, aminoácidos esenciales y ácidos grasos omega-3 (Regis *et al.*, 2017).

A lo largo de los años, ha habido un aumento considerable en la producción y el consumo anual de pescado, con una producción mundial cercana a los 179 millones de toneladas (Regis *et al.*, 2017; FAO, 2020).

Además del aumento en la producción, también ha aumentado la eliminación de especies de escaso o nulo valor comercial, a pesar de que estas pueden representar un gran aporte nutricional (Regis *et al.*, 2017).

Esto ha despertado mucho interés en el sector de la alimentación, orientándola a tecnologías como la elaboración de productos reestructurados; al hablar de productos reestructurados, nos referimos a técnicas japonesas en las cuales se utilizan fragmentos de bajo valor comercial o recortes de músculo de pescado para la obtención de productos que imitan las características de un producto tradicional (Añorve *et al.*, 2019).

Este tipo de tecnologías son una excelente oportunidad para elaborar nuevos alimentos pesqueros con valor agregado, pues se obtienen productos muy versátiles que pueden comercializarse de diversas formas, usando como único método de conservación el frío (Ribeiro *et al.*, 2018).

Sin embargo, la elaboración de productos reestructurados requiere adicionar NaCl con la finalidad de producir la solubilización de proteínas y de esa forma iniciar un adecuado proceso de gelificación de las proteínas miofibrilares, esto implica el consumo de productos cárnicos con altos contenidos de sodio lo cual está asociado a tener un mayor riesgo de desarrollar hipertensión arterial (Cando *et al.*, 2016).

Esto representa un nicho interesante para la creación de nuevas presentaciones que amplían el rango de posibilidades dirigidas al consumidor contemporáneo, el cual demanda alimentos saludables y con atributos especiales (Ribeiro *et al.*, 2018).

Una de las alternativas en este ámbito es la adición de harinas provenientes de fuentes vegetales, tal es el caso del amaranto, que posee un elevado contenido de proteínas de alto valor biológico, esto por la calidad de sus aminoácidos; además, presenta un importante contenido de fibra, un bajo contenido de grasa, un alto nivel de hierro, y compuestos antioxidantes (Brítez *et al.*, 2020), estas características le han permitido a los investigadores elaborar productos cárnicos con bajo contenido de sodio y además incorporar compuestos bioactivos (Brítez *et al.*, 2020; García y Tironi, 2015).

Ante lo expuesto anteriormente se pretende evaluar el efecto de la incorporación de harina de amaranto en reestructurados a base de macabíl (*Albula vulpes*) buscando disminuir el contenido de sal en el reestructurado y mejorando las propiedades mecánicas, físicas y antioxidantes de este, para ello se desarrollaron reestructurados adicionados con sal en concentraciones de 1 y 2% (p/p), posteriormente se incorporó harina de amaranto a la mezcla, en concentraciones de 5 y 10 % (p/p), para el tratamiento control se elaboró una formulación sin sal y sin harina de amaranto. Finalmente, la pasta homogeneizada se introdujo en tubos de acero inoxidable que fueron cerrados con tapones de rosca para luego someterlos a una temperatura de 40 °C por 30 min, seguido de una inmersión en agua a 90 °C por 30 min; después de la cocción, los tubos fueron colocados en un baño de agua fría (4 a 5 °C) por 30 min.

JUSTIFICACIÓN

El amaranto es un pseudocereal de origen americano, que presenta características nutricionales superiores a otros granos; esto debido principalmente a la riqueza proteica que presenta, la cual va de un 14 a 17 % (Luis *et al.*, 2018); pero su importancia no radica sólo en la cantidad, sino en la calidad de la proteína, ya que presenta un excelente balance de aminoácidos, tiene un contenido importante de lisina, aminoácido esencial en la alimentación humana y que comúnmente es más limitado en otros cereales; la proteína del amaranto se asemeja a la de la leche y se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana (González-Luna *et al.*, 2015; Mapes, 2015).

Por todo lo anterior el amaranto ha llegado a ser considerado por organismos internacionales como la NASA como un alimento ampliamente aprovechable, tal y como lo es la soya (Luis *et al.*, 2018).

Diversas investigaciones han revelado el contenido de péptidos en amaranto con capacidad de inhibir proteasas y con potencial anti inflamatorio (Peter y Gandhi, 2017), de igual forma, recientemente algunos autores han reportado la presencia de compuestos bioactivos con efectos antitrombóticos, antioxidantes, hipocolesterolemicos, antidiarreicos, antidepresivos y anticancerígenos (Coelho *et al.*, 2018).

Inicialmente el amaranto ha sido incluido en forma de harina a productos como galletas, tortillas, pastas (González-Luna *et al.*, 2015) y panes, siendo una alternativa para los que padecen intolerancia al gluten, y no pueden consumir panificados a base de harina de trigo; así mismo, ha formado parte de productos más sofisticados como aceites comestibles, papillas para bebés, concentrados proteicos, barras energéticas, alimentos nutricionales y funcionales (Luis *et al.*, 2018).

Por otro lado, en productos cárnicos el amaranto en forma de harina ha sido utilizado para reducir el contenido graso y los niveles de sodio (Brítez *et al.*, 2020); así como para aumentar el contenido proteico actuando como un extensor cárnico (Cotoc, 2018), demostrando con ello que cumple con funciones tecnológicas importantes, que además mejoran la calidad nutricional de estos (Capúz y Pilamala, 2015).

Finalmente, en productos cárnicos pesqueros como los reestructurados son pocas las investigaciones en donde la adición de amaranto ha sido evaluada; un estudio realizado por García y Tironi (2015) se aplicó aislado e hidrolizado de proteína de amaranto a un producto reestructurado de pescado y se logró disminuir el contenido de sodio en este, además de mejorar aspectos como la textura y evitar parcialmente la oxidación de lípidos y proteínas, suceso que ocurre frecuentemente en productos pesqueros.

Ante esto la presente investigación pretende determinar el efecto que la incorporación de harina de amaranto en reestructurados a base de macabil (*Albula vulpes*) tiene sobre las propiedades mecánicas, físicas y nutraceuticas de este, además se busca obtener un reestructurado con bajo contenido en sodio, componente al cual se le atribuyen problemas cardiovasculares y enfermedades como la hipertensión; y aunque su adición en forma de harina no ha sido del todo evaluada en este en este tipo de productos; los estudios antes mencionados demuestran que el amaranto contiene una cantidad apreciable de compuestos funcionales con capacidad tecnológica, que pueden ser incluidos en una matriz alimentaria como esta; además está más que demostrado que el amaranto funciona como un nutraceutico con alto potencial para usarse en la fortificación de alimentos; por último es importante mencionar que con esto se estaría dando valor agregado al pez *Albula Vulpes*.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, al igual que varios países del mundo, nos enfrentamos a diversos problemas de salud relacionados con la alimentación como la desnutrición, el sobrepeso y la obesidad; situación que sin duda alguna conlleva a la aparición de enfermedades no transmisibles (Shamah *et al.*, 2015).

Ante ello una alternativa sencilla y accesible para promover la salud de la población es el desarrollo o formulación de productos alimenticios que mejoren la salud o prevengan enfermedades al organismo (Meléndez-Sosa *et al.*, 2020).

En este aspecto los alimentos “funcionales” o en su caso “nutracéuticos” ha despertado el interés de un sin fin de investigadores que han desarrollado diversas metodologías para mejorar tanto propiedades nutricionales y organolépticas en diversos alimentos (Meléndez-Sosa *et al.*, 2020).

Específicamente en el sector cárnico y sus derivados esto representa una gran oportunidad para mejorar su “imagen” la cual se ha visto afectada por componentes que forman parte de estos sistemas alimentarios, como el gluten, las grasas, nitritos y sodio (Jimenes, 2016); este último siendo un ingrediente indispensable en la elaboración de productos cárnicos pero que de acuerdo a diversas investigaciones un consumo excesivo de este se relaciona con una mayor probabilidad de padecer hipertensión arterial siendo ésta a su vez un factor de riesgo para padecer enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y fallas renales (Mill *et al.*, 2018), enfermedades que en México se constituyen como las primeras causas de muerte. En México, la hipertensión arterial afecta al 34.3% de la población de 20 a 69 años (entre las más altas a nivel mundial); esto es, más de 17 millones de mexicanos con este padecimiento (Barba, 2018).

Los productos reestructurados, especialmente los derivados de peces; son conocidos por ser una excelente fuente proteína, pero es bien sabido que poseen un alto contenido de sodio (Cando *et al.*, 2016); por ello la posibilidad de agregar ingredientes que promuevan su reducción y que además puedan incorporar compuestos bioactivos, hacen ver esta opción aún más interesante (García y Tironi, 2015).

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar un reestructurado de macabil (*Albula vulpes*) adicionado con harina de amaranto con bajo contenido de sal para evaluar las propiedades de textura y nutraceuticas.

ESPECÍFICOS

Formular y desarrollar un reestructurado de macabil (*Albula vulpes*) adicionado con harina de amaranto y bajo contenido de sal.

Evaluar el efecto de la incorporación de harina de amaranto y bajo contenido de sal sobre las propiedades mecánicas y físicas.

Determinar el contenido de compuestos fenolicos de un reestructurado de macabil adicionado con harina de amaranto y bajo contenido de sal.

HIPÓTESIS

La harina de amaranto tendrá un efecto significativo sobre las propiedades mecánicas, físicas y nutracéuticas en un reestructurado cárnico a base de macabil (*Albula vulpes*), aun cuando se reduzca el contenido de sal en éste.

MARCO TEÓRICO

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), por su parte el termino pez hace referencia a los vertebrados acuáticos inferiores de sangre fría, que utilizan branquias para la obtención de oxígeno del agua y presentan aletas; 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 (Santillán, 2014).

Los peces pueden clasificarse de diversas maneras, tanto por su composición como por el tipo de esqueleto y habitad o lugar de procedencia (Tabla 1)

Tabla 1. Clasificación de los peces.

Tipo de agua	Tipo de esqueleto	Composición lipídica
<ul style="list-style-type: none">▪ Agua dulce▪ Desembocadura de los ríos (mixtas)▪ Agua salada (Capas intermedias y superficiales o Cerca o en el fonde del mar)	<ul style="list-style-type: none">▪ Teleósteos (peces óseos)▪ Elasmobranquios (peces cartilagosos)	<ul style="list-style-type: none">▪ Grasos($\geq 5\%$)▪ Semigrasos(2-5%)▪ Magros($\leq 2\%$)

Fuente: Avdalov, 2014.

PRINCIPALES COMPONENTES Y PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL PESCADO

En numerosos estudios se ha mencionado los beneficios a la salud que trae consigo el consumo de pescado, lo cual se ha relacionado con la composición muscular que presenta de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales (Aguilera-Ortiz, 2014); esta composición varia considerablemente entre las diferentes especies, así como de la edad, sexo, medio ambiente y estación del año; en la tabla 2 pueden observarse los porcentajes promedios de cada uno de los constituyentes del musculo de pescado.

Tabla 2. Constituyentes del músculo del pescado.

Constituyente	Pescado (filete)
	Media (%)
Proteínas	16-21
Lípidos	0.2-25
Carbohidratos	<0.5
Cenizas	1.2-1.5
Humedad	66-81

Fuente: Avdalov, 2014.

La proteína del pescado la cual en términos generales representa un 18% del contenido total de nutrientes totales en carne de pescado (Fonseca-Rodríguez y Chavarría-Solera, 2017), es de alto valor biológico, excelente digestibilidad y gran calidad similar a la de otros alimentos de origen animal como la carne, leche y huevo (Díaz, 2020); y al igual que estos alimentos el pescado presenta todos los aminoácidos esenciales (Tabla 3).

Tabla 3. Aminoácidos esenciales (porcentaje) constituyentes de varias proteínas.

Aminoácidos	Pescado	Leche	Carne vacuna	Huevo
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
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-Cisteína	4.0	4.3	2.9	3.3
Valina	6.0	7.6	5.0	8.1

Fuente: Avdalov, 2014.

Por otro lado, los lípidos de los peces difieren de los lípidos de los mamíferos; la principal diferencia es que están compuestos por ácidos grasos de cadena larga (14-22 átomos de carbono) con un alto grado de insaturación (cinco o seis dobles ligaduras), mientras que los ácidos grasos en mamíferos raramente contienen más de dos dobles ligaduras por molécula (Avdalov, 2014).

El contenido lipídico en pescado es muy variable y depende en gran medida de la especie y época del año, así como de la alimentación, puede ir desde un 0.1 a >18% (Dávalos *et al.*, 2005)

Como ya se mencionó, los lípidos que constituyen al pescado presentan una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente omega-3 (EPA Y DHA), los cuales han mostrado contundentemente un impacto positivo en la salud, relacionándolos principalmente con la reducción de enfermedades cardiovasculares, disminuyendo el riesgo de arritmias cardíacas y previniendo la formación de coágulos en la sangre, los cuales se han vinculado con ataques al corazón o derrames cerebrales; así mismo recientes investigaciones relacionan su consumo en la prevención de enfermedades como depresión y Alzheimer (Aguilera-Ortiz, 2014; Avdalov, 2014; Fonseca-Rodríguez y Chavarría-Solera, 2017); los ácidos grasos omega-3 son capaces de aumentar las lipoproteínas HDL (lipoproteínas de alta densidad) y reducir las LDL (lipoproteínas de baja densidad), así como los niveles de colesterol total y triglicéridos, provocando una disminución en el ritmo de crecimiento de la placa aterosclerótica, lo cual mejora la salud y reduce la presión arterial; también son precursores de prostaglandinas, que reducen la inflamación como la artritis reumatoide y disminuyen desórdenes renales, alergias, diabetes y cáncer (Aguilera-Ortiz, 2014).

Además de la calidad nutricional de las proteínas y lípidos del pescado, sus vitaminas también tienen aporte nutricional y antioxidante, por lo que constituyen un factor protector frente a ciertas enfermedades degenerativas, cardiovasculares y carcinogénicas (Aguilera-Ortiz, 2014); dentro de los principales micronutrientes presentes en la carne de pescado se encuentran vitaminas como la D, A y B; y minerales como calcio, zinc, hierro, selenio (FAO, 2014) y muy especialmente yodo, necesario para evitar la enfermedad del bocio (Díaz, 2020).

De los constituyentes del pescado antes mencionados la proteína forma parte indispensable en la elaboración de productos reestructurados, la cantidad y calidad de esta tendrá un impacto importante en la calidad final de este tipo de productos (Cando, 2018).

PROTEÍNAS EN EL MÚSCULO DE PESCADO

De acuerdo a la FAO (2013) las proteínas en el tejido muscular de peces se pueden dividir en tres grupos (Tabla 4):

Tabla 4. Clasificación de las proteínas del pescado

Proteínas estructurales	Están constituidas por actina, miosina, tropomiosina y el complejo actomiosina; 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 sarcoplasmáticas	Constituidas por mioalbúmina, globulina y enzimas, que son solubles en soluciones salinas neutras de baja fuerza iónica (<0.15 M). Esta fracción representa el 25-30 % de la proteína.
Proteínas del tejido conectivo	Representadas principalmente por colágeno; constituyen aproximadamente entre el 3% y 10% de la proteína (en comparación con 17 % en los mamíferos).

Fuente: FAO, 2013

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 (Santillán, 2014).

Las principales propiedades funcionales de las proteínas que afectan al músculo de pescado son: solubilidad, capacidad de retención de agua, capacidad de emulsificación y capacidad de gelificación; estas 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 (Santillán, 2014).

GELIFICACIÓN DE PROTEÍNAS CÁRNICAS

Un gel es la fase intermedia entre un sólido y un líquido, se obtiene durante la agregación de proteínas desplegadas que forman una estructura tridimensional, en la cual las interacciones proteína-proteína y proteína-solvente dan lugar a una matriz ordenada, capaz de mantener una significativa cantidad de agua en su interior (Cando, 2018).

En productos cárnicos la miosina es la principal responsable de la mayor parte de las propiedades de gelificación, esta proteína 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. Por otro lado, la actina, no tiene la capacidad de formar 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 (Santillán, 2014); esta interacción determina las propiedades mecánicas y de textura de los geles (Hernández-Robledo *et al.*, 2015).

En contraparte, las proteínas solubles interfieren con el mecanismo de gelificación, induciendo a la formación de geles más débiles; sin embargo, aportan características de sabor, olor y color a los productos (Hernández-Robledo *et al.*, 2015).

Este es el fundamento de la elaboración de productos de surimi, en los que la carne de pescado, desmenuzada mecánicamente, se lava con agua fría para remover la grasa, las proteínas sarcoplásmicas y otras sustancias solubles no deseables, como la sangre, pigmentos y componentes responsables del olor; con lo que se concentran las proteínas miofibrilares y se mejora la capacidad gelificante de la carne. La cantidad de agua requerida para remover las proteínas hidrosolubles del músculo de pescado, depende de la frescura de la carne, entre más fresco sea el pescado menos volumen de agua se requiere; pero en general, se realizan de 1 a 3 ciclos de lavados de 5 min, con una etapa de remoción del agua después de cada lavado, usando una relación 3:1 agua fría/carne de pescado (Hernández-Robledo *et al.*, 2015).

En la gelificación de las proteínas miofibrilares, se reconocen tres etapas indispensables: la primera es la solubilización de las proteínas nativas con sal, en concentraciones que pueden variar entre 1 % y 3 %; la segunda es la desnaturalización o desdoblamiento de las cadenas polipeptídicas (estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria), lo que usualmente se realiza

térmicamente; y la tercera es la agregación ordenada e irreversible de las proteínas musculares, la cual es obtenida al someter a calentamiento las proteínas, con un posteriormente enfriamiento (Martínez *et al.*, 2014). También es importante que estas proteínas se encuentren en estado nativo, evitando su desnaturalización/agregación antes de la gelificación, con el fin de obtener un buen gel; en algunos casos, cuando la agregación es extensa, no es posible obtener la formación del gel (Hernández-Robledo *et al.*, 2015).

La gelificación de las proteínas musculares es una propiedad funcional de gran interés comercial y tecnológico para el desarrollo de alimentos reestructurados (Hernández-Robledo *et al.*, 2015).

TIPOS DE GELIFICACIÓN

La gran mayoría de los productos reestructurados a base de pescado se producen a partir del surimi, producto que es obtenido tras picar y/o desmenuzar el músculo de pescado, para posteriormente ser lavado con agua, procesado industrialmente y congelado en su etapa final en forma de bloques (Cando *et al.*, 2016).

Tras adicionar sal (para formar el sol de acto miosina) en un y someter este producto a diversos tratamientos pueden obtenerse tres tipos de geles (Figura 1) (Borderías y Pérez, 1996; Ramos-Martínez *et al.*, 1998; Cando *et al.*, 2016; Yamada *et al.*, 2020):

- Suwari: gel formado a temperaturas entre 20 y 40 °C; la reacción suwari ocurre como resultado de la polimerización entrecruzada de moléculas de miosina por la transglutaminasa que se encuentra en la carne de pescado.
- Modori: gel frágil formado a temperaturas 50-70 °C; la reacción modori implica múltiples proteasas endógenas denominadas colectivamente proteinasas inductoras de modori (MIP), las cuales degradan rápidamente la miosina, lo cual implica la desintegración estructural del gel; este proceso disminuye las propiedades mecánicas de los geles.
- Kamaboko: gel formado a temperaturas de 90°C, este gel presenta excelentes propiedades mecánicas.

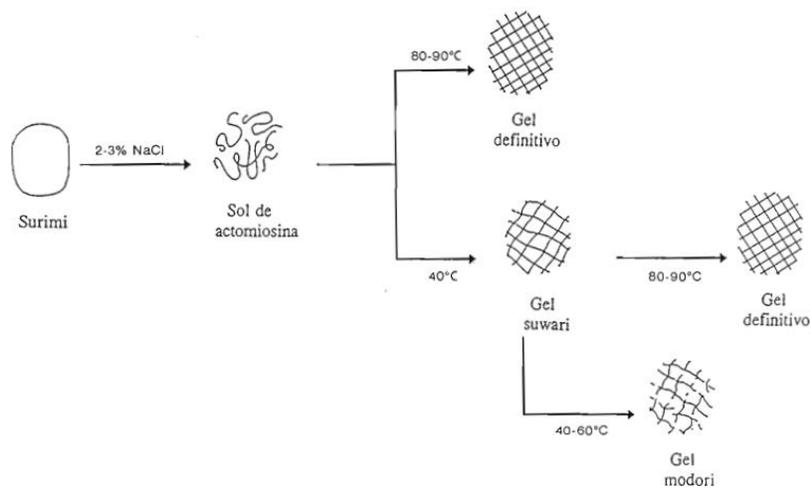


Figura 1. Esquema general de la fabricación de geles a partir de surimi (Borderías y Pérez, 1996).

Algunos geles pueden ser elaborados directamente a temperaturas de 90°C, mientras que otros pueden ser sometidos primero a procesos de incubación (40°C), para finalmente llevarlos a temperaturas de 90°C; estos geles muestran una alta resistencia, además, el agua puede ser retenida fácilmente dentro de la fuerte red proteica; esto resulta en una mayor capacidad de retención de agua (Jia *et al.*, 2019).

Este proceso es muy utilizado cuando no se utiliza como materia prima directa al surimi, es decir, se utilizan directamente filetes o músculo de pescado, sin someterlos a procesos de lavado y congelación (Hernández-Robledo *et al.*, 2015).

INFLUENCIA DE LA SAL EN PRODUCTOS CÁRNICOS

La sal es altamente utilizada en la industria de alimentos, las principales funciones de la sal en la fabricación de productos alimenticios y de bebidas, se pueden dividir en tres amplias categorías, éstas son: propiedades sensoriales (intensificador del sabor), preservación de alimentos y funciones tecnológicas de procesamiento (Mill *et al.*, 2018).

Para el caso de los productos cárnicos, la sal común se emplea para intensificar la capacidad de retención de agua después de ser cocinados, además tienen un efecto de ablandamiento sobre la carne cruda; también aumentan la estabilidad de la emulsión en productos reestructurados como hamburguesas y salchichas (Mill *et al.*, 2018).

La adición de sal también se usa como agente aglutinante, ablandador y potenciador de color, con lo que se le permite ofrecer al consumidor una presencia más compacta y atractiva en todos los embutidos tradicionales y carnes frescas preparadas (Morales-Córdova *et al.*, 2016).

Estas características aportadas por la sal se deben a que durante su adición a matrices cárnicas existe una mayor solubilización de las proteínas miofibrilares, dando lugar a una masa más fluida y homogénea con características determinadas (Cando, 2018).; en ausencia de sal la fuerza iónica disminuye, y por ende también la extracción y solubilización de estas, afectando toda la funcionalidad del sistema (Sánchez, 2007).

En la elaboración de geles de pescado es necesaria la adición de sal en una concentración del 2-4% para obtener una red proteica más estable. Actualmente, la sal en geles de pescado se está convirtiendo en una preocupación importante, puesto que se ha reportado que este ingrediente está relacionado con una mayor incidencia de padecer hipertensión arterial, pero tecnológicamente se ha convertido en todo un reto ya que la disminución de los niveles de sal da como resultado un gel débil y con texturas distintas a la de un gel convencional (Walayat *et al.*, 2022).

ESTRATEGIAS ACTUALMENTE EMPLEADAS EN LA REDUCCIÓN DE SAL

Para suplir el uso de la sal (NaCl) sin comprometer tecnológicamente el producto se han desarrollado diversas estrategias; las cuales se basan en la adición de otros componentes que proporcionen características similares a las que proporciona la sal en productos cárnicos (Tabla 5).

Tabla 5. Principales estrategias utilizadas para la sustitución y/o reducción de la sal en productos cárnicos

Ingrediente y/o tecnología aplicada	Características
Cloruro de potasio	Esta sal actúa de manera similar al cloruro de sodio en la desnaturalización de la miosina y actina, proveyendo una gran estabilidad durante el calentamiento, pero, aunque se le considera el sustituto principal de la sal en la industria alimentaria puede dar un sabor amargo.
Fosfatos	El uso de fosfatos es otro de los métodos estudiados para reducir el sodio, aunque también son sales sódicas y porcentualmente aportan un contenido de sodio similar al del NaCl (31.24 % frente al 39.34 % que aportaría el NaCl). Su ventaja radica en que se añade en porcentaje muy inferior al NaCl para conseguir similares efectos.
Hidrocoloides, almidones o fibras	Forman matrices que permiten la obtención de geles de buena calidad con bajo contenido de sal en el proceso, sin embargo, en comparación con la sal, su adición podría incrementar considerablemente el precio de los productos, además de, cómo en el caso del almidón, reducir su calidad nutricional.
Proteínas	Se ha reportado el uso de proteínas de origen vegetal (como soya) y proteína de origen animal (como láctea y de huevo) para mejorar propiedades texturales en geles cárnicos con bajo contenido de sodio, aunque comúnmente su uso en la industria cárnica es para conseguir productos aceptables a un menor costo, sin afectar la calidad nutricional del producto; siendo conocidos por este hecho como “extensores cárnicos”.
Enzimas (MGTasa)	La transglutaminasa microbiana ha sido ampliamente empleada para mejorar la textura de geles de pescado y surimi, tanto con tratamiento térmico como sin el dando lugar geles de adecuadas propiedades fisicoquímicas. En carpa plateada se probó su eficacia como agente mejorante de la textura en derivados de pescado bajos en sal.
Aminoácidos	Diferentes aminoácidos como lisina y cistina han sido considerados como agentes potenciadores de la gelificación se emplean en muy pequeñas cantidades(0.05-0.2%), no suponen aporte calórico y son compuestos inócuos, que forman parte de las proteínas y están presentes de forma natural en los alimentos.
Altas presiones, luz ultravioleta, microondas y sonicación	El uso de estas tecnologías ha sido reportado por diversos autores, estas investigaciones mencionan que las propiedades texturales, gelificantes y estructurales de los geles preparados con estas son mejores que las producidas por procesos térmicos tradicionales, inclusive cuando el contenido de sal es reducido; su desventaja radica en que estas técnicas requieren un gasto inicial masivo, seguido de grandes gastos de mantenimiento, por lo tanto, estas son las razones por las que tales innovaciones no se aplican a escala industrial.

Fuente: Sánchez, 2007; García y Tironi, 2015; Martelo-Vidal *et al.*, 2016; Cando, 2018; Wayalat *et al.*, 2022.

MACABIL (*ALBULA VULPES*)

Macabil (*Albula vulpes*) es un pez de cuerpo alargado, con un hocico romo cónico que se extiende más allá de la boca inferior; presenta dientes muy pequeños, es un pez de color plateado con aletas oscuras y tonos amarillos en la base de los pectorales (Figura 2); tiene una longitud máxima de 104 cm y un peso máximo de 10 Kg; su carne es huesuda (Froese y Pauly, 2020), por ello se captura principalmente en pesca deportiva, y no se utiliza para la alimentación de forma habitual (Enciclovida, 2018).



Figura 2. Macabil (*Albula vulpes*) (Froese y Pauly, 2020).

HABITAD

Habita en aguas costeras poco profundas, estuarios y bahías, sobre fondos arenosos y fangosos (Froese y Pauly, 2020); se mueve para alimentarse con la subida de la marea y se retira a aguas más profundas cuando la marea baja. Los juveniles pueden formar grandes cardúmenes de individuos de tamaño similar mientras que los individuos más maduros nadan en pequeños grupos o parejas (Enciclovida, 2018).

De acuerdo a Enciclovida (2018), en México el macabí habita tanto aguas del golfo y pacífico de México, así como el golfo de california (Figura 3).

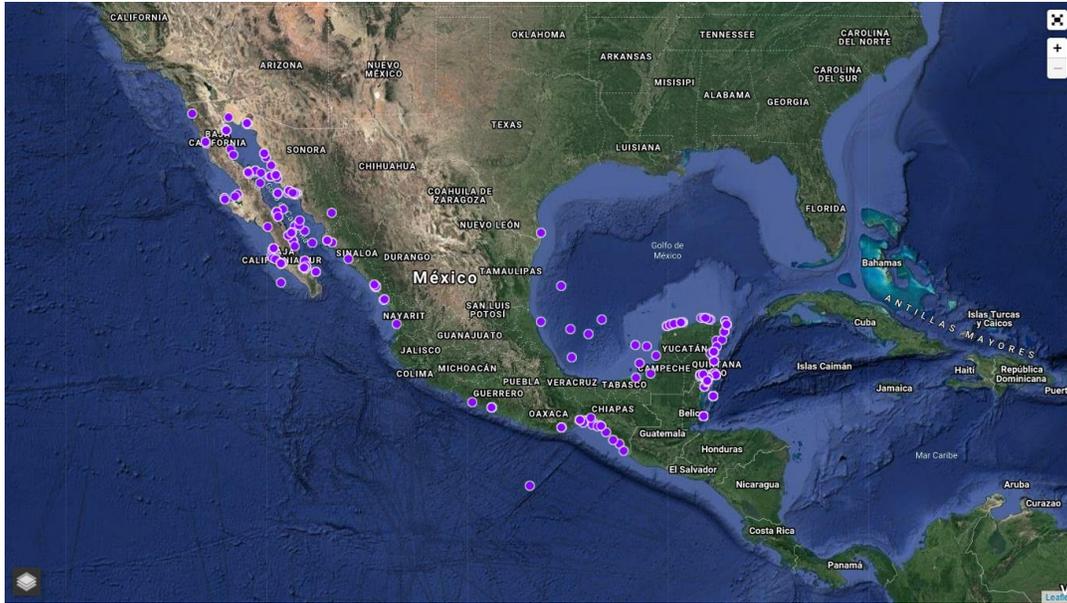


Figura 3. Distribución del macabí (*Albula vulpes*) en México (Enciclovida, 2018)

ALIMENTACIÓN DEL MACABIL

Su dieta se basa en crustáceos móviles, peces óseos, pulpos, calamares, gusanos móviles, gasterópodos y bivalvos móviles bentónicos (STRI, 2015); usualmente remueve el fondo para encontrar a sus presas dejando en muchas ocasiones la larga cola fuera del agua (Enciclovida, 2018).

COMPORTAMIENTO

El macabí es un pez carnívoro; se desplaza en bandos numerosos o cardúmenes en los primeros años de vida. Más tarde, empieza a reducir la “compañía” hasta llegar a moverse solo o en parejas; algunos individuos mayores viajan en solitario. El macabí, también conocido como macabí o zorro, es probablemente el animal más rápido en aguas saladas. La pesca en aguas poco profundas se realiza en zonas que tienen entre 20 cm y alrededor de un metro de profundidad, utilizando como cebo los camarones y cangrejos (Enciclovida, 2018).

COMPOSICIÓN PROXIMAL

La investigación realizada por Regis *et al.* (2015) presento la composición proximal de carne de macabil en cada una de las estaciones del año (Tabla 6), esto con el objetivo de dar a conocer su valor nutricional y su posible aprovechamiento, de acuerdo a este estudio en países como

Brasil este pez es considerado como pez de descarte durante la captura del salmonete, sin embargo, de acuerdo a los resultados reportados por Regis *et al.* (2015) la composición del macabil es muy similar a la del salmonete; inclusive se asemejan al del pez abadejo de Alaska, pez que es la principal materia prima para la producción de surimi y sucedáneos de pescado a nivel mundial (Cañada *et al.*, 2021).

Tabla 6. Composición proximal de macabil (*Albula vulpes*) comparado con abadejo de Alaska.

MACABÍL		Otoño	Invierno	Primavera	Verano	ABADEJO DE ALASKA	
	Humedad	74.70	76.68	76.40	73.42		75.1
	Proteína	18.34	20.41	21.58	23.62		17.5
	Lípidos	0.98	0.06	0.61	1.55		0.2
	Cenizas	1.57	1.41	1.14	1.16		–

Fuente: Regis *et al.*, 2017; Cañada *et al.*, 2021.

APROVECHAMIENTO, RELEVANCIA SOCIAL Y ECONÓMICA DEL MACABIL (*ALBULA VULPES*)

En cuanto a su aprovechamiento se refiere, son pocas las investigaciones que abordan temas sobre su procesamiento; esto hace sentido, pues de acuerdo a Rennert *et al.* (2019) esta especie en muchos lugares es considerada como pez deportivo (pesca recreativa); dejando derramas económicas considerables; por ejemplo, el impacto anual económico de la pesquería recreativa de *Albula vulpes* supera los 141 millones de dólares en las Bahamas, los 465 millones en los Cayos de Florida (EUA) y los 55 millones en Belice (Zeng *et al.*, 2019), por ello es visto en muchos lugares como un trofeo de talla internacional (Froese y Pauly, 2020).

En contraparte, en el sector alimentario destacan investigaciones como la realizada por Hernández *et al.* (2018), quienes elaboraron productos embutidos a base de pulpa de macabil, su investigación se enfocó en mejorar los hábitos alimenticios de una comunidad estudiantil con este tipo de productos.

Por otro lado, en Brasil, tras un estudio realizado por la Fundación Instituto de Pesca del Estado de Río de Janeiro en 2014 en donde se reveló que el macabí formaba parte de una pesca incidental durante la captura de otras especies de mayor valor comercial; surgió la investigación realizada por Regis *et al.* (2017), quienes decidieron llevar a cabo la caracterización química de la carne del macabí con el objetivo de formular un producto con valor agregado; durante este estudio concluyeron que la carne de macabí muestra un alto valor nutricional, con alto contenido de proteínas y bajo contenido de lípidos y que los productos elaborados con este son bien recibidos por los consumidores.

Mientras tanto en lugares como el estado de Chiapas es consumido principalmente en forma de “tortitas”, aunque en municipios costeros de este estado como Tonalá, también se prepara en salchichas y “taquitos”, todos elaborados de forma muy tradicional (SECTUR, 2014).

En Venezuela también ha sido reportado su consumo; según (Enciclovida, 2018), en este país se consume extrayendo la carne gelatinosa de su lomo con la cual se suelen preparar albóndigas (las llamadas torticas de malacho) u otros guisados.

VALORIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE LA PESCA

El consumo mundial de pescado ha estado creciendo a una tasa media anual del 3.2% desde principios de la década de 1960; se prevé que la demanda continúe, impulsada por un aumento de la población, además de una inclinación por los alimentos y un creciente reconocimiento de la importancia del pescado como ingrediente clave para la salud y la nutrición; sin embargo, a medida que aumenta la demanda, también aumentan las limitaciones en el lado de la oferta de la cadena (Egerton *et al.*, 2017).

Por ello uno de los retos que debe afrontar el sector pesquero es conseguir valorizar más los productos de la pesca, principalmente en la fase de la producción, no solo para cubrir las necesidades que acontecen a la población actual sino también para desarrollar un comercio justo con los pescadores, los cuales se ven perjudicados por el bajo costo al que ofrecen sus productos a los comercializadores, los cuales se ven más beneficiados con este modelo de negocio (Iglesias, 2014).

El sector pesquero debe afrontar este reto desarrollando productos innovadores que proporcionen al consumidor un mayor grado de conveniencia; productos que incluyan facilidades de uso o consumo, es decir que sean fáciles de conservar, preparar y transportar (Iglesias, 2014).

La transformación de los productos pesqueros desempeña una función vital, no sólo en la elaboración de alimentos sanos y nutritivos, sino también como parte fundamental de la actividad pesquera en términos socioeconómicos, de creación de valor añadido y como medio de vida en las zonas costeras (MAGRAMA, 2014).

En México, una de las tantas estrategias que se describen en el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024 para obtener un aprovechamiento íntegro y ofrecer valor agregado a los productos pesqueros es impulsar la creación de las Unidades de Logística Acuícola como nodos de acopio, procesamiento y comercialización que permitan la transformación hacia los valores agregados y el aprovechamiento integral de los productos pesqueros y acuícolas, impulsar el consumo responsable de pescados y mariscos mexicanos para disminuir el hambre y desnutrición en la población mexicana y desarrollar hábitos de consumo alimentario responsable (DOF, 2020).

PRODUCTOS DE MUSCULO DE PESCADO COMERCIALIZADOS EN CHIAPAS

Dentro de las tiendas de autoservicio ubicadas en la capital de Chiapas se ofertan productos a base de pescado como los tradicionales palitos de cangrejo, hamburguesas, salchichas y barritas (Figura 4).



Figura 4. Productos a base de pescado en Chiapas.

AMARANTO, HISTORIA

Nativo de México y Centroamérica, el amaranto (*Amaranthus* spp.) se desarrolló desde tiempos precolombinos, en climas templados y tropicales de nuestro país; la arqueología encontró vestigios de la planta de más de 5 mil años a.C., como los de Zohapilco, en la Cuenca de México (SEMARNAT, 2018).

El uso más extendido del “huauhtli” (nombre que le daban los antiguos mexicanos) es como cereal suavemente tostado, sus hojas se preparan como quintoniles, y su semilla en mazapanes, harinas, pinole, atoles, horchatas, hojuelas, panqués y gelatinas, pero también toda la planta se utiliza con fines de ornato. Los aztecas convertían en “tzoalli” (carne de dioses) la semilla molida y amasada con miel de maguey, y elaboraban panes con forma de Tezcatlipoca, Quetzalcóatl, Tláloc, Chalchiuhtlicue, Coatlicue, Xiuhtecuhtli, Chicomecóatl, Matlalcueye, Iztactépetl y Opuchtlí, deidades que así personificaban para sacralizar “su carne” y consumirla con gran reverencia en actos rituales (SEMARNAT, 2018).

Esta práctica resultó abominable para los colonizadores españoles, lo mismo que los tamales redondos de masa y hojas de amaranto que se ofrendaban a los muertos y al elemento fuego, pues erróneamente pensaban que los teñían con la sangre de los sacrificios humanos, cuando ésta era solo alimento de los dioses. El cultivo y consumo del amaranto fue prohibido hasta

casi desaparecer; hoy prevalece en Puebla, Morelos, Tlaxcala, Ciudad de México, Estado de México y Guanajuato (SEMARNAT, 2018).

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA

El amaranto es una planta que produce semillas tipo grano, por lo que se considera un pseudocereal. Pertenece a la familia Amaranthaceae, constituida por aproximadamente 70 géneros, de los cuales, el género *Amaranthus* comprende alrededor de 60 especies, siendo solo tres las que se cultivan para la producción de semillas comestibles (Figura 5) (González-Luna *et al.*, 2015):

- *Amaranthus hypochondriacus* L. (México)
- *Amaranthus cruentus* L. (Centroamérica)
- *Amaranthus caudatus* L. (Sudamérica, principalmente en Perú y Ecuador)



Figura 5. Inflorescencia de *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus caudatus* L., en orden respectivo de izquierda a derecha (González-Luna *et al.*, 2015).

El amaranto es una planta de crecimiento rápido y fotosíntesis muy eficiente; es un cultivo naturalmente resistente al déficit hídrico, a los suelos pobres y a algunas plagas, todas ellas muy perjudiciales para el para el cultivo de cereales convencionales; puede cultivarse en una amplia gama de condiciones agroclimáticas, como climas tropicales, subtropicales y templados (Tovar-Pérez *et al.*, 2019).

El grano de amaranto es pequeño (1-1.5 mm de diámetro), con una forma lenticular y con un peso que oscila entre 0.6 y 1.2 mg. Las especies productoras de granos generalmente producen granos de colores claros, entre amarillo y dorado. El grano de amaranto se compone de cuatro

partes principales (Tovar-Pérez *et al.*, 2019): la cubierta de la semilla, el endospermo, el embrión (compuesto por dos cotiledones), y el perispermo (Figura 6).

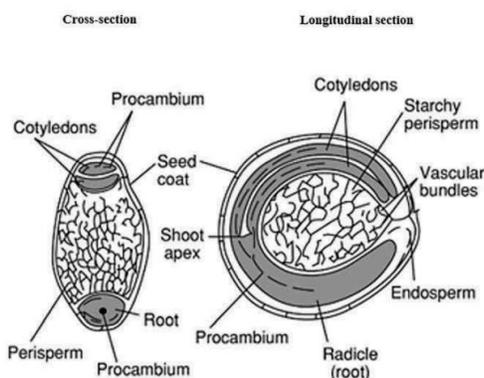


Figura 6. Diagrama de secciones transversales y longitudinales de granos de amaranto (Tovar-Pérez *et al.*, 2019).

PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE AMARANTO EN MÉXICO

A nivel nacional México produce 5,548 toneladas al año de amaranto, siendo el estado de Puebla el principal productor (Tabla 7); México exporta amaranto a 12 países, teniendo a EUA como su principal cliente (SIAP, 2020).

Tabla 7. Volumen de producción por entidad.

Rank	Entidad federativa	Región	Volumen (toneladas)
	Total nacional		5,548
1	Puebla	Centro	3,396
2	Tlaxcala	Centro	1,197
3	Estado de México	Centro	702
4	Ciudad de México	Centro	140
5	Oaxaca	Sur-Sureste	104
6	Morelos	Centro	8

Fuente: SIAP, 2020

El consumo anual per cápita de amaranto en México de acuerdo a (SIAP 2020) es de 43 g.

COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DEL AMARANTO

El grano de amaranto se distingue de otros granos por su alto contenido de proteína bruta (13-18%) y aminoácidos esenciales, especialmente la cantidad de lisina, cisteína, metionina y triptófano. Su perfil de aminoácidos y su biodisponibilidad es más alta que la de algunos cereales y legumbres (Tovar-Pérez *et al.*, 2019).

Su contenido lipídico también se considera relativamente alto y se compone principalmente de ácidos grasos insaturados (especialmente ácido linoleico); por otro lado, su contenido en carbohidratos es similar al de los cereales, estando compuesto principalmente por almidón, el cual está constituido principalmente por cadenas ramificadas de amilopectina, además presenta pequeñas cantidades de sacarosa, maltosa y rafinosa (Marques *et al.*, 2018; Tovar-Pérez *et al.*, 2019).

El grano de amaranto es una buena fuente de fibra y minerales como fósforo, calcio, magnesio, manganeso, hierro, cobre y sodio; también es rico en riboflavina, y presenta pequeñas concentraciones de tiamina y niacina (Tovar-Pérez *et al.*, 2019).

A continuación, se presenta la composición química de las cuatro especies de amaranto productoras de granos nutritivos (Tabla 8).

Tabla 8. Composición química de los granos de diferentes especies de amaranto

Composición química	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	<i>Amaranthus cruentus</i>	<i>Amaranthus caudatus</i>	<i>Amaranthus mantegazzianus</i>
	g/100 g en base seca			
Proteína cruda	15.6	14.1	13	17.5
Grasa	6.1	6	6	7.8
Fibra cruda	5	2.9	4	3.3
Cenizas	3.3	2.7	2	3.3
Carbohidratos	62	67.2	65	60.5
Minerales	mg/100 g en base seca			
Fosforo	600	556	570	557
Potasio	563	525	532	508
Calcio	244	242	217	242
Magnesio	342	344	319	348
Sodio	23	25	22	25
Hierro	53	26	21	26
Cobre	2.4	1.69	0.8	1.7
Manganeso	3.5	3.4	2.9	3.4
Zinc	3.8	4.2	3.4	4.2
Vitaminas	mg/100 g en base seca			
Tiamina	0.14-0.25	0.07-0.10	0.10-0.14	0.07-0.12
Riboflavina	0.29-0.32	0.19-0.23	0.19-0.32	0.20-0.23
Niacina	1.00-1.15	1.00-1.14	1	1.00-1.45
Biotina	-	42.5	51.3	42.5
Ácido fólico	-	43.8	42.1	43.8
Ácido ascórbico	2.8-3	4.5-4.9	03-jul	4.2-4.9

Fuente: Tovar-Pérez *et al.*, 2019.

ANTIOXIDANTES PRESENTES EN AMARANTO

En los últimos años, ha crecido el interés por encontrar antioxidantes naturales, debido a que las especies reactivas de oxígeno (ROS) o radicales libres (es decir, radicales hidroxilos, aniones superóxido y oxígeno singlete) reaccionan con biomoléculas, como proteínas y lípidos, causando daños severos a la célula. membrana y ADN. Hay evidencia de que estos procesos están fuertemente asociados con la carcinogénesis y procesos degenerativos como la

enfermedad cardiovascular, la osteoporosis y otros. Por lo tanto, los antioxidantes juegan un papel potencial en el proceso de oxidación al reaccionar con estos radicales libres (Marques *et al.*, 2018).

Los compuestos fenólicos se encuentran principalmente en las capas externas de los granos, actuando como protectores contra patógenos y plagas. Por ello, el contenido de fenoles presentes en la harina depende del grado de extracción (Marques *et al.*, 2018).

Los granos de amaranto contienen compuestos fenólicos (por ejemplo, flavonoides) y una capacidad antioxidante relativamente alta; se han identificado y cuantificado tres polifenoles (rutina, isoquercitina y nicotiflorina) y tres flavonoides (ácido 4-hidroxibenzoico, ácido siríngico y ácido vanílico) en *A. hypochondriacus*. La rutina y sus metabolitos se pueden asociar eficazmente con la prevención de numerosas enfermedades como neuropatías, rigidez articular, catarata senil, enfermedad de Alzheimer y enfermedades cardiovasculares. La nicotiflorina tiene un efecto protector sobre la disminución del deterioro de la memoria y hallazgos recientes han revelado su utilidad terapéutica potencial en la isquemia cerebral (Marques *et al.*, 2018).

Asimismo, Jimoh *et al.* (2019) ha reportado la presencia de antioxidantes como ácidos fenólicos, licopeno, polifenoles, escualeno, betalainas y flavonoides en semillas de amaranto, por lo que puede decirse que este alimento presenta una gran capacidad antioxidante.

Las proteínas presentes en el amaranto también son conocidas por su capacidad antioxidante, especialmente las que contienen azufre (cisteína y metionina), aromáticas (tirosina y triptófano) y los aminoácidos lisina, histidina, prolina, glicina, alanina y treonina (Marques *et al.*, 2018).

De acuerdo a Jimoh *et al.* (2019) el amaranto presenta compuestos con características especiales, que lo hacen un alimento con propiedades anti diabéticas, anti parasitarias, anti cancerígenas, antimicrobianas, anticolesterémica, anti hipercolesterolémica y con actividad de regresión aterosclerótica (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades nutraceuticas del amaranto

Propiedades	Compuestos Bioactivos
Antidiabéticas	Se ha descrito que el escualeno presente en la planta de amaranto muestra una alta actividad antidiabética, aún más que el escualeno sintético (A dosis de 400 mg/kg). Además, extractos de amaranto han demostrado mejorar la tolerancia a glucosa en ratas wistar diabéticas.
Antiparasitarias	Compuestos polifenólicos presentes en el amaranto han demostrado tener propiedades antiparasitarias, al ser capaces de matar un adulto de <i>Pheretima posthuma</i> (que es estructuralmente similar a los anélidos humanos).
Anticancerígenas	Péptidos como la lunasina encontrada en las semillas de amaranto han sido capaces de inhibir la proliferación de células cancerosas.
Antimicrobianas	Estudios han mencionado que la presencia de algunos péptidos (Ac-AMP1 y Ac-AMP2) del amaranto presentan propiedades antimicrobianas
Anti hipercolesterolémica y con actividad de regresión aterosclerótica	La alta digestibilidad de las proteínas del amaranto conduce a la síntesis de péptidos bioactivos que presentan actividad hipocolesterolémica, retrasando la formación de la placa aterosclerótica.

Fuente: Jimoh *et al.*, 2019.

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. Algunas veces, pueden encontrarse unidos a ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, aminas, lípidos y otros compuestos fenólicos (Santillán, 2014).

Los compuestos polifenólicos constituyen uno de los grupos de antioxidantes más abundantes y ampliamente distribuidos, con más de 8000 estructuras polifenólicas conocidas. Son los productos del metabolismo secundario de las plantas y se encuentran en semillas, raíces, tallos,

troncos, hojas y frutos, donde ejercen una función protectora ante la radiación UV u otras situaciones de estrés (Santillán, 2014). Los antioxidantes juegan un papel potencial en el proceso de oxidación al reaccionar con estos radicales libres. Los compuestos capaces de interrumpir la autooxidación pueden actuar de dos formas: la primera involucra la transferencia de átomos de hidrógeno, el radical libre captura el átomo de hidrógeno del antioxidante, lo que da como resultado la formación de un antioxidante radical estable y la reacción de oxidación se interrumpe; el segundo se basa en la transferencia de electrones (Marques *et al.*, 2018).

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. Por lo que los polifenoles pueden prevenir a la oxidación lipídica, la mutación del ADN y el daño del tejido (Santillán, 2014).

La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe principalmente a sus propiedades reductoras y estructura química. Estas características desempeñan un papel central en la reducción o eliminación de radicales libres y en la quelación de metales de transición al actuar tanto en los pasos de iniciación como de propagación del proceso oxidativo (Marques *et al.*, 2018).

ALIMENTOS FUNCIONALES Y NUTRACÉUTICOS

El concepto de Alimento funcional nació en Japón; en los años 80s, las autoridades sanitarias japonesas se dieron cuenta que, para controlar los crecientes gastos en salud pública, generados por la mayor expectativa de vida de la población mayor, era necesario proporcionar también una mejor calidad de vida a esta población, muy respetada por lo demás según los códigos sociales de la población oriental. Se introdujo así un nuevo concepto de alimentos, los que se desarrollaron específicamente para mejorar la salud y para reducir el riesgo de contraer enfermedades en este segmento de la población (Valenzuela *et al.*, 2014).

El Consejo de Alimentación y Nutrición de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos, define a los alimentos funcionales como “alimentos modificados o que contienen ingredientes

que demuestran acciones que incrementan el bienestar del individuo o que disminuyen los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los ingredientes que contienen” (Valenzuela *et al.*, 2014).

Por otro lado, el término Nutracéutico fue acuñado por la combinación de los términos “nutrients” y “pharmaceuticals” en 1989 por el doctor Stephen De Felice; los nutracéuticos son compuestos de origen natural con propiedades biológicas beneficiosas para la salud, con capacidad preventiva y/o terapéutica definida, utilizados en pacientes con enfermedades cardiovasculares, crónico-degenerativas, Alzheimer y cáncer entre otras. Existe una gran confusión en cuanto a la terminología de nutracéuticos, alimentos funcionales y farmacéuticos; los productos farmacéuticos son utilizados principalmente para el tratamiento mientras que los nutracéuticos son aquellos que están destinados a favorecer la prevención de enfermedades; y los alimentos funcionales son los que contienen a los compuestos nutracéuticos (Flórez *et al.*, 2017).

ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA

La textura es un atributo de calidad utilizado en la industria de los alimentos, tanto en frescos como procesados, para evaluar la aceptabilidad y la calidad; a pesar de que su definición no es del todo clara, los factores constituyentes de la textura pueden ser evaluados por análisis descriptivos sensoriales o instrumentales. En la actualidad, el método instrumental comúnmente utilizado es el análisis del perfil de textura (TPA), que imita las condiciones a que se somete el material durante el proceso de masticación (Torres *et al.*, 2015), el cual se evalúa al obtener curvas que representan este proceso (Figura 8).

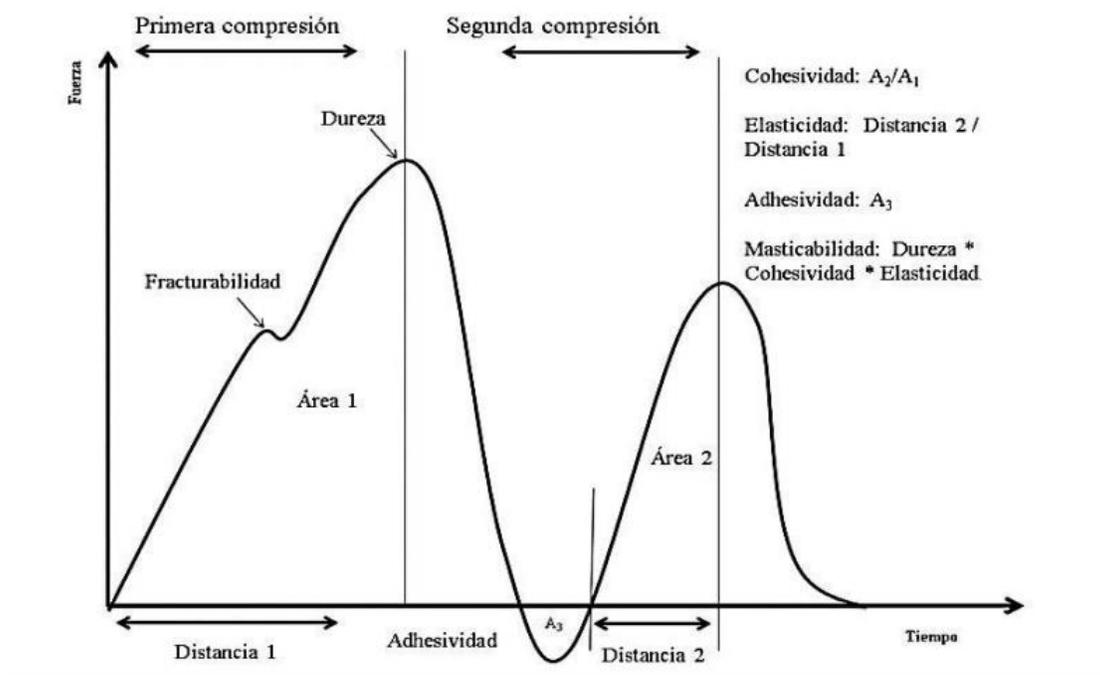


Figura 7. Grafica general del análisis del perfil de textura (Hleap y Velasco, 2010).

Durante el análisis de perfil de textura los parámetros que son evaluados son fracturabilidad, dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad; esto no significa que todos estos parámetros apliquen para todos los alimentos, sino que son las características del propio alimento las que determinan que parámetros se relacionan específicamente con la textura de este (Torres *et al.*, 2015).

En productos cárnicos la textura es una característica que se ve afectada por diversos factores como la materia prima o fuente cárnica, la cual a su vez depende de la raza, sexo y edad del animal; por otro lado, al procesar este tipo de productos, factores como la temperatura y adición de aditivos también afectan esta característica; por ello su evaluación es de suma importancia; no solo para mejorar o desarrollar este tipo de alimentos sino también para estandarizar procesos y ofrecer al consumidor mejores productos (Chen y Opara, 2013; Romero *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2015). Para la presente investigación los parámetros del perfil de textura analizados corresponden a dureza, resortividad, cohesividad y masticabilidad.

AGUA EXTRAÍBLE Y CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

El contenido de agua extraíble está inversamente relacionado con la capacidad de retención de agua (CRA); un bajo porcentaje de agua extraíble indica un alto porcentaje de CRA (Lois *et al.*, 2015).

La capacidad de retención de agua puede definirse 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, que puede ser externa como la presión, el calentamiento y/o la centrifugación, o simplemente por la gravedad. La capacidad de retención de agua 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 (Santillán, 2014).

Se trata de un parámetro con cierta relevancia desde el punto de vista sensorial, nutritivo y tecnológico; sensorial porque incide en la textura, jugosidad, color y dureza de la carne; nutrimental porque puede originar pérdidas de agua, elementos minerales, vitaminas hidrosolubles, etc., y tecnológico, pues se producen goteos cuando sus valores son bajos, o bien hinchamientos cuando son muy elevados (Santillán, 2014).

PERDIDA Y RENDIMIENTO POR COCCIÓN

Durante el procesado de la carne, el agua es añadida como tal o como salmuera; esto, hasta un cierto punto, influye en la jugosidad y consistencia del producto final; sin embargo, durante el tratamiento térmico, el agua se escapa a menudo de la carne, dando como resultado la liberación de esta, lo cual comúnmente en productos cárnicos esto es resuelto con la adición de harinas como extensores o sustancias de relleno que participan como ligantes (Guevara, 2021).

La pérdida y rendimiento por cocción son parámetros relacionados, que indican la cantidad de agua liberada y absorbida durante este proceso; menores pérdidas de agua indican mayores rendimientos (Brítez *et al.*, 2020; Diego-Zarate *et al.*, 2021).

ANTECEDENTES

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. Por ello, 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 (Santillán, 2014).

Algunos de estos productos que se encuentran en el mercado son la lasaña de pescado congelada disponible en diversos países, salchichas de atún y camarones comercializados en España, salchichas a base de formulación de atún y carne de res en Venezuela, pates de salmón, anchoas y bacalao desarrollados en España, nuggets y dedos de pescado (productos empanados) en presentación para niños comercializados en Alemania 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 (de origen oriental, y de igual forma en los países escandinavos son muy comunes las albóndigas de pescado (Santillán, 2014).

Productos a base de musculo macabil

Caracterización química de peces marinos de bajo valor comercial y desarrollo de hamburguesas de pescado

El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización química del macabí marino (*Albula vulpes*) y la elaboración de hamburguesas a base de este mismo. Esta investigación desarrollo tres formulaciones de hamburguesas de pescado, conteniendo 5, 8 y 10% de almidón de yuca e ingredientes como cebolla, ajo y pimienta blanca molida. Se realizaron análisis de composición proximal, microbiológicos y de pH de la materia prima y de las hamburguesas de pescado, así como los análisis sensoriales de las hamburguesas de pescado, encontrando que el rendimiento y el valor nutricional del macabí son comparables con los de las especies de valor comercial, con alto contenido de proteínas y bajo contenido de lípidos, los análisis proximales de las hamburguesas reportaron cantidades de proteína en un rango de 17,52 a 19,40 g 100 g

(crudo), y de 20,74 a 24,25 g 100 g (asado); por su parte el contenido de lípidos varió de 0,20 a 0,73 g 100 g (crudo), y de 0,36 a 0,77 g 100 g (asado). En las pruebas sensoriales, las formulaciones recibieron puntajes entre seis y siete en la escala hedónica de nueve puntos. Los investigadores de este estudio llegaron a la conclusión de que los índices de aceptación fueron superiores al 70% para todos los atributos evaluados. Por lo tanto, el uso de esta especie subutilizada resulta factible (Regis *et al.* 2015)

Antecedentes sobre investigaciones que relacionan el uso del amaranto en productos cárnicos

Incorporación de harina de amaranto para la obtención de bocaditos de carne con bajo contenido de grasa

En los últimos años, la industria viene desarrollando productos cárnicos con bajo contenido de grasa, generalmente mediante el uso de ingredientes tales como aceites vegetales y extractos naturales, productos vegetales y fibra, para mejorar las propiedades funcionales y la calidad y estabilidad del producto. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de harina de amaranto a bocaditos de carne con bajo contenido de grasa, mediante análisis sensorial y valor nutricional, variando la forma en la que la harina de amaranto fue incorporada a la matriz cárnica (harina de amaranto, emulsión de harina de amaranto y emulsión gelificada de harina de amaranto). Los resultados obtenidos demostraron que la forma en la que se incorporaron la harina de amaranto, afectó al rendimiento y a la composición proximal de las formulaciones ensayadas; sin embargo, todas las formulaciones tuvieron buena aceptación por parte de los evaluadores. Los resultados de esta investigación demostraron ser útiles para la elaboración de otros productos cárnicos con harina de amaranto o su desarrollo a escala industrial en productos alimenticios de consumo masivo, que puedan ser accesibles a una población con requerimientos nutricionales específicos, como lo son los enfermos celíacos (Brítez *et al.*, 2020).

Aplicación de aislado e hidrolizado de proteína de amaranto sobre un producto reestructurado de pescado con sal reducida: propiedades antioxidantes, efectos texturales y microbiológicos

Este trabajo evaluó la proteína de amaranto (aislado e hidrolizado) y su desempeño como antioxidante y aglutinante en productos pesqueros reestructurados. Los productos de gel se obtuvieron después del tratamiento térmico (40 °C, 30 min; 90 °C, 30 min) de diferentes formulaciones de pastas musculares de pescado, donde la sal (2%) fue parcial o totalmente

reemplazado por I o H. Se evaluaron las propiedades texturales, capacidad de retención de agua, color y calidad microbiológica. Los resultados obtenidos mostraron que las características tecnológicas y la calidad microbiológica no mostraron diferencias por la reducción de sal, solo tuvieron cambios mínimos en la dureza y el color comparado con el grupo control (2% de sal) por lo que concluyeron que la proteína de amaranto puede actuar reemplazando la sal, como ligador y antioxidante natural en productos reestructurados de pescado (García y Tironi, 2015).

METODOLOGÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación fue de tipo experimental de laboratorio y cuantitativo; experimental porque se manipularon las variables independientes % de harina de amaranto y % de sal; por otro lado, será de carácter cuantitativo porque se medirán las variables dependientes como perfil de textura, capacidad de retención de agua, pérdida por cocción y actividad antioxidante.

MUESTRA

Para el presente estudio se utilizó como fuente cárnica al macabíl (*Albula vulpes*); la pulpa se obtuvo en el mercado del norte ubicado en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; para la elaboración de la harina de amaranto se utilizó la semilla de amaranto comercializada por la empresa Quali (Figura 9), para posteriormente procesarla en una licuadora marca Nutribullet modelo 100391 (NB-101B).



Figura 8. Semilla de amaranto.

SITIO EXPERIMENTAL

El proceso de elaboración de los reestructurados de macabíl adicionados con harina de amaranto, así como las evaluaciones a las muestras se realizaron en el laboratorio de bioquímica molecular, en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

VARIABLES

Tabla 10. Variables dependientes e independientes

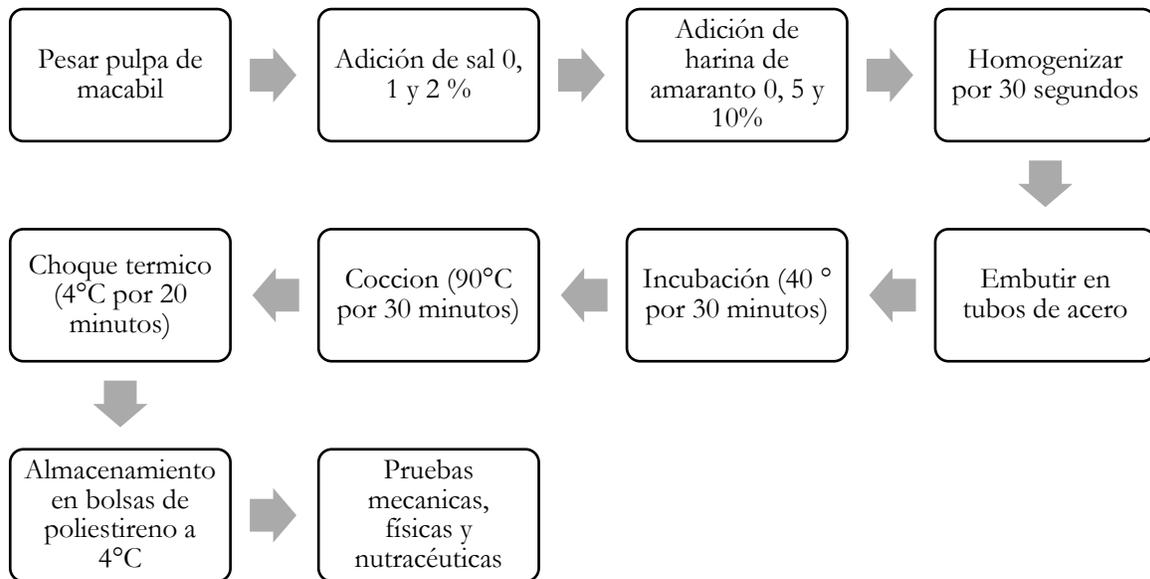
Dependientes	Independientes
<ul style="list-style-type: none">• Propiedades mecánicas• CRA, PC• Fenoles totales y capacidad antioxidante	<ul style="list-style-type: none">• % de harina de amaranto• % Sal

ELABORACIÓN DE LOS REESTRUCTURADOS

Los reestructurados se obtuvieron mezclando 150 g de pulpa de macabil en una licuadora marca Nutribullet modelo 100391 (NB-101B) adicionando 1 y 2 % (p/p) de sal, posteriormente se incorporó harina de amaranto a la mezcla, en concentraciones de 5 y 10 % (p/p); para el tratamiento control se elaboró una formación sin sal y sin harina de amaranto. La pasta homogeneizada se introdujo en tubos de acero inoxidable (1.8 cm de diámetro interior y 5.9 cm de longitud). Los tubos se cerraron con tapones de rosca antes de la incubación a 40 °C por 30 min, seguido de una inmersión en agua a 90 °C por 30 min. Después de la cocción, los tubos fueron colocados en un baño de agua fría (4 °C a 5 °C) por 20 min. Los productos reestructurados de carne de macabil fueron extraídos de los tubos y almacenados 12 horas a 4 °C en bolsas de poliestireno antes de realizar las pruebas.

DIAGRAMA DE FLUJO

El siguiente esquema menciona cada una de las etapas a realizar para la elaboración de los reestructurados de macabil adicionados con harina de amaranto y sal en distintas concentraciones, y las condiciones de almacenamiento para su posterior estudio.



DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS A UTILIZAR

Preparación de los geles para el análisis de perfil de textura (TPA)

Uno de los factores para medir la textura es el requisito de cortar un tamaño de muestra específico para estandarizar los efectos sobre la textura. El tamaño de las muestras de los reestructurados fue de 1.87 cm de diámetro y 3 cm de longitud, se equilibraron a temperatura ambiente por 30 minutos, en bolsas de plástico para evitar la deshidratación antes de las mediciones.

Análisis de perfil de textura (TPA)

Las propiedades mecánicas (dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad) se determinaron usando un Texturómetro (Stable Micro Systems Texturometer, Modelo TAXT2i, Vienna Court, England, UK). El TPA se realizó con los siguientes parámetros:

Comprimiendo las muestras al 50% de su altura inicial, usando una sonda cilíndrica de aluminio (P-50) con 50 mm de diámetro y una velocidad de cabezal de 60 mm/min; se analizaron 6 muestras por cada tratamiento.

Capacidad de retención de agua (CRA)

La determinación de la capacidad de retención de agua se realizó de forma indirecta, calculando el agua extraíble de las muestras, tras aplicarles una fuerza centrífuga de 1000 rpm por 5 minutos a 20 °C.; se analizaron 3 muestras por cada tratamiento.

Pérdida por cocción

El método aquí empleado se basa en el porcentaje de agua perdido tras el calentamiento de las muestras, sin aplicar fuerzas externas; a una temperatura de 90 °C por 30 minutos.

Fenoles totales y capacidad antioxidante

Para la determinación de fenoles totales se utilizó el método Folin-Ciocalteu utilizando una solución estándar de ácido gálico en una concentración de 0.1 mg/mL, reactivo Folin-Ciocalteu al 1N, carbonato de sodio al 20% y agua destilada.

Para la determinación de la capacidad antioxidante se utilizó el método dpph utilizando una solución estándar de trolox 1mM, posteriormente el radical dpph se disolvió en metanol hasta obtener una absorbancia de 0.75 a 0.78 a 517 nm.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En este estudio se utilizó un diseño multifactorial completamente aleatorizado; de 3x3, con un total de 9 tratamientos. Los niveles corresponden a la adición de sal y harina de amaranto en concentraciones 0, 1 y 2 % para la sal ; y 0, 5 y 10 % para la harina de amaranto. Todos los tratamientos fueron incubados a temperaturas de 40 °C por 30 minutos, para su posterior tratamiento a 90 °C por 30 minutos (Tabla 11).

Tabla 11. Diseño de experimentos

%NaCl	%Harina de amaranto	Tratamientos
0	0	1
	5	2
	10	3
1	0	4
	5	5
	10	6
2	0	7
	5	8
	10	9

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron usando el programa estadístico denominado Minitab versión 2020. Se aplicó un análisis de varianza y se usó la prueba Tukey para establecer diferencias entre tratamientos, considerando una diferencia significativa cuando $p \leq 0.05$.

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 10 se observan los reestructurados formulados en la presente investigación.

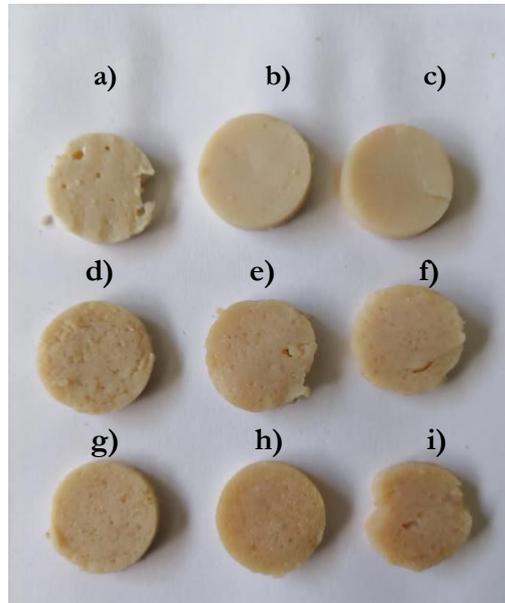


Figura 9. Reestructurados de macabil (*Albula vulpes*) adicionados con harina de amaranto.

Los tratamientos con la letra a), b) y c) son aquellos con 0, 1 y 2% de sal respectivamente y sin harina de amaranto; los tratamientos d), e) y f) son aquellos con 0%sal-5% harina de amaranto, 1%sal-5%harina de amaranto y 2%sal-5%harina de amaranto respectivamente; finalmente los tratamientos con la letra g), h) e i) son aquellos con 0%sal-10% harina de amaranto, 1%sal-10%harina de amaranto y 2%sal-10%harina de amaranto respectivamente.

ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA DE LOS REESTRUCTURADOS DE MACABIL ADICIONADOS CON HARINA DE AMARANTO

Dureza

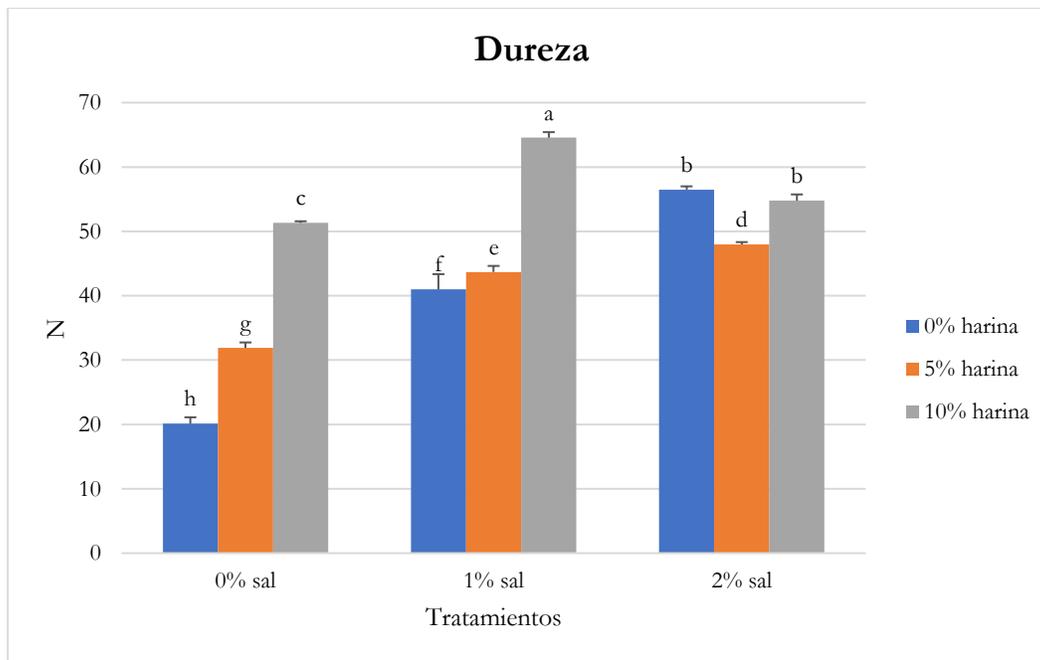


Figura 10. Análisis de dureza en los reestructurados de macabil (*Albula vulpes*)

En la figura 11 se muestran los valores de dureza de los reestructurados de macabil adicionados con harina de amaranto; donde el tratamiento control (sin sal y sin harina) presenta los valores más bajos de dureza; puede apreciarse que este parámetro se incrementa al adicionar sal y harina de amaranto; tanto la adición de sal como harina de amaranto tuvo efecto significativo en el parámetro de dureza de los productos reestructurados ($p \leq 0.05$).

Los tratamientos a los cuales no se les incorporó harina de amaranto muestran un aumento gradual conforme aumenta el porcentaje de sal, esto está relacionado con una mayor solubilización de las proteínas miofibrilares, producido por la sal.

El uso de sal y harina en conjunto logro tener un mejor efecto cuando el porcentaje de harina fue incorporado al 10 %, especialmente cuando interactuó con la sal al 1% alcanzando los niveles más altos de dureza (64.55N); este valor coincide con el rango establecido por diversas investigaciones (50-73 N) en las cuales se ha estudiado el efecto de la harina de arroz, kappa

carragenina y lecitina en reestructurados de surimi (Cho y Kim, 2013; Astutik *et al.*, 2020 y Panpipat *et al.*, 2021) .

Esto habla de la gran capacidad de la harina de amaranto de mejorar sistemas cárnicos como los reestructurados; incluso cuando el porcentaje de sal es menor al habitual; de acuerdo a García-Salcedo *et al.* (2018) este efecto está relacionado con su composición; especialmente al almidón y proteínas presentes en el amaranto.

Es importante mencionar que al adicionar 2 % al mismo porcentaje de harina (10%) existió un decremento en este parámetro con relación al tratamiento con 1% de sal y 10% de harina, cuando podría pensarse que el efecto fuese exponencial, es decir mayor sal y mayor harina representaría un valor de dureza superior a todos, sin embargo esta observación coincide con el planteamiento de Flores *et al.* (2005) y Diego-Zarate *et al.* (2021) quienes mencionan que existe un punto de equilibrio entre los ingredientes de una matriz cárnica.

Cohesividad

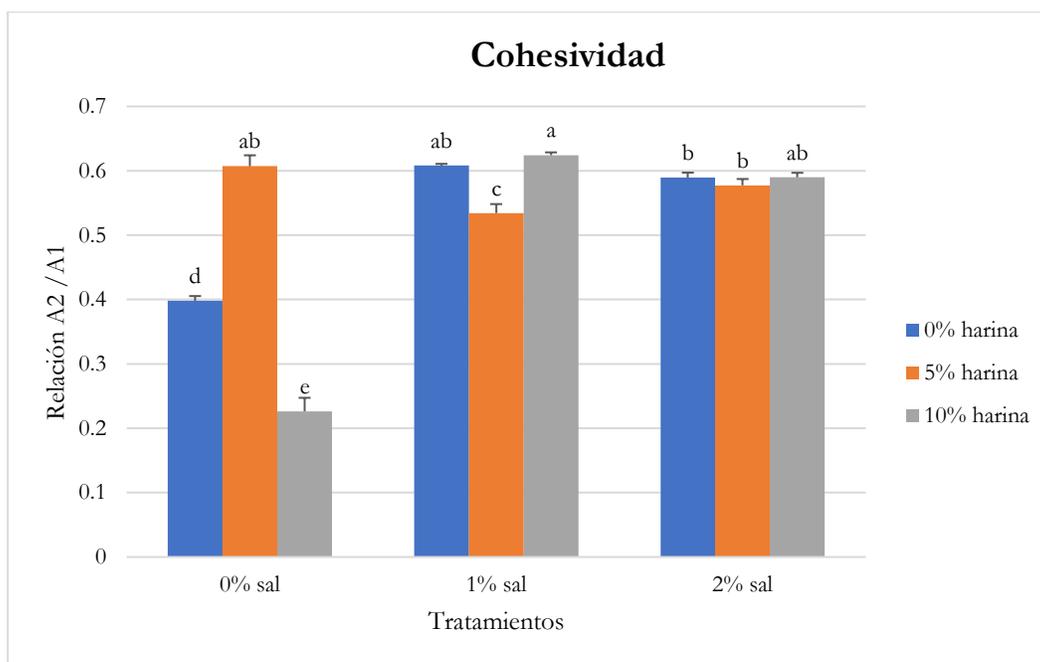


Figura 11. Análisis de cohesividad en los reestructurados de macabíl (*Albula vulpes*)

En la figura 12 se muestran los valores de cohesividad en los reestructurados de macabíl, parámetro que representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como este se comportó en un primer ciclo de deformación. Se puede apreciar que la adición de sal tuvo un efecto significativo con respecto al tratamiento control, lo cual hace sentido ya que al haber una mayor solubilización de las proteínas se forma una red más fuerte y ordenada, dando lugar a una mejor cohesividad (Tellez-Luis *et al.*, 2002; Cando *et al.*, 2015).

La adición de harina de amaranto en sus distintos niveles no mostro efectos significativos en relación a los tratamientos que únicamente tenían 1 y 2% de sal; el valor de cohesividad más alto fue de 0.62 que corresponde al tratamiento con 1% de sal y 10% de harina; mientras que el valor más bajo de cohesividad se presentó al adicionar únicamente 10% de harina (0.22), inclusive por debajo del control; esto puede estar relacionado con una baja interacción de la harina adicionada en un 10% con las proteínas que no fueron solubilizadas por la ausencia de sal. Los valores de cohesividad aquí presentados se asemejan al estudio realizado por Cho y Kim (2013) donde se analizó un producto comercial premium a base de surimi encontrando valores de cohesividad de 0.66.

Elasticidad

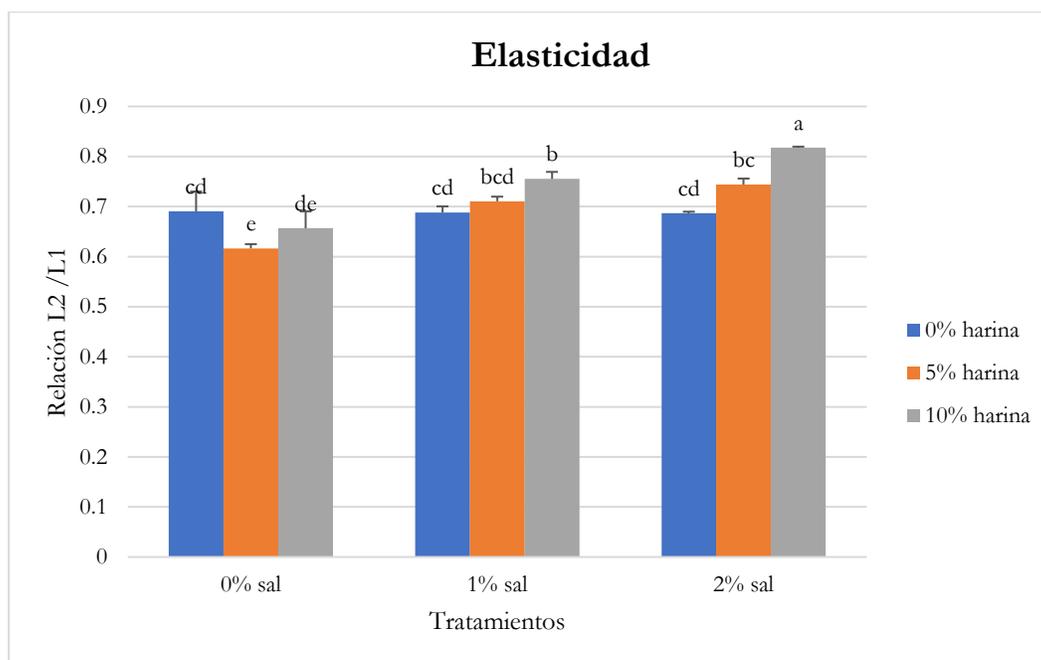


Figura 12. Análisis de elasticidad en los reestructurados de macabil (*Albula vulpes*)

En la figura 13 se muestran los resultados de elasticidad en los reestructurados de macabil adicionados con harina de amaranto, este parámetro representa la capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma o longitud inicial después de que una fuerza ha impactado en ella. Puede observarse que la variación en el porcentaje de sal no tuvo efecto significativo sobre el parámetro de elasticidad. La adición de harina al 5% tuvo un mejor efecto cuando se mezcló, con 1 y 2% de sal, logrando ser similares a los tratamientos que únicamente se les adiciono sal; un efecto similar se observó cuando se adiciono harina de amaranto al 10% en conjunto con 1% de sal ($p \leq 0.05$). El valor más alto de elasticidad se presentó cuando se adiciono 10% de harina de amaranto y 2% de sal (0.81) ($p \leq 0.05$). En términos generales se observó que la elasticidad tuvo un mejor efecto cuando se adiciono 10% de harina de amaranto en combinación con 1 y 2% de sal. Astutik *et al.* (2020) informaron que en productos reestructurados a base de surimi una elasticidad de 0.93 se considera ideal; algunos productos como el elaborado por Cho y Kim (2013) en donde adiciono harina de arroz a reestructurados a base de surimi presentan valores de elasticidad similares a lo mencionado anteriormente (0.94), sin embargo la adición de otros ingredientes puede modificar este parámetro sin afectar la aceptación general de los consumidores; diversos autores reportan valores de elasticidad que

van de 0.7 a 0.87 (Choi y Kim, 2012; Mi *et al.*, 2021; Panpipat *et al.*, 2021; Trejo-Diaz *et al.*, 2021) en productos adicionados con ingredientes como gomas, almidones, lecitina y harina de konjac (tubérculo consumido en países orientales). Los valores de elasticidad reportados en esta investigación se encuentran en un rango de 0.61 a 0.81, similares a los reportados en los estudios antes mencionados.

Masticabilidad

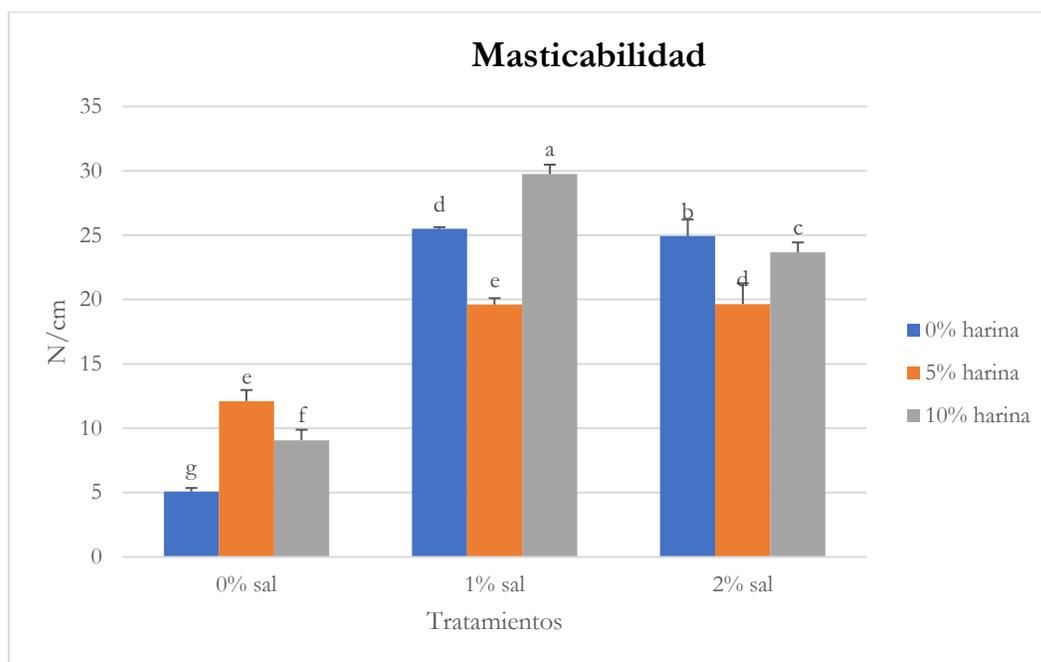


Figura 13. Análisis de masticabilidad en los reestructurados de macabil (*Albula vulpes*)

En la figura 14 se muestran los valores de masticabilidad de los reestructurados de macabil adicionados con harina de amaranto, la masticabilidad es definida como la fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta, este parámetro resulta de la interacción de los parámetros de dureza, cohesividad y elasticidad, por lo que su valor dependerá en gran medida de cómo se comportó el alimento durante los análisis primarios de TPA. Los resultados indican que el tratamiento control (sin sal y sin harina) presenta los valores de masticabilidad más bajos (5.08 N/cm). Al incorporar sal al 1 y 2% se observa un incremento en este parámetro con respecto al control; como se ha venido mencionado esto se debe a que la sal ejerce una mayor solubilización de las proteínas miofibrilares las cuales son responsables de formar un gel más estable. El uso de harina de amaranto al 5 y 10% presentó un mejor efecto cuando interactuó con la sal a diferencia de cuando se encontraba ausente; se notó una mejora considerable específicamente cuando se incorporó 1% de sal y 10% de harina de amaranto a los reestructurados obteniendo un valor de masticabilidad de 29.75 N/cm, con lo cual se superó a los tratamientos que solo contenían 1 y 2% de sal ($p \leq 0.05$); con ello puede deducirse que las propiedades texturales en los reestructurados de macabil puede ser mejorada con la adición de harina de amaranto al 10%,

siempre y cuando este en conjunto con la sal; la cual podría reducirse hasta un 1% para no comprometer la textura del producto.

Este efecto es similar al reportado por Téllez-Luis *et al.* (2002), quienes evaluaron transglutaminasa microbiana en reestructurados de pescado con la finalidad de lograr reducir el contenido de sal que usualmente se utiliza en este tipo de productos; este estudio logro concluir que con el uso de MGTasa se puede reducir hasta 1% el contenido de sal para obtener productos con buenos atributos funcionales y de textura.

Existen otros estudios como los realizados por Cando *et al.* (2016) quienes lograron reducir a 0.3% el contenido de sal en reestructurados a base de surimi, este efecto fue logrado con la adición de lisina y cistina en conjunto con el uso de altas presiones hidrostáticas durante el proceso de elaboración. Dentro de las ventajas de esta investigación, se puede denotar que los reestructurados de macabil no necesitaron aditivos que ayuden a mejorar sus propiedades mecánicas aun utilizando bajos porcentajes de sal; lo que significa que los enlaces que se forman entre las proteínas cárnicas son fuertes.

ANÁLISIS FÍSICOS

Capacidad de retención de agua

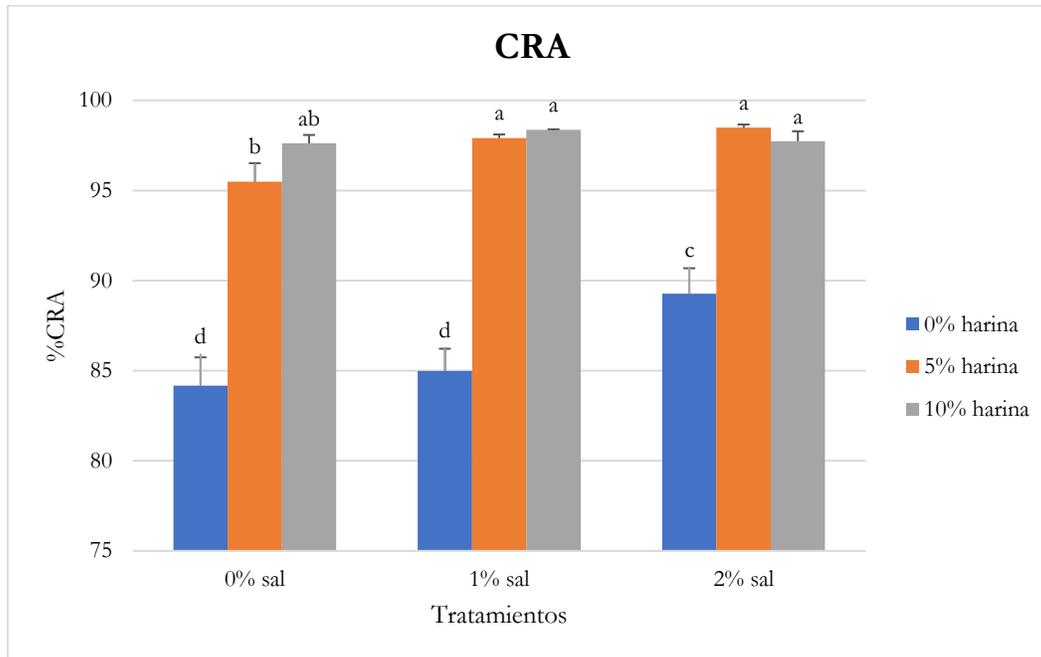


Figura 14. Análisis de capacidad de retención de agua en los reestructurados de macabill (*Albula vulpes*)

En la figura 15 se presentan los resultados del análisis de capacidad de retención de agua en los reestructurados de macabill adicionados con harina de amaranto; mayores porcentajes indican una mayor capacidad de retención de agua por parte de los reestructurados. Se puede apreciar que los tratamientos que no fueron adicionados con harina de amaranto presentan los valores más bajos de CRA, así mismo puede observarse la influencia de la sal sobre este parámetro, mostrando un efecto significativo cuando fueron adicionados con 2% de sal ($p \leq 0.05$), de acuerdo a Téllez-Luis *et al.* (2002) y Cando (2018) este efecto se debe al intercambio iónico que produce la sal al adicionarse a matrices cárnicas; los iones de la sal se unen a los grupos con carga opuesta de la superficie proteica; de esta forma, se incrementa la afinidad de las proteínas (fundamentalmente la miosina) por las moléculas de agua y se permite la solubilización al desplegarse parcialmente la estructura de la molécula de miosina, lo que favorece la gelificación.

Por otro lado, la adición de harina de amaranto mostró tener efecto en la capacidad de retención de agua en los reestructurados de macabí ($p \leq 0.05$); todos los tratamientos adicionados con harina de amaranto a un 5 y 10% presentaron efectos muy similares.

Un estudio realizado por Tafadzwa *et al.* (2021) reporta efectos similares en este parámetro, al adicionar harina de amaranto a salchichas de res; esta investigación menciona que la capacidad de retención de agua se ve incrementada por la composición específica de el alto contenido de almidón y proteínas en la harina de amaranto, pues por un lado los aminoácidos presentes en las proteínas del amaranto aumentan la disponibilidad de los sitios de unión de agua y por otro los gránulos de almidón también participan en la absorción de agua.

Por otro lado, la reducción de sal en productos reestructurados ha sido estudiada con la adición de ingredientes como la transglutaminasa microbiana, Ramírez *et al.* (2002) informaron en su estudio una CRA de 85%, recomendando una concentración de 1% de sal y 0.3% de transglutaminasa para no comprometer parámetros como la CRA y otras propiedades mecánicas.

Otro estudio realizado por García y Tironi (2015) reportó un CRA con un porcentaje de alrededor del 92% al utilizar aislado e hidrolizado de proteína de amaranto, encontrando que la variación de sal entre 0 y 2% fue estadísticamente similar.

Así mismo se han evaluado otras tecnologías, como el uso de altas presiones hidrostáticas, Cando *et al.* (2016) elaboró reestructurados a base de abadejo de Alaska utilizando esta metodología, en su investigación menciona que el uso de presiones hidrostáticas a 300 MPa y una temperatura de gelificación de 5°C por 24 horas pueden obtenerse productos reestructurados con 0.3% de sal y una CRA de 85% similar a uno adicionado con 2% de sal.

Finalmente, otros ingredientes han sido evaluados para mejorar la CRA en productos reestructurados a base de pescado; Astutik *et al.* (2020) reportó valores de CRA de 97% al adicionar harina de kappa-carragenina, aditivo que tiene la característica de ser altamente hidrófilo.

La adición de harina de amaranto en esta investigación presentó valores entre 95 a 98 % CRA.

Perdida por cocción

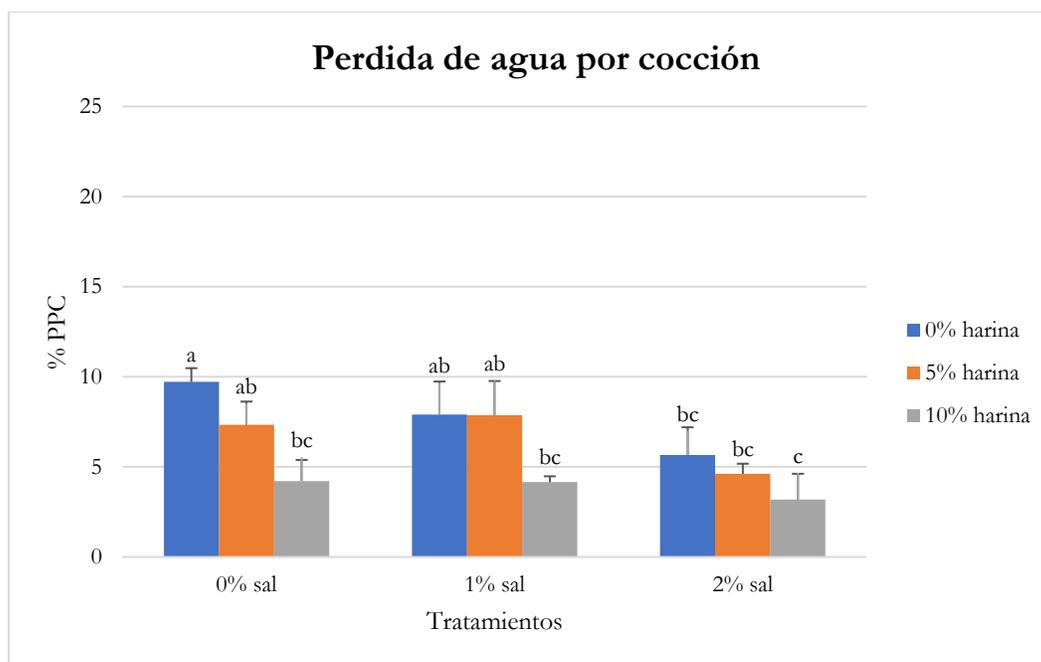


Figura 15. Análisis de pérdida de agua por cocción en los reestructurados de macabil (*Albula vulpes*)

En la figura 16 se muestran los resultados del análisis de pérdida por cocción de los reestructurados de macabil. Este parámetro indica el porcentaje de agua que se libera tras aplicar tratamiento térmico. Se puede observar el efecto que tiene la sal sobre este parámetro, niveles más bajos de sal resultan en mayores pérdidas por cocción del producto; lo que indica como se ha venido mencionando una mayor solubilización de la proteína por efecto de la sal; lo cual da lugar a un gel con una estructura interna mucho más ordenada y fuerte que tiene la capacidad de retener agua y grasa (Tzikas *et al.*, 2015); se observó un efecto significativo específicamente cuando se adiciono un 2% de sal ($p \leq 0.05$). La adición de harina al 5% logro tener un mejor efecto cuando se mezcló con 2% de sal, presentando valores de 4.60%, pero no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Los tratamientos a los que se le incorporó 10% de harina de amaranto presentaron los valores más bajos de pérdida por cocción, encontrándose en un rango de 3.19 a 4.21 %; estos resultados fueron estadísticamente similares a los tratamientos con 1 y 2% de sal, lo cual resulta favorable ya que incluso cuando el porcentaje de sal fue 0% lograron mantener esta similitud.

Investigaciones como la de Tzikas *et al.* (2015) quienes elaboraron reestructurados de jurel mediterráneo con transglutaminasa microbiana y caseinato con bajo contenido de sal reportan porcentajes de pérdida de cocción de 6 a 10%, valores que son muy similares a los reportados por esta investigación, inclusive en algunos casos mejorado con la adición de harina de amaranto a un 10%, siendo atribuida esta característica a los componentes presentes en el amaranto como el almidón y proteínas los cuales con demostraron una buena estabilidad térmica.

Otras investigaciones han evidenciado este efecto al usar harina de amaranto, Brítez *et al.* (2020) elaboro Nuggets de pollo con harina de amaranto encontrando una mejora sobre este parámetro, de igual forma Tafadzwa *et al.* (2021) mencionan mejores resultados en la pérdida por cocción al usar harina de amaranto en salchichas de res, esto en comparación con almidón de maíz.

FENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Tabla 12. Fenoles totales y capacidad antioxidante en reestructurados de macabil (*Albula vulpes*)

Tratamientos		Fenoles totales	dpph
Sal	Amaranto	mg EAG/g	Mol de trolox/g
0	0	0.409±0.038a	0.0031±0.0001b
1	0	0.365±0.012ab	0.0038±0.0004ab
2	0	0.431±0.035a	0.0037±0.0003ab
0	5	0.269±0.025c	0.0041±0.0003a
1	5	0.354±0.017ab	0.0038±0.0002ab
2	5	0.303±0.013bc	0.0045±0.0003a
0	10	0.356±0.024ab	0.0043±0.0003a
1	10	0.313±0.020bc	0.0046±0.0003a
2	10	0.362±0.044ab	0.0039±0.0002ab

En la tabla 12 se muestran los resultados del análisis de fenoles totales y actividad eliminadora de radicales dpph (capacidad antioxidante) realizado a los reestructurados de macabil. Los resultados indican que ninguno de los tratamientos a los que se le incorporó harina de amaranto en un 5 y 10% tuvo efecto significativo sobre el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante; de acuerdo a Chiang *et al.* (2005) y Borderías *et al.* (2020) este efecto puede deberse a las interacciones entre los compuestos fenólicos y las proteínas del gel de surimi que se forman después del tratamiento térmico, reduciendo con ello el contenido total de fenoles y por ende la capacidad de eliminar el radical dpph, además de acuerdo a Chen *et al.* (2007) la formación de estos complejos puede dificultar la extracción de estos compuestos, impidiendo que solventes como el etanol y metanol que usualmente son utilizados para la extracción de compuestos fenólicos tengan una buena eficiencia durante la obtención de estos metabolitos.

Borderías *et al.* (2020) menciona en su investigación otras dificultades de identificar y cuantificar fitoquímicos de interés como lo son los fenoles en productos como los geles de pescado son la presencia de componentes propios de este tipo de muestras como aminoácidos aromáticos o algunas cantidades del grupo “hemo” los cuales pueden ser contabilizados como compuestos fenólicos; este hecho se comprueba en esta investigación ya que incluso los

tratamientos a los cuales no se les adiciono harina de amaranto reportaron concentraciones de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

Algunas investigaciones que han determinado el contenido de fenoles totales en geles de surimi han reportado valores de 0.02 mg EAG/g al adicionar ñame; tubérculo similar a la yuca (Chen *et al.*, 2007) y 0.3-0.4 mg EAG/g al adicionar aislado de proteína de chícharo (Borderías *et al.* 2020), encontrando diferencias mínimas con respecto al tratamiento control. Por otro lado, en la determinación de la capacidad antioxidante Chen *et al.* (2007) reporto valores de 0.18 Mol de trolox/g de igual forma encontrando diferencias mínimas con el tratamiento control.

Otros estudios realizados en productos cárnicos como salchichas reportaron concentraciones de fenoles totales más altas a las encontradas por esta investigación y por los estudios antes mencionados, esto al adicionar cascara de granada, obteniendo valores de 2 mg EAG/g antes de la cocción y 1.8 mg EAG/g después de la cocción; concluyendo que poco efecto tuvo el tratamiento térmico sobre el contenido de fenoles totales en este producto (Gutiérrez, 2015), sin embargo es importante mencionar que el proceso térmico es distinto, la elaboración de estas salchichas utilizo temperaturas de hasta 72 °C, mientras que la elaboración de geles de pescado conlleva dos tratamientos térmicos, uno de 40°C durante 30 minutos y otro de 90 °C por 30 minutos, esto posiblemente podría también tener un impacto negativo sobre el contenido de compuestos antioxidantes.

A pesar de lo descrito anteriormente un estudio realizado por Zheng *et al.* 2020 logro aumentar considerablemente la capacidad antioxidante de geles de surimi al adicionar fucoidan, polisacárido extraído de algas pardas y considerado una excelente fuente de fibra dietética (Carrillo *et al.*, 2012).

La adición de fucoidan y cascara de granada y su incremento en el contenido y capacidad antioxidante es matrices cárnicas podría estar relacionado al contenido de fibra presente en ambos ingredientes, la cual podría estar proporcionando mayor termoestabilidad a los compuestos antioxidantes y una mejor sinergia con las proteínas desnaturalizadas por el tratamiento térmico; por lo que una buena opción podría ser evaluar el efecto de la adición de “fibras dietéticas antioxidantes” a productos cárnicos que son sometidos a temperaturas altas como los reestructurados de pescado.

De acuerdo a lo citado en el párrafo anterior se podría llegar a una breve conclusión, el tipo de ingrediente o materia prima que sea añadido a matrices alimentarias como los productos cárnicos puede o no incorporar compuestos antioxidantes a estos, y a pesar de que la naturaleza de la materia prima implique que el contenido de estos metabolitos pueda ser alto, esto no supone que su detección en el producto cárnico final sea en la misma proporción.

Existen pocos estudios sobre el efecto que puede tener el tratamiento térmico en el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de productos cárnicos; si bien, existen reportes en los cuales se evidencia que algunos compuestos son más susceptibles a temperaturas elevadas, es de relevancia la evaluación de la influencia de este factor cuando se encuentran los compuestos fenólicos en matrices alimentarias más complejas, ya que como se ha venido mencionando, en dichos ambientes, los compuestos de interés pueden interactuar con diferentes componentes de la matriz cárnica como proteínas, carbohidratos, grasa y/o antioxidantes, logrando ser estables o bien, más susceptibles a dichas condiciones (Gutiérrez, 2015).

Finalmente, el hecho de que estos compuestos puedan no ser detectados por métodos usuales (Folin-Ciocalteu para fenoles totales y dpph para capacidad antioxidante) para este tipo de metabolitos a pesar de que, si estén presentes, pero se encuentren interactuando con otras moléculas propias del alimento; no implica que no estén ejerciendo un efecto positivo sobre este, especialmente relacionado a la calidad de estos productos; por ello diversos autores optan por cuantificar la capacidad antioxidante de manera indirecta, evaluando la inhibición de la oxidación lipídica y proteica que comúnmente ocurre en este tipo de productos y que puede ser disminuida por el efecto de compuestos antioxidantes. Algunos de los análisis que principalmente son usados para medir la oxidación de lípidos y proteínas son TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico), análisis del contenido de carbonilo en proteínas y contenido total de sulfhidrilo (SH) (García y Tironi, 2015; Jayawardana *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2019; Borderías *et al.*, 2020).

Otras opciones que plantean Marín-Peñalver *et al.* (2021) en su estudio son la encapsulación de compuestos antioxidantes utilizando métodos como el secado por aspersion para después ser agregados a productos como geles de pescado, de acuerdo a este estudio, la encapsulación evitaría la degradación parcial o total de estos metabolitos de interés.

Otra vía de investigación para mejorar geles de pescado con antioxidantes según Wayalat *et al.* (2022) es el uso de nuevas tecnologías no térmicas como las altas presiones, ultra sonicación, luz ultravioleta y las microondas.

CONCLUSIONES

El músculo de macabíl presentó características apropiadas para la elaboración de reestructurados; el efecto que produce la incorporación de sal en este tipo de productos lo hace un ingrediente indispensable para mantener características texturales apropiadas, sin embargo, una de las estrategias que se buscan actualmente es disminuir el consumo de dicho ingrediente debido a que se le ha relacionado con una mayor incidencia de padecer hipertensión arterial.

Los resultados encontrados mediante el análisis de perfil de textura demostraron que se puede reducir hasta en un 50% el contenido de sal en los reestructurados de macabíl por efecto de la adición de harina de amaranto en un 10%, sin comprometer ninguna de las propiedades texturales. Esto demuestra la gran capacidad del amaranto para formar interacciones con matrices cárnicas.

Los análisis de capacidad de retención de agua y pérdida por cocción evidenciaron un efecto positivo al adicionar harina de amaranto a los reestructurados de macabíl, pues ambas propiedades mostraron mejores resultados que los reestructurados que no contenían la harina, especialmente se observó un mejor efecto cuando se incorporó 10% de harina de amaranto en ellos, pues con esta concentración pueden elaborarse reestructurados de macabíl reduciendo el contenido de sal a 1%.

La adición de harina de amaranto en un 10% puede ser empleada para la obtención de reestructurados de macabíl con contenido reducido de sal, cuyas propiedades mecánicas y físicas, son similares a los reestructurados obtenidos con un contenido normal (2%).

En contraparte, la adición de harina de amaranto no mostró efectos sobre el contenido fenólico y capacidad antioxidante en los reestructurados de macabíl a pesar de que diversas investigaciones reportan una gran variedad de antioxidantes en el amaranto, este efecto se atribuye a la interacción de compuestos antioxidantes con las proteínas del macabíl, provocando una reducción parcial o total de estos; otros planteamientos sugieren que junto a la interacción fenol-proteína que se lleva a cabo durante la desnaturalización proteica otros compuestos antioxidantes podrían degradarse por efecto del tratamiento térmico en este tipo de productos.

RECOMENDACIONES

Los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación sugieren las siguientes propuestas para continuar con el mejoramiento en el desarrollo de productos reestructurados:

1. Evaluar las propiedades mecánicas, físicas y nutraceuticas durante el almacenamiento a fin de observar la estabilidad que ingredientes como la harina de amaranto y la reducción de sal puedan tener en periodos largos a temperaturas de 4°C.
2. Existen productos a los que se le han incorporado harina de amaranto y han reportado un incremento en el contenido de proteína, por ello se recomienda realizar un análisis bromatológico.
3. La interacción de los compuestos antioxidantes con matrices cárnicas pueden provocar una reducción de los mismos, así como también se pueden ver afectados por el tratamiento térmico, sin embargo algunas investigaciones reportan efectos positivos en el contenido fenólico y capacidad antioxidante al utilizar fibras de fuentes vegetales, por ello podrían evaluarse este tipo de materias primas; otra opción es el uso de germen de semillas que recientemente han evidenciado una alta capacidad antioxidante.
4. Podrían mejorarse las propiedades nutraceuticas en los reestructurados de macabil adicionados con harina de amaranto mediante el uso de tecnologías no térmicas como altas presiones, luz ultravioleta, microondas y sonicación.
5. Durante la determinación del contenido fenólico y capacidad antioxidante puede llevarse una mal interpretación de los resultados por efecto de otros componentes propios de la muestra como proteínas y lípidos, ante ello se sugiere determinar las concentraciones de los diferentes compuestos bioactivos en los reestructurados mixtos, como flavonoides y antocianinas.
6. Realizar una evaluación de diversos solventes y métodos de extracción de compuestos antioxidantes en matrices cárnicas.
7. En productos reestructurados a base de pescado se llevan procesos que afectan la calidad de estos, como la oxidación de proteínas y lípidos, los compuestos antioxidantes pueden reducir este efecto, por lo ello la capacidad antioxidante puede evaluarse de forma indirecta mediante análisis como TBARS (sustancias reactivas al

ácido tiobarbitúrico), análisis del contenido de carbonilo en proteínas y contenido total de sulfhidrilo (SH).

8. Realizar análisis microbiológicos a este tipo de productos para evidenciar su calidad microbiológica.

REFERENCIAS DOCUMENTALES

AGUILERA ORTIZ, M., 2014. Los alimentos en México y su relación con la salud [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.digitaliapublishing.com/a/52553/los-alimentos-en-mexico-y-su-relacion-con-la-salud> .ISBN: 9786074027181

AÑORVE, A.A., ESCALONA-BUENDÍA, H.B., LUNA-RODRÍGUEZ, L., PÉREZ-CHABELA, M.L., PONCE-ALQUICIRA, E., SORIANO-SANTOS, J., VARGAS-ROMERO, J.M., y UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA, MÉXICO, 2019. Fish restructured: a good protein alternative employing sub employed low commercial value species or processing cuts. *Nacameh*, vol. 13, no. 1, pp. 11-24. ISSN 2007-0373. DOI 10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2019v13n1/Anorve.

ASTUTIK, D.M., SULMARTIWI, L., SAPUTRA, E. y PUJIASTUTI, D.Y., 2020. The effect addition of kappa carrageenan flour to the level of gel strength and acceptability of dumpling from threadfin bream fish (*Nemipterus nematophorus*) surimi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 441, no. 1, pp. 012003. ISSN 1755-1315. DOI 10.1088/1755-1315/441/1/012003.

AVDALOV, Nelson, 2014. Beneficios del consumo de pescado [en línea]. *INFOPESCA*. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.infopesca.org/sites/default/files/complemento/publibreacceso/1243//Beneficios%20para%20diinara.pdf> .ISBN: 978-9974-594-22-7

BARBA, Jose, 2018. México y el reto de las enfermedades crónicas no transmisibles. El laboratorio también juega un papel importante [en línea]. *Revista latinoamericana de patología clínica*, Vol. 65, No. 1, pp. 4-17. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/COMPLETOS/patol/2018/pt181.pdf#page=6> .ISSN: 0185 6014

BORDERÍAS, A. Javier, et al., 2020. Characterization of healthier mixed surimi gels obtained through partial substitution of myofibrillar proteins by pea protein isolates. *Food Hydrocolloids*, vol. 107, p. 105976. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105976>

BORDERÍAS, A.J. y PÉREZ-MATEOS, M., 1996. Productos pesqueros reestructurados [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2022]. ISSN 0300-5755. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/174084>.

BRAND-WILLIAMS, Wendy; CUVELIER, Marie-Elisabeth; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 1995, vol. 28, no 1, p. 25-30.

BRITTEZ, M., ROLHAISER, F.A., ROMERO, A.M. y ROMERO, M., 2020. Incorporación de harina de amaranto para la obtención de bocaditos de carne con bajo contenido de grasa. *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 3, pp. 35-45. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/enfoque.v11n3.558.

CANDO, D., HERRANZ, B., BORDERÍAS, A.J. y MORENO, H.M., 2015. Effect of high pressure on reduced sodium chloride surimi gels. *Food Hydrocolloids*, vol. 51, pp. 176-187. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2015.05.016.

CANDO, D., MORENO CONDE, H.M., BORDERÍAS, A.J. y SKÅRA, T., 2016. Combined Effect of High Hydrostatic Pressure and Lysine or Cystine Addition in Low-Grade Surimi Gelation with Low Salt Content [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2022]. ISSN 1935-5149. DOI 10.13039/501100003339. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/140060>.

CANDO, Daysi, 2018. Estrategias para la obtención de geles de surimi con contenido reducido de sodio: alta presión hidrostática y adición de compuestos [en línea]. Tesis doctoral. Universidad Complutense De Madrid, Facultad De Veterinaria. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/46344/1/T39565.pdf>.

CAÑADA MILLÁN, J., HURTADO SARABIA, J.L., RAMOS CARRERA, N., QUEVEDO SANTOS, Y., CAÑADA MILLÁN, J., HURTADO SARABIA, J.L., RAMOS CARRERA, N. y QUEVEDO SANTOS, Y., 2021. Proteína de pescado: nutrición e innovación. *Nutrición Hospitalaria*, vol. 38, no. SPE2, pp. 35-39. ISSN 0212-1611. DOI 10.20960/nh.3795.

CAPÚZ, N.G. y PILAMALA, A., 2015. Elaboración de salchicha escaldada con sustitución parcial de harina de trigo por harina de amaranto [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2022]. ISSN 1390-2180. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/11014>.

CARRILLO, Silvia, *et al.*, 2012. El alga Sargassum spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 46, no 2, p. 181-186. ISSN: 0034-7485

CHEN, L. y OPARA, U.L., 2013. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. *Journal of Food Engineering*, vol. 119, no. 3, pp. 497-507. ISSN 0260-8774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2013.06.028.

CHIANG, B.-H., CHOU, S.-T. y HSU, C.-K., 2005. Yam affects the antioxidative and gel-forming properties of surimi gels. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, no. 14, pp. 2385-2390. ISSN 1097-0010. DOI 10.1002/jsfa.2228.

CHO, S., YOON, M. y KIM, S.-B., 2013. Effects of Rice Flour Milling Types and Addition Methods on Rheological and Sensory Properties of Surimi Products. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 46, no. 2, pp. 139-146. ISSN 0374-8111. DOI 10.5657/KFAS.2013.0139.

CHOI, S.-H. y KIM, S.-M., 2012. Quality Properties of Giant Squid (*Dosidicus gigas*) Surimi-Based Product Manufactured with *Amorphophallus konjac* Flour. *Korean Journal of Food Science and Technology*, vol. 44, no. 4, pp. 422-427. ISSN 0367-6293. DOI 10.9721/KJFST.2012.44.4.422.

COTOC GIRÓN, S.A., 2018. “Formulación y estandarización de una torta a base de carne magra de pechuga de pollo (*Gallus domesticus*), utilizando harina de Amarantho (*Amaranthus spp.*) como extensor cárnico.” [en línea]. Universidad de San Carlos de Guatemala. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9088/>.

DÁVALOS, Selene, ZAMORA, Diana, NATIVIDAD, Bonifacio, TERCERO, José, VÁZQUEZ, Carlos, QUIÑONES, Elsa, 2005. Alimentos marinos: tipificación y proceso de almacenamiento [en línea]. *Revista Digital Universitaria*, Vol. 6, No. 9, pp. 1-11. [Consulta: 15 marzo 2021]. Disponible en: https://www.revista.unam.mx/vol.6/num9/art90/sep_art90.pdf. ISSN: 1067-6079

DIAZ ORTEGA, Jorge, 2020. Propiedades nutricionales y funcionales de los alimentos [En línea]. [Consulta: 13 marzo 2021]. Disponible en:

<http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/17062/PROPIEDADES%20NUTRICIONALES%20Y%20FUNCIONALES%20DE%20LOS%20ALIMENTOS%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. ISBN: 978-612-4308-28-4

DIEGO-ZARATE, L.M., MÉNDEZ-ZAMORA, G., RIVERA-DE ALBA, J.A., FLORES-GIRÓN, E., DIEGO-ZARATE, L.M., MÉNDEZ-ZAMORA, G., RIVERA-DE ALBA, J.A. y FLORES-GIRÓN, E., 2021. Efecto del nopal (*Opuntia* spp) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Biotecnia*, vol. 23, no. 2, pp. 89-95. ISSN 1665-1456. DOI 10.18633/biotecnia.v23i2.1377.

DIEGO-ZARATE, Lizbeth et al., 2021. Efecto del nopal (*Opuntia* spp) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena [En línea]. *Biotecnia*. Vol. 23, no. 2, pp. 89-95. [Consulta: 18 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1377/553>. DOI: <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1377>

DOF. Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. México. 2020

DOLORES ROMERO DE ÁVILA, M., ISABEL CAMBERO, M., ORDÓÑEZ, J.A., DE LA HOZ, L. y HERRERO, A.M., 2014. Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile analysis (TPA). *Meat Science*, vol. 98, no. 2, pp. 310-315. ISSN 0309-1740. DOI 10.1016/j.meatsci.2014.05.003.

EGERTON, S., CULLOTY, S., WHOOLEY, J., STANTON, C. y ROSS, R.P., 2017. Boarfish (*Capros aper*): review of a new capture fishery and its valorization potential. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 74, no. 8, pp. 2059-2068. ISSN 1054-3139. DOI 10.1093/icesjms/fsx048.

Enciclovida, 2020. Macabíl (*Albula vulpes*) [en línea]. [Consulta: 08 de marzo del 2021]. Disponible en: <https://enciclovida.mx/especies/28232-albula-vulpes>

FAO, 2013. Fisheries and Aquaculture topics. Proteins from fish and fish products. Topics Fact Sheets. [En línea]. [Consulta: 10 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/topic/14869/en>.

FAO, 2014. La creciente importancia del pescado en la alimentación mundial [En línea]. [Consulta: 08 de marzo del 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/233797/#:~:text=Aporta%20no%20s%C3%B3lo%20prote%C3%ADnas%20de,%C3%A1cidos%20grasos%20poliinsaturados%20omega%203>.

FAO, 2020. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura* [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2022]. ISBN 978-92-5-132756-2. Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229es>.

FLORES, A., BURCIAGA, A., SORIANO, C., ALONSO M. y RAMÍREZ, P, 2005. Uso de fibra de avena y trigo en salchicha Viena evaluando nivel de agrado y perfil de textura. [Consultado 7 de noviembre 2019] 2005. Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2005/ee132005/documentos/CNA23.pdf>

FLÓREZ, Claudia, ESTRADA-LÓPEZ, Hilda, SAUMETT-ESPAÑA, Hernán 2017. NUTRACÉUTICOS Y ALIMENTOS FUNCIONALES: UNA REVISIÓN DE OPORTUNIDADES. Tesis Doctoral. Universidad Simón Bolívar. [Consulta: 16 de marzo 2021]. Disponible en: https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/2204/Cap_5_Nutrac%C3%A9uticos_AlimentosFuncionales.pdf?sequence=9&isAllowed=y

FONSECA-RODRÍGUEZ, C. y CHAVARRÍA-SOLERA, F., 2017. Composición proximal en algunas especies de pescado y mariscos disponibles en el pacífico costarricense. *Uniciencia*, vol. 31, no. 1, pp. 23-28. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/ru.31-1.3>

FROESE, R. Y PAULY, D., 2020. Fishbase [en línea]. [Consulta: 05 de marzo 2021]. Disponible en: <https://www.fishbase.se/Summary/SpeciesSummary.php?ID=228&AT=MACABI>.

GARCÍA FILLERÍA, S. y TIRONI, V., 2015. Application of amaranth protein isolate and hydrolysate on a reduced salt fish restructured product: Antioxidant properties, textural and microbiological effects. *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 50. DOI 10.1111/ijfs.12777.

GARCÍA-SALCEDO, Ángela Janet; TORRES-VARGAS, Olga Lucía; ARIZA-CALDERÓN, Hernando, 2018. Physical-chemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), amaranth (*Amaranthus caudatus* L.), and chia (*Salvia hispanica* L.) flours and sedes [en línea]. *Acta Agronómica*, vol. 67, no 2, p. 215-222. [Consulta: 17 de diciembre de 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122018000200215

GONZALEZ-LUNA, A., *et al.*, 2015. Aprovechamiento Potencial del Amaranto [en línea]. *PLANTA*. Vol. 10 No. 20. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/nw/es/media-bio/avisos/1080-revista-planta-numero-20>

GUEVARA, Jorge, 2021. Efecto de la adición de harinas no convencionales para la producción y enriquecimiento de productos cárnicos [En línea]. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. [Consulta: 18 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32590/1/AL%20776.pdf>

GUITERREZ, Samaria, 2015. CALIDAD Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE SALCHICHAS DE CERDO ADICIONADAS CON JUGO Y CÁSCARA DE GRANADA (*Punica granatum* L.) [en línea]. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/93>

HERNÁNDEZ, W.P., BRODMEIER, J.J.T., SAES, M.F., SÁNCHEZ, G.P., DÍAZ, A.P., OSPINA, D., RUIZ, E. y OLIVERO, L.M., 2018. Elaboración de productos embutidos a base de pulpa de Macabí. *IJMSOR: International Journal of Management Science & Operation Research*, vol. 3, no. 1, pp. 64-68. ISSN 2539-5416.

HERNÁNDEZ-ROBLEDO, V., URESTI-MARÍN, R.M., MARTÍNEZ-MALDONADO, M.Á. y VELAZQUEZ, G., 2015. Effect of microbial transglutaminase on the mechanical properties of gels obtained from cooked crabmeat. *CienciaUAT*, vol. 10, no. 1, pp. 93-103. ISSN 2007-7858.

HLEAP, J.I., y VELASCO, V. A., 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) [en línea]. *Revista Biotecnología en el sector Agropecuario*, Vol.8, no.2, pp. 46-56. [Consulta: 18 de octubre de 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612010000200007

HUR, S., CHHUR, S., CHO, S., KUM, J.-S., PARK, J. W., & KIM, D.-S. Rice flour . A functional ingredient for premium crabstick. *Food Science and Biotechnology*. 2011. 20(6), 1639–1647. doi:10.1007/s10068-011-0226-z.

GAO, Ruichang et al. Assessing gel properties of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) surimi prepared by high-temperature setting (40 °C) for different durations. 2020. DOI 10.1002/jsfa.10349.

IGLESIAS AGUIÑO, Nuria, 2014. Señalización de calidad, valorización y diferenciación de productos pesqueros. Fundamentos teóricos y estudio de Casos [En línea]. Tesis de fin de grado. Universidad Da Coruña. Facultad de economía e empresa. [Consulta: 24 de febrero del 2021]. Disponible en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/11786/IglesiasAgui%C3%B1o_Nuria_TFG_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y

JAYAWARDANA, B.C., LIYANAGE, R., LALANTHA, N., IDDAMALGODA, S. y WETHTHASINGHE, P., 2015. Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (*Moringa oleifera*) leaves in herbal chicken sausages. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 64, no. 2, pp. 1204-1208. ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/j.lwt.2015.07.028.

JIA, R., JIANG, Q., KANDA, M., TOKIWA, J., NAKAZAWA, N., OSAKO, K. y OKAZAKI, E., 2019. Effects of heating processes on changes in ice crystal formation, water holding capacity, and physical properties of surimi gels during frozen storage. *Food Hydrocolloids*, vol. 90, pp. 254-265. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2018.12.029.

JIMÉNEZ COLMENERO, F., 2016. Productos cárnicos funcionales: Oportunidades y desarrollo [en línea]. [Consulta: 13 noviembre 2022]. ISSN 0121-4004. DOI 10.13039/501100003329. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/243519>.

JIMOH, M.O., AFOLAYAN, A.J. y LEWU, F.B., 2019. Therapeutic uses of *Amaranthus caudatus* L. *Tropical Biomedicine*, vol. 36, no. 4, pp. 1038-1053. ISSN 2521-9855.

LOIS CORREA, J.A., 2015. APLICACIÓN DE TRANSGLUTAMINASA MICROBIANA PRODUCIDA POR *Streptoverticillium ladakanum* EN MEDIOS A BASE DE HIDROLIZADOS ENZIMÁTICOS DE SORGO ENRIQUECIDOS CON DDGS, EN REESTRUCTURADOS CÁRNICOS y PESQUEROS [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2022]. ISSN 2014. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx//handle/123456789/21701>.

LUIS, G.M., HERNÁNDEZ, B.R.H., CABALLERO, V.P., LÓPEZ, N.G.T., MARTÍNEZ, V.A.E. y PACHECO, L.R., 2018. Usos actuales y potenciales del Amarantho (*Amaranthus spp.*). *Journal of Negative and No Positive Results*, vol. 3, no. 6, pp. 423-436. ISSN 2529-850X. DOI 10.19230/jonnpr.2410.

MAGRAMA, 2014. Plan Estratégico de Innovación y Desarrollo Tecnológico para la pesca y la acuicultura 2014-2020 [En línea]. [Consulta: 08 de marzo 2021]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/innovacion/planestrategicodedi_final_revisado_tcm30-291073.pdf

MAPES, Emma, 2015. El amaranto [en línea]. *Ciencia*, pp. 7-15. [Consulta: 25 junio 2021]. Disponible en: http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf

MARÍN-PEÑALVER, D., ALEMÁN, A., PILAR MONTERO, M. y CARMEN GÓMEZ-GUILLÉN, M., 2021. Entrapment of natural compounds in spray-dried and heat-dried iota-carrageenan matrices as functional ingredients in surimi gels. *Food and Function*, vol. 12, no. 5, pp. 2137-2147. DOI 10.1039/D0FO02922J.

MARQUES COELHO, Laylla, *et al.*, 2018. Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. The Royal Society of Chemistry. Vol. 9, pp. 5499-5512. [Consulta: 24 de febrero del 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30307006/>. ISSN 2042-650X. DOI 10.1039/c8fo01422a.

MARTELO-VIDAL, M.J., GUERRA-RODRÍGUEZ, E., PITA-CALVO, C. y VÁZQUEZ, M., 2016. Reduced-salt restructured European hake (*Merluccius merluccius*) obtained using

microbial transglutaminase. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 38, pp. 182-188. ISSN 1466-8564. DOI 10.1016/j.ifset.2016.10.004.

MARTÍNEZ, M. A., ROBLEDO, V., VELÁZQUEZ, G., RAMÍREZ, J. A., Vázquez, M., and Uresti, R. M. (2014). Effect of precooking temperature and microbial transglutaminase on the gelling properties of blue crab (*Callinectes sapidus*) proteins. *Food Hydrocolloids* 35(1): 264-269

MELÉNDEZ-SOSA, M.F., GARCÍA-BARRALES, A.M. y VENTURA-GARCÍA, N.A., 2020. PERSPECTIVAS E IMPACTO EN LA SALUD DEL CONSUMO DE LOS ALIMENTOS FUNCIONALES Y NUTRACÉUTICOS EN MÉXICO. *RD-ICUAP*, vol. 6, no. 1, pp. 114-136. ISSN 2448-5829.

MI, H., LI, Y., WANG, C., YI, S., LI, X. y LI, J., 2021. The interaction of starch-gums and their effect on gel properties and protein conformation of silver carp surimi. *Food Hydrocolloids*, vol. 112, pp. 106290. ISSN 0268-005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2020.106290.

MILL *et al.*, 2018. Evaluación del contenido de cloruro de sodio en productos cárnicos de consumo poblacional [en línea]. *Convención Internacional de Salud*. [Consulta: 26 febrero 2021]. Disponible en: <http://actasdecongreso.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=2764> .ISSN: 2415-0282

MORALES-CÓRDOVA, Sandy *et al.*, 2016. Productos cárnicos embutidos con bajo contenido de cloruro de sodio y fosfatos [En línea]. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. Vol. 3, No. 4, pp. 1-13. [Consulta: 15 junio 2021]. Disponible en: <http://www.reibci.org/publicados/2016/ago/1700109.pdf> .ISSN 2334-2501

MUCHEKEZA, J.T., JOMBO, T.Z., MAGOGO, C., MUGARI, A., MANJERU, P. y MANHOKWE, S., 2021. Proximate, physico-chemical, functional and sensory properties OF quinoa and amaranth flour AS potential binders in beef sausages. *Food Chemistry*, vol. 365, pp. 130619. ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130619.

PANPIPAT, W., CHEONG, L.-Z. y CHAIJAN, M., 2021. Impact of lecithin incorporation on gel properties of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) surimi. *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 56, no. 5, pp. 2481-2491. ISSN 1365-2621. DOI 10.1111/ijfs.14882.

PETER, K. y GANDHI, P., 2017. Rediscovering the therapeutic potential of Amaranthus species: A review. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 196-205. ISSN 2314-808X. DOI 10.1016/j.ejbas.2017.05.001.

Phenolic content and DPPH radical scavenging activity of yam-containing surimi gels influenced by salt and heating, 2007. *Asian Journal of Health and Information Sciences*, vol. 2, no 1-4, p. 1-11. NSC 94-2313-B-468-002

RAMÍREZ, J., URESTI, R., TÉLLEZ, S. y VÁZQUEZ, M., 2002. Using Salt and Microbial Transglutaminase as Binding Agents in Restructured Fish Products Resembling Hams. *Journal of Food Science*, vol. 67, no. 5, pp. 1778-1784. ISSN 1750-3841. DOI 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08722.x.

RAMOS-MARTÍNEZ, E., MORALES-GONZÁLEZ, O.G., RAMÍREZ, J.A., GARCÍA-CARREÑO, F.L. y MONTEJANO-GAITÁN, J.G., 1999. Determinación de la presencia y el origen del fenómeno modori en surimi de cinco especies de pescado del Golfo de México / Determination of the modori phenomenon and its origin in surimi of five fish species from the Gulf of Mexico. *Food Science and Technology International*, vol. 5, no. 5, pp. 397-405. ISSN 1082-0132. DOI 10.1177/108201329900500505.

REGIS, D.P., JAMAS, A.L.A., AMORIM, E., AZEVEDO-MELEIRO, C.H. de, SILVA, P.P. de O. y OLIVEIRA, G.M. de, 2017. Chemical characterization of marine fish of low-commercial value and development of fish burgers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 52, pp. 1091-1098. ISSN 0100-204X, 1678-3921. DOI 10.1590/S0100-204X2017001100015.

RENNERT, J.J., SHENKER, J.M., ANGULO-VALDÉS, J.A. y ADAMS, A.J., 2019. Age, growth, and age at maturity of bonefish (*Albula* species) among Cuban habitats. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 102, no. 2, pp. 253-265. ISSN 1573-5133. DOI 10.1007/s10641-018-0836-x.

RIBEIRO, A.T., ELIAS, M., TEIXEIRA, B., PIRES, C., DUARTE, R., SARAIVA, J.A. y MENDES, R., 2018. Effects of high pressure processing on the physical properties of fish ham prepared with farmed meagre (*Argyrosomus regius*) with reduced use of microbial

transglutaminase. *LWT*, vol. 96, pp. 296-306. ISSN 0023-6438. DOI 10.1016/j.lwt.2018.05.044.

ROMERO. D *et al.*, 2014. Rheological behaviour of commercial cooked meat products evaluated by tensile test and texture profile análisis [En línea]. *Meat Science*. Vol. 98, no. 2, pp. 310-315. [Consulta: 18 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174014001156>. ISSN 0309-1740. DOI 10.1016/j.meatsci.2014.05.003.

SÁNCHEZ, A.T., 2007. Implicaciones de la reducción de sodio en sistemas cárnicos emulsionados. *Nacameh*, vol. 1, no. 1, pp. 75-86. ISSN 2007-0373.

SANTILLÁN ÁLVAREZ, Á. y DUBLAN GARCÍA, O., 2014. Efecto de la adición de Harina de Chia (*Salvia Hispánica L*) sobre las características Fisicoquímicas, Textuales y Sensoriales de un Gel Cárnico a base de Carne de Carpa común (*Cyprinus Carpio*) [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2022]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/14960>.

SECTUR, 2015. Chiapas, viaje culinario [en línea]. [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/COMPLETOS/patol/2018/pt181.pdf#page=6> . ISBN: 978 607 7528 35 7

SEMARNAT, 2018. Amaranto, planta de profunda y profusa raíz en México [en línea]. [Consulta: 08 de marzo 2021]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/amaranto-planta-de-profunda-y-profusa-raiz-en-mexico?idiom=es>

SHAMAH LEVY, Teresa, AMAYA CASTELLANOS, Maritza Alejandra, CUEVAS NASU, Lucia. Desnutrición y obesidad: doble carga en México [en línea]. *Revista Digital Universitaria*, 1 de mayo de 2015, Vol. 16, Núm. 5. [Consulta: 26 junio 2021] Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art34/index.html> .ISSN: 1607-6079.

SIAP, 2020. Panorama agroalimentario 2020 [en línea]. [Consulta: 08 de mayo del 2021]. Disponible en: <https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2022/08/Amaranto-Panorama-Agroalimentario-2020.pdf>

SINGLETON, Vernon L.; ORTHOFER, Rudolf; LAMUELA-RAVENTÓS, Rosa M. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. En *Methods in enzymology*. Academic press, 1999. p. 152-178.

STRI, 2015. *Albula vulpes*, El macabí [en línea]. [Consulta: 05 de marzo del 2021]. Disponible en:

https://biogeodb.stri.si.edu/caribbean/es/thefishes/species/2769?fbclid=IwAR3ipUcsR_Houud4y-GpC3I4uO4fnDt7_ClqIrALeT8MUAgOGyhEp7cPNg5Y

TAFADZWA, Muchekeza Jane, *et al.*, 2021. Proximate, physico-chemical, functional and sensory properties OF quinoa and amaranth flour AS potential binders in beef sausages. *Food Chemistry*, vol. 365, p. 130619. ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130619.

TÉLLEZ-LUIS, S.J., URESTI, R.M., RAMÍREZ, J.A. y VÁZQUEZ, M., 2002. Low-salt restructured fish products using microbial transglutaminase as binding agent. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 82, no. 9, pp. 953-959. ISSN 1097-0010. DOI 10.1002/jsfa.1132.

TORRES, José *et al.*, 2015. Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos [en línea]. *ReCiTeLA*. Vol 14, No. 2, pp. 64-75. [Consulta: 18 de octubre de 2021]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/profile/Jose-Torres-121/publication/283352303_Analisis_del_Perfil_de_Textura_en_Frutas_Productos_Carnicos_y_Quesos/links/5636bdbf08aeb786b703f399/Analisis-del-Perfil-de-Textura-en-Frutas-Productos-Carnicos-y-Quesos.pdf

TOVAR-PÉREZ, E.G., LUGO-RADILLO, A. y AGUILERA-AGUIRRE, S., 2019. Amaranth grain as a potential source of biologically active peptides: a review of their identification, production, bioactivity, and characterization. *Food Reviews International*, vol. 35, no. 3, pp. 221-245. ISSN 8755-9129. DOI 10.1080/87559129.2018.1514625.

TREJO-DÍAZ, G.N., MARTÍNEZ-MALDONADO, M.Á., URESTI-MARÍN, R.M., VELAZQUEZ, G. y RAMÍREZ, J.A., 2021. Improving of Gelling Capacity of Cooked Crab Meat Proteins [en línea]. *Frontiers in Nutrition*. Vol. 8. [Consulta: 20 junio 2022]. ISSN 2296-861X. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.675362>.

TZIKAS, Z., et al., 2015. Production of low-salt restructured Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using microbial transglutaminase/caseinate system. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, vol. 66, no. 3, pp. 147-160. ISSN 2585-3724. DOI 10.12681/jhvms.15858.

VALENZUELA B, A., VALENZUELA, R., SANHUEZA, J. y MORALES I, G., 2014. Alimentos funcionales, nutraceuticos y foshu: ¿vamos hacia un nuevo concepto de alimentación? *Revista chilena de nutrición*, vol. 41, no. 2, pp. 198-204. ISSN 0717-7518. DOI 10.4067/S0717-75182014000200011.

WALAYAT, N., XIONG, H., XIONG, Z., MORENO, H.M., NAWAZ, A., NIAZ, N. y RANDHAWA, M.A., 2022. Role of Cryoprotectants in Surimi and Factors Affecting Surimi Gel Properties: A Review. *Food Reviews International*, vol. 38, no. 6, pp. 1103-1122. ISSN 8755-9129. DOI 10.1080/87559129.2020.1768403.

YAMADA, K., MATSUMIYA, M. y FUKUSHIMA, H., 2020. Modori reaction in blue grenadier and Alaska pollock frozen surimi and myosin degradation behavior upon addition of protease inhibitors. *CyTA - Journal of Food*, vol. 18, no. 1, pp. 451-460. ISSN 1947-6337. DOI 10.1080/19476337.2020.1774663.

ZENG, X., ADAMS, A., ROFFER, M. y HE, R., 2019. Potential connectivity among spatially distinct management zones for Bonefish (*Albula vulpes*) via larval dispersal. *Environmental Biology of Fishes*, vol. 102, no. 2, pp. 233-252. ISSN 1573-5133. DOI 10.1007/s10641-018-0826-z.

ZHAO, Y., KONG, H., ZHANG, X., HU, X. y WANG, M., 2019. The effect of Perilla (*Perilla frutescens*) leaf extracts on the quality of surimi fish balls. *Food Science & Nutrition*, vol. 7, no. 6, pp. 2083-2090. ISSN 2048-7177. DOI 10.1002/fsn3.1049.

ZHENG, Mingjing, *et al.*, 2021. Effects of crude fucoidan on physicochemical properties, antioxidation and bacteriostasis of surimi products. *Food Control*, vol. 122, p. 107806. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107806>

ANEXOS

ANEXO 1. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA

Material y equipo:

Texturómetro

Muestras

Procedimiento:

Las propiedades mecánicas se determinaron siguiendo el método descrito por Martínez *et al.* (2014) usando un Texturómetro (Stable Micro Systems Texturometer, Modelo TAXT2i Vienna Court, England UK). Se prepararon muestras de 1.87 cm de diámetro y 3 cm de longitud y se equilibraron a temperatura ambiente por 30 min (en bolsas de plástico, para evitar la deshidratación antes de las mediciones). El análisis del perfil de textura (APT), se realizó comprimiendo las muestras al 50 % de su altura inicial, usando una sonda cilíndrica de aluminio (P/50), con 50 mm de diámetro y una velocidad de cabezal de 60 mm/min.

Finalmente se reportaron los valores de dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad para cada tratamiento. Se analizaron seis muestras por cada tratamiento.

ANEXO 2. ANÁLISIS FÍSICOS

Determinación de capacidad de retención de agua

Material y equipo:

Hojas de papel (7.5x10 cm)

Centrifuga (HERMLE Z-323-K)

Balanza analítica

Muestras

Procedimiento:

La determinación se realizó de acuerdo al método de Hur *et al.* (2011); se pesó 3 g (Pi) de muestra y se envolvió con 5 capas de papel; posteriormente las muestras se centrifugaron a

1000 rpm por 5 min a temperatura ambiente. Después de la centrifugación, se pesaron nuevamente las muestras (Pf) y se calculó la capacidad de retención de agua mediante la siguiente fórmula:

$$\%CRA=100 - \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \right)$$

Determinación de pérdida por cocción

Material y equipo:

Tubos falcón de 15 ml

Balanza analítica

Equipo de baño maría

Termómetro

Procedimiento:

La determinación se realizó de acuerdo a la metodología planteada por Gao *et al.* (2020); e introdujo aproximadamente 5 g (Pi) de muestra en un tubo de falcón (previamente pesado); posteriormente se sometieron los tubos de ensayo con las muestras a tratamiento térmico durante 30 minutos a 90°C. Finalmente se separaron y desecharon los fluidos exudados, para pesar de nuevo las muestras (Pf) y se determinó la pérdida por cocción por la siguiente fórmula:

$$\%Perdida \text{ por cocción: } \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

ANEXO 3. FENOLES TOTALES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Elaboración de extractos

Previo a la determinación de fenoles totales por el método Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999) y capacidad antioxidante por el método dpph (Brand-Williams *et al.*, 1995); se realizaron extractos de cada tratamiento, los extractos se realizaron con 100 miligramos de muestra en 500 microlitros de solvente (agua-etanol).

Posteriormente se agitó 10 segundos en un vortex, enseguida se homogenizó a 50 rpm por una hora, por último, se centrifugó a 5000 rpm por 8 minutos y se extrajo el sobrenadante para su análisis correspondiente.

Determinación de Fenoles totales por el método Folin-Ciocalteu

Material y equipo:

Microplacas

Papel aluminio

Espectrofotómetro

Reservorio multicanal 50 ml

Micropipetas

Puntas para micropipeta

Extractos

Sustancias y reactivos

Folin-Ciocalteu 1 N

Carbonato de sodio 20 %

Acido gálico (0.1 mg/mL)

Agua destilada

Procedimiento: Elaboración de curva de calibración para la elaboración de la curva de calibración se prepararon diluciones de acuerdo a la siguiente tabla:

Tubo/pozo	Acido gálico (uL)	Agua destilada (uL)	Reactivo Folin-Ciocalteu (uL)	Carbonato de sodio (uL)	Concentración final (mg/mL)
0	0	75	37.5	187.5	0
1	3	72	37.5	187.5	0.001
2	6	69	37.5	187.5	0.002
3	9	66	37.5	187.5	0.003
4	12	63	37.5	187.5	0.004
5	15	60	37.5	187.5	0.005
6	18	57	37.5	187.5	0.006
7	21	54	37.5	187.5	0.007
8	24	51	37.5	187.5	0.008

Para el análisis de cada una de las muestras se tomó 10 micro litros de extracto, supliendo esta cantidad por el ácido gálico, que se utilizó para la curva de calibración.

Posteriormente se dejó reposar las diluciones durante 20 minutos protegiéndolas de la luz para evitar la oxidación; por último, se leyeron las diluciones a 765 nm; los resultados de absorbancia se graficaron para obtener la ecuación de la recta.

Determinación de la capacidad antioxidante por el método DPPH

Material y equipo

Microplacas

Papel aluminio

Espectrofotómetro

Reservorios multicanal de 50 ml

Micropipetas

Puntas para micropipetas

Extractos

Reactivos:

Solución estándar de Trolox

Metanol

DPPH

Agua destilada

Procedimiento

Preparación de reactivos

Solución estándar de trolox 1mM: se pesó 2.5 miligramos de trolox y se aforó a 10 mililitros con metanol

Solución DPPH: Se tomó una pizca del radical DPPH y se disolvió en metanol, usando el volumen necesario para obtener una absorbancia de 0.75 a 0.78 a 517 nm.

Elaboración de la curva de calibración

Se prepararon concentraciones deseadas de trolox añadiendo metanol en tubos eppendor de acuerdo a la siguiente tabla:

Tubo/celda	Concentración uM	Solución estándar trolox ul	Metanol UI
1	50	50	950
2	100	100	900
3	200	200	800
4	300	300	700
5	400	400	600
6	500	500	500
7	600	600	400
8	700	700	300
9	800	800	200

Posteriormente se elaboraron las siguientes disoluciones:

Blanco: 200 ul de agua destilada + 20 ul de metanol

Control: 20 ul de metanol + 200 ul de solución DPPH

Trolox: 20 ul de cada concentración de trolox + 200 ul de solución DPPH

Muestras: 20 ul muestra + 200 ul de solución DPPH

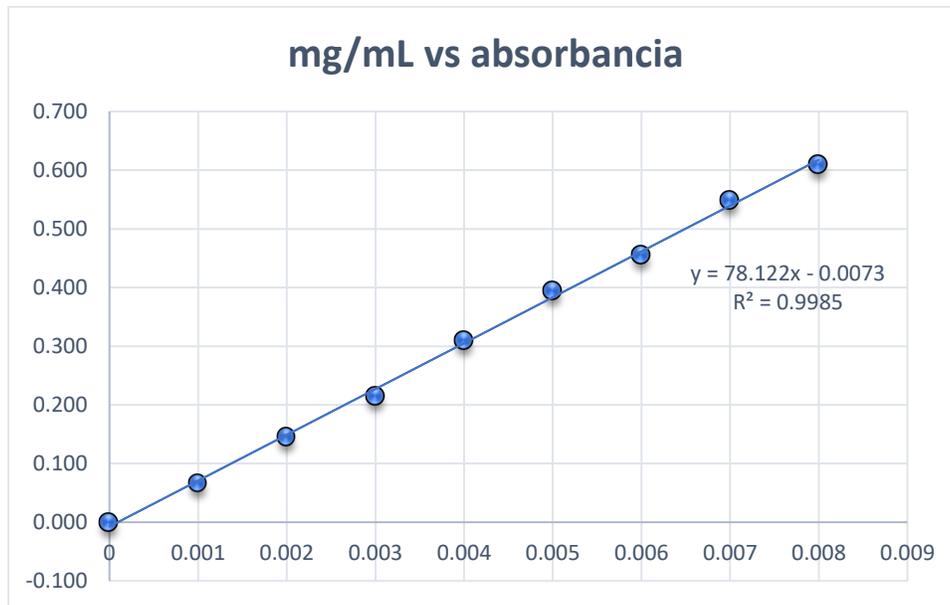
Por último, se dejaron reposar las disoluciones durante 20 minutos antes de su lectura a 517 nm y se graficó usando la concentración conocida de trolox (eje x) y el porcentaje de inhibición (eje y), el cual se calculó mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ inhibicion: } \left(\frac{\text{Abs control} - \text{Abs muestra}}{\text{Abs control}} \right) \times 100$$

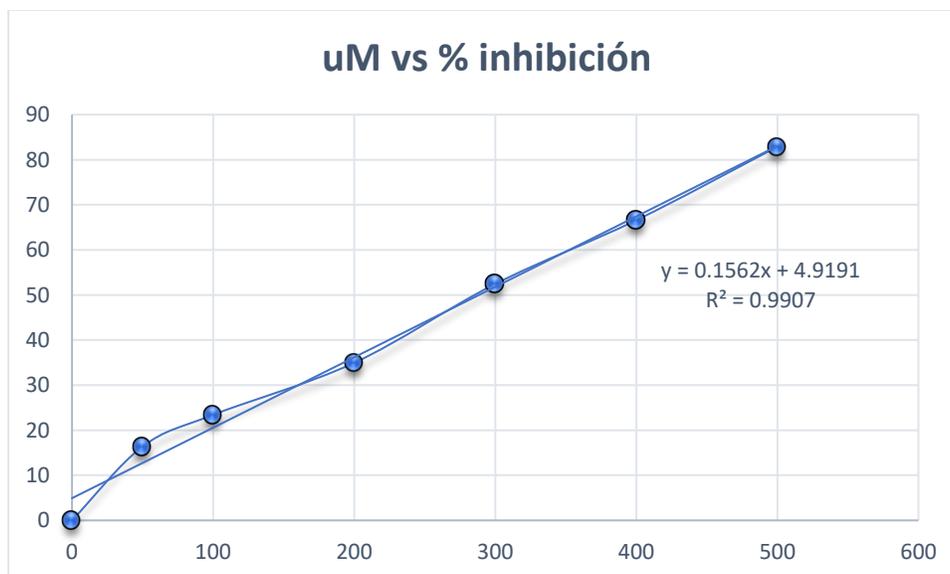
Finalmente, los resultados fueron expresados en Mol trolox/g de muestra.

ANEXO 4. CURVAS DE CALIBRACIÓN PARA FENOLES TOTALES Y DPPH

Curva de calibración fenoles totales



Curva de calibración Dpph



ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS

Elaboración de reestructurados



Análisis de fenoles totales y capacidad antioxidante



Estancia en la Universidad Autónoma de Querétaro

